

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе
(МГРИ)



ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

XIV Международной
научно-практической конференции
"Новые идеи в науках о Земле"

*XIV International Scientific and Practical Conference
«New Ideas in Earth Sciences»*

Том IV

*«Инновационные и цифровые технологии геологической
разведки, горного дела, бурения скважин»*

2-5 апреля 2019 г. | April, 2-5, 2019

Москва | Moscow

УДК 082 +[550.8+553](082)
ББК 94.3 + 26.21я43 + 26.34я43

Новые идеи в науках о Земле : в 7 т. Материалы XIV Международной научно-практической конференции "Новые идеи в науках о Земле" – М. : Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2019.

ISBN 978-5-6040812-0-4

Т. 4 : Инновационные и цифровые технологии геологической разведки, горного дела, бурения скважин / ред. коллегия: В.А. Косьянов, В.Ю. Керимов, В.В. Куликов. - М. : Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2019. – 508 с.

ISBN 978-5-6040812-4-2

УДК 082 +[550.8+553](082)
ББК 94.3 + 26.21я43 + 26.34я43

Мероприятие проведено (проводится) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-05-20025

ISBN 978-5-6040812-4-2 (т. 4)

ISBN 978-5-6040812-0-4

© РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2019

СЕКЦИЯ «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ,
ГОРНОГО И НЕФТЕГАЗОВОГО ДЕЛА»

1. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ПРИ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ <i>Аладын М.Е.*, Сычев Ю.А. (Санкт-Петербургский горный университет)</i>	11
2. ОСНОВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТОКОВ <i>Александрова Ю. В.* (МГРИ)</i>	13
3. ЦИКЛИЧНОСТЬ ТЕРРИГЕННЫХ ТОЛЩ В РАКУРСЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ПАРАДИГМЫ <i>Алексеев В. П.* (Уральский гос. горный университет), Амон Э. О. (Палеонтологический институт РАН), Зорина С. О. (Казанский (Приволжский) федеральный университет), Чернова О. С. (Томский национальный политехнический университет)</i>	15
4. ТЕХНОЛОГИЯ ОТБОЙКИ БЛОЧНОГО КАМНЯ МЕТОДОМ РАСКОЛА <i>Антошкина Е.В.* (Старооскольский филиал МГРИ), Иляхин С.В. (МГРИ)</i>	19
5. ОРГАНИЗАЦИОННАЯ И ПЕРСОНАЛЬНАЯ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ В ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИСКОПАЕМЫХ <i>Арпентьева М.Р.* (Калужский государственный университет им К.Э. Циолковского)</i>	23
6. СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ <i>Арпентьева М.Р.* (Калужский государственный университет им К.Э. Циолковского)</i>	27
7. ОРГАНИЗАЦИЯ СЕЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМКЯНИЙ НА ЗЕМЛЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ <i>Бабьрь К.В.*, Пеленев Д.Н. (Санкт-Петербургский горный университет)</i>	31
8. ПРОГНОЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ БЕЗ УЧИТЕЛЯ <i>Балашов Д.А. (ООО «Газпромнефть НТЦ»)</i>	34
9. ПЕРСПЕКТИВЫ КОГЕНЕРАЦИОННОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ОСВОЕНИЯ ОБЪЕКТОВ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА <i>Башкуров А.Ю.*, Лимитовский А.М. (МГРИ)</i>	37
10. КРИТЕРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДочНЫХ РАБОТ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ <i>Богачев М.Ю.*, Калинин В.Н., Назаров А.П. (МГРИ)</i>	40
11. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ МОБИЛЬНЫХ ИНФРАСТРУКТУР МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА СТАДИИ ПОИСКА И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ <i>Божок В.А. *, Михайлов Ю.В. (МГРИ)</i>	42
12. БЛОЧНО-СКВАЖИННОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ СЛОЖНОИЗВЛЕКАЕМЫХ ФОРМ ЗОЛОТА И СОПУТСТВУЮЩИХ ЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ РУД <i>Брюховецкий О.С.* (МГРИ), Секисов А.Г. (ИГД ДВО РАН, ЗабГУ), Лавров А.Ю. (Читинский филиал ИГД СО РАН, ЗабГУ), Рассказова А.В. (ИГД ДВО РАН, ЗабГУ)</i>	45
13. К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ОСВОЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЦЕОЛИТОПРОЯВЛЕНИЙ МОНГОЛИИ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ <i>Рассказов А.А. (РУДН), Буянов М.И.* (МГРИ), Горбатов И.С., Васильева Е.Ю. (ИФЗ РАН)</i>	49
14. РЕЙТИНГОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОДНОГО МАССИВА БЕНЯВСКОГО (RMR) <i>Величко Д.В.*, Пименова А.В. (МГРИ)</i>	52
15. ЛОКАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ПРИ НАСЫЩЕНИИ РУДНЫХ КУСКОВ В ПРОЦЕССЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ <i>Маркелов С.В., Вильмис А.Л.*, Салахов И.Н. (МГРИ)</i>	56
16. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ <i>Ганин И. П. *, Старков М.В. (МГРИ)</i>	59
17. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА ДОБЫЧИ НЕФТИ ИЗ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН С МГРП <i>Григорьев Д. С.* (ООО «Газпромнефть НТЦ»)</i>	62
18. ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НРС В СКВАЖИНАХ ДИАМЕТРОМ БОЛЕЕ 56 ММ <i>Емельянов Р. В.* (ООО «Си Ар Си Си»), Иляхин С. В. (МГРИ)</i>	65

19. ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОРАДАРОВ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
*Изюмов С.В. *(ООО «Геологоразведка»), Gajdos Vojtech, (CSc IngGeoCom s.r.o) 68*
20. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ПРОГНОЗА ТЕХНОГЕННОЙ ОСАДКИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПОЛНЫЙ СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ
*Касьянова Н.А. *(МГРИ) 71*
21. ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ РЕЖИМАМИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В ГАЗОВЫХ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ ДЛЯ ПЛАВЛЕНИЯ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ
Кирос Кабасканго В.Э., Бажин В.Ю. (Санкт-Петербургский горный университет) 74*
22. ВЛИЯНИЕ ДЕНУДАЦИИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СОЛЕОТХОДОВ В ПРОЦЕССЕ СУХОГО СКЛАДИРОВАНИЯ И ГИДРОНАМЫВА
*Кологривко А.А. *(Белорусский национальный технический университет) 78*
23. ПРОЕКТ УЧЕБНОГО СТЕНДА 4-ОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ
Крылков М. Ю., Латышев Г. В. (МГРИ) 81*
24. К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ НОВЫХ ПОДХОДОВ В РАЗВИТИИ ТЕХНОЛОГИЙ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА
*Кузьмин М.Б. *, Красавин А.Г. (ИПКОН РАН), Рыжова Л.П. (МГРИ) 84*
25. АВТОНОМНЫЙ КОМПЛЕКС ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК НЕФТИ
Добуш В.С., Бельский А.А., Куксов Н.А., Глухачич Д.Ю. (Санкт-Петербургский Горный университет) 87*
26. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЖИГА ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ
Кунилова И.В., Лавриненко А.А., Лусинян О.Г., Кравченко В.Н., Шимкунас Я.М. (ИПКОН РАН) 89*
27. ОБОСНОВАНИЕ ШАГА ОБРУШЕНИЯ ОСНОВНОЙ КРОВЛИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СТОЛБОВОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ С МНОГОСЛОЕВОЙ ВЫЕМКОЙ И ГИДРОЗАКЛАДКОЙ НА ШАХТЕ ДЖАМАЛЬГАНДЖ (БАНГЛАДЕШ)
Кхан Мохаммад Ф. Х. (Политехнический университет (Бангладеш)), Боровков Ю.А. (МГРИ) 91
28. ОБ ИНВЕСТИЦИОННОСТИ НАУЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА
Лимитовский А.М., Соловьев А.М. (МГРИ) 95*
29. ПРИМЕНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ ПОВЫШЕННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ
Лях Д.А. (Санкт-Петербургский Горный Университет) 98
30. МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОХОДКИ ТОНЕЛЕПРОХОДЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ
*Мазеин С. В. *(ООО «Тоннельная ассоциация России»), Иляхин С.В. (МГРИ) 100*
31. ОЦЕНКА НЕОБХОДИМЫХ ОБЪЕМОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ) В ЦЕЛЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА
*Максимов Н.А. *, Абрамович Б.Н. (Санкт-Петербургский горный университет) 104*
32. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПАРАМЕТРЫ РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК, ПРОЙДЕННЫХ В ПРИБОРТОВОМ МАССИВЕ КАРЬЕРА
*Мальский К.С. *, Романов В.В., Посеренин А.И., Матюшенко А.А. (МГРИ) 108*
33. АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К БЕЗОПАСНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ АММИАЧНО-СЕЛИТРЕННЫХ ВВ ПРИ СКВАЖИННОЙ ОТБОЙКЕ КОЛЧЕДАННЫХ РУД
*Маслов И.Ю. *(ООО «Спецхимпром»), Иляхин С. В. (МГРИ) 110*
34. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ЭЖЕКЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ДВС ПРИВОДА КОМПРЕССОРА
*Джурсаев Р.У. (Навоийский государственный горный институт), Меркулов М.В. *(МГРИ) 112*
35. ОТ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ К ЦИФРОВИЗАЦИИ ПОДЗЕМНОГО ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ
*Михайлов Ю.В. *(МГРИ) 116*
36. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ ЛИКВИДАЦИИ ПРЯДЕВЫХ АНКЕРОВ
*Мураенко А. И. *, Иляхин С.В., Чубаров В. В. (МГРИ) 120*
37. О РАЗВИТИИ КУЛЬТУРЫ ПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОИЗВЕДЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ
*Насыров А.А. *(МГРИ) 124*

38. РАЗРАБОТКА МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕМНОГО НАПРЯЖЕННО - ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ВБЛИЗИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ
Норель Б.К. (АО ННЦ ИГД им. А.А. Скочинского), Боровков Ю.А., Бунин Ж.В. (МГРИ) 127*
39. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ТРУДНОПРОМЫВИСТЫХ ПОРОД ГИДРОМОНИТОРНЫМИ СТРУЯМИ
*Клочков Н.Н., Пятова Н.Е., Носова К.С. * (МГРИ) 131*
40. АНАЛИЗ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГИДРОКОМПЛЕКСОВ
*Носова К.С. * (МГРИ) 134*
41. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОТОРНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ PUSH THE BIT И POINT THE BIT НА СЕВЕРО - УРЕНГОЙСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ
*Объедков А.С. *, Басинский В.Г. (МГРИ) 138*
42. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ВЫБОРА РОТОРНОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ НА ЮЖНО - ТАРАСОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ
*Объедков А.С. *, Басинский В.Г. (МГРИ) 141*
43. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КОЛОННЕ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ ПРИ БУРЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДочНЫХ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
Оливетский И.Н. (МГРИ) 145*
44. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ БУРЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДочНЫХ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
Оливетский И.Н. (МГРИ) 147*
45. ОПАСНОСТЬ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ АТМОСФЕРЫ И ПОЧВ ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ
*Папичев В.И. * (ИПКОН РАН) 149*
46. СПОСОБЫ УТЕПЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ
Петров В.Л., Тимофеев Н. Г. (Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова) 153*
47. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД НА СОХРАННОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ КОНТУРА ПОДЗЕМНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ
Пименова А.В., Бочаров И.А., Величко Д.В, Иляхин С.В. (МГРИ) 157*
48. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗВЕДочНОГО БУРЕНИЯ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ
Рахматуллин И.З. , Меркулов М.В., Попов И.В. (МГРИ) 160*
49. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС БУРОВОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ЧАСТОТНОГО ПРИВОДА В СОЧЕТАНИИ С КОГЕНЕРАЦИОННЫМ ЭНЕРГОИСТОЧНИКОМ
*Ролдугин К.В. *, Лимитовский А.М. (МГРИ) 164*
50. СИСТЕМА СОБСТВЕННЫХ НУЖД СЕТЕВОГО МОДУЛЬНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
Бельский А.А., Добуш В.С., Ротару Л.Г. (Санкт-Петербургский Горный университет) 168*
51. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
Рыжов С.В. (ПАО «Селигдар»), Иляхин С.В. (МГРИ), Сытенков В.Н. (ФБГУ ВИМС) 170*
52. ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВЕДочНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РАССЕЯННОГО КРИСТАЛЛОСЫРЬЯ
Саватеев Я. В. (ИФЗ), Иляхин С. В. (МГРИ) 174*
53. К ВОПРОСУ ПЕРЕСЧЕТА ПАСПОРТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОНАСОСА С ВОДЫ НА ГИДРОСМЕСЬ
Дробаденко В. П. (МГРИ), Малухин Г.Н. (Инвестрегионпром), Салахов И.Н. (МГРИ) 178*
54. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРОВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС ДЕЭМУЛЬСАЦИИ СИСТЕМЫ: ВОДА-НЕФТЬ
Собаев А.Г. (МГРИ) 182
55. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИВОДА БУРОВЫХ НАСОСОВ С ПОМОЩЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА
Соловьев И.М., Соловьев А.М. (МГРИ) 185*
56. ХРОМИТЫ ГИПЕРБАЗИТОВОГО КОМПЛЕКСА МАТУН (ВОСТОЧНЫЙ АФГАНИСТАН)
Туров А.В., Брюховецкий О.С. (МГРИ) 187*
57. К ВОПРОСУ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ БУРОВЫХ РАБОТ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ
Тышкевич И.В., Лимитовский А.М. (МГРИ) 191*

58. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КПД ДВС НА ГОРНЫХ И ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ
Фоменко А.А.*, Меркулов М.В. (МГРИ) 194
59. ПЕРВИЧНЫЕ И ВТОРИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ В СИСТЕМЕ РЕЦИКЛИНГА: РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ
Хайкин М.М.* (Санкт-Петербургский горный университет, marcmix.spb@gmail.com), Плоткин Б.К. (СПб. Ассоциация содействия промышленности) 198
60. ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ДОБЫЧНОГО КОМПЛЕКСА (ЭДК) ДЛЯ ДОБЫЧИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ГРЕМЯЧИНСКОГО МПИ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
Хромов В.М.* (ФГБУ ЦНИГРИ) 202
61. ТЭО ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ДОБЫЧНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ
Хромов В.М.* (ФГБУ ЦНИГРИ), Басинский В.Г. (МГРИ), Лошакова А.С. (ФГБУ ЦНИГРИ) 206
62. ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ И ОБОРУДОВАНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ
Царёв Н.В.*, Михайлов Ю.В.(МГРИ) 210
63. ПРОГРЕСС ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКИ (ВЗГЛЯД ИЗ ЯРОСЛАВЛЯ)
Цветков Л.Д. (независимый геоаналитик) 212
64. ГАЗОЩЕЛОЧНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЛАСТОВУЮ СИСТЕМУ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ЗАЛЕЖИ
Шахвердиев А.Х.* (МГРИ), Ренджис Цзян (GCS Group Corp.), Панахов Г.М., Аббасов Э.М. (Институт Математики и Механики НАН Азербайджана) 214
65. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ГАРТМАНА-ШПРЕНГЕРА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ БЕЗОГНЕВОВОГО ПОДОГРЕВА ГАЗА НА ГРС
Шубин А.В.*, Белоусов А.Е., Дмитриева А.С. (СПГУ) 218
66. ПОВЫШЕНИЕ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ПРИ КУЧНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ ПУТЕМ ВСТРЯХИВАНИЯ ШТАБЕЛЯ КАМУФЛЕТНЫМИ ЗАРЯДАМИ
Боровков Ю.А., Якшибаев Т.М.* (МГРИ) 220
67. ВОСТРЕБОВАННОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ГЛУБОКИХ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ В ЗФ ПАО «НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ»
Гудков С.Л. ПАО «ГМК «Норильский Никель», Несмотряев В.И., Яшин В.П.*, Яшина В.И. (МГРИ) 224

СЕКЦИЯ «БУРЕНИЕ СКВАЖИН»

68. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ УТИЛИЗАЦИИ БУРОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД (БСВ)
Апанасеко К. С.* (МГРИ) 228
69. ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИКАТИОННЫХ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ «КАТБУРР» НА АСТРАХАНСКОМ ГК
Гайдаров А.М.*, Хуббатова Ю.М.(ООО «Газпром ВНИИГАЗ») 230
70. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУРОВОГО РАСТВОРА НА ВЕЛИЧИНУ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ПЛОТНОСТИ
Галишин Р.Н.*, Леушева Е.Л. (Санкт-Петербургский горный университет) 232
71. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ВСТАВКИ STINGER В СОСТАВЕ PDC ДОЛОТА
Гаттарова М.Р.* (Шлюмберже, Департамент породоразрушающего инструмента и бурового оборудования)..... 234
72. СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ БУРОВОГО СТАНКА
Григорьев М.И., * Остапюк В.В. (МГРИ) 237
73. АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СКВАЖИНЫ
Дьяконова Д.В.*, Тунгусов С.А. (МГРИ) 239
74. ТОЧНОСТЬ ПРОВОДКИ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ СТОЛКНОВЕНИЙ СТВОЛОВ СКВАЖИН
Егоров Д.П.* (СПбГУ), Тунгусов А.А. (МГРИ), Егоров П.П. (ООО «Ай Ди Эс Навигатор») 241
75. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ И РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ БУРОВЫХ УСТАНОВОК С ГИБРИДНОЙ СХЕМОЙ ПОДКЛЮЧЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ
Завяцки С*, Куликов В.В.(МГРИ) 245
76. О ВЫБОРЕ МАТЕРИАЛА ОБСАДНЫХ ТРУБ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ
Иванов А.Г.*, Солодов И.Н.(АО «Атомредметзолото») 249
77. ВЫБОР ВИНТОВОГО ЗАБОЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ БУРЕНИЯ НАКЛОННОЙ СКВАЖИНЫ
Ишемгулова И.А.* 251

78. ЭКСПРЕСС-МЕТОД ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИЗНАШИВАНИЕ РЕЗЦОВ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА <i>Као Чунг Киен *(МГРИ), Нгуен Тиен Хунг (Ханойский горно-геологический университет), Арсентьев Ю.А., Назаров А.П. (МГРИ) .</i>	253
79. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ, ЗАТРАЧИВАЕМОЙ НА РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ЛОПАСТНЫМ ДОЛОТОМ PDC <i>Козлов Н.С.*, Арсентьев Ю.А. (МГРИ), Нгуен Тиен Хунг (Ханойский Горно-геологический университет) .</i>	256
80. ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ТАМПОНАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ СЕРОВОДОРОДНОЙ АГРЕССИИ <i>Мерненко Э. С.*, Повалихин А.С. (Департамент строительства города Москвы) .</i>	260
81. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛИМЕРНОЙ ОБОЛОЧКИ МИКРОПУЗЫРЬКОВ НА СВОЙСТВА ОБЛЕГЧЕННЫХ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ <i>Соловьев Н.В.*, Кудрявцева Д.К. (МГРИ) .</i>	263
82. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗРАЙЗЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН <i>Муфтахова С.Т. *(ООО «Газпром флот») .</i>	267
83. ПРИМЕНЕНИЕ КАРБОРУНДА (ИСКУССТВЕННОГО МУАССОНИТА) ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА <i>Назаров А.П. *(МГРИ) .</i>	271
84. ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ БУРОВЫХ ДОЛОТ В ОДНОШАРОШЕЧНОМ ИСПОЛНЕНИИ <i>Тошов Ж.Б. (Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова), Бронников И.Д., Нахангов Х.Н. *(МГРИ) .</i>	274
85. КОРРЕКЦИЯ ВЛИЯНИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ТРАЕКТОРИЮ НАКЛОННО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ <i>Овезов Б.А.*, Щербакова К.О., Соловьев Н.В., Повалихин А.С. (МГРИ) .</i>	279
86. КЕРН ПОВЫШЕННОЙ ИНФОРМАТИВНОСТИ <i>Овезов Б.А.*, Щербакова К.О., Повалихин А.С. (МГРИ) .</i>	282
87. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ КОРКИ <i>Петров А.А.*, Николаев Н.И. (Санкт-Петербургский горный университет) .</i>	284
88. ГОРИЗОНТАЛЬНО-НАПРАВЛЕННОЕ БУРЕНИЕ И ЕГО ПЕРСПЕКТИВЫ В РАЗВИТИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЯКУТИИ <i>Петров В.Л.*, Тимофеев Н.Г. (Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова) .</i>	288
89. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН С ПОДВОДНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ УСТЬЯ <i>Потапов А.В.*, Оганов Г.С. (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина) .</i>	292
90. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН СПВ В КРИОЛИТОЗОНЕ <i>Радин А.И. *(МГРИ) .</i>	293
91. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ПРИХВАТОВ БУРИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН <i>Рогов Е.А. *(Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ») .</i>	295
92. ТЕПЛОЙ СНАРЯД ДЛЯ БУРЕНИЯ ПЛАВЛЕНИЕМ С ОДНОВРЕМЕННЫМ РАСШИРЕНИЕМ ЛЕДОВЫХ СКВАЖИН <i>Сербин Д.В.*, Васильев Н.И., Дмитриев А.Н., Большунов А.В. (Санкт-Петербургский горный университет) .</i>	297
93. ПРОБЛЕМЫ ОРИЕНТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ-ОТКЛОНИТЕЛЕЙ ПРИ НАПРАВЛЕННОМ ИСКРИВЛЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН <i>Судоплатова А.А. *, Назаров А.П. (МГРИ) .</i>	301
94. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СЕРОВОДОРОДА <i>Сырчина А.С.*, Овчинников П.В. (МГРИ) .</i>	303
95. РАСЧЕТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ НА РАЗНЫХ УЧАСТКАХ СТВОЛА СКВАЖИНЫ <i>Тунгусов С.А. *(МГРИ) .</i>	305
96. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИИ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН ДЛЯ РАЗВЕДКИ И ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ШЕЛЬФЕ ЛИВАНА <i>Хотайт Р.И.*, Назаров А.П. (МГРИ) .</i>	307
97. НОВОЕ В МЕТОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЯХ ПО ВЫБОРУ ДОЛОТ PDC С УСИЛЕННЫМ АНТИВИБРАЦИОННЫМ ВООРУЖЕНИЕМ <i>Чулкова В.В. *(ООО «Газпром флот») .</i>	311

98. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИК ОЦЕНКИ ИНГИБИРУЮЩИХ СВОЙСТВ РЕАГЕНТОВ И БУРОВЫХ РАСТВОРОВ
Шидиев З.М. , Соловьев Н.В.(МГРИ) 313*
99. ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ МОРСКИЕ ПЛАТФОРМЫ
*Щербатова К.О. * , Соловьев Н.В. (МГРИ) 315*
100. ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
Щербатова К.О. , Овезов Б.А., Соловьев Н.В. (МГРИ) 317*

СЕКЦИЯ «КОСМИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ»

101. ЗНАЧЕНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ЗЕМЛИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ БАЗ ДАННЫХ В ГЕОЛОГИИ
Бузов В.М. (МГРИ) 321
102. КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР
*Дьяконов В.В. * , Верчеба А.А., Наравас А.К. (МГРИ) 324*
103. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ПРОГНОЗА СОДЕРЖАНИЙ ОКИСЛОВ В БОКСИТАХ ГВИНЕИ
Марков В.Е. , Котельников А.Е., Карелина Е.В., Котельникова Е.М. (РУДН) Дьяконов В.В. (МГРИ), Колмакова Д.А. (РУДН) 326*
104. ДИСТАНЦИОННЫЙ ПОИСК ПОДЗЕМНОЙ ПРЕСНОЙ ВОДЫ НА ПРИМЕРЕ ВОРОНЕЖСКОГО ОПЫТА
Наравас А.К. , Чумаков Ю.Ф., Ширали С.А. (МГРИ, ООО «СЭС») 328*
105. ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ИРАНЕ
Наравас А.К. (МГРИ) 330*
106. ДИСТАНЦИОННЫЕ ДАННЫЕ В ИЗУЧЕНИИ СОВРЕМЕННОГО ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ
Пижанкова Е.И. , Гаврилов А.В. (МГУ им. М.В. Ломоносова) 333*
107. КОСМОСТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ГОРАХ ЮЖНЫЙ НУРАТАУ (ЗАПАДНЫЙ УЗБЕКИСТАН)
Пирназаров М.М. (ГП «Институт минеральных ресурсов»), Ганиев И.Н., Умаров А.З. (НУУз), Ахмедов К.А (ГП «Геолинформцентр») 336*
108. ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ КАК ДИСТАНЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
Шагарова Л.В. , Канафин К.М., Муратова М.М. (НАО «КазНИТУ имени К.И. Сатпаева» ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина») 338*
109. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДЕШИФРИРОВАНИИ
Широков Д.Н. , Карелина Е.В., Марков В.Е., Шендрикова С.Г. (РУДН) 342*

СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗВЕДОЧНАЯ ГЕОФИЗИКА»

110. ОЦЕНКА ОПЦИОНОВ. МОДЕЛИ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ ОПЦИОНОВ
Абдуллаев О.Р. (ПАО «Совкомбанк», МГРИ), Поляков В.М. (МГРИ) 345*
111. ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК ВЗРЫВА
Бондаренко В.М. , Шавьер Л.де Ж.А (МГРИ) 349*
112. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА СГ-ЧД ПРИ ПОИСКАХ ЖИЛЬНЫХ ТЕЛ НА ТЕРРИТОРИИ ДЕТРИНСКОЙ ПЛОЩАДИ (МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ)
Вагин Н.В. (МГРИ) 353
113. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОРУДНОГО УЧАСТКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУКАРИ В ГИС MICROMINE
Шарафелдин Х. Э., Верчеба А.А. (МГРИ) 355*
114. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ И АУДИОМАГНИТОТЕЛЛУРИКИ НА УЧАСТКЕ КЕДРОВСКОГО БЛОКА
Вильховик В.С. (МГРИ) 359*
115. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (ВЭЗ) ДЛЯ ПОИСКОВ МАЛОГЛУБИНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ В РАЙОНЕ МАНДИША, В ОАЗИСЕ ЭЛЬ-БАХАРИЯ, ЗАПАДНАЯ ПУСТЫНЯ, ЕГИПЕТ
Гавеиш В. Р. , Мараев И.А. (МГРИ) 362*

116. ИНТЕРПРЕТАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ МАГНИТОРАЗВЕДКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ "КОСКАД 3D" (ОКРЕСТНОСТИ ДЕРЕВНИ МАНДИШАВ ОАЗИСЕ БАХАРИЯ В ЗАПАДНОЙ ПУСТЫНЕ ЕГИПТА) <i>Гавеиш В. Р.*</i> , <i>Петров А. В.</i> , <i>Мараев И.А. (МГРИ)</i>	366
117. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЯХ <i>Лозовский И.Н. (ООО «ЭГЕОС»</i> , <i>ЦГЭМИ ИФЗ РАН</i>), <i>Жостков Р.А. (ИФЗ РАН)</i> , <i>Чуркин А.А. (ООО «ЭГЕОС»</i>), <i>Гаврютина А.В.* (МГРИ)</i>	368
118. ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЛЕВЫХ РАБОТ <i>Гафиятуллина Л.Ф.*</i> , <i>Новиков П.В. (МГРИ)</i>	372
119. СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ <i>Гришков Г.А. *</i> , <i>Новиков П.В. (МГРИ)</i>	375
120. АЛГОРИТМ ЗАПОЛНЕНИЯ БАЗ ДАННЫХ И ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОТЧЁТОВ ФГБУ РОСГЕОЛФОНД <i>Гурьев А.В.* (ФГБУ Росгеолфонд)</i>	378
121. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАСТВОРЕННЫХ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ НА ПРОЯВЛЕНИЕ КАВИТАЦИИ <i>Дегтерев А.Х.* (МГРИ)</i>	379
122. КРУГОСВЕТНЫЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ КАК ТРИГГЕР СИЛЬНЫХ АФТЕРШОКОВ <i>Завьялов А.Д.*</i> , <i>Зотов О.Д.</i> , <i>Гульельми А.В.</i> , <i>Лавров И.П. (Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН)</i>	382
123. АЛГОРИТМ ХАФА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИНЕАМЕНТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ <i>Иванова Е.Э.*</i> , <i>Морочко А.Ф. (МГРИ)</i>	386
124. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ЗСБ ПРИ УТОЧНЕНИИ КОНТУРОВ НЕОГЕНОВОЙ ПАЛЕДОЛИНЫ НА ОСНОВЕ ДВУХ НЕЗАВИСИМЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ <i>Ивлева О.А.* (студент МГРИ)</i> , <i>Шустов Н.Л. (МГУ)</i> , <i>Оборнев Е.А. (МГРИ)</i>	388
125. ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО КАРОТАЖА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗОЛЬНОСТИ УГЛЯ <i>Игнатьев Н. Н.* (МГУ)</i>	391
126. ИНТЕГРАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАНОВЛЕНИЯ ПОЛЯ НАКЛОННОГО ЭЛЕКТРОПРОВОДНОГО ПЛАСТА <i>Гоголева Л.П.</i> , <i>Илларионова М.Г.*</i> , <i>Ним Ю.А. (Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова)</i>	394
127. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСЕЙШИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ИМПУЛЬСНОЙ ИНДУКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ <i>Исакова Е.П.*</i> , <i>Данильев С.М. (Санкт-Петербургский горный университет)</i>	398
128. ИНДУЦИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗАРЯДЫ И ПАРАДОКС АНИЗОТРОПИИ <i>Каринский А.Д. (МГРИ)</i>	402
129. К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЛАСТЕЙ ПРОСТРАНСТВА, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОВОЛНОВОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ <i>Каринский А.Д.* (МГРИ)</i> , <i>Кузнецов Н.М. (РАДИОНДА)</i>	407
130. МЕТОД F-АППРОКСИМАЦИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПУТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ <i>Керимов И.А. (ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН)</i>	410
131. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПОЛОСОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В СПЕКТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСА БЕРЛАГЕ <i>Кинзебулатов А.С.</i> , <i>Гурьев А.В. (ФГБУ Росгеолфонд)</i> , <i>Козин В.В. (МГРИ)</i>	414
132. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ШЛЮМБЕРЖЕ ДЛЯ СЭП НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ <i>Козин В.В.* (МГРИ-РГГРУ)</i> , <i>Гурьев А.В.</i> , <i>Кинзебулатов А.С. (ФГБУ Росгеолфонд)</i>	418
133. ОБНАРУЖЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ВОЛН ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИЗУЧЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ МЕТОДОМ ПРО <i>Кондрашков В.В.*</i> , <i>Анискович Е.М.</i> , <i>Глаголев А.Ю. (АО «ПАНГЕЯ»)</i>	423
134. НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ БЫСТРОГО ВЫБОРА СКВАЖИН ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЦИКЛИЧЕСКОГО ЗАВОДНЕНИЯ, ОСНОВАННАЯ НА МОДЕЛЯХ ДВУХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ <i>Конов Е.Д.* (МГРИ, ООО «КОНКОРД»)</i>	428
135. ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧАСТОТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЗЗ <i>Якимчук Н.А. (Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле при ИГН НАН Украины)</i> , <i>Левашов С.П. (НПП «Геопром»)</i> , <i>Корчагин И.Н.* (Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины)</i>	432

136. ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО РЕНТГЕНОФЛЮОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ МИНЕРАЛЬНОГО ВОЛОКНА <i>Кругликова Т.С.*</i> , <i>Медведев А.А.</i> , <i>Посеренин А.И. (МГРИ)</i> , <i>Жуков А.Д.</i> , <i>Ушаков Н.А. (НИУ МГСУ)</i>	437
137. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ 3D-ОБЪКТОВ В ГЕОФИЗИКЕ <i>Кудина Я.О.*</i> , <i>Родионов Е.А.</i> , <i>Белов Д.А.</i> , <i>Оборнев И.Е. (МГРИ)</i>	441
138. РАСЧЕТ БАЛКИ ЛЕЖАЩЕЙ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ, ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОБЕСПЕЧЕНИЮ СОХРАННОСТИ КОНТУРА ПОДЗЕМНОЙ ПОЛОСТИ <i>Лебедева А.С.*</i> , <i>Пименова А.В.</i> , <i>Поляков В.М.</i> , <i>Иляхин С.В. (МГРИ)</i>	443
139. СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО АППАРАТА УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМА <i>Лебедева А.Ю.* (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)</i>	446
140. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ И РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ВЕРОЯТНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ <i>Лебедева А.Ю.*</i> , <i>Скоров Д.С. (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)</i>	449
141. ПРИМЕНЕНИЕ АППРОКСИМАЦИОННОГО НЕЙРОСЕТЕВОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ГРАНИЦ ПЛОТНОСТНЫХ СЛОЕВ <i>Ляховец Д.А.*</i> , <i>Шимелевич М.И.</i> , <i>Оборнев Е.А.</i> , <i>Оборнев И.Е. (МГРИ)</i>	452
142. ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ С РАЗЛОЖЕНИЕМ ПО БАЗИСНЫМ ФУНКЦИЯМ <i>Дышин О.А.</i> , <i>Магеррамов Ф.Ф.* (Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности)</i>	455
143. ОБ ОЦЕНКЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ КОЛЛЕКТОРА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА <i>Никитин А.А.* (МГУ)</i> , <i>Плющенко Б.Д. (Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, РАН)</i> , <i>Никулин Б.А. (МГУ)</i>	459
144. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ РАДИОМЕТРИИ С ЦЕЛЬЮ РАСЧЛЕНЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА <i>Переплеткин И.А.* (ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»)</i>	463
145. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КЛАСТЕР АНАЛИЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ <i>Петров А. В. (МГРИ)</i>	467
146. АППРОКСИМАЦИОННО-НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГЕОЭЛЕКТРИКИ <i>Родионов Е.А.*</i> , <i>Шимелевич М.И.</i> , <i>Оборнев Е.А.</i> , <i>Оборнев И.Е. (МГРИ)</i>	471
147. ОЦЕНКА ПРИРОДЫ АНОМАЛИЙ РАЗРЕЗОВ МОВ-ОГТ В ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ <i>Романов В.В.*</i> , <i>Шматкова А.А.</i> , <i>Иванов А.А. (МГРИ)</i>	474
148. ВИБРОДИАГНОСТИКА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЗДАНИЯ МГРИ <i>Романов В.В.*</i> , <i>Иванов А.А.</i> , <i>Качержук С.С.</i> , <i>Бухвалова О.Б.</i> , <i>Мальский К.С.</i> , <i>Посеренин А.И. (МГРИ)</i>	476
149. СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ <i>Рябова С.А. (Институт динамики геосфер Российской академии наук)</i>	478
150. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МЕТОДА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ <i>Секерина Д.Д.*</i> , <i>Данильев С.М. (СПГУ)</i>	481
151. ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА ОПЫТНОЙ ПЛОЩАДКЕ В Г. САРАТОВЕ <i>Слинчук Г.Е.* (МГУ)</i> , <i>Лозовский И.Н. (ООО «ЭГЕОС», ЦГЭМИ ИФЗ РАН)</i> , <i>Чуркин А.А. (ООО «ЭГЕОС»)</i>	485
152. ПРОГНИЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБВОДНЕНИЯ ФРАГМЕНТА ЗАСОЛЕННОГО ПЛАСТА <i>Терехин Г.С.*</i> , <i>Поляков В.М. (МГРИ)</i>	489
153. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПРОМЫВочНОЙ ЖИДКОСТИ В МЕСТЕ ЛОКАЛЬНОГО ИСКРИВЛЕНИЯ СТВОЛА СКВАЖИНЫ <i>Тунгузов С.А.* (МГРИ)</i>	491
154. МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ БЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЙ В МАНТИИ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ НА ТЕРРИТОРИИ АНГОЛЫ <i>Шавьер Л.де Ж.А.*</i> , <i>Бондаренко В.М. (МГРИ)</i>	495
155. КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА СТАДИИ ОЦЕНКИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДЕТРИНСКОЙ ПЛОЩАДИ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ) <i>Шамсиев В.Ю. (студент МГРИ)</i>	498



156. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ НЕСТАЦИОНАРНЫХ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ И МАГНИТОРАЗВЕДКИ ПРИ РЕШЕНИИ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
Шевченко В.А. (МГРИ) 500
157. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ СОВРЕМЕННОЙ НАЗЕМНОЙ И НИЗКОВЫСОТНОЙ МАГНИТОРАЗВЕДКИ
Щербакова К.О., Овезов Б.А. (МГРИ) 502
158. ОЦЕНКА ГЛУБИНЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛОТНОСТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГИС ИНТЕГРО
Щербакова М.Н. (МГРИ), Пиманова Н.Н. (РГГУ, ФГБУ ВНИГНИ) 504*
159. К ОПИСАНИЮ ТЕМПЕРАТУРНО-БАРИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СРЕД С РАЗЛИЧНОЙ УПОРЯДОЧЕННОСТЬЮ НА ПРИМЕРЕ ХАЛЬКОГЕНИДА МЫШЬЯКА
Эмиров С.Н. (Институт проблем геотермии ДНЦ РАН), Бейбалаев В.Д. (Дагестанский государственный университет), Амирова А.А. (Институт физики ДНЦ РАН), Давудов И.А. (Дагестанский государственный технический университет), Аливердиев А.А. (Институт проблем геотермии ДНЦ РАН) 506*

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ПРИ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ

*Аладыин М.Е. (Санкт-Петербургский горный университет, m.aladyin@gmail.com),
Сычев Ю.А. (Санкт-Петербургский горный университет, sychev_yura@mail.ru)*

Аннотация

Рассмотрены основные особенности определения коэффициента мощности при различных составляющих электрической сети. Приведены основные стандарты и расчетные формулы расчета коэффициента мощности, а также результаты его вычисления в соответствии с полученными выражениями. Создана имитационная модель несинусоидальной системы электроснабжения. Обоснован алгоритм выбора технических средств для коррекции коэффициента мощности.

Ключевые слова: коэффициент мощности, определение, расчет, несинусоидальность, несинусоидальный режим, линейная нагрузка, нелинейная нагрузка.

Коэффициент мощности - безразмерная физическая величина, характеризующая потребителя переменного электрического тока с точки зрения наличия в нагрузке реактивной составляющей. Он показывает сдвиг по фазе переменного тока, протекающего через нагрузку, относительно приложенного к ней напряжения и численно равен косинусу этого фазового сдвига. Коэффициент мощности равен отношению потребляемой электроприёмником активной мощности к полной мощности. Активная мощность расходуется на совершение работы, а геометрическая является суммой активной и реактивной мощностей (в случае синусоидального тока и напряжения). В общем случае полную мощность можно определить как произведение действующих значений тока и напряжения в цепи.

Однако, как говорилось ранее, классический (общий) способ расчета коэффициента мощности возможен только в случае синусоидального тока и напряжения, что в настоящее время является редкостью ввиду того, что среди промышленных электроприемников часто встречаются электротехнические комплексы альтернативных и возобновляемых источников энергии с активными преобразователями, генераторы централизованных энергосистем с несинусоидальной формой напряжения на выходе, силовые трансформаторы, реакторы, силовые преобразователи частоты систем регулирования электроприводов, сварочные установки, электродуговые печи постоянного и переменного тока, газоразрядные осветительные устройства и другие. Таким образом, можно сделать вывод, что современные сети работают в так называемых несинусоидальных режимах.

Несинусоидальность - вид нелинейных искажений напряжения в электрической сети, связанный с появлением в составе напряжения высших гармоник, оказывающими отрицательное влияние на работу системы электроснабжения, вызывая дополнительные активные потери в трансформаторах, электрических машинах и сетях, повышенную аварийность в кабельных сетях, уменьшение коэффициента мощности за счёт мощности искажения, вызванной протеканием токов высших гармоник.

Коэффициент мощности необходимо учитывать при проектировании электросетей. Низкий коэффициент мощности ведёт к увеличению доли потерь электроэнергии в электрической сети в общих потерях. Чтобы увеличить коэффициент мощности, используют компенсирующие устройства. Неверно рассчитанный коэффициент мощности может привести к избыточному потреблению электроэнергии и снижению КПД электрооборудования, питающегося от данной сети.

В данной работе приведены способы расчета коэффициента мощности для следующих случаев: синусоидальный источник + нелинейная нагрузка, несинусоидальный источник + линейная нагрузка, несинусоидальный источник + нелинейная нагрузка, синусоидальный источник + нелинейная нагрузка + линейная нагрузка, несинусоидальный источник + нелинейная нагрузка + линейная нагрузка. Для последнего, как для самого распространенного случая выведена и проверена формула для вычисления коэффициента мощности:

$$\lambda = \lambda_1 k_{S1} (1 + k_{PH})$$

$$k_{S1} = \frac{S_1}{S}, k_{PH} = \frac{P_H}{P_1}$$

S_1 – полная мощность первой гармоники;

S – полная мощность;

P_1 – активная мощность первой гармоники;

P_H – активная мощность гармоник;

На основании выполненных исследований была разработан алгоритм выбора технических средств для повышения коэффициента мощности сети. Приведенные ранее вариации элементов сети электроснабжения являются наиболее распространенными в современных системах электроснабжения. Именно правильный расчет коэффициента мощности дает возможность правильного выбора технических средств для его повышения, алгоритм которого также приведен в данной работе.

Литература

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки дипломированных специалистов «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», «Электроэнергетика», «Приборостроение». Автор: Лев Алексеевич Бессонов. 11-е издание, переработанное и дополненное. Учебное издание. Внешнее оформление Н.Д. Горбуновой. Москва: Гардарики, 2007
2. Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А. Методы и средства коррекции показателей качества электрической энергии на предприятиях минерально-сырьевого комплекса. В сборнике: Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса Сборник научных трудов II Всероссийской научной конференции. 2018. С. 987-992.
3. Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А., Зимин Р.Ю. Оценка эффективности гибридного электротехнического комплекса для коррекции уровня несинусоидальности в автономных системах электроснабжения нефтепромыслов. Промышленная энергетика. 2018. No 1. С. 45-54.
4. Абрамович Б.Н., Сычев Ю.А., Зимин Р.Ю. Гибридная система коррекции уровня высших гармоник и обеспечения бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей нефтедобычи. Промышленная энергетика. 2018. No 11. С. 50-57.
5. Сычев Ю.А. Анализ эффективности применения гибридных систем коррекции показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса. в сборнике: инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2017 Сборник научных трудов международной научно-технической конференции. Научные редакторы В.В. Максаров, В.В. Габов. 2017. С. 223-226.

ОСНОВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТОКОВ

Александрова Ю. В. (МГРИ, aleksyu21@yandex.ru)

Применительно к энергетическому методу оценки производственных процессов в горном деле закон сохранения энергии можно выразить следующим образом: энергия, используемая в процессе производства, равна работе преодоления сопротивления материалов требуемому качественному изменению и перемещения их в пространстве.

Для горных работ сущность этого метода заключается в том, что для производства горных работ при определенной технике и технологии необходимо затратить энергию на дробление массива и получение требуемого состава горной массы по крупности, выемку и погрузку породы, перемещение и укладку ее в отвал или переработку для полезного ископаемого. При этом энергия расходуется на преодоление сопротивления рабочих органов самих машин в технологических процессах и для совершения полезной работы по переводу объекта приложения энергии (горной породы) из одного состояния в другое.

Расход первой части энергии учитывается коэффициентом полезного действия передачи энергии от источника к рабочим органам и коэффициентом полезного действия самих рабочих органов.

Расход второй части энергии зависит от технологии процесса и определяется свойствами горной породы, степенью изменения качества и состояния в процессе воздействия на неё.

Изменение качества, обусловленное технологией, представляет собой разрушение массива и создание разрыхления горной массы, подъем для погрузки, перемещение и т.п.

Вторую часть энергии, которая как бы «поглощается» горной породой в процессе производства, будем называть технологическим энергопоглощением (Ет). Измеряется оно в джоулях (ньютон на метр) [1].

Применительно к горному производству под энергопоглощением горной породой понимается расход полезной энергии для превращения массива в горную массу требуемого состава по крупности, подъёме её на высоту, перемещение и укладку в отвал для пустых пород и переработку для полезного ископаемого. При этом во время дробления массива энергия расходуется на преодоление природных сил сопротивления разрушению, при подъёме – преодоление сил гравитации, при перемещении – преодоление сопротивления движению и т.п.

Использование понятия «поглощение энергии» вместо «расход энергии» позволяет конкретизировать то обстоятельство, что расходуется полезная, а не фактически затрачиваемая энергия, выражая собой закон перехода количества энергии в качество горной массы и её перемещение.

Величина энергопоглощения зависит от свойств горных пород и от технологических параметров производственного процесса.

Основное сопротивление горной породы оказывают: в процессе подготовки горных пород к выемке - молекулярные связи, плотность горных пород и физическое состояние массива. В процессе выемки и погрузки - связанность, объемный вес, зацепление кусков горной породы, состав по крупности, трение. В процессе перемещения - объемный вес, связанность горной массы, трение. При отвалообразовании - объемный вес, зацепление, трение. При переработке - молекулярные связи, петрографический состав и плотность.

Некоторые из перечисленных свойств горных пород не являются постоянными, а изменяются под воздействием окружающей среды. Например, связанность горной массы и сопротивление внедрению ковша увеличиваются в результате слеживания горной массы, смерзаемости и т.д.

Некоторые свойства являются результатом принятой технологии или качеством выполнения работ в предыдущих процессах, например, состав горной массы по крупности, зацепление, степень разрыхления и т.п.[2].

Общее энергопоглощение горной массы будет представлять собой сумму энергопоглощения по процессам технологического потока.

Вследствие того, что энергопоглощение зависит как от свойств горных пород, так и от технологических параметров, появляется возможность сравнивать между собой в аналогичных условиях различные комплекты оборудования технологических потоков или отдельные их звенья и выбирать вариант с меньшими значениями как наиболее эффективный.

Для вывода расчетных зависимостей определения энергопоглощения необходимо рассмотреть взаимосвязь свойств горных пород с технологией производства работ по процессам в технологическом потоке [3].

В настоящее время широко развиваются исследования по физике горных пород. Накопление данных о свойствах горных пород в массиве, образце и разрыхленном состоянии и их сопротивлении при добыче позволяет использовать их в энергетическом методе исследования горных работ на карьерах.

Проанализировав энергозатраты во всех процессах подземного рудника можно сделать следующие выводы:

При проведении подземных горных выработок эффективность технологического потока, состоящего из подготовки горных пород к выемке (буровзрывные работы), выемке –погрузке и перемещении горной массы от забоя до перегрузочного пункта, зависит от свойств массива горных пород и параметров механизации и технологии в каждом процессе.

Самым энергоемким процессом является процесс подготовки горных пород к выемке, а он в свою очередь зависит от свойств массива (физических свойств, трещиноватости, горного давления) и величины степени дробления.

Литература

1. Ржевский В.В., Новик Г.Я. «Основы физики горных пород», М: Недра, 1978 г.
2. Анистратов Ю.И. «Энергетическая теория расчета технологии открытых горных работ» М. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), №6 1996 г.
3. Анистратов Ю.И. «Метод определения энергоэффективности технологий и механизации горных работ по добыче полезных ископаемых открытым способом».
4. Учебное пособие. М.: РГГРУ, 2011

ЦИКЛИЧНОСТЬ ТЕРРИГЕННЫХ ТОЛЩ В РАКУРСЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ПАРАДИГМЫ

*Алексеев В. П. * (Уральский гос. горный университет, Екатеринбург, Россия, alexseevvp48@mail.ru),*

Амон Э. О. (Палеонтологический институт РАН, Москва, Россия, edwardamon@mail.ru), Зорина С. О. (Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия, svzorina@yandex.ru), Чернова О. С. (Томский национальный политехнический университет, Томск, Россия, chernovaos@hw.ptu.ru)

Аннотация

Цикличность является неотъемлемым свойством всех процессов, характеризующих как живую, так и неживую природу. Геологические циклы разных порядков давно и плодотворно изучаются в рамках классической (линейной) парадигмы. Однако ее неизбежная смена на неклассическую (нелинейную) требует пересмотра основных средств познания, которые должны быть непосредственно вмонтированы в процесс познания. Показано, как это действует, с использованием основных понятий теории катастроф (включая аттракторы), а также адаптивного цикла. Дальнейший прогресс в изучении цикличности может быть достигнут не столько путем ее «механизирования», сколько с учетом фациальных реконструкций.

Ключевые слова цикличность, парадигма, нелинейность, теория катастроф, сейсмическая стратиграфия, адаптивный цикл, аттрактор

К настоящему времени непреложно утвердилось мнение о том, что цикличность – это неотъемлемое свойство всех явлений и событий, присущее как живой, так и неживой природе. В полной мере это относится и к геологии, для которой систематические изучения цикличности начаты в 1930-х гг. В СССР такие работы достигли существенных успехов в «доперестроечный» период, что закреплено трудами Всесоюзного совещания (г. Новосибирск, 1975 г.), а также рядом обобщающих монографий. Однако в новом Миллениуме в вопросах, связанных с изучением геологической цикличности, наметился некоторый спад. При этом для отечественных исследований свойственна определенная стагнация, а в зарубежных преимущественно наращивается фактический материал в виде «дистанционной» сейсмической стратиграфии, интенсивно используемой при изучении нефтегазоносных толщ.

2. Основной вектор в развитии и совершенствовании методологии изучения цикличности заключается в «объективизации» выполняемых построений, позволяющей осуществлять их воспроизводство. В идеале это выполняется без прямого участия наблюдателя или субъекта (С). Такой подход может быть отражен упрощенной формулой $C \leftrightarrow C_p \leftrightarrow (O)$, где C_p – средства (s. l.) познания, а O – объект исследования [8]. Он отвечает классической или линейной (linear) парадигме познания, которую можно назвать «ньютонической». В своем пределе (lim) подобный подход реализуется в виде предельно упрощенной «треугольной» цикличности, представления о которой приведены в табл. 1. Кстати, из нее следует, что даже простейшее отображение циклов может существенно по-разному производиться различными авторами.

Таблица 1

Пример недостаточности «механического» циклирования, выражающийся в противоположных названиях одинаковых форм

Тренды кривых геофизических исследований скважин (ГИС): парасеквенсы (strata.org)			Принципиальная интерпретация трендов	Циклиты [7]	
тип	гамма-каротаж GK (ГК)	электрокаротаж PS (ПС)		символ	название
5			Проградация		Рециклит
4			Ретроградация		Проциклит
3			Агградация	Не предусмотрен	
2			Проградация и ретроградация		Ре-проциклит ("ромб")
1			Агградация	Не предусмотрен	
Не предусмотрен					Про-рециклит ("песочные часы")

3. Подобное «объективизирование» неизбежно приводит к неоправданному упрощению, или «механизированию» представлений о цикличности. О недостаточности такого подхода прозорливо писал Ю. А. Жемчужников еще в 1947 г., когда утверждал, что «геологу надо мыслить циклами» [5]. Это утверждение удачно укладывается в неклассическую глобальную парадигму, базирующуюся на представлениях о нелинейности (non-linear) протекающих (в том числе геологических) процессов. Ее обобщающая формула выглядит как $C \leftrightarrow [Cp \leftrightarrow O]$, когда человек или субъект (С) задает вопрос природе или объекту (О), а последний отвечает. Но теперь ответ зависит не только от свойств изучаемого объекта, но и от средств (Ср), способа вопрошания, контекста вопроса [8]. Такая нелинейность, в частности, является объектом исследования в *теории катастроф* [3]. Применительно к главной характеристике цикличности – её **иерархии** – она показана на рис. 1.

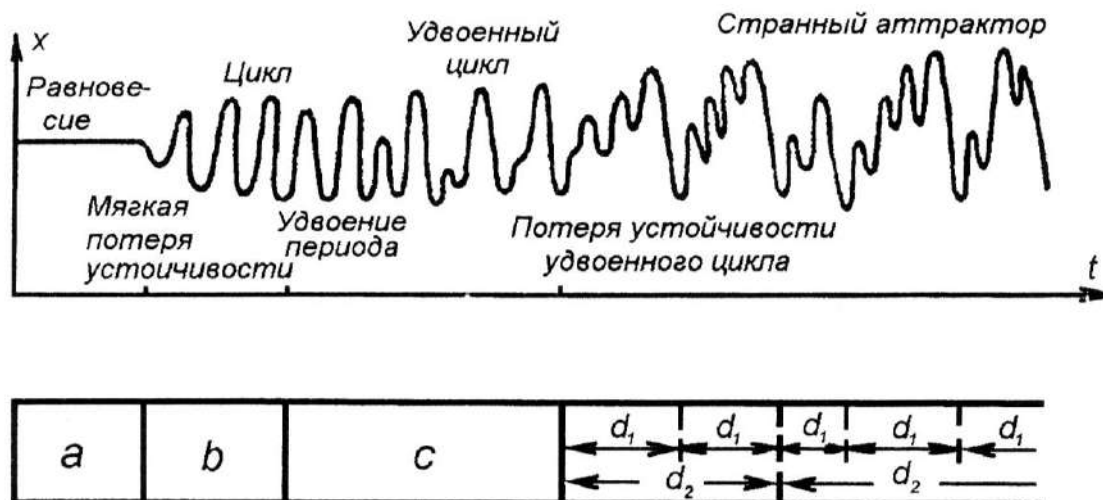


Рисунок 1. Сценарий хаотизации (А) в теории катастроф [3] и режимы осадконакопления (В): а – монотонные толщи; b – ритмы, литоритмы; с – циклиты, гемциклы; d – литоциклы I (d_1) и II (d_2) порядков

4. Приведенный выше пример иллюстрирует иерархичность цикличности в измерении 1D, в каком обычно и происходит выделение циклов (для мощных толщ – почти исключительно по скважинам). Сейсмическая стратиграфия оперирует уже представлениями в плоскости 2D (почти всегда вертикальной), что существенно усложняет «механизирование» представлений. Так, в последние десятилетия введено и широко используется понятие об *аккомодации*, заключающейся в совместной интерпретации трех важнейших геологических процессов: глобальной эвстазии, «тектонического шума» и седиментационного градиента [6]. Переводя эти представления в 3D-объем, можно интерпретировать обобщающую изменчивость системы в рамках **адаптивного цикла**, принципиальная схема которого приведена на рис. 2. Интерпретация трех координат, применительно к геологической цикличности, видится следующей: эластичность, регенерируемость (resilience) → седиментационный (фациальный) профиль; связанность, организованность (connectedness) → трансгрессия/регрессия; запас, объем (capital) → аккомодация. Формирование цикла в виде ленты Мёбиуса проходит в четыре основные стадии: r – роста (growth), k – консервации (conservation), w – высвобождения (release) и α – реорганизации (reorganization).

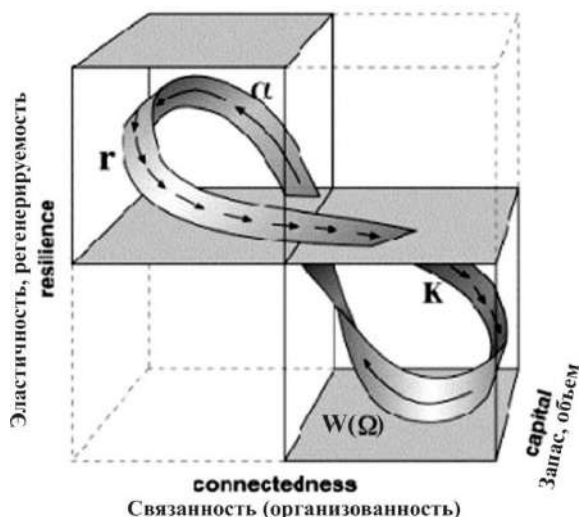
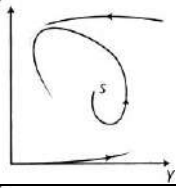
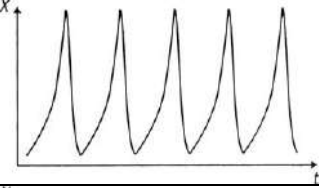
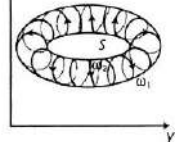


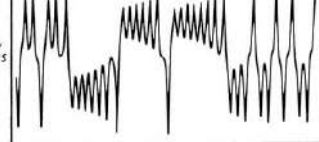


Рисунок 2. Представление адаптивного цикла в координатах связанность (организованность), эластичность (регенерируемость), запас (объем) [9]

5. Общенаучное понимание цикличности, проиллюстрированное на примере адаптивного цикла, полностью вписывается в нелинейную парадигму с позиций теории катастроф (см. рис. 1). Последовательное разворачивание из 1(2)D в 3D-модели показано в табл. 2.

Таблица 2

Основные типы аттракторов и примеры их реализации в геологических циклах

Аттракторы (притягивающие подмножества) [3]			Примеры в цикличности
Вид	Фазовый портрет	Динамика во времени	
Предельный цикл			Простое чередование двух (реже трех) типов пород: от ритмов до циклитов (b, реже с на рис. 1)
Инвариантный тор			Циклы низких порядков: начиная с c до d ₁ (преимущественно) на рис. 1
Странный аттрактор			Наиболее сложная цикличность, в основном высших порядков (d ₂ на рис. 1)

6. Переход к исследованиям в рамках неклассической парадигмы может быть сравним с лозунгом «назад, в будущее». Его реализация, связанная с участием средств познания, напрямую выводит исследователя на генетические изыскания. Их значимость исчерпывающе сформулирована Ю. А. Жемчужниковым в сжатой формулировке: «Цикличность без углубленного фацеального анализа – лишь формальный, механистический прием» [5]. Методика изучения цикличности на фацеальной основе изложена в методическом руководстве [4]; в ракурсе нелинейной парадигмы – в работе – [1] и эндовидения, рассматривающего проблему «изнутри» – в сводке [2].

Литература

1. Алексеев В.П. Нелинейно-литологические эссе. Екатеринбург: Изд-во УГГУ. 2013. 250 с.
2. Алексеев В.П., Амон Э.О. Седиментологические основы эндолитологии. Екатеринбург: Изд-во УГГУ. 2017. 476 с.
3. Арнольд В.И. Теория катастроф. М.: Наука. 1990. 128 с.
4. Ботвинкина Л.Н., Алексеев В.П. Цикличность осадочных толщ и методика ее изучения. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та. 1991. 336 с.
5. Жемчужников Ю.А. Цикличность строения угленосных толщ, периодичность осадконакопления и методы их изучения. М.: Изд-во АН СССР. 1947. С. 7-18.
6. Зорина С.О. Аккомодационно-седиментационные механизмы формирования осадочных последовательностей в платформенных бассейнах // Доклады академии наук. 2014. Т. 455. № 6. С. 672-675.
7. Карогодин Ю.Н. Седиментационная цикличность. М.: Недра. 1980. 242 с.
8. Стёпин В.С. Теоретическое знание. М.: Прогресс-Традиция. 2000. 743 с.
9. Holling C.S., Gunderson L.H. Resilience and Adaptive Cycles // Panarchy: Understanding transformations in Human and Natural Systems. Island Press. 2002. P. 25-62

ТЕХНОЛОГИЯ ОТБОЙКИ БЛОЧНОГО КАМНЯ МЕТОДОМ РАСКОЛА

Антошкина Е.В. (Старооскольский филиал МГРИ, katrina2011@mail.ru),
Иляхин С. В. (МГРИ, isv11@mail.ru)*

Аннотация

В докладе приводятся данные по разрушению отдельностей горных пород статическим методом с использованием инструмента клиновидной формы с различным углом приострения и скоростью нагружения. Установлено влияние угла приострения инструмента от 15 до 110° скорости нагружения (до 8-10 м/с) на эффективность разрушения.

Ключевые слова: статика, разрушение, горная порода, отдельности, инструмент, угол приострения, скорость нагружения.

В настоящее время особенно остро назрела проблема комплексного использования сырья в промышленности, связанной с добычей природного камня, так как выход блочного камня из недр составляет в среднем всего 30%.

В геологоразведочной и добычной отрасли, существуют различные способы отделения горных пород (блоков) от массива. Наиболее часто применяемыми являются такие способы как: буровзрывной, с применением невзрывных разрушающих смесей, с использованием гидроклиновых установок и механических клиньев, гидрораскалывающих устройств, газогенераторов [1,2,3].

В каждом из перечисленных способов есть свои достоинства и недостатки. Так, например буровзрывной способ отличается своей быстротой, дешевизной и производительностью, но при этом происходит нежелательное дробление отбиваемой массы по блочности, раскрытие залеченных трещин и наведение новой трещиноватости, что ведет к снижению качества добываемых блоков. Гидроклиновой способ имеет ограничения по высоте добываемых блоков (до 1,0 м). Клиновой самый трудоемкий и дорогостоящий, с большим объемом ручного труда, также имеет ограничения по высоте блоков, что связано с уводом магистральной трещины при увеличении высоты пласта. Помимо этого эти способы включают в себя дорогостоящую и трудоемкую операцию - бурение шпуров. В добычной промышленности существуют и другие способы добычи блоков. Это камнерезные машины и канатные установки, но использование их связано с большим комплексом подготовительных операций поэтому они не находят применения при ведении геологоразведочных работ, ввиду дороговизны и больших размеров применяемого оборудования.

Целью исследования является исключение операции бурения шпуров и усовершенствование процесса отбойки за счет формирования магистральной трещины под действием динамических нагрузок, что повлечет за собой увеличение выхода кондиционных блоков и снижение отходов производства.

Сущность метода заключается в сообщении массиву горных пород динамических нагрузок по необходимой линии раскола, путем внедрения в массив инденторов клиновидной формы под действием ударных нагрузок.

С этой целью лабораторные эксперименты проводились на образцах из пенобетона, размером 10х10х10 см. Нагрузка осуществлялась при помощи инденторов-

пуансонов клиновидной формы (*Рисунок 1*) с различным углом приострения. Изготовлены пуансоны из легированной стали и подвержены закалке. Нагружение образцов производилось на прессе вплоть до полного разрушения (раскола) образца. Количество опытов в каждом случае выбиралось в зависимости от частоты повторения получаемых данных.

Необходимо отметить, что подобные эксперименты были проведены Брыловым С.А. для изучения разрушения негабаритов (порфиритоидов) сосредоточенной статической нагрузкой. Использовались пуансоны долотчатой формы с длиной лезвия 20 мм и углами приострения 45°, 60° и 90°. При использовании долотчатых пуансонов, разрушение образцов происходило при умеренных давлениях, таблица 1.

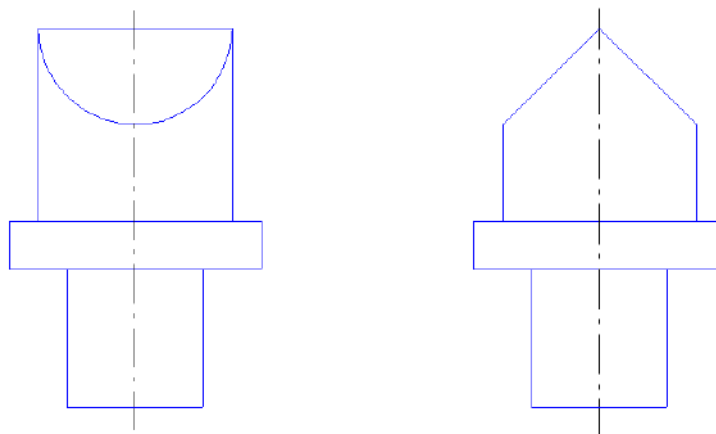


Рисунок 1. Вид инденторовнагружения

Таблица 1. Усилие раскола образцов г.п. пуансонами долотчатой формы.

ПП	Угол приострения долотчатого пуансона	Средняя разрушающая нагрузка, кг	Количество опытов
	90°	290	10
	60°	240	6
	45°	220	9

Наименьшая величина разрушающей нагрузки достигнута при угле приострения 45°. Направление трещины разрушения определялось направлением лезвия долота, что необходимо учесть при проведении опытов с породными образцами, в момент приложения динамической нагрузки.

Для уточнения и обобщения результатов, полученных Брыловым С.А., необходимо провести серию опытов по разрушению цементных образцов долотчатыми пуансонами с длиной лезвия 20 мм и углами приострения 15°, 20°, 30° и 45°. Пуансоны с углами приострения 15° и 20° также будут использованы при проведении экспериментов с цементными образцами, имеющими вспомогательную прорезь, шириной и глубиной 5 мм.

В результате проведения лабораторных экспериментов установлено, что при изменении угла приострения клиновидного индентора от 150 до 450 глубина внедрения изменялась от 5,125 до 4,25 мм, а средняя статическая нагрузка, соответственно, от 420 до 530 кгс (*Рисунок 2*). Т.е. по аналогии с данными Брылова С.А. отмечается

сходимость полученных результатов – при увеличении угла приострения увеличивается усилие разрушения. Это связано с меньшей проникающей способностью инструмента в породу и увеличением трения между поверхностью клина и породы.

Рассчитанная нами работа разрушения (с учетом нагрузки и глубины внедрения инструмента) остается примерно одинаковой и составляет 21,05-22,09 Дж.

Однако, следует отметить, что на практике, при использовании клиновидного индентора с меньшим углом приострения наблюдается быстрое притупление острого торца клина, а значит со временем энергия, необходимая для раскола образца, будет увеличиваться. На основании большого количества практических данных при бурении горных пород коронками с клиновидными вставками установлено, что наиболее эффективным является угол приострения клина равный 110° [4], при этом со временем отмечается меньшее притупление инструмента, основанное на меньшем числе заточек за один и тот же промежуток времени.



Рисунок 2. Образец после разрушения

На усилие раскола г.п. клиновым инструментом или другой формы влияет также и скорость приложения нагрузки. Так при статической нагрузке усилие раскола почти в 1,5 раза меньше, чем при динамическом расколе. По данным Брылова С.А. интенсивный рост разрушающей нагрузки лежит в пределах до 100 мм/мин (6 м/сек), далее прослеживается равномерное снижение этой нагрузки. С другой стороны, по данным результатов опытов Остроушко И.А. получены зависимости величины скорости приложения нагрузки и эффективности ударного разрушения (проведенных на различных породах при постоянной энергии удара). Установлено, что с увеличением скорости приложения нагрузки эффект разрушения увеличивается для всех испытанных образцов. Но интенсивность увеличения эффекта заметно снижается, после увеличения скорости удара выше 8-10 м/сек. Автор делает следующий вывод: для каждой породы имеется критическая скорость нагрузки, после превышения которой эффект разрушения снижается. Критическая скорость нагрузки обратно пропорциональна крепости пород.

Анализ экспериментальных данных Брылова С.А, Остроушко И.А, Шрейнера Л.А. и Павловой Н.Н. [5,6,7,8] позволяет сделать заключение о том, что при скоростях

приложения нагрузки до 6-8 м/сек прочностные характеристики горных пород изменяются незначительно, что необходимо учесть при выборе оборудования и инструмента. При скоростях приложения нагрузки свыше 8-10 м/сек происходит более интенсивный износ инструмента из-за чрезмерных контактных напряжений в местах соударения. Поэтому для проведения дальнейших исследований необходимо выбирать оборудование со скоростью приложения нагрузки в пределах с 6 до 8 м/сек, либо меньше.

Помимо этого, для нанесения ударов по инструменту в настоящее время можно использовать довольно широкий спектр оборудования. Это отбойные молотки, пневматические перфораторы, гидроударники, пневмоударники, пневм- и гидробутобой, а также получившим распространение на горных предприятиях по отбойке строительного камня, рипперы [9].

Доказана возможность раскола отдельностей горных пород статическим методом инструментом клиновидной формы. Применительно к разработке технологии по расколу блочного камня статической нагрузкой и использовании инструмента с клиновидной формой необходимо провести испытания для углов приострения от 15° до 110° . Причем, нагружение должно осуществляться с возможно меньшей скоростью, не превышая 8-10 м/с. Продолжение исследований позволит разработать бесшпуровой метод отбойки отдельностей блочного камня от массива.

Литература.

1. Ред. А.Г.Смирнов. Добыча и обработка природного камня. Справочник – М.:Недра,1990.
2. Б.Р. Ракишев, Ю.Н. Бабин, Б.Ф.Шерстюк. Техника и технология добычи гранитных блоков –М.: Недра, 1989.
3. Г.Д. Першин, Е.Г. Пшеничная. Рациональная технология шпурового способа добычи блочного камня с помощью НРС. Камень и бизнес. №1, с.31-34, 2004.
4. А.И. Булавов, Е.Ю. Проселков, Ю.М. Проселков. Бурение горизонтальных скважин. Справочное пособие. –Краснодар: Совет. Кубань, 2008.
5. Л.А. Шрейнер.Деформационные свойства горных пород при высоких давлениях и температурах.М.: Недра, 1968,
6. И.А. Остроушко. Бурение твердых горных пород. Москва : Недра, 1966.
7. С.А. Брылов. Исследование разрушения породы при местном сжатии и использование этого явления при горных работах. М.: ДД., МГРИ, 1961.
8. А.Ф. Суханов, Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. М.: Недра, 1983.
9. В.И. Супрун, В.Б.Артемьев, П.И. Опанасенко Перспективная техника и технологии для производства открытых горных работ. М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», Т.4, 2017.

ОРГАНИЗАЦИОННАЯ И ПЕРСОНАЛЬНАЯ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ В ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Арпентьева М.Р. (Калужский государственный университет
им К.Э. Циолковского, mariam_rav@mail.ru)*

Аннотация

Существует тесная связь между «организационной культурой безопасности» и способностью специалистов служб безопасности к адекватному анализу опыта несчастных случаев для предотвращения рецидивов. Цель исследования: анализ системы проблем радиоэкологической безопасности, связей между «организационной культурой безопасности» и способностью специалистов служб безопасности к адекватному анализу опыта несчастных случаев для предотвращения рецидивов. Методы исследования: теоретический анализ связей между «организационной культурой безопасности» и способностью специалистов служб безопасности к адекватному анализу опыта несчастных случаев для предотвращения рецидивов

Ключевые слова: радиоэкологическая безопасность, радиоактивные ископаемые, личная безопасность, организационная безопасность, социально-психологическая безопасность, модели безопасности

В контексте научных исследований для определения путей развития, разработки и внедрения специальных и сопутствующих экологических программ, необходимо осуществлять целенаправленное изучение и мониторинг тенденций и закономерностей изменений окружающей человека и общество среды для обоснования подходов к модернизации существующих промышленных, политических, образовательных, медицинских и иных технологий, обеспечивающих устойчивое развитие природы и общества при формировании и реформировании их отношений в рамках тех или иных кластеров и комплексов жизнедеятельности. В контексте практическом и прикладном, в реализации концепции устойчивого развития стран и сообществ, главное положение в которой занимают требования экологического характера, необходимо кардинальное изменение приоритетов в области производства и его технологий, а также в области взаимоотношений людей, в том числе гражданских обществ и государств. Особое внимание нужно в процессе установления пределов и форм антропологического, в том числе техногенного, воздействия на компоненты биосферы и ноосферы и потенциала их самовосстановления для определения степени допустимого воздействия и разработки природоохранных и культуроохранных мероприятий; необходимо обратить особое внимание на установление пределов и форм воздействия «культуры» на природу, общества на человека, государства на общество для определения нужного для их гармоничного развития и взаимодействия / сотрудничества. Усиление мер профилактико-превентивного и коррекционно-развивающего характера, внедрение традиционных экологических технологий и инновационных экологических технологий, например, «экологического дизайна» (вида проектной деятельности, проявленной в предметном и пространственном творчестве в форме не только интуитивной, но и осознанной реакции на изменения в отношениях человека с природой и собой как частью природы), позволит значительно снизить воздействие на разных этапах построения отношений людей с природой и друг с другом, в результате чего будут минимизированы затраты предприятий на восстановление нарушенных территорий, их биоценозов и «гомоценозов». Огромную роль играют и традиционные технологии «очистки» и «безотходного производства», а также - осознание социально-психологических и нравственных аспектов радиоэкологической безопасности,

воспитание экологической культуры людей и сообществ. В контексте повседневности, одной из задач современной экологии является внедрение научных разработок в жизнь всех людей и общая экологизация сознания людей, формирование новой идеологии и методологии гуманистического экоцентризма, направленной на переход к экологически ориентированной постиндустриальной цивилизации, на экологизацию экономики и производства, политики и права, образования и медицины [2; 4].

Цель исследования: анализ системы проблем радиэкологической безопасности, связей между «организационной культурой безопасности» и способностью специалистов служб безопасности к адекватному анализу опыта несчастных случаев для предотвращения рецидивов.

Методы исследования: теоретический анализ связей между «организационной культурой безопасности» и способностью специалистов служб безопасности к адекватному анализу опыта несчастных случаев для предотвращения рецидивов.

Материалы исследования: теоретические и эмпирические исследования связей между «организационной культурой безопасности» и способностью специалистов служб безопасности к адекватному анализу опыта несчастных случаев для предотвращения рецидивов.

Результаты и их обсуждение. Одной из приоритетных задач управления безопасностью является снижение риска отказов и аварий технологических объектов производственных и иных предприятий и обслуживающего их персонала. Особенностью известных методов оценки риска является их устремление на предотвращение возможных последствий аварий и принятие соответствующих мер по уменьшению потерь от аварий. Исследователи усматривают связь между «организационной культурой безопасности» и способностью специалистов служб безопасности к адекватному анализу опыта несчастных случаев для предотвращения рецидивов. В частности «концепция организационной культуры» Р. Лукаса (frame work of organisational cultures) предусматривает три различных типа организаций и моделей управленческих решений, которые определяют способность извлекать уроки из опыта для предотвращения повторения несчастных случаев [3]: организация, в которой осуществляется управление охраной труда; организация, в которой осуществляется управление рисками; организация, в которой осуществляется управление системой безопасности.

1. Организация, в которой осуществляется директивное управление охраной труда. Для нее свойственна – типичная, традиционная культура, в которой причины ошибок и несчастных случаев относят к невнимательности или небрежности работников, а также «износу» оборудования или низкому качеству сырья и т.д. Обыденные представления о причинах несчастных случаев и ЧС опираются на иллюзию того, что специалист всегда совершает осознанный и самостоятельный выбор, выполняя более или менее безопасными способами тот или иной тип работ. Несчастные случаи и ЧС – события, непосредственно следующие из ошибок труженика, в том числе из-за недостатка у него «здорового смысла» и компетентности, проблем психофизического состояния или иных причин. Часто они описываются как результат халатности или злого умысла людей. За ошибки требуется наказание: зная о нем, другие люди будут ошибаться с гораздо меньшим «энтузиазмом», и безответственность. Поэтому дисциплинарные меры преобладают над мерами по устранению системных недостатков и, тем более, поощрения сотрудников. Цель управления - уменьшение или ликвидация внешних, очевидных причин, способствующих возникновению инцидентов. Она также связана с выявлением степени и характера вины работника как основной причины несчастного случая. Насколько этот поход непродуктивен, хорошо иллюстрируют события аэрокосмической области в

России, а также многие факты нарушений в деятельности АЭС на территории бывшего СССР, многочисленные нарушения, связанные с утилизацией оружия и, особенно, отходов его производства. Подход, ориентированный на «поиск виновного», рассматривает «человеческие ошибки» как ведущие причины несчастных случаев. С одной стороны, опасные условия (конструктивные недостатки, несовершенство, недостаточная надежность оборудования и несовершенство технологического процесса и т.д.) и действия (нарушение технологического процесса, неприменение средств индивидуальной и коллективной защиты, нарушение трудовой и производственной дисциплины и т.д.) можно рассмотреть как следствие «дефектов» системы безопасности. Однако, с другой стороны, опасные условия и действия – это предпосылки, провоцирующие реализацию более непосредственных причин (столкновение с объектом, передозировка и т.д.), приводящих к ЧС, травмам и т.д.. Ведущие же причины, определяющие непродуктивность и неэффективность действий работника или условий и обстоятельств коллапсов и инцидентов, обычно не исследуются. Это создает условия повторения и усугубления нарушений и происшествий.

2. Организация «смешанного типа», в которой реализуется переходная модель менеджмента - менеджмент рисков (он игнорирует моносубъективные и интересубъективные формы управления). В целом, практикуется инженерный (технократический) взгляд на человеческие причины ошибок. Ошибки и несчастные случаи представляются как результат несоответствия работника его окружению. Меры по улучшению ситуации объединяют конструктивные изменения рабочих мест, НОТ и разработку программ и инструкций по охране труда, совершенствования отбора и обучения кадров, оптимизацию технологических процессов и процессов. Ведущее понятие риск-менеджмента – понятие экологического риска. Это понятие говорит о вероятности наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной и социальной сред (биосферы и ноосферы). Обычно речь идет о том, что риск обусловлен негативным воздействием и некачественным исполнением человеческой деятельности («антропологической нагрузкой»), а также ЧС техногенного и, реже, природного характера. Несоответствие или некачественное исполнение человеком своих обязанностей проявляется как несоответствие того, что он делает внутренним и внешним законам биоценозов и «гомоценозов». Это автоматически приводит к разбалансировке, к росту рисков экологических катастроф разного типа и масштаба. Экологический риск оценивается как пренебрежимый, приемлемый и предельно допустимый экологический риск минимальный, средний и максимальный уровни экологического риска, исходя из совокупности неблагоприятных для экологии воздействий. Выделяется также и индивидуальный экологический риск. Последний связан с вероятностью того, что специалист в ходе деятельности испытает неблагоприятное экологическое воздействие. Он связан с экологической опасностью в конкретных времени и в месте (ситуации или ситуациях), где прибывает индивидуум. Индивидуальный риск характеризует распределение риска в пространстве и времени жизни человека как профессионала и как обывателя. По мнению исследователей, в структуре рисков на так называемый «человеческий фактор» приходится как минимум $\frac{3}{4}$ рисков, а на техногенные и природные факторы – около 1/10 и даже 1/100. Поэтому понятно, что для организации и государства задача обучения и воспитания безопасного поведения членов организации, общества, в том числе по отношению к себе и миру, является ведущим моментом профилактики ЧС и иных рискованных ситуаций. Будущее человечества зависит в этом контексте не столько от решения технических проблем безопасности жизнедеятельности, сколько от изменения внутренней сути человека, трансформации его жизненных ценностей. Поэтому обучение безопасности

жизнедеятельности нужно рассматривать как формирование элементов экологической культуры. В нее входят аспекты, связанные с возможностью и необходимостью обеспечения установления гармоничных отношений между человеком и его техникой, человеком и его природной средой, человеком и другими людьми, как воспитание и укрепление ответственности человека за сохранение собственного и общественного здоровья и жизни на Земле в целом.

3. Организация, в которой осуществляется интересубъективное управление единой системой безопасности как система организационного (взаимо)обучения и т.д.. Причины и последствия, картины инцидентов и ЧС в ней и осмысляются в контексте общего развития организации и безопасности производства с точки зрения технологической, экономической, правовой и нравственно-идеологической, социально-психологической и психофизиологической. Причины ошибок раскрываются как системные. С одной стороны, ошибаются или даже вредят системе люди, но исправляет и предупреждает ошибки система менеджмента. За ошибки работников не наказывают, но совместно исследуют и исключают их причины (традиционные аспекты, например, недостатки в организации рабочих мест или опасные способы выполнения работ, и нетрадиционные, например, нечетко обозначенные обязанности, негативный психологический климат и т.д.). Цель системы - предотвращение несчастных случаев и ЧС. Она работает на основе анализа реальных рисков, явно или латентно присутствующих в работе организации. Здесь мало соблюдать стандарты и руководства по эксплуатации технологий. Соблюдение правил необходимо, но недостаточно для поддержания или повышения безопасности как системного феномена. Меры по увеличению надежности технических и иных объектов, созданию алгоритмов безопасного совместного управления ими, разработке совершенных средств и способов защиты и создание условий самореализации сотрудников невозможны без учета человеческого фактора. Учет этого фактора в процессе обеспечения безопасности может достигаться путем развития новой системы ценностей, в частности, в рамках шестого и седьмого технологического укладов, - понимания человека как центральной ценности и цели деятельности организации. Это требует формирования и внедрения, укрепления и воспитания традиций и форм безопасного поведения, т.е. формирования интегративной культуры безопасности как культуры заботы об индивидуальном и общественном благе организации как носительницы значимой для общества, государства, для самой себя, организационной миссии [1].

Литература

1. Арпентьева М.Р. Экологические эссе: от экологической безопасности до экологического туризма. Калуга: КГУ, 2018. 384с
2. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий / Под ред. Н.И. Санжаровой и С.В. Фесенко М.: РАН. 2018 – 278 с.
3. Lucas R. Political-Cultural Analysis of Organizations // Academy of Management Review. 1987. №12(1). P. 144-156.
4. Spiridonov, S.I. & Mikailova, R.A. Comparative Radioecological Assessment of Serious-Accident Scenarios in NPP on the Basis of the Risk for Natural Communities // Atomic Energy. 2019. Vol. 125. P. 198-203.

СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Арпентьева М.Р. (Калужский государственный университет им К.Э. Циолковского, mariam_rav@mail.ru)*

Аннотация

Современные исследования радиоэкологической безопасности - сфера полидисциплинарных исследований, в которую включены работы в области естественных и гуманитарных наук, осуществляемые на уровне теоретико-методологического и практико-прикладного изучения процессов и результатов человеческой деятельности по добыче, переработке, использованию и утилизации отходов применения радиоактивных ископаемых, а также изделий из них. Решение этой проблемы важно в связи с тем, что экологическая ситуация в России и мире в целом является не только крайне неблагоприятной, но и активно ухудшающейся: антропогенное воздействие человека на природную среду уже перешло допустимые для обеспечения текущей и будущей безопасности уровни, особенно там, где человек вмешивается и загрязняет природу и иные среды своего обитания, в результате масштабных манипуляций с ископаемыми ресурсами и т.д. на физико-химическом и биохимическом уровнях. В решении задачи обеспечения безопасности в радиоэкологической сфере выделяются три ведущих модели обеспечения и укрепления защищенности, последовательно движущихся от физико-химических и социально-психологическим и идеологическим аспектам личной, групповой, организационной и общественной безопасности. В рамках этих моделей не только по-разному осмысляются проблемы приемлемого и предельно допустимого риска, но и само отношение человека к себе и миру, которые становятся причинами катастроф и чрезвычайных ситуаций в его собственной жизни и жизни окружающих. Множественность моделей при этом отображает необходимость системного анализа проблем радиоэкологической безопасности, теоретическую и практическую интеграцию разных аспектов возникновения, существования и разрешения связанных с радиоэкологической и «антирадиоэкологической» деятельностью человека.

Ключевые слова: радиоэкологическая безопасность, радиоактивные ископаемые, личная безопасность, организационная безопасность, социально-психологическая безопасность, модели безопасности

Современные исследования радиоэкологической безопасности - сфера полидисциплинарных исследований, в которую включены работы в области естественных и гуманитарных наук, осуществляемые на уровне теоретико-методологического и практико-прикладного изучения процессов и результатов человеческой деятельности по добыче, переработке, использованию и утилизации отходов применения радиоактивных ископаемых, а также изделий из них [2;5; 7]. Решение этой проблемы важно в связи с тем, что экологическая ситуация в России и мире в целом является не только крайне неблагоприятной, но и активно ухудшающейся: антропогенное воздействие человека на природную среду уже перешло допустимые для обеспечения текущей и будущей безопасности уровни, особенно там, где человек вмешивается и загрязняет природу и иные среды своего обитания, в результате масштабных манипуляций с ископаемыми ресурсами и т.д. на физико-химическом и биохимическом уровнях [3; 6]. При этом ранее научно-технический прогресс оценивался как фактор и условие благополучия человека, а в современном мире из-за разрушающего техно-антропогенного воздействия человека на природную

среду, из-за угроз разрушения глобального равновесия и исчезновения жизни на Земле, данное понимание изменяется. Антропогенные факторы воздействуют на состояния и устойчивость соматического, физического, нравственного, социального здоровья населения. Многоаспектное и многоуровневое взаимодействие разрушающейся природы и разрушающейся культуры, флоры и фауны, территорий и акваторий и сообществ, осуществляется на фоне быстрого и опасного ухудшения экологической безопасности. В России также, как и в мире в целом, нарастает неблагоприятная тенденция в области экологии, характеризующаяся повышенным антропогенным воздействием на окружающую среду, снижением качества жизни и ухудшением здоровья населения. Ряд регионов страны находится в состоянии, свойственном зонам чрезвычайной экологической ситуации, экологического бедствия. Многие из этих зон зоны нефтехимического и атомного производства, зоны вырубki лесов и грабительского использования водных ресурсов, зоны бытовых свалок и хранилищ отходов предприятий. Данные «бедствия» имеют, что самое опасное, постоянный характер, нормализовались. В ответ на такую нормализацию обычно наступает «шоковая терапия» масштабных ЧС. Однако, возможен и иной путь: целенаправленная деятельность по восстановлению экологии, гармонизации отношений человека с собой и миром.

Цель исследования: анализ системы проблем радиоэкологической безопасности.

Методы исследования: системный анализ личностных и организационных аспектов обеспечения, укрепления и восстановления радиоэкологической безопасности.

Материалы исследования: теоретические и эмпирические модели и аспекты проблемы обеспечения, укрепления и восстановления радиоэкологической безопасности.

Результаты и их обсуждение. Интегративный анализ моделей и исследований по обеспечению, укреплению и восстановлению радиоэкологической безопасности позволяет выделить ряд важнейших моментов (контекстов). Исходя из понимания радиоэкологической безопасности как совокупности процессов и действий людей и организаций, включенных в создание и потребление продуктов ядерной промышленности, подчеркнем, что данные действия и процессы должны обеспечивать экологический баланс в окружающей среде. Очень важно, чтобы они не приводили к жизненно важным ущербам (или угрозам таких ущербов), наносимым природной среде и человеку. По сути, человек мог бы и нуждается в том, чтобы создать к миру, в котором он живет, такое же отношение, как к заповеднику. Сложившийся уровень безопасности определяется размерами вероятного риска. Оценка риска включает вероятность возможных техногенных и иных катастроф, например, взрывов АЭС, «удачных» и неудачных испытаний ядерного оружия, превращения части территорий и акваторий в резерваты для хранения радиоактивных отходов и т.п. Она также включает учет более или менее «скрыто» протекающих деструктивных процессов добычи, переработки, утилизации отходов переработки радиоактивных ископаемых, а также продуктов, созданных в процессе данной переработки. Повышение этого уровня, как мы наблюдаем на примере многочисленных АЭС, зон испытаний ядерного оружия, нефтехимических и иных производств, со временем приводит к взрывам, вплоть до масштабных ЧС. К последствиям нарушения радиоэкологической безопасности относят и собственно экологические проблемы, и социально-психологические конфликты по поводу данных проблем, то есть проблемы культуры человеческих отношений. Деформация культуры приводит к нарушениям экологии, а те, в свою очередь, вновь порождают деформации культурных отношений (смертям и потерям, вынужденным миграциям и переселениям, конфликтам и столкновениям государства,

бизнеса и общества по поводу исследования причин и ликвидации последствий аварий, претензиям государств, оказавшихся вовлеченными в ситуацию благодаря масштабности экологических и культурных последствий ЧС и т.д.). При этом важно внимание как к явным, «первичным» аспектам безопасности (соблюдение технологического регламента добычи, переработки и утилизации отходов радиоагрессивных производств, испытаний ядерного оружия и устройств, функционирующих на ядерном топливе и/или производящих его, профилактика и пересечение деятельности террористических организаций и т.д.), так и к «вторичным», латентным факторам радиоэкологической безопасности. Отсутствие внимания к ним, как показывают современные форсайт-исследования, приводит к «неожиданным», но не о того не менее гарантированным масштабным коллапсам в сфере экономики и политики, деструкциям правовых отношений и нравственной деградации человека. Типичная форма таких коллапсов - чрезвычайные ситуации - приводят к экономическим, политическим, юридическим потерям и деформациям, сопровождаются человеческими жертвами, причиняют ущерб психическому, соматическому и нравственному здоровью людей. Осмыслить выраженность и характер социальных и организационных потерь в результате радиационных заражений и катастроф порой весьма сложно. Дело в том, что последствия таких ЧС, в том числе катастроф, имеют обычно, свойство накапливаться и изменяться, при этом значимость различных факторов заражения, вплоть до «местных», парциальных стимулирующих флору и фауну, а также самого человека эффектов, во времени и пространстве может быть очень разной. Еще сложнее бывает осмыслить в едином контексте и социальные потери, и экономический ущерб: опыт Чернобыльской и иных АЭС СССР показал, что обычно жертвовали людьми, жертвовали биоценозами, а не экономическими и политическими интересами. Поэтому необходимо, как полагал В.И. Вернадский, осмыслить масштаб влияния человека: его деятельность стала поистине геологической силой [2]. Эта сила изменяет мир, приводя его на грань тотальной, планетарной экологической катастрофы. При этом развитие человека и человечества лишь кажется возможными в результате постоянного нарушения естественного равновесия в окружающей среде. Развитие – не есть развитие постоянно, имманентно конфликтное и сопровождающееся более или менее локальными экологическими кризисами [1; 3; 4]. Развитие может быть гораздо более гармоничным, направленным – в иную, по сравнению с сиюминутными ценностями экономического и промышленного успеха, - сторону.

Современные ученые разрабатывают комплексные модели оценки экологических дисгармоний и катастроф, включая исследования радиологических последствий ядерных аварий [6; 7; 8]. К числу приоритетных направлений радиоэкологической безопасности относятся: предотвращение загрязнения природной среды за счет повышения степени безопасности технологий, связанных с захоронением и утилизацией токсичных промышленных и бытовых отходов; предотвращение радиоактивного загрязнения окружающей среды, минимизация последствий, произошедших ранее радиационных аварий и катастроф; экологически безопасное хранение и утилизация выведенного из боевого состава вооружения, прежде всего атомных подводных лодок, топлива атомных электростанций; принятие неотложных природоохранных мер в экологически опасных регионах Российской Федерации и всего мира. Однако, человек, общество, государство не могут быть гарантами экологической безопасности, пока продолжают нарушать устойчивость и биотическую регуляцию окружающей природной среды, а также устойчивость и гармоничность сосуществования и жизнедеятельности разных групп людей, сообществ и стран. В.И. Вернадский ещё в 20-х годах XX века утверждал, что человечеству придется взять на

себя ответственность за развитие природы и общества, что потребует формирование таких нравственных основ поведения, которые бы позволили человеку ощущать ответственность по отношению к природе и культуре, к биосфере и ноосфере. Человек должен взять на себя ответственность за взаимоотношения как с животными и растениями, так и себе подобными. Экологическая ответственность это, прежде всего, ответственность перед людьми, в том числе, будущими поколениями. Она включает ответственность за их счастье, психологическое, духовное и физическое здоровье, которое, конечно же, невозможно, если природа и культура не будут находиться в гармонии, не будут оберегаться и развиваться. Если человек не будет решать проблемы экологической безопасности [2]. В настоящее время существуют три модели нарушений экологической безопасности:

1) модель, в рамках которой первичными аспектами являются проблемы технологических нарушений и их последствий на уровне материальных и людских ресурсов;

2) модель, в рамках которой обсуждается сложная природа феноменов радиоэкологической безопасности и радиоэкологических нарушений, в том числе влияние особенностей места, времени, субъектов и иных особенностей радиационного загрязнения / чрезвычайной ситуации / экологической катастрофы на их последствия на экономическом, идеологическом, психологическом и т.д. – уровнях;

3) модель социально-психологических причин и последствий нарушений радиоэкологической безопасности, включая причины и последствия организационного уровня (деструктивный, некомпетентный менеджмент и т.д.) [5].

Роль последней модели на сегодняшний день, признается при этом, практически во всем мире, ведущей: несмотря на то, что многие исследования продолжают осуществляться в рамках биохимических, географических, физико-химических и иных естественно-научных изысканий, «гуманитарная» составляющая проблемы оказывается существенно важнее.

Литература

1. Арпентьева М.Р. Экологические эссе: от экологической безопасности до экологического туризма. Калуга: КГУ, 2018. 384с
2. Вернадский В.И. Труды по радиологии. М.: Изд-во «Наука», 1997. 340с.
3. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий / Под ред. Н.И. Санжаровой и С.В. Фесенко М.: РАН. 2018. 278 с.
4. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В., Николкин В.Н. Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем. Том I. Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2014. 496 с.; Том II. Екатеринбург: Изд-во "АкадемНаука", 2016. 480 с.
5. Arpentieva M.R. Consequences of radiation accidents // Recent trend in Science and Technology management. London: Scieuro, 2017. № 1, V.2. P. 170-187.
6. Friend M.A., Kohn J.P. Fundamentals of Occupational Safety and Health. New York: Bernan Press, 2014. 560 p.
7. Spiridonov S.I., Aleksakhin R.M., Spirin E.V. Generalized approach for comparative assessment of radiation effects of nuclear fuel cycles on biota // Atomic Energy. 2015. Vol. 118, No. 6. P.340–345.
8. Spiridonov, S.I. & Mikailova, R.A. Comparative Radioecological Assessment of Serious-Accident Scenarios in NPP on the Basis of the Risk for Natural Communities // Atomic Energy. 2019. Vol. 125. P. 198-203.

ОРГАНИЗАЦИЯ СЕЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Бабурь К.В. (Санкт-Петербургский горный университет, 77kir09@bk.ru),
Пеленев Д.Н. (Санкт-Петербургский горный университет, d.pelenev@mail.ru)*

Аннотация

Рассмотрены основные особенности электроснабжения предприятий горнодобывающей отрасли, определяющие принципы организации защиты от однофазных замыканий на землю. Предложены мероприятия по повышению чувствительности действия защиты при возникновении небалансов по току и напряжению нулевой последовательности, а также при появлении кратковременных однофазных замыканий на землю.

Ключевые слова: селективность защиты, небалансы тока и напряжения нулевой последовательности, кратковременные однофазные замыкания.

Однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) являются наиболее распространенным видом аварийных повреждений (75-80 % от общего числа аварийных случаев) в распределительных электрических сетях напряжением 6-10 кВ, что сопряжено со значительным количеством перерывов в электроснабжении добычных машин и механизмов, вследствие выхода из строя ответственного электрооборудования. Для минимизации ущербов в электрических сетях 6-35 кВ по причине однофазных замыканий на землю необходимо применять эффективные средства релейной защиты и автоматики, позволяющие селективно выявлять поврежденное присоединение и своевременно устранять возникшее ОЗЗ путем отключения поврежденного участка сети.

Одним из решений проблемы повышения чувствительности действия защиты от однофазных замыканий на землю стало использование разделительных трансформаторов, предназначенных, в первую очередь, для потенциальной развязки электрической сети поверхностного и подземного комплекса. Было предложено устанавливать их на линиях с наибольшим коэффициентом долевого участия в общем токе ОЗЗ (рис.1), что позволяет увеличить соотношение между собственным емкостным током линии и суммарным током замыкания на землю сети, вследствие чего происходит повышение чувствительность действия защиты от ОЗЗ [1, 2].

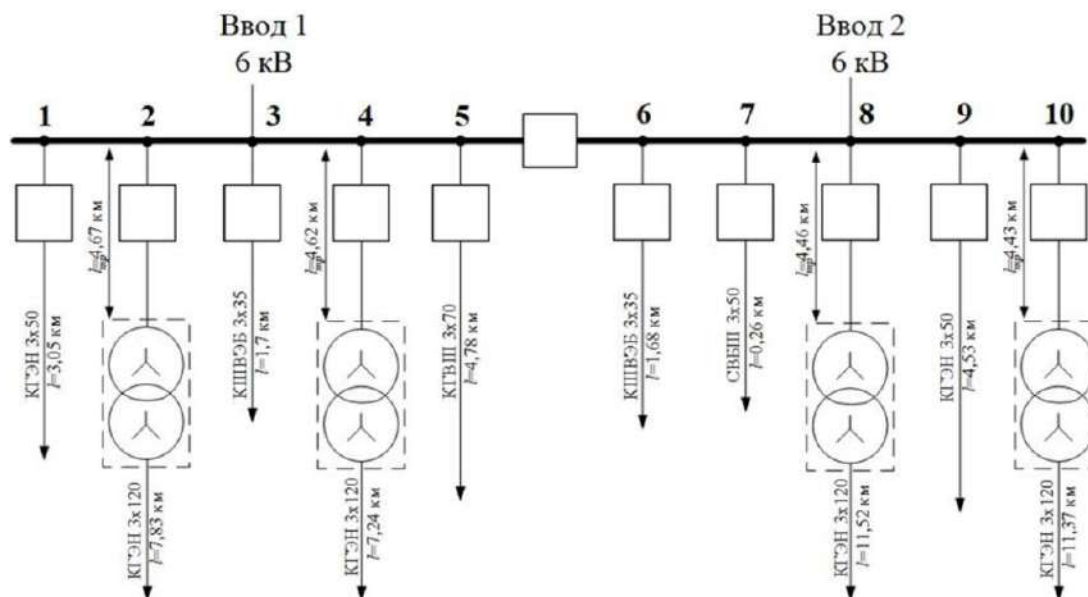


Рисунок 1. Упрощенная схема объекта 6 кВ угледобывающего предприятия с указанием места установки разделительных трансформаторов

В результате исследований эффективности функционирования защиты от ОЗЗ в электрических сетях среднего класса напряжения угольных предприятий были выявлены случаи неселективного действия защиты в нормальных режимах работы сети. Основной причиной ложных срабатываний защиты являлся неучёт величин небалансов по току и напряжению нулевой последовательности при расчете и выборе уставок защиты. В этой связи была разработана методика определения небалансов по току и напряжению в зависимости от причин, вызывающих их возникновение, а так же было установлено, что с целью исключения вероятности возникновения ложных срабатываний защиты от ОЗЗ, необходимо выбор тока срабатывания осуществлять с учетом возможных небалансов [3].

В ходе дальнейших исследований были выявлены неселективные срабатывания защиты от однофазных замыканий на землю при кратковременных однофазных замыканиях (КрОЗЗ). Одиночные КрОЗЗ, сопровождающиеся значительными по продолжительности бестоковыми паузами, не представляют большую опасность для электрической сети, но цепочка из постоянно появляющихся и исчезающих ОЗЗ (рис. 2) предшествует появлению большинства устойчивых и дуговых замыканий на землю.



Рисунок 2. Осциллограмма действующего значения тока нулевой последовательности поврежденной линии в режиме КрОЗЗ

С целью организации селективного действия защиты разработан алгоритм действия, позволяющий фиксировать появления КрОЗЗ за определенный участок времени, сигнализировать о наличии опасных КрОЗЗ и отключать опасные КрОЗЗ, а также отключать металлические, дуговые и возникающие через переходное сопротивление замыкания.

Разработанная методика выбора уставок и проверки чувствительности действия защиты от ОЗЗ в условиях высокой неоднородности электрической сети и существования небалансов по току и напряжению нулевой последовательности, а также разработанный алгоритм действия защиты, обеспечивающий селективное выявление поврежденного присоединения в условиях возникновения разных режимов ОЗЗ позволяют повысить эффективность функционирования предприятий по добыче твердых полезных ископаемых.

Литература

1. Пеленев Д.Н., Бабырь К.В., Бабырь В.В. Повышение чувствительности защиты от однофазных замыканий на землю электрических сетей 6-10 кВ угольных предприятий / Горное оборудование и электромеханика, № 3, Т , 2017. С 24 - 27.
2. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. СПб.: ПЭИПК – 4-е изд., перераб. и доп. –2003.
3. Пеленев Д. Н., Бабырь К. В., Повышение селективности и чувствительности действия защиты от однофазных замыканий на землю электрических сетей 6-35кВ предприятий минерально-сырьевого комплекса / Институт энергетики и транспортных систем. Ч.2. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. С 45 - 47.

ПРОГНОЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ БЕЗ УЧИТЕЛЯ

Балашов Д. А.

(ООО «Газпромнефть НТЦ», Санкт-Петербург, Россия, Balashov.DA@gazpromneft-ntc.ru)

Аннотация

В работе представлена разработанная методика для выделения продуктивных интервалов в скважинах с помощью кластерного анализа и оценки продуктивности скважин по полученным при кластеризации результатам.

Ключевые слова: промышленные характеристики скважин, стартовый дебит, машинное обучение, кластеризация, регрессия, РИГИС.

При построении геологических моделей важно иметь на руках петрофизическую интерпретацию для получения разбивки по интервалам коллектор-неколлектор. Проведение интерпретации ГИС достаточно трудоемкий процесс, а во время интенсивного бурения на новом объекте важно получать обратную связь по качеству коллектора в пробуренных скважинах максимально быстро и без сильных допущений. Более того, не имея полноценной геологической модели на стадии ввода в разработку, было бы полезно иметь инструменты помимо аналитических уравнений фильтрации для оценки продуктивности проектных скважин. В работе представлена методика, которая на базе алгоритмов машинного обучения без учителя и с учителем позволяет это делать.

Первым этапом является проведение кластерного анализа каротажных кривых, который позволяет разбить вскрытые интервалы на кластеры, которые затем с помощью присутствующих в части скважин РИГИС распределяются в группы коллектора и неколлектора.

Для обкатки методики было взято одно из месторождений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, которое является однопластовым с пластово-сводовым типом залежи, и приурочено к стратиграфическому горизонту Ю₁¹. Среди присутствующих каротажей были отобраны базовые, замеренные во всех скважинах месторождения (ГК, ПС, НК, БК, ИК, комплекс БКЗ, МБК, комплекс ВИКИЗ).

После поскважинной нормализации каротажных кривых и исключения аномальных значений, применяются алгоритмы машинного обучения без учителя для оценки их эффективности и выбора наиболее подходящего алгоритма.

В процессе разработки методики был настроен способ выбора лучшего в конкретной задаче алгоритма без погружения в множество метрик оценки качества кластеризации. Метод основан на сравнении группирования наблюдений алгоритмами с разбиением на группы коллектор-неколлектор по РИГИС (в скважинах, где присутствует РИГИС) не ниже заданной пользователем точности по каждому кластеру отдельно, после чего происходит расчет общей точности разбиения, и алгоритм, показывающий наибольшее схождение, считается оптимальным.

В работе были применены алгоритмы K-means, Agglomerative Clustering и Spectral Clustering для сравнения. Точность выделения коллектора алгоритмами при сравнении с РИГИС составляет 76.1%, 74.9% и 75.4% соответственно, что указывает на то, что оптимальным алгоритмом является K-means при поиске оптимума по количеству кластеров, равному десяти.

Результат выделения продуктивных интервалов алгоритмом K-means представлен на Рисунке 1.

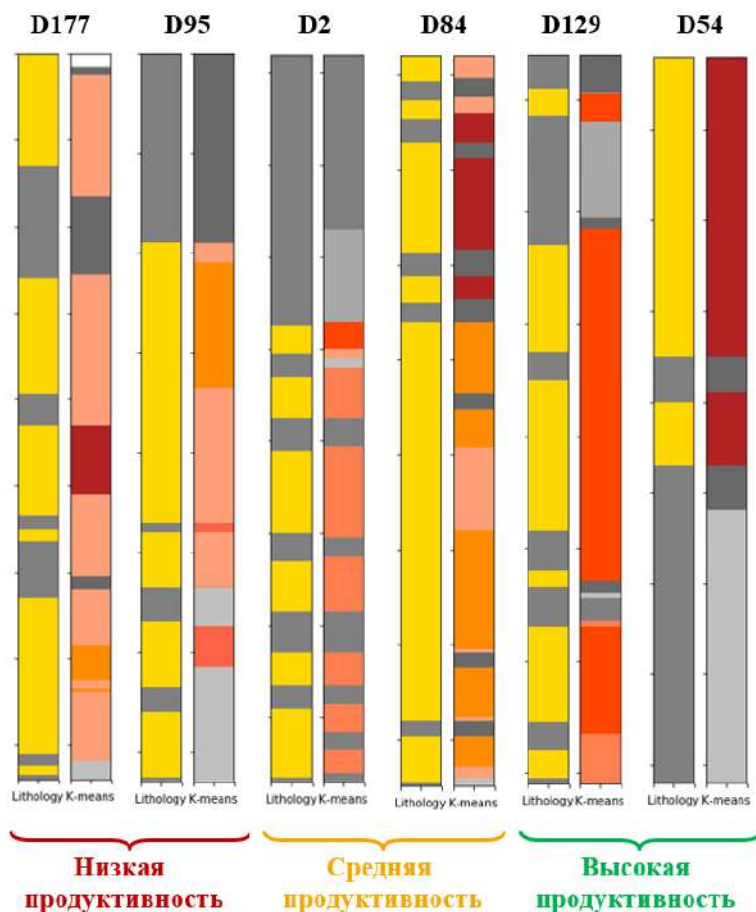


Рисунок 1 – Сравнение полученного результата с РИГИС

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что высокопродуктивные скважины характеризуются преобладанием своих типов кластеров, в то время как низкопродуктивные – своими. Поэтому было необходимо реализовать эту связь в численном виде с помощью решения задачи регрессии.

В качестве признаков использовались толщины кластеров, депрессия и время, через которое вводятся скважины от начала разработки. Целевыми функциями являлись стартовые дебиты нефти и жидкости на скважинах. Для реализации прогноза стартовых дебитов была обучена модель градиентного бустинга, гиперпараметры которой настроены поиском оптимума с помощью средней абсолютной ошибки при кросс-валидации. Ошибка прогноза стартового дебита нефти составляет 6.6 т/сут., по жидкости – 9.1 м³/сут.

Методику было интересно применить для поиска наиболее перспективных участков на месторождении для уплотняющего бурения. Для решения этой задачи был применен метод кубической интерполяции толщин каждого кластера в межскважинное пространство, что позволило собрать группу наблюдений с заданной дискретизацией в межскважинном пространстве. Для обоснования депрессии на проектных скважинах собрана статистика по забойным давлениям с пробуренных скважин, а также

статистика по динамике пластового давления, что позволило обосновать стартовую депрессию на скважинах.

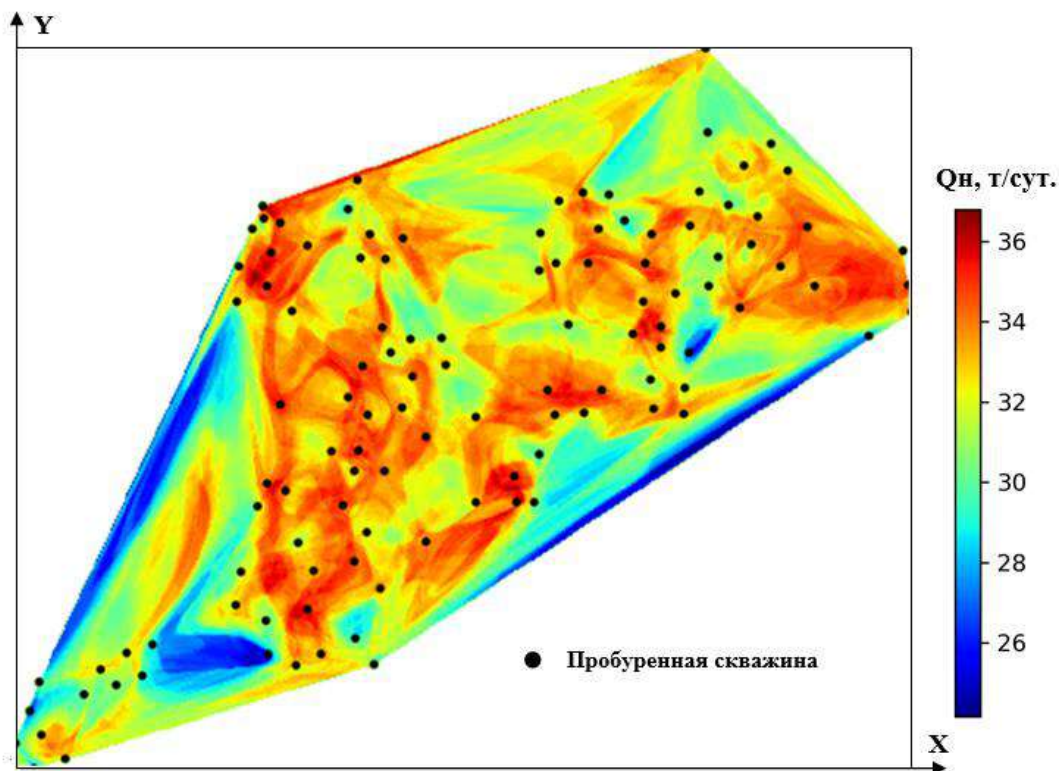


Рисунок 2 – Карта прогнозного стартового дебита нефти на месторождении

На базе обученной модели были получены прогнозные значения стартовых дебитов нефти и жидкости. Карта стартовых дебитов нефти представлена на Рисунке 2.

Методика может быть применена для широкого спектра задач, как геологических, так и связанных с проектированием разработки месторождения. Следует отметить, что основным ее преимуществом над использованием алгоритмов машинного обучения с учителем для выделения продуктивных характеристик является отсутствие человеческого фактора, который может быть заложен при обучении. На данный момент методика реализована на базе Jupyter Notebook и может быть использована специалистами, не являющимися экспертами в языке программирования Python.

Литература

1. Егоров Д.В., Буханов Н.В., Осмоналиева О.Т., Белозеров Б.В., Решитько А.А., Голицына М.В., Семенихин А.С., Экспертный анализ геолого-физической информации по Приобскому и Муравленковскому месторождениям на основе моделей машинного обучения // Нефтяное хозяйство. – 2017. - №12. – С. 28-31.
2. Gevirtz, J., Ovalle, A., Lithofacies classification for Earth modeling: letting the data speak for itself // SPE-185049-MS. – 2017.
3. Cao Q., Banerjee R., Data driven production forecasting using machine learning // SPE-180984-MS. – 2016.

ПЕРСПЕКТИВЫ КОГЕНЕРАЦИОННОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ОСВОЕНИЯ ОБЪЕКТОВ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

Башкуров А.Ю. (МГРИ, bashkurov_A@inbox.ru), Лимитовский А.М. (МГРИ)*

Аннотация

В настоящее время в условиях ликвидации единой энергосистемы, разрыва производственных связей, дефицита энергоресурсов, роста цен на энергоносители, подключения к районным энергосетям, надежность которых снизилась, отмечается изменение стратегической направленности энергоснабжения, с проявлением все большего интереса к локальным комплексным энергоисточникам, которые могут позволить более эффективно и в короткие сроки обеспечить электрической и тепловой энергией удаленные объекты.

Такие осваиваемые объекты обычно стоят перед необходимостью параллельно решать вопросы энергообеспечения. Поэтому исследование эффективности когенерационных систем энергообеспечения является актуальной задачей.

Ключевые слова когенерационное энергообеспечение, дизельные электростанции, газотурбинные установки.

Предприятия освоения объектов включают в себя геологоразведочные и горные работы, которые, несмотря на многообразие технологии производства, и технического оснащения имеют ряд специфических общих особенностей характерных для этой области, без анализа которых не может быть разработана эффективная система комплексного энергообеспечения горно-геологического предприятия и эффективная его последующая эксплуатация. К числу таких особенностей относятся: удаленность (как правило) объектов от централизованных энергосистем, передвижной характер работ, потребность в различных видах энергии (электрической, тепловой, пневматической), высокая энергоемкость, влияние горно-геологических, технологических, климатических факторов на выбор энергетического оборудования и обоснование категоричности системы энергообеспечения.

Базовым видом энергии безусловно является электрическая, обладающая такими важнейшими свойствами, как возможность преобразования ее в любой другой вид энергии, передача на любые расстояния, преобразование параметров по потребностям потребителя, компактность электрооборудования и возможность осуществления высокой степени автоматизации энергетических комплексов, экологическая чистота. К числу недостатков этого универсального вида энергии относится высокая себестоимость и сложность ее накопления и сохранения во времени, что обуславливает необходимость проявления особого внимания к вопросам ее экономного производства, передачи и потребления.

Электроэнергия может поставляться потребителю от централизованных электростанций по региональным электросетям, либо вырабатываться на месте собственными локальными энергоустановками, в качестве которых, чаще всего применяются дизельные (реже газотурбинные) электростанции, размещаемые непосредственно на объекте и позволяющие использовать параллельно утилизируемую тепловую энергию, т.е. быть когенерационными энергоисточниками. Традиционно энергообеспечение объектов освоения минерально-сырьевого комплекса сложилось таким образом, что при производстве до 70% буровых работ используются локальные энергоисточники, а при ведении горных работ – практически 100% объектов имеют системы централизованного электроснабжения.

Такую многолетне устойчивую ситуацию в энергетике рассматриваемых объектов можно объяснить сравнительно невысокой стоимостью, высоким качеством и надежностью поставляемой централизованно электроэнергии, и укоренившейся практикой разрозненного, решения вопросов электро- и теплоснабжения (особенно сопутствующих коммунально-бытовых потребителей).

В настоящее время в условиях ликвидации единой энергосистемы, разрыва производственных связей, дефицита энергоресурсов, роста цен на энергоносители и подключения к энергосетям, надежность которых снизилась, отмечается изменение стратегической направленности энергоснабжения с проявлением все большего интереса к локальным комплексным энергоисточникам, которые могут позволить более эффективно и в короткие сроки обеспечить электрической и тепловой энергией удаленные объекты.

Такие осваиваемые объекты обычно стоят перед необходимостью параллельно решать вопросы энергообеспечения коммунально-бытовых потребителей, уровень потребления энергии которыми (особенно в северных районах в зимний период) зачастую превышает расход энергии на технологические нужды [1].

Принимая во внимание, что электрический КПД локальных энергоисточников находится в пределах до 40%, использование вторичных энергоресурсов (теряемой 60% тепловой энергии) приобретает здесь особое значение.

Поэтому исследования эффективности когенерационных систем энергообеспечения в таких условиях высокозначимы и всегда актуальны.

В многогранной проблеме оптимизации комплексного энергообеспечения объекта в первую очередь должен быть решен вопрос возможности и целесообразности использования внешнего электроснабжения, а затем уже решаются вопросы внутреннего энергообеспечения. В каждом конкретном случае технико-экономическим исследованиям по обоснованию оптимальной системы комплексного энергообеспечения базирующимся на современной методике должны предшествовать энергетические расчеты, включающие в себя электротехническую и тепловую части.

Такие методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию оптимальной системы энергообеспечения применительно к объектам освоения минерально-сырьевого комплекса были на современной основе разработаны во МГРИ совместно с Академией народного хозяйства при Правительстве РФ и широко внедрены в учебный процесс, как программные положения, которые на протяжении ряда лет используются студентами при курсовом и дипломном проектировании.

Данная методика [2] учитывающая фактор времени, уровень инфляции, цену подключения к региональной сети, остаточную стоимость оборудования, предусматривает технико-экономическое сравнение возможных вариантов энергоснабжения по минимуму затрат за рассматриваемый период времени, приведенных к исходному моменту.

На базе положений методики в каждом конкретном случае разрабатываются технико-экономические модели затрат по возможным вариантам сравнения, с помощью которых производятся расчеты, анализ и заключение по оптимальному из них.

В настоящее время в условиях выше отмеченных осложнений централизованного электроснабжения ориентация на локальные комплексные энергоисточники становится актуальной не только для геологоразведочных работ, но и для осваиваемых горных предприятий.

Используя выше указанную методику, типовые схемы электроснабжения подземных горных предприятий, прейскуранты действующих цен на оборудование и энергоносители, был произведен анализ затрат по вариантам централизованного и локального энергообеспечения предприятий различной технологической нагрузки и

уровня потребляемой тепловой энергии в зависимости от типа энергоисточника и расстояния до региональных сетей.

Полученные результаты позволили сделать предварительно следующие выводы:

1. Использование дизельных электростанций для покрытия только электрической нагрузки (без утилизации тепла) становится экономически предпочтительнее централизованного электроснабжения от региональной сети за пределами примерно таких расстояний: при нагрузке 1 МВт – 30 км; 2 МВт – 60 км; 3 МВт – 90 км.

Использование в таком качестве мобильных газотурбинных электростанций на дизельном топливе увеличивает приведенные выше расстояния, примерно вдвое. Применение же в качестве топлива баллонного газа экономически нецелесообразно в такой ситуации.

2. Использование дизельных электростанций в качестве когенерационных энергоисточников снижает указанные выше расстояния практически на порядок.

При наличии в регионе природного газа газотурбинные установки могут быть предпочтительнее дизельных станций. Эффективность их применения определяется расстоянием до подключения к источнику газа.

В сравнении с централизованным электроснабжением это расстояние находится в пределах 30 км, а при полной утилизации тепла ГТУ (например, на нужды поселка) – до 100 км.

Полученные в результате технико-экономических исследований результаты носят в определенной степени ориентировочный характер, поскольку условия ведения горных работ весьма разнообразны, как и ценовые параметры, различающиеся по регионам и во времени.

Однако на их основе могут быть сделаны общие выводы в области тенденции развития и систем комплексного энергообеспечения объектов освоения минерально-сырьевых ресурсов в современных условиях:

- энергообеспечение указанных объектов должно решаться комплексно как по виду используемой энергии (электрическая, тепловая, пневматическая), так и по статусу потребителей (технологические, коммунально-бытовые, сопутствующие);

- обоснование оптимальной энергосистемы объекта должно производиться с использованием современных методик, учитывающих и такие составляющие как фактор времени, инфляцию, налог на прибыль, вероятность проявления санкций и др.;

- в условиях переустройства энергетической системы страны когенерационные системы энергообеспечения являются не просто конкурентоспособными, но для рассматриваемых условий в большинстве случаев – преобладающими, что предопределяет отнесение освоения их к значимому инновационному научному направлению.

Литература

1. Лимитовский А.М., Башкуров А.Ю. Повышение эффективности освоения объектов минерально-сырьевого комплекса на основе модернизации электропривода технологического оборудования и оптимизации систем комплексного энергообеспечения // Рязанская область, г. Спас-Клепики: ОАО «Клепиковская типография». 2019. С. 68.

2. Лимитовский А.М., Меркулова М.В., Косьянов В.А. Энергообеспечение технологических потребителей геологоразведочных работ // Москва ООО ИПЦ Маска. 2008. С. 135.

КРИТЕРИЙ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Богачев М.Ю. (МГРИ, botju@yandex.ru), Калинин В.Н. (МГРИ, kalinichev49@mail.ru), Назаров А.П. (МГРИ, al.naz@mail.ru)

Аннотация

Рассмотрены основные критерии, используемые при проектировании различных систем управления процессами при проведении геологоразведочных работ. Выявлены особенности их эффективного использования при технологической подготовке производства.

Ключевые слова: Автоматизация, бурение, оптимизация, критерии оптимизации

Современное внедрение автоматизированных систем управление технологическим процессом (АСУ ТП) во многие отрасли промышленности актуально и для проведения геологоразведочных работ. По этому направлению велись научно-исследовательские работы, начиная с середины 1980-х годов, во Всесоюзном институте экономики минерального сырья (ВИЭМС), Всесоюзном научно-исследовательском институте методики и техники разведки (ВИТР), МГРИ, а также в других организациях.

Одним из крупных проектов было проектирование и создание опытного образца первого роботизированного бурового комплекса для бурения на твердые полезные ископаемые (РБК-4) [1].

Параллельно велись разработки алгоритмического и программного обеспечения. Основное внимание исследователей привлекала возможность полной замены тяжелого ручного труда членов буровой бригады средствами механизации и автоматизации.

В то же время недостаточно широко рассматривался вопрос выработки стратегии оценки качества проводимых работ. Основные исследования в этом направлении велись сотрудниками МГРИ. Зиненко В.П. [2], Козловский Е.А., Ребрик Б.М., Калинин В.Н. [3], Богачев М.Ю., Фридман В.А. [4] занимались проблемой разработки критериев оптимизации процесса бурения и критериев оценки качества проводимых работ.

Можно выделить три уровня выработки стратегии управления процессом: стратегический, технологический, рабочий.

На стратегическом (верхнем) уровне управления важно поставить главную цель, актуальную для проводимых работ. Наиболее часто такой целью является минимизация стоимости проводимых работ

$$C \rightarrow \min \quad (1)$$

Однако нередко бывает [5], что работа по этому критерию не позволяет выполнить работы с учетом ограничения по времени (требуется уложиться в календарный план работ) (2) или ограничения по качеству работ (качество выполняемых работ не ниже заданного критерия приемки) (3):

$$П \geq П_{пл} \quad (2)$$

$$К \geq К_{пр} \quad (3)$$

При этом (1) является целевой функцией оптимизации геологоразведочного []процесса, а условия (2) и (3) представляют собой технологические ограничения. В результате комплексный критерий может иметь вид:

$$\{C \rightarrow \min P \geq P_{пл} \quad (4)$$

или

$$\{C \rightarrow \min K \geq K_{пр} \quad (5)$$

В работе [3] был разработан 5-уровневый критерий оценки качества. Ввиду того, что в настоящее время прием работ в геологоразведочном производстве, а также в нефтегазовом деле обычно осуществляется представителем заказчика (супервайзером) по шкале «принято - не принято», целесообразно также упростить критерий оценивания и свести задачу оптимального производства к одной из стандартных задач условной оптимизации.

Литература

1. <http://промпортал.ru/rbk4>.
2. Зиненко В.П. Направленное бурение. Учебное пособие для вузов.- М.: Недра, 1990.
3. Козловский Е.А., Ребрик Б.М., Калинин В.Н. Комплексная оценка эффективности способов, технических средств и технологии разведочного бурения//Техника, технология и организация геолого-разведочных работ. Обзор. В.3.- М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998.-26 с.
4. Богачев М.Ю., Новожилов Б.А., Фридман В.А. Задача оптимизации технологии бурения скважины/Известия вузов.-Геология и разведка, 1997, №4.- с.113-117.
5. Логистика: учебник для ВО./Назарова З.М., Забайкин Ю.В., Устинов А.А., Анисимов П.Ф., Лютягин Д.В., Богачев М.Ю., Харламов М.Ф., Шендеров В.И., Радионов А.В., Дамаскин С.Г., Евсеева Е.В., Якунин М.А.- Под редакцией д.э.н., профессора Назаровой З.М.- М.: Научные технологии, 2018-350с., илл.

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ МОБИЛЬНЫХ ИНФРАСТРУКТУР МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА СТАДИИ ПОИСКА И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Божок В.А. (МГРИ, e-mail: bozhok_1996@mail.ru),
Михайлов Ю.В. (МГРИ)*

Аннотация

Данная работа изучает и систематизирует научно-методическую литературу по рассматриваемой теме, представляет общую характеристику традиционной инфраструктуры месторождений, анализирует концепт мобильной инфраструктуры месторождений, выявляет достоинства и недостатки мобильной инфраструктуры месторождений.

Ключевые слова: мобильная инфраструктура, преимущества мобильной инфраструктуры, индивидуальный подход, недостатки мобильной инфраструктуры, инженерно-технические сооружения.

Мобильная инфраструктура- это комплекс оборудования для добычи нефти и газа, а также большой спектр вспомогательного оборудования, которое не требует больших трудозатрат, а также легко разбирается и транспортируется.

Целью работы является рассмотрение аспекта мобильной инфраструктуры на нефтяных и газовых месторождениях, изучить и систематизировать научно-методическую литературу по рассматриваемой теме, представить общую характеристику традиционной инфраструктуры месторождений, проанализировать концепт мобильной инфраструктуры месторождений и выявить достоинства и недостатки мобильной инфраструктуры месторождений.

Данная работа изучает и систематизирует научно-методическую литературу по мобильным инфраструктурам, представляет общую характеристику традиционной инфраструктуры месторождений, анализирует концепт мобильной инфраструктуры месторождений, выявляет достоинства и недостатки.

Важными аспектами промышленной оценки месторождений природных ресурсов являются качество минерального сырья в недрах, технологические характеристики минерального сырья, горно-геологические условия использования месторождения и географо-финансовое положение месторождения, поэтому для оптимальной эксплуатации каждого необходим индивидуальный подход к инфраструктуре формирования комплексного оборудования.

Так, нефтяная и газовая индустрия является в текущее время важными составляющими частями ТЭК (топливно-энергетического комплекса государства). Создание главных фондов для этих отраслей индустрии – это основная задача всего нефтегазового строительства. Продукцией нефтегазового строительства являются законченные и приготовленные к вводу в эксплуатацию новые либо реконструированные сооружения (трубопроводы, насосные станции, системы ППД, установки всеохватывающей подготовки углеводородов), также жилые и общественно-культурно-бытовые строения и объекты. Все это соединяется общим понятием инфраструктурных объектов, которое является очень принципиальным для хоть какого нефте- и газового месторождения.

Инфраструктура – это комплекс отраслей хозяйства (или инженерно-технических сооружений), обслуживающих и создающих условия для размещения и деятельности промышленного и сельскохозяйственного производства (или отдельных их предприятий), а также для размещения и жизни населения. Это транспорт, связь, сооружение шоссе дорог, каналов, водохранилищ, мостов, аэропортов, складов,

энергетическое хозяйство, водопроводная и водоотводная сеть, сфера обслуживания, общего и профессионального образования и науки, здравоохранения и др.

Под инфраструктурой, также и в конъюнктуре месторождений нефти и газа – это комплекс отраслей хозяйства (либо инженерно-технических строений), которые обслуживают и создающих условия для расположения и работе промышленного и сельскохозяйственного производства либо некоторых их компаний), также для расположения и жизни жителей. Различают инфраструктуру информационную, производственную, социальную, экологическую, а беря во внимание значимость месторождений нефти и газа в Российской Федерации, тема актуальна для исследования.

Производственная инфраструктура – включает в себя отрасли, непосредственно обслуживающие материальное производство.

Социальная инфраструктура месторождения – это отрасли опосредовано связанные с процессом производства.

Экологическая инфраструктура - представляет из себя комплекс сооружений, предприятий, учреждений, сети и технологические системы, обеспечивающие условия сохранения среды жизни человека.

На экономическую эффективность процесса добычи нефти и газа наиболее ощутимое влияние оказывают масштабы запасов углеводородов и их региональная приуроченность. В зависимости от последней идет развитие инфраструктуры и добывающих мощностей. Инфраструктура определяется разными параметрами, которые условно можно подразделить на три группы:

- горно-геологические;
- экономико-географические;
- социально-экономические.

Месторождение нефти имеет довольно длительный жизненный цикл. От открытия нефтяной залежи до получения первой нефти может пройти несколько десятков лет. Весь процесс освоения нефтяного месторождения можно разбить на пять основных этапов.

Изучение нефтяного месторождения весьма дорогостоящая составляющая разработки, при этом не всегда окупающаяся (в случае отсутствия углеводород в залежи, например), поэтому данный вид работ стараются производить, как можно более рационально, для чего сокращают издержки и затраты.

Поскольку различают инфраструктуру производственную, социальную, экологическую, информационную, то мобильная инфраструктура представляет из себя комплекс оборудования для добычи нефти и газа, а также большой спектр вспомогательного оборудования, для которого не нужно больших трудозатрат, а также их можно сравнительно легко смонтировать, разобрать или перевезти на другое место.

Преимущества мобильной инфраструктуры на месторождения нефти и газа позволяют снизить сроки ввода месторождения в эксплуатацию и получения товарной продукции, минимизировать риски неоправданных затрат на капитальные объекты обустройства, снизить стоимость строительства, снизить операционные затраты и вложения на реконструкцию, расширение и демобилизацию объектов и существенно уменьшить выбросы в атмосферу и загрязнение окружающей среды.

Недостатком мобильной инфраструктуры, можем отметить, что она может быть применена не только на ранних этапах поиска и разведки месторождений. Еще одним недостатком является длительный срок изготовления оборудования (от 3 месяцев до года), так как большинство компаний изготавливают его под индивидуальные требования.

Для успешного проведения работ требуется современная инфраструктура, включающая в себя нефтебазы, нефтяные скважины, автозаправочные станции, систему технологических трубопроводов, а также различные промышленные здания и сооружения.

Использование мобильной инфраструктуры на месторождениях нефти и газа применяются там, где могут быть более рентабельны на стадиях разведки месторождений.

Литература

1. Борисова Е. В. Логистическое управление бизнес-процессами внедрения блочно-модульной малотонажной установки переработки попутного нефтяного газа // Успехи в химии и химической технологии. - 2015. - №2 (161).
2. Барышев В. Н. Проектирование ледостойкой платформы для разведочного бурения в мелководной зоне арктических морей на слабых грунтах // Вестник ИШ ДВФУ. 2016. №4 (29).
3. Крамской А.А., Шур А.Ю. Индивидуальное проектирование блочно-модульного оборудования для нефтегазовой отрасли // Экспозиция Нефть Газ. 2016. №2 (48).
4. Колмаков А.В., Устинов В.П., Савастюк С.С., Карюк В.М., Морозов И.В. Применение мобильного беспроводного измерительного комплекса для регистрации выноса песка из газопромысловых скважин // Экспозиция Нефть Газ. 2016. №1 (47). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-mobilnogo-besprovodnogo-izmeritelnogo-kompleksa-dlya-registratsii-vynosa-peska-iz-gazopromyslovyh-skvazhin> (дата обращения: 09.02.2019).

БЛОЧНО-СКВАЖИННОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ СЛОЖНОИЗВЛЕКАЕМЫХ ФОРМ ЗОЛОТА И СОПУТСТВУЮЩИХ ЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ РУД

Брюховецкий О.С. (МГРИ, bos.rggru@mail.ru), Секисов А.Г. (ИГД ДВО РАН, ЗабГУ), Лавров А.Ю. (Читинский филиал ИГД СО РАН, ЗабГУ), Рассказова А.В. (ИГД ДВО РАН, ЗабГУ)*

Аннотация

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований процессов комбинированного блочно-скважинного выщелачивания ценных компонентов из упорных руд активированными растворами. Предложено совмещать отбойку руды с инъецированием в нее перегретых взрывными газами паров растворов реагентов, содержащих активные окислители. Рассматриваются конструкции скважинных зарядов ВВ с размещенными в них ампулами реагентов для посекционной отбойки и взрывоинъекционной подготовки дезинтегрируемых взрывом руд к выщелачиванию.

Ключевые слова. Блочно-скважинное выщелачивание, активированные растворы, посекционная взрывная отбойка, конструкции скважинных зарядов ВВ, взрывоинъекционная подготовка руд.

Разработка рудных месторождений со сложной морфологией рудных тел и низким содержанием ценных компонентов, особенно при отработке глубоких горизонтов, характеризующихся сложным напряженно-деформационным состоянием массива горных пород [1], объективно обуславливает необходимость перехода на системы разработки с закладкой и/или использования способа шахтного (блочного) выщелачивания. Шахтное и скважинное выщелачивание успешно используется в уранодобывающей и меднорудной отраслях горнорудной промышленности как в РФ, так и за рубежом.

Скважинное выщелачивание золота хлоридными растворами апробировано в промышленном масштабе при разработке Гагарского месторождения на Урале и испытано на участке россыпи Данду-Хангарук в южном Забайкалье. Вместе с тем при эксплуатации месторождений комплексных руд, несмотря на очевидные преимущества перед традиционными геотехнологиями, этого способ в настоящее время не используется. Основными причинами такой ситуации являются сложность совмещения состава реагентов и физико-химических параметров выщелачивающих растворов для извлечения металлов, обладающих существенно различными свойствами и находящихся в составе различных минералов или включенных в них в форме микоминералов или наноразмерных кластеризованных частиц. Кроме того имеют место также факторы сложности окисления большинства рудных минералов и селективного извлечения из них ценных элементов, а также отсутствие развитой системы микротрещин и пор в рудах, обуславливающих их низкую проницаемость для выщелачивающих растворов даже после взрывной подготовки. Повышение эффективности подземного шахтного выщелачивания полезных компонентов из упорных комплексных руд может быть обеспечено за счет стадийной обработки выщелачивающими растворами с различным составом комплексообразователей, повышения концентрации в них окислителей и их активации [1]. Также для существенного повышения эффективности этого способа, необходимо не только обеспечить заданную крупность дробления руд взрывом, но формирование в рудных минералах развитой системы микротрещин. Технически это возможно осуществить

путем инъектирования в раскрываемые трещины перегретых взрывными газами паров растворов реагентов при взрывной подготовке руд к выщелачиванию. Для этого могут быть использованы специальные конструкции скважинных зарядов ВВ, а именно – пластиковые тонкостенные трубки, заполненные эмульсионными ВВ с ценосферами с размещением в их осевой части трубок меньшего диаметра, заполненных растворами реагентов различного состава: с растворенным кислородом и щелочи и пероксида водорода [2]. При смешивании взрывными газами, между этими реагентами происходят химические реакции, в ходе которых формируется комплекс высокоактивных кислородсодержащих соединений, в том числе находящихся в ион-радикальных и радикальных формах (рис.1). Кроме того, при реакции с окислами азота, входящими в состав взрывных газов образуются такие сильные окислители как надазотная, азотная и азотистая кислоты. При взрыве таких многослойных зарядов пары, содержащие гидратированные активные ион-радикальные и радикальные формы окислителей, под действием остаточного давления взрывных газов проникают в раскрывающиеся микротрещины.

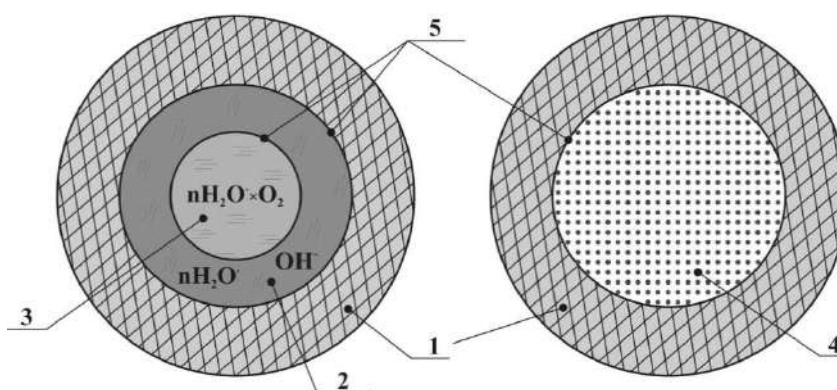


Рисунок 1. Конструкция заряда ВВ для взрывоинъекций; 1 – Заряд ВВ; 2 – Раствор 1 – католит; 3 – Раствор 2 – анолит; 4 – заряд ВВ с ценосферами; 5 – Пластиковые оболочки

Посекционное взрывание в восходящем порядке вертикальных скважинных зарядов и, в частности, широко используемый в Канаде способ VCR (вертикальной отступающей кратерной отбойки) [3] как, известно, позволяет при использовании зарядов ограниченной длины (не превышающей их диаметр более чем в 6 раз) достичь максимально равномерной крупности дробления с преимущественным выходом классов крупностью менее 20 мм. Если в центральные части таких зарядов ВВ поместить короткие тонкостенные пластиковые ампулы с заключенными в них растворами реагентов, то это может обеспечить квазисферическое распространение не только упругих взрывных волн, но и образующихся при взрыве перегретых паров, содержащих окислители. Соответственно, при этом, отбиваемая в секции руда, будет максимально равномерно раздроблена и пропитана конденсированными парами реагентов, инъектированными в сформированные локальным объемным взрывом микротрещины и поры. При таком способе взрывной подготовки увеличиваются площадь контактной поверхности границ руда-раствор, концентрационные градиенты реагентов и растворенных металлов в системе «пленочные и поровые воды-фильтрующиеся выщелачивающие растворы», что, соответственно, увеличит интенсивность диффузионных массообменных процессов.

Поскольку при посекционном взрывании отбивается только небольшой слой руды, а соответственно, ликвидируется только призабойная часть глубоких вертикальных скважин, пробуренных в блоке, то через их не взорванные части на

отбитый слой руды могут подаваться активированные подготовительные растворы (водно-газовые эмульсии). Далее производится зарядание скважин следующей по восстанию секции такими же по конструкции зарядами ВВ и технологический цикл повторяется до подхода фронта отбойки к кровле камер. Помимо дефрагментационной подготовки руд к выщелачиванию при использовании таких зарядов ВВ, высока вероятность передислокации и укрупнения (агрегации) наноразмерных форм нахождения золота и локализации у границ микротрещин.

После завершения стадии подготовки к выщелачиванию растворами с активными окислителями, производят орошение всей отбитой руды в пенетрационно-инфильтрационном, инфильтрационном или фильтрационном гидродинамическом режиме рабочим раствором, содержащим комплексобразователи и окислители для ее основных ценных компонентов, а также вывод из блока растворенных и выщелоченных элементов через дренажные восходящие скважины или дучки. Для этой основной стадии, блочно-скважинного выщелачивания извлечение из руд металлов осуществляется преимущественно хлоридными растворами с активными соединениями, синтезированными в фотоэлектрохимическом реакторе.

Хлоридные комплексы не только относительно безопасны, но и позволяют путем регулирования рН рабочих растворов извлекать из подготовленной руды как золото, так и сопутствующие ему молибден и медь. Более того, хлоридные растворы могут быть использованы уже на стадии взрывоинъекционной подготовки руд. При этом после завершения пропитки подготовительными растворами всей отбитой руды, осуществляется ее выстаивание а соответственно, окисление определенной части железа и серы, начальное выщелачивание, преимущественно в диффузионном режиме, меди и молибдена. В частности, для извлечения золота наиболее приемлемым является хлоридно-пероксидный комплекс (цианиды применимы в шахтных условиях с существенными дополнительными и дорогостоящими экологозащитными мероприятиями, тиосульфаты и тиокарбомид при интенсивном термобарическом воздействии будут разрушаться). Выщелачивание молибдена из руд кварц-молибденитовой формации при использовании блочно-скважинного ПВ целесообразно осуществлять в эту стадию их циклическим орошением раствором гипохлорита натрия и пероксидно-карбонатным раствором, полученным путем фотоэлектрохимической обработки содового раствора. Предлагаемый способ блочно-скважинного выщелачивания металлов с посекционной взрывоинъекционной подготовкой руд может быть использован как для доизвлечения их из междуканерных целиков, так и для разработки глубоких горизонтов.

Объектом такого варианта применения рассматриваемого способа подземного активационного выщелачивания, может служить Удоканское месторождение медистых песчаников.

Эксперименты по выщелачиванию меди, серебра и золота из упорных сульфидных руд Удоканского месторождения (борнит-халькозинового парагенезиса) активными растворами, полученными в лабораторном фотоэлектрохимическом реакторе, проводились на крупнокусковой пробе (средний размер отдельностей порядка 30 см) весом 10.5 кг. Содержание меди в пробе составляло 17.82%, серебра – 140.5 г/т, золота – 0.28 г/т. Первоначально в дробленую руду подавались растворы с серноокислотной основой, содержащие активные формы кислорода, синтезированные путем комбинации процессов предварительного барботажа воздухом, стадийного электролиза и фотолиза исходных водных растворов серной кислоты. Подача порций серноокислотно-пероксидных растворов в руду осуществлялась раз в сутки объемами по 250 мл, до достижения Т:Ж в моделируемом блоке ПВ 10:1, т.е. общий объем активного серноокислотного раствора, поданного в руду составил 1 л. Далее в течение 6

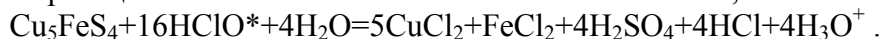
дней раствор периодически (раз в сутки) выпускался, донасыщался активированным кислородом влажного воздуха (путем его УФ-обработки) и подавался в руду. После окончания «сернокислотного» цикла выщелачивания, первичный продуктивный раствор был выпущен, жидкая проба передана на анализ, по результатам которого было установлено, что в раствор за 10 суток было извлечено 26.7% меди, в пределах 3 % серебра. Значительное содержание микронных выделений самородного серебра и кераргита в цементе медистых песчаников, предопределяло необходимость использования перед вторым этапом выщелачивания активных сернокислотно-азотнокислых комплексов. Для второго этапа выщелачивания меди и сопутствующего дисперсного золота были использованы хлоридные комплексы, основу которых составляет хлорноватистая кислота (HClO). Окончательное извлечение меди в растворы составило 82.6%, что сопоставимо с показателем по традиционной схеме: добыча руды – флотация – гидрометаллургический передел флотоконцентрата, извлечение серебра составило 61.3%, золота 64.3%.

Обобщенно модель процесса шахтного выщелачивания меди может быть представлена следующей системой реакций:

1. Окисление железа и частичное окисление меди в составе борнита пероксидными комплексами: $Cu_5FeS_4 + H_2O_2 + nH_2O = FeSO_4 + CuSO_4 + 2Cu_2S + 14H^+(n-6)H_2O$.

2. Растворение меди, входящей в состав халькозина сернокислотно-пероксидными комплексами: $Cu_2S + 2(H_2O_2) \cdot O_2 + 2H_2SO_4 = Cu_2S + 2OH_2 \cdot O_4 \cdot 2H_2SO_4 = 2CuSO_4 + H_2SO_4 + 2H_3O^+$.

3. Выщелачивание меди, входящей в состав борнита, хлорноватистой кислотой, образуемой по реакции: $HCl + NaClO^* = HCl \cdot ONaCl = HClO^* + NaCl$,



Литература:

1. Брюховецкий О.С., Секисов А.Г. Эколого-экономическая оценка эффективности разработки рудных месторождений. Материалы Международной научно-практической конференции «Наука и новейшие технологии при освоении месторождений полезных ископаемых». Часть 2. М., 2004

2. Секисов А.Г., Шевченко Ю.С., Лавров А.Ю. [Взрывоинъекционная подготовка руд к выщелачиванию // Труды Всероссийской конференции с участием иностранных ученых «Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды»], 9-12 октября 2012 г. в II т. Т. I. – Новосибирск: ИГД им. Н.А. Чинакала СО РАН. 2012. - С. 283-287.

3. Crocker C.S. [Vertical Crater Retreat Mining at the Centennial Mine.] Mining congress journal, number 6, June, 1979

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ОСВОЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЦЕОЛИТОПРОЯВЛЕНИЙ МОНГОЛИИ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

Рассказов А.А. (РУДН, asskazo@yandex.ru)*
Буянов М.И.(МГРИ, buyanov08@mail.ru), Горбатов И.С.(ИФЗ РАН, e.s.gor@mail.ru),*
Васильева Е.Ю. (ИФЗ РАН, e.vassillieva@gmail.com)

Аннотация

Рассмотрение вопроса освоения перспективных цеолитопроявлений в Монголии базируется на результатах длительной работы Советско-Монгольской геологической экспедиции и результатах исследований в области открытой геотехнологии.

Ключевые слова: лимногенный генезис, цеолиты, наилучшие доступные технологии.

Долгое время осадочному веществу лимногенного происхождения и его роли в континентальном литогенезе и формировании месторождений полезных ископаемых не уделялось должного внимания, но сегодня именно с ним связывают образование широкого спектра полезных ископаемых, некоторые из которых практически не формируются в иных фациальных обстановках. Связанные с лимногенными толщами залежи полезных ископаемых имеют большое ресурсное значение; они содержат, кроме месторождений строительного сырья (пески, глины, известняки), эвапориты (трона, тенардит, гипс, эпсонит, галит, карналлит, сильвин, бишофит и др.), угли, горючие сланцы, цеолиты, бораты, служат источниками и резервуарами различных углеводородов, в том числе нефти и газа.

Важное место в этом ряду полезных ископаемых занимают месторождения цеолитов, которые формируются в специфических физико-химических условиях в озерах в промышленно значимых концентрациях. Цеолиты (буквально- «кипящие камни») – большая группа водных алюмосиликатов кальция и натрия из подкласса каркасных силикатов. Кристаллическая решетка цеолитов отличается наличием ажурной каркасно-полостной структуры $[AlSi]O_4^-$ с отрицательным зарядом, компенсируемым катионами металлов, аммония, алкиламмония, что определяет наличие у них ряда полезных физических и химических свойств, широко используемых в промышленности.

Минералы цеолитов способны обратимо отдавать (поглощать) воду в зависимости от температуры и влажности, селективно адсорбировать различные вещества, а также обменивать катионы. Размер окон полостей в кристаллической решетке цеолитов составляет 2-15 ангстрем, что достаточно для прохождения молекул некоторых химических веществ (углеводородов) и позволяет выделять определенные типы молекул из их смесей различных форм, размеров и состава (молекулярные сита). Катионы цеолитов слабо локализованы и могут обмениваться на другие катионы, что позволяет вводить в цеолиты каталитически активные элементы, а также изменять размеры «входных окон» в адсорбционные полости. [Петрова, 2005].

Природные и синтезированные цеолиты получили весьма широкое применение в технологиях водоочистки как адсорбенты, ионообменники, молекулярные сита. Также цеолиты применяются как катализаторы многих процессов нефтехимии и нефтепереработки, для очистки и осушки промышленных газов. Цеолитсодержащие катализаторы отличаются высокой селективностью, поскольку их активные центры расположены внутри полостей и пор. Широко используются цеолиты в аналитической химии для обнаружения газов, в хроматографии для разделения и концентрирования летучих веществ. Известно более 30 минеральных видов цеолитов, которые различаются адсорбционными, ионообменными свойствами, кислото- и термостойкостью. К цеолитам, имеющим важное практическое значение, относят клиноптиолит, гейландит, шабазит и филлипсит. Промышленные

месторождения цеолитов в основном формируются при метаморфизме цеолитсодержащих туфов (до 60-95% цеолита).

Обычно цеолитовые отложения формируются в соленых и солоноватых озерах карбонатного типа при взаимодействии их щелочных вод или рассолов (рН=9-10) с кислым (трахитовым) вулканическим стеклом. При седиментации в содовых озерах, реакционноспособное стекло кислых вулканических туфов обычно превращается в филлипсит, клиноптилолит, реже в морденит и шабазит. Залежи озерных цеолитов представляют собой пластовые тела с переменным содержанием сырья, нередко с зональным строением. В прибрежной части озера обычно залегают туфы, далее – цеолиты, а в центре озера появляются калиевые полевые шпаты.

Цеолитсодержащие породы известны в отложениях ряда озер Колорадо, Калифорнии, Невады, Африки. На западе США расположены многочисленные миоцен-плейстоценовые месторождения цеолитов. В формации Грин-Ривер образование цеолитов отмечено в туфовых пластах, залегающих в пределах толщи Уилкинс-Пик, накопившейся в щелочном солоноватом озере.

Литологическое строение и линзовидное залегание залежей цеолитов Южной Монголии отвечает озерным условиям формирования. Для них характерно ритмичное и тонкослоистое строение толщ, выдержанность по площади даже маломощных прослоев, изометричность слоев в плане. Залегают цеолиты в древнеозерных отложениях среди прослоев и пачек кислых туфов и туффитов. Пепловые частички состоят главным образом из осколков вулканического стекла рогульчатой и серповидной формы, замещенных в настоящее время цеолитами и смектитом (монтмориллонитом). В пирокластическом материале не обнаружены признаки переотложения, что свидетельствует о выпадения пепла непосредственно из атмосферы и о быстром его захоронении в водной среде. Поэтому центры вулканических извержений должны были находиться вблизи от палеозер.

Примечательно, что согласно данным палеонтологических исследований, образование монгольских цеолитов происходило не в содовой обстановке, как в большинстве подобных месторождений в мире, а при взаимодействии нейтральных или слабощелочных слабоминерализованных вод палеозер с кислым или умереннощелочным вулканическим стеклом. Количество цеолитов в породах напрямую зависит от содержания в них стекла и колеблется от 3 до 90% от объема породы. Максимальные содержания цеолитов (60–90%) приурочены к прослоям кислых витрокластических туфов. Меньше их в туффитах, туфопесчаниках и других породах. В прослоях других осадочных пород цеолиты отсутствуют. Среди цеолитовых минералов преобладает клиноптилолит, встречается феррьерит, шабазит и эрионит. К настоящему времени на юге, юго-востоке и северо-востоке Монголии выявлено несколько десятков разномасштабных цеолитопроявлений [Mavlet, Enebish, 1998]. Большая часть промышленно перспективных цеолитопроявлений генетически связана с вулканогенно-осадочными породами цаганцабской свиты (юра/мел) и имеют лимнический генезис. Наиболее полно изучено Цаган-Цабское месторождение цеолитов вулканогенно-лимнического генезиса.

Таким образом, наиболее богатые цеолитоносные площади в Монголии приурочены к озерным бассейнам, расположенным в пределах позднемезозойских рифтогенных структур, вблизи палеовулканов. Среди них существует несколько районов промышленно перспективных цеолитопроявлений. Это зона Дзунбаинской системы прогибов (юго-восток Монголии), район озера Их-Дзос-Нур (восток Монголии), вблизи самона Мухну – Ханый (Южно-Керуленская зона), горы Булганту (Гобийский Алтай) и др. регионы.

Особенности строения залежей цеолитов определяют два основных способа разработки месторождений: карьерами или с применением средств гидромеханизации. При этом возможно использование безвзрывного способа подготовки горных пород к выемке и применение внутреннего отвалообразования, что позволяет добиться значительного снижения негативного воздействия горных работ на окружающую среду. Затраты на добычу полезного ископаемого при использовании таких технологий минимальны, что подтверждается опытом разработки россыпных месторождений в России. Перечисленные свойства предлагаемой открытой геотехнологии соответствуют определению наилучших доступных технологий. При определении технологических

процессов, оборудования, технических способов, методов в качестве наилучшей доступной технологии члены рабочей группы должны рассмотреть их соответствие следующим критериям (Постановление Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. N 1458 г. Москва "О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям"):

а) наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги либо соответствие другим показателям воздействия на окружающую среду, предусмотренным международными договорами Российской Федерации;

б) экономическая эффективность внедрения и эксплуатации;

в) применение ресурсо- и энергосберегающих методов;

г) период внедрения;

д) промышленное внедрение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов на 2 и более объектах в Российской Федерации, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Кроме того, при разработке месторождений на территории Монголии необходимо учитывать, кроме прочего, климатические условия региона, для большей части которого характерны сильные ветры степных и пустынных ландшафтов.

Литература

1. Озера МНР и их минеральные ресурсы / Рассказов А.А., Лувсандорж Ш., Севастьянов Д.В. Ж. Цэрэнсодном, А.Н. Егоров – М.: Наука, 1991. 136 с.
2. Петрова В.В. Низкотемпературные вторичные минералы и их роль в литогенезе М.: ГЕОС, 2005. 239 с.
3. Mavlet U., Enebish B. Mineral resources of Mongolian – Ulaanbaatar, 1998. 280p.
4. Квалиметрия недр. /Попов В.Н., Бадамсурэн Х., Буянов М.И., Руденко В.В. –М. Изд-во Академии горных наук, 2000. 303с.

РЕЙТИНГОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОДНОГО МАССИВА БЕНЯВСКОГО (RMR)

Величко Д.В.* (МГРИ, dmitrii_velichko@mail.ru),
Пименова А.В. (МГРИ, pimenova_av@bk.ru)

Аннотация

В статье рассматривается рейтинговая характеристика породного массива по Бенявскому – Rock Mass Rating (RMR), особенности её применения, источники ошибок, могущие повлиять на оценку рейтинга.

Ключевые слова Бенявский, RMR, RQD, рейтинг массива, устойчивость, нарушенность массива

Критерий разрушения Кулона-Мора является основой всех существующих в настоящее время методов численного моделирования. Необходимыми исходными данными для применения данного критерия являются угол внутреннего трения (φ) и сцепление (C) породного массива. Однако испытания на трёхосное сжатие представительных блоков породного массива выполнить сложно из-за его нарушенности, а также ограничений, связанных с размерами испытательного оборудования. Следовательно, предпочтительным методом является получение величин трения и сцепления на основе рейтинговых характеристик породного массива, которые были получены на основании опыта.

Любые рейтинговые классификации породных массивов основаны на субъективной оценке определённых свойств породного массива для выделения отдельных геомеханических зон или элементов. В этом процессе Бенявский выделил шесть отдельных задач:

1. выявить наиболее значимые параметры, влияющие на поведение породного массива;
2. разделить определённые формации горных массивов на группы со сходным поведением, т.е. ввести классификацию массивов различного качества;
3. обеспечить основу для определения характеристик каждого класса массивов;
4. обобщить и связать опыт работы в геомеханических условиях одного объекта с опытом, полученным на других объектах;
5. получить количественные данные и руководство для проектирования;
6. обеспечить общую основу для совместной работы проектировщиков и геологов;

Величина рейтинга RMR определяет геомеханическое качество породного массива по шкале с диапазоном от 0 до 100 баллов и включает в себя 5 классов (категорий) и приводится в таблице 1.

Таблица 1. Определение категории устойчивости массива при помощи рейтинга RMR Бенявского

Рейтинг породного массива RMR	Описание категорий устойчивости массивов
81-100	Весьма устойчивые
61-80	Устойчивые
41-60	Средней устойчивости
21-40	Неустойчивые
<21	Весьма неустойчивые

Параметры и их оценки, которые используются для определения геомеханического качества породного массива, приводятся в таблице 2

Таблица 2. Параметры рейтингов Беняевского, 1976 и 1979 гг.

Параметр	Рейтинги, баллы (1976 г.)	Рейтинги, баллы (1979 г.)
Предел прочности при одноосном сжатии	0-15	0-15
Показатель нарушенности (RQD)	3-20	0-20
Расстояние между трещинами	5-30	5-20
Состояние трещин	0-25	0-30
Обводнённость	0-10	0-15
Базовая характеристика RMR	8-100	8-100
Учёт направления трещин относительно выработки	0-60	0-60

При применении системы RMR следует указывать версию используемой системы.

В таблице 3 приводится пример рейтинга RMR за 1976 год.

Таблица 3. Рейтинг RMR за 1976 г.

Параметр		Диапазон величин							
1	Прочность ненарушенной породы	Показатель прочности при точечном нагружении	>8 МПа	4-8 МПа	2-4 МПа	1-2 МПа	Для диапазона таких низких значений предпочтительно испытание на одноосное сжатие		
		Прочность при одноосном сжатии	>200 МПа	100-200 МПа	50-100 МПа	25-50 МПа	25-50 МПа	25-50 МПа	25-50 МПа
	Рейтинг, баллы		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD бурового керна		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	Рейтинг, баллы		20	17	13	8	3		
3	Расстояние между трещинами (табл. 5)		>3м	1-3м	0,3-1м	50-300мм	<50мм		
	Рейтинг, баллы		30	25	20	10	5		
4	Состояние трещин	Очень шероховатые поверхности. Прерывистые. Нет раскрытия. Прочный контакт стенок трещин	Слегка шероховатые поверхности. Раскрытие <1мм. Прочный контакт стенок трещин	Слегка шероховатые поверхности. Раскрытие <1мм. Прочный контакт стенок трещин	Слегка шероховатые поверхности. Раскрытие <1мм. Слабый контакт стенок трещин	Поверхности скольжения или глина трения толщиной >5мм. Непрерывные трещины	Мягкая глина трения толщиной >5мм. Непрерывные трещины		
	Рейтинг, баллы		25	20	12	6	0		

Использование показателя нарушенности (RQD) в системе RMR Беняевского создаёт определённые проблемы. RQD (см. табл. 4) представляет собой модифицированную процентную долю выхода керна и показатель качества пород в проблематичных породах, являющихся сильно выветрелыми, мягкими, трещиноватыми и раздробленными относительно всего породного массива. Таким образом, он является просто измерением процентной доли «ненарушенных» пород, извлечённых на данном интервале буровой скважины. В дополнение, он является довольно плохо определяемым параметром, сильно субъективным и изменчивым, что часто приводит к неточным и неверным результатам.

Таблица 4. Параметры рейтинга RQD Беняевского за 1979 г.

Качество породного массива	RQD (%)	Рейтинг, баллы
Очень низкое геомеханическое качество	<25	3
Низкое геомеханическое качество	25-50	8
Удовлетворительное геомеханическое качество	50-75	13
Хорошее геомеханическое качество	75-90	17
Очень высокое геомеханическое качество	90-100	20

Таблица 5. Параметры рейтинга расстояния между трещинами (s) Беняевского, 1979г.

Качественное описание расстояния между трещинами	s(мм)	Рейтинг, баллы
От очень близкого до чрезвычайно близкого	<60	5
Близкое	60-200	8

Умеренное	200-600	10
Далёкое	600-2000	15
От очень далёкого до чрезвычайно далёкого	>2000	20

Таблица 6. Параметры рейтинга состояния трещин Бенявского, 1979г

Описание состояния структур	Рейтинг, баллы
Непрерывные структуры. Открытые структуры (раскрытие >5мм) или структуры, заполненные мягкой глиной трения (мощность >5мм)	0
Непрерывные структуры. Структуры с поверхностями скольжения или открытые структуры (раскрытие 1-5мм) или структуры, заполненные мягкой глиной трения (мощность 1-5мм)	10
Слегка шероховатые структуры. Структуры с выветрелыми и/или изменёнными породами стенок. Открытые структуры (раскрытие <1мм) или заполненные структуры (мощность <1мм)	20
Слегка шероховатые структуры. Структуры со слегка выветрелыми и/или слегка изменёнными породами стенок. Открытые структуры (раскрытие <1мм) или заполненные структуры (мощность <1мм)	25
Прерывистые структуры. Очень шероховатые структуры. Структуры с невыветрелыми и неизменёнными породами стенок. Закрытые и залеченные структуры	30

Типовые источники ошибок при оценке параметра RQD

- Буровое оборудование, операторы оборудования и обращение с керном;
- Величина 100 мм, принятая для выделения «ненарушенных» пород, по сути, является произвольным резким разграничением, и небольшие различия в расстояниях между трещинами могут вызывать скачки в определении параметра RQD;
- Ориентация буровой скважины относительно буровой скважины;

На основании корреляции, предложенной Пристом и Хадсоном (1979), Бенявский (1989) предположил, что при отсутствии величины RQD или данных о расстояниях между трещинами, график, представленный на рис. 1, можно использовать для оценки отсутствующего параметра, однако учитывая отклонения величины RQD, вызванные ориентацией буровой скважины или линии сканирования, по отношению к ориентации трещин, этот способ следует применять с осторожностью.

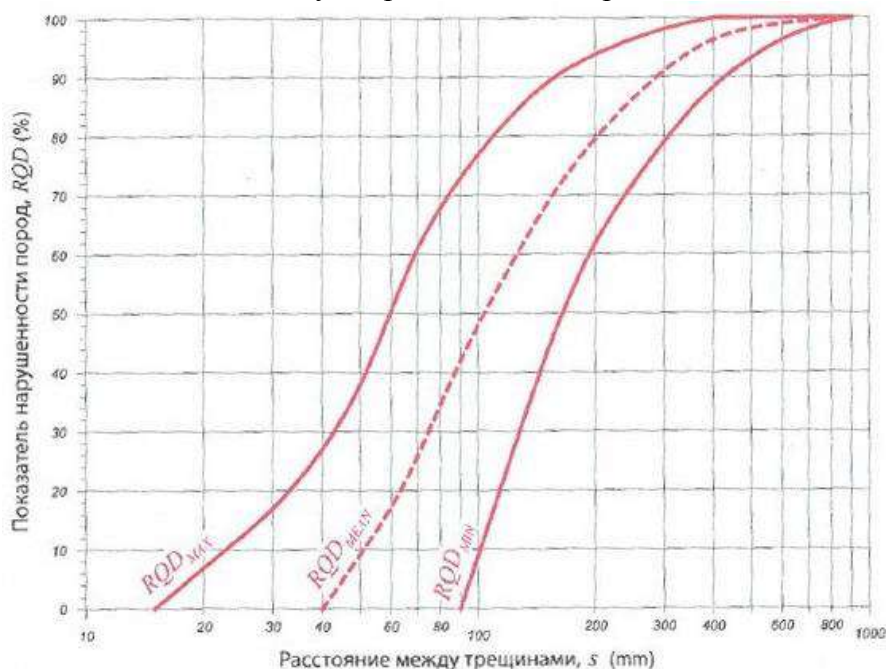


Рисунок 1. Зависимость RQD от расстояния между трещинами по Бенявскому.

Литература

1. Read, J., Stacey P. Guidelines for open pit slope design, CSIRO 2010



2. Hoek E & Brown ET (1997). Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science* 34(8), 1165–1186. Hoek E (2002). *Practical Rock Engineering*. Notes available online at <http://www.roscience.com>.
3. Priest SD & Hudson JA (1976). Discontinuity spacings in rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstracts* 13(5), 135–148
4. Serafim JL & Pereira JP (1983). Considerations of the geomechanics classification of Bieniawski. In *Proceedings of International Symposium of Engineering Geology Underground Construction, Lisbon, 1: II33–II42. Series S10, 2, pp. 569–597.*
5. Bieniawski ZT (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. John Wiley & Sons, New York
6. Hoek E & Diederichs MS (2006). Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science* 43(2), 203–215

ЛОКАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ПРИ НАСЫЩЕНИИ РУДНЫХ КУСКОВ В ПРОЦЕССЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

*Маркелов С.В. *(МГРИ, drobadenko@mail.ru), Вильмис А.Л. (МГРИ, drobadenko@mail.ru), Салахов И.Н. (МГРИ, drobadenko@mail.ru)*

Аннотация

При реализации технологии выщелачивания полезных компонентов возникает необходимость в формировании направленного движения жидкости. Это связано с контролем и локализацией растекающихся технологических растворов в контурах блоков (участков) подземного выщелачивания (ПВ), а также с проникновением растворов в глубь куска раздробленной рудной массы.

Ключевые слова: Подземное и кучное выщелачивание, глубина насыщения куска, скорость влагопереноса, литологические и фациальные разности, коэффициент фильтрации.

Одним из важных факторов, влияющих на эффективность процесса выщелачивания полезного компонента из раздробленных руд, характеризующихся порово-трещинной структурой оруденения, являются скорость и характер проникновения выщелачивающего реагента вглубь рудных кусков.

В практике ведения процессов подземного и кучного выщелачивания (ПВ и КВ) различными исследователями разработаны ряд методик по определению рациональных размеров рудных кусков. Однако в этих работах не учитывается зависимость размера выщелачиваемого куска с фильтрационными (коллекторскими) свойствами рудного массива, а также теория влаго-(растворо) переноса.

С целью учета этих факторов нами выполнен значительный объем лабораторных исследований на 300 опытных образцах по выявлению показателей насыщения рудных кусков различных литологических и фациальных разностей, отобранных из продуктивных горизонтов месторождения Кёнигштайн (Восточная Германия). В качестве жидкости использовался оборотный выщелачивающий раствор, подаваемый в эксплуатационные блоки ПВ.

Образцы руд для лабораторных исследований отобраны из всех присутствующих в разрезе продуктивных горизонтов литологических разностей и характеризовались геологическим разрезом (сверху вниз): -морские мелкозернистые глауконитовые песчаники (слой 1); -морские мелкозернистые глинистые песчаники (слой 2); -морские грубозернистые песчаники с глинистым цементом (слой 3); -морские мелкозернистые и среднезернистые кварцевые песчаники (слой 4); - континентальные песчаники с линзами глин и алевролитов (слой 5); -озерно-болотные песчаники с прослоями и линзами алевролитов и глин (слой 6); -кора выветривания гранитов (слой 7).

Анализируя графические зависимости скорости проникновения растворов реагента (V) от глубины проникновения (L) для рудоносных слоев 2, 3 и 4, можно отметить общую тенденцию – обратную пропорциональность показателей V и L . Нами введен геотехнологический параметр:

$$K_p = V \cdot L \text{ М}^2/\text{СУТ}, \quad (1)$$

величина которого остается постоянной для каждой литологической разности пород и имеет размерность водопроницаемости.

Выявлено, что этот параметр существенно меняется при изменении K_f – коэффициента фильтрации, когда в результате формирования в порово-трещинной

среде прочно-рыхло связных слоев жидкости, снижается эффективная пористость пород.

Так, для слоя 2 $K_p = 0,960 \cdot 10^{-3}$ м²/сут; для слоя 4 $K_p = 0,24 \cdot 10^{-1}$ м²/сут. Анализируя полученные величины K_p , установлено, что:

$$\text{- для } K_\phi < 0,05 \text{ М/СУТ, } K_p = V \cdot \sqrt{L}; \quad (2)$$

$$\text{- для } K_\phi \geq 0,05 \text{ М/СУТ, } K_p = V \cdot L. \quad (3)$$

Графические зависимости $K_p=f(K_\phi)$ для интервалов $K_\phi < 0,05$ м/сут и $K_\phi \geq 0,05$ м/сут позволили выявить общую математическую зависимость

$$K_p = C \cdot K_\phi^N \quad (4)$$

где C – коэффициент пропорциональности зависящий от литолого-фациальных особенностей пород и изменяется в пределах $10^{-3} - 10^{-1}$ м. Подставляя в данное выражение, приведенное выше постоянное значение K_p и K_ϕ для каждой литологической разности получен:

$$0,288 \cdot 10^{-3} = C(4,5 \cdot 10^{-3})^n, \text{ слой 2;}$$

$$0,960 \cdot 10^{-3} = C \cdot 0,05^n, \text{ слой 3;}$$

$$0,24 \cdot 10^{-1} = C \cdot 0,05^n, \text{ слой 4.}$$

Прологарифмировав, определив численные значения коэффициентов C и n получим математические выражения:

$$\text{- для } K_\phi < 0,05 \text{ М/СУТ, } K_p = 4,3 \cdot 10^{-3} K_\phi^{0,5}; \quad (5)$$

$$\text{- для } K_\phi \geq 0,05 \text{ М/СУТ, } K_p = 4,0 \cdot 10^{-1} K_\phi^{2,0}. \quad (6)$$

Анализируя эти зависимости, можно констатировать, что локальная проникающая способность выщелачивающего раствора, начиная с определенной величины, для каждой литологической разности более значительна при инфильтрационной схеме выщелачивания у пород с K_ϕ менее 0,05 м/сут.

Используя рассчитанные значения коэффициентов изменения скорости по глубине растворопереноса (K_p) в соответствующих вышеприведенных формулах,

$$V_1 = \frac{4,3 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{L}} K_\phi^{0,5}, \text{ М/СУТ} \quad (7)$$

- для $K_\phi < 0,05$ М/СУТ;

$$V_1 = \frac{4,3 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{L}} K_\phi^{0,5}, \text{ М/СУТ} \quad (8)$$

- для $K_\phi < 0,05$ М/СУТ;

получили зависимость скорости растворопереноса от K_ϕ породы и глубины проникновения выщелачивающего раствора:

Из зависимостей (7 и 8) следует, что скорости растворопереноса пропорциональны выражениям $\frac{4,3 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{L}}$ и $\frac{4,0 \cdot 10^{-1}}{L}$, которые характеризуют изменение градиента движения технологических растворов (градиент растворопереноса) по пути проникновения их вглубь рудных кусков.

Таким образом, коэффициент растворопереноса (K_p) – геотехнологический показатель, характеризующий интенсивность насыщения пород выщелачивающим реагентом, зависит от природного показателя K_ϕ нелинейно.

Литература

1. Добыча урана методом подземного выщелачивания // Мамилов В.А., Петров Р.П., Водолазов Л.И. и др – М: Атомиздат, 1980.
2. Ресурсосбережение и экология в процессах инженерной геотехнологии при освоении урановых месторождений // Маркелов С.В., Малухин Н.Г., Лобанов П.Д.. Под общей научной редакцией проф. Д.П. Лобанова – М: ВИНТИ, 2003.

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

*Ганин И.П. * (МГРИ, ipg59@mail.ru), Старков М. В. (МГРИ, ipg59@mail.ru)*

Аннотация

Предлагается экспериментальный способ исследования комплекса динамических параметров, характеризующих воздействие ударных импульсов на слабосцементированный кольматант в прифильтровой зоне скважины. С целью экспериментального изучения действия пульсирующего давления различной частоты и амплитуды на увеличение проницаемости породы продуктивного пласта создан проект экспериментальной виброустановки.

Ключевые слова: восстановления дебита скважин, виброобработка забоя, импульсные методы, экспериментальный стенд

Подземные воды в качестве источника надежного и безопасного водоснабжения в настоящее время приобрели большую значимость. Рациональная эксплуатация водозаборных скважин предусматривает необходимость проведения регулярных профилактических мероприятий по восстановлению дебита скважин, снизивших свою производительность в процессе эксплуатации. Важным элементом обеспечения эффективности восстановительных мероприятий являются научно обоснованные представления об особенностях кольматажа призабойной зоны продуктивного пласта (ПЗП), а также оценки эффективности применения различных методов и технических средств воздействия на пласт с целью увеличения его проницаемости. Различают следующие виды кольматажа скважин: механический, химический и биологический.

Фильтры водозаборных скважин достаточно часто - гравийно-обсыпные, а породы водоносного пласта – песок или другие несвязные породы. Задача работ при восстановлении дебита скважин на воду оборудованных фильтрами – удаление кольматанта с поверхности фильтра и из ПЗП. Наиболее эффективными являются: реагентные, импульсные и импульсно-реагентные. Сочетание импульсных и реагентных методов обеспечивает более равномерную водопроницаемость пород в прифильтровой зоне.

На забое скважины с помощью вибратора формируются волновые возмущения среды в виде частых гидравлических импульсов или резких колебаний давления различной частоты и амплитуды. Импульсные методы основаны на создании внутри фильтра и в ПЗП мгновенных перепадов давления, что приводит к воздействию ударных нагрузок на них разной интенсивности, а значительные градиенты давления - к появлению фильтрационных потоков переменного направления. Ударные воздействия характеризуется сложным комплексом динамических силовых факторов. Эти факторы, действующие одновременно или в некоторой последовательности, могут являться как причиной разрыхления и нарушения сплошности среды, так и ее уплотнения. Интенсивные динамические воздействия на породы прифильтровой зоны водозаборной скважины приводят к изменениям их фильтрационных характеристик. С целью определения рациональных условий применимости динамических воздействий для раскольматации ПЗП требуется принимать во внимание особенности строения кольматанта в прифильтровой зоне, а также процессы вызывающие разрушение кольматанта под воздействием динамических нагрузок. В водонасыщенных несвязных горных породах, в т.ч. в водоносных песках наибольшее значение имеют

цементационные связи между частицами, которые возникают в процессе длительного упрочнения грунтов.

Наличие структурных, в частности цементационных связей в естественных условиях отражается на результатах производственных исследований импульсных и др. динамических воздействий на прифильтровую зону водозаборных скважин. Тем не менее известные лабораторные исследования пород водоносных горизонтов не отражают присутствия в них цементационных связей.

Существующие импульсные методы восстановления дебита скважин обеспечивают значительный диапазон давлений на фронте волны (2..30 МПа) и способны разрушить относительно сильно сцементированный комбатант на фильтре и на сравнительно небольшом удалении от стенки фильтра. Однако эффективность этих методов снижает отсутствие технологических проработок по одновременному разрушению кольтманта и его удалению прокачкой из-за неполного выноса кольтманта, в особенности из прифильтровой зоны скважины.

Изучение влияния импульсных воздействий на фильтрационные характеристики пористых горных пород планируется проводить при помощи специально разработанной лабораторной установки. Цель эксперимента заключается в определении фильтрационных характеристик пористых горных пород до и после вибрационной обработки. Критерием оценки является изменение коэффициента фильтрации. Схема установки представлена на рис. 1.

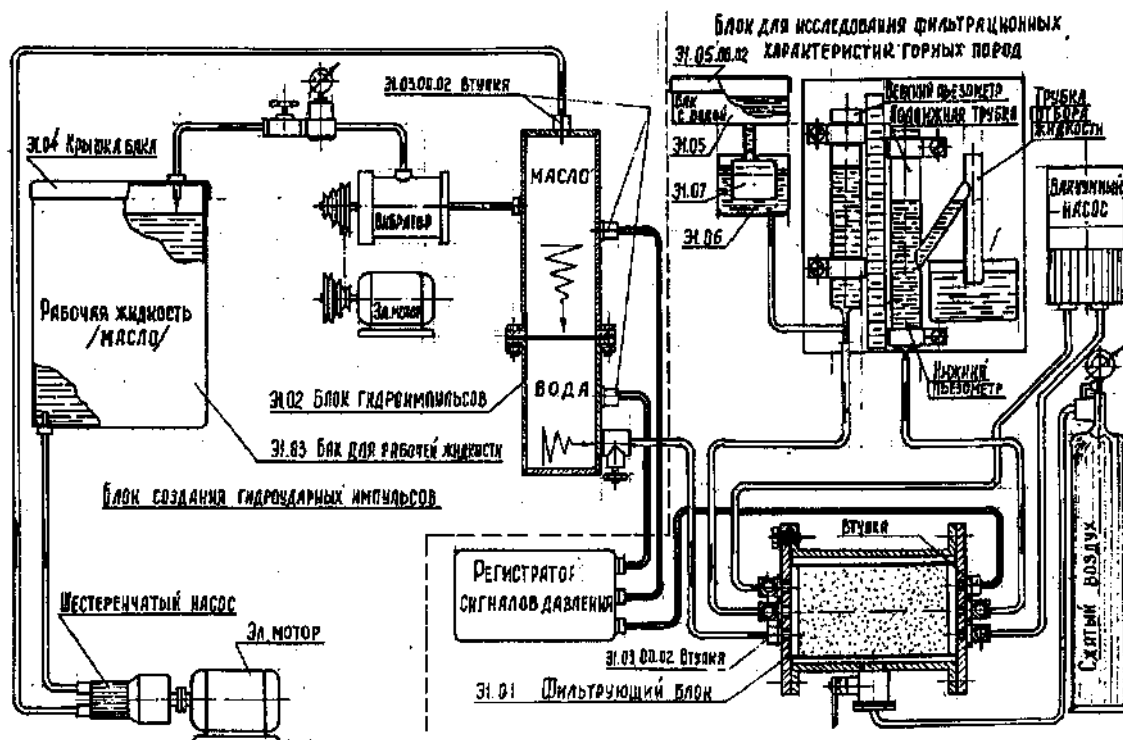


Рисунок 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования воздействия гидродинамических импульсов на образцы пористых горных пород.

В экспериментальной установке рабочая жидкость из емкости масляным насосом, приводом которого служит электродвигатель, прокачивается через вибратор обратно в емкость по замкнутому контуру. Давление на нагнетательной линии контролируется регистратором сигналов давления. Периодическим перекрытием потока жидкости ротором, вибратор создает гидравлические удары, которые

воздействуют на насыщенную водой пористую горную среду, помещенную в фильтрующем блоке. Частота гидравлических ударов определяется количеством щелей ротора и числом оборотов. Число оборотов можно менять с помощью сменных шкивов на валу приводного электродвигателя и на валу ротора. Необходимое давление в гидравлической системе регулируется вентилем.

Регистрация частоты и амплитуды пульсирующего давления, которое воздействует на пористую насыщенную среду, проектируется осуществлять при помощи современных датчиков, аналогичных типу "Сапфир".

Фильтрующий блок состоит из цилиндрического корпуса, в резиновый манжет которого вставляется образец пористой среды, обжимаемый сжатым воздухом. Фильтрующий блок с торцов обжимается гайками. На входе и выходе фильтрующего блока располагается приспособление, позволяющее вакуумировать пористую среду и производить фильтрацию жидкости через нее.

Эффект от импульсного воздействия проектируется оценивать через коэффициент проницаемости пористой среды - его значения до и после вибровоздействия при низких коэффициентах давления. Схема блока для исследования фильтрационных характеристик горных пород приведена на рис.1 справа. Система равномерной подачи жидкости состоит из напорного сосуда. Пьезометр состоит из двух стеклянных колен, имеющих У-образные отводы для замера перепада давления. Левое колено пьезометра жестко закреплено, а правое может свободно перемещаться в вертикальном направлении вниз или вверх, что позволяет установить необходимый перепад давления. Правое колено имеет отвод, из которого отбирается жидкость в мензурку. Для предотвращения фильтрации жидкости между пористой средой и манжетой производится обжим манжеты воздухом. Подвод воздуха осуществляется от баллона.

Перед тем, как подвергнуть образец вибровоздействию образец породы вакуумируется и насыщается жидкостью. Вакуумирование осуществляется вакуумным насосом, а расход жидкости через пористую среду определяется объемным способом. После определения расхода жидкости пористая среда подвергается воздействию виброударных волн. Процесс вибровоздействия длится в течение определенного времени. После виброобработки вновь определяется расход жидкости через пористую среду.

Поскольку из-за неоднородности и многокомпонентности грунтовой среды водоносных пластов исключительно расчетным путем невозможно получить исчерпывающее решение задач гидроимпульсной и виброволновой обработки водозаборных скважин, предполагается, что экспериментальное изучение действия пульсирующего давления различной частоты и амплитуды на водонасыщенную породу позволит более точно прогнозировать результативность применения виброобработки забоев водозаборных скважин.

Литература

1. Апасов Т.К., Апасов Г.Т., Саранча А.В. Использование виброволнового воздействия для восстановления продуктивности скважин // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1.
2. Дыбленко В.П., Камалов Р.Н., Шариффулин Р.Я., Туфанов И.А. Повышение продуктивности и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия. М.: Недра, 2000.-381с.
3. Омелянюк, М. В. Технологии ремонта и восстановления водозаборных скважин. // Водоснабжение и санитарная техника, - 2015. - № 3. с.25–32.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА ДОБЫЧИ НЕФТИ ИЗ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН С МГРП

Григорьев Д. С.

(ООО «Газпромнефть НТЦ», Санкт-Петербург, Россия,
Grigorev.DSer@gazpromneft-ntc.ru)

Аннотация

В данной статье рассматривается возможность применения алгоритмов машинного обучения, в частности, модели случайного леса для прогноза накопленной добычи нефти из горизонтальных скважин, ввод которых осуществляется с проведением многостадийного гидроразрыва пласта.

Ключевые слова: машинное обучение, случайный лес, прогнозная модель, многостадийный гидроразрыв пласта.

На сегодняшний день, одним из наиболее эффективных способов разработки нефтяных месторождений является бурение горизонтальных скважин, рост популярности которого имеет место во всем мире [1]. Вместе с тем, перед инженерами-нефтяниками неизбежно встают проблемы подбора оптимальных заканчиваний таких скважин, а также подбора наилучших, с точки зрения максимизации прибыли, параметров дизайна многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП). Рост их числа, наряду с сопутствующим увеличением объема информации, создает благоприятную почву для применения статистических моделей, а также инструментов машинного обучения, бурное внедрение которых охватило многие бизнес-процессы предприятий России и мира. Таким образом, целью данной работы является приложение продвинутых алгоритмов машинного обучения для прогноза накопленной добычи нефти и определения ключевых параметров заканчивания скважин, контролирующей её производительность.

Для анализа было отобрано более 150 горизонтальных скважин, пробуренных в период с 2012 по 2017 год и территориально приуроченных к одному из активов Компании. В качестве входных параметров для построения регрессионной модели использовались геологические характеристики продуктивных пластов, параметры заканчивания и дизайна МГРП и др. Всё пространство признаков наглядно продемонстрировано на рис. 1. Цветом показана степень линейной зависимости между признаками и целевой переменной, в качестве которой использовалась накопленная добыча нефти за 6 месяцев. Так, можно заметить, что коэффициент корреляции между стартовым дебитом нефти и накопленной добычей нефти гораздо выше, чем по остальным параметрам. Также прослеживается достаточно чёткая обратная зависимость между величиной накопленной добычи и обводненностью. Всё это укладывается в общепринятую логику и позволяет судить, в той или иной степени, о качестве входных данных.

Прогнозная модель построена на алгоритме случайного леса, логика которого строится на объединении в ансамбль большого числа решающих деревьев [2]. В качестве обучающей выборки на вход каждого из таких деревьев подается случайная подвыборка параметров и наблюдений. Такой подход неплохо зарекомендовал себя в решении схожих задач [3, 4].

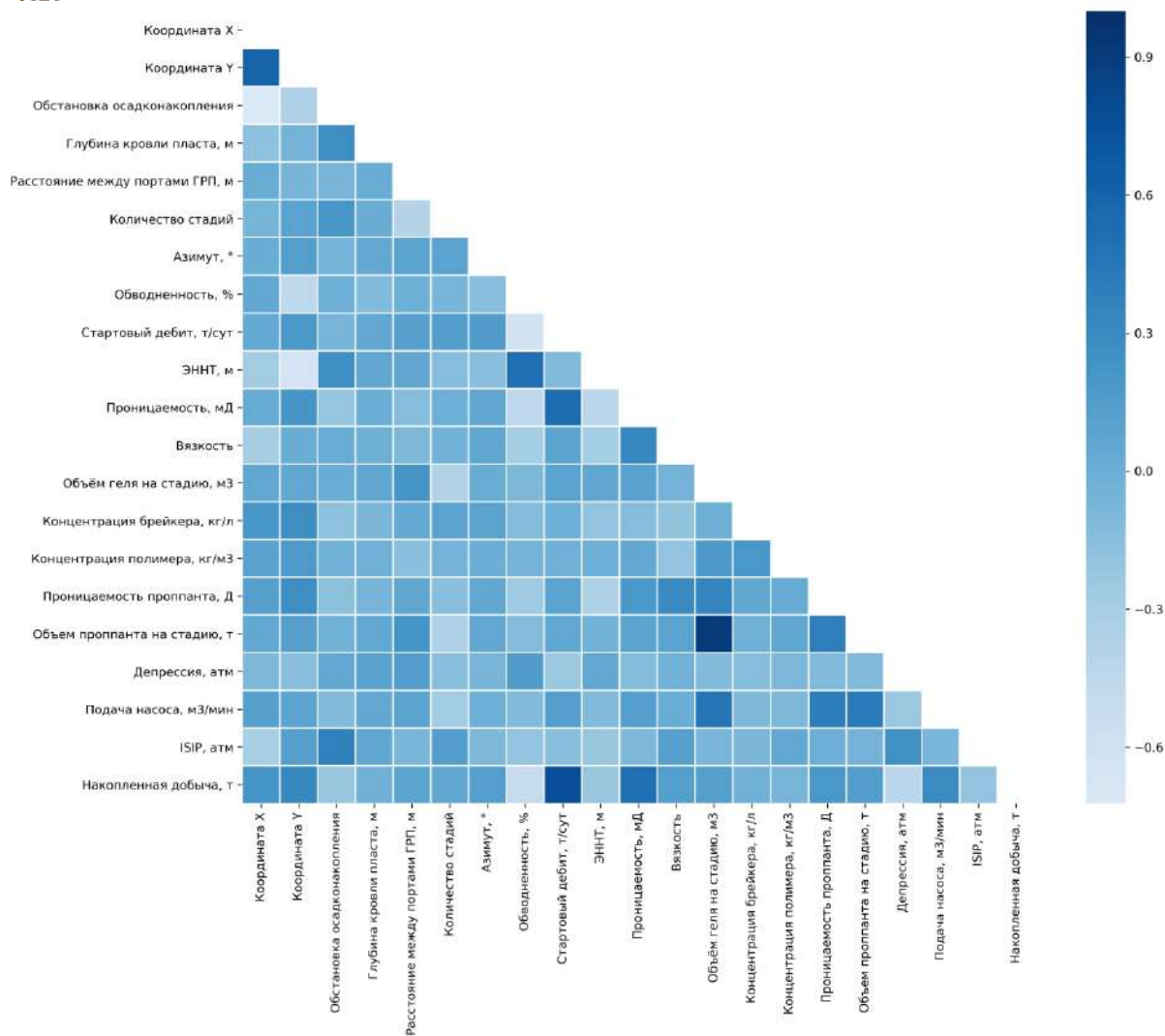


Рисунок 1. Матрица корреляций.

Ключевыми преимуществами данного метода являются относительная простота применения (легко реализуется на языке Python или R), способность к обработке большого количества данных, достаточно высокая точность прогноза [5]. Для того, чтобы обучить модель случайного леса, исходная выборка была разделена на тренировочный, валидационный и тестовый наборы в соотношении 3:1:1. Первый используется для обучения модели с заранее известными ответами (значениями целевой переменной), второй - для настройки гиперпараметров модели, а третий позволяет получить непредвзятую оценку качества прогнозной способности модели.

Результаты прогноза модели представлены на рис. 2 для валидационного и тестового наборов. Средняя абсолютная ошибка составила 1752 и 1918 тонн нефти соответственно. По графику видно, что модель хорошо прогнозирует в диапазоне средних значений, но начинает значительно ошибаться на тех скважинах, добыча которых находится в диапазоне от 10 до 20 тыс. тонн нефти за 6 месяцев. Предположительно, такая особенность модели является следствием малого числа наблюдений в исходной выборке в области больших значений (т.е. её несбалансированностью).

Примечательным свойством алгоритма случайного леса является возможность определения важности признаков по степени влияния на прогноз целевой переменной. С помощью встроенной функции *feature_importances_* библиотеки *scikit-learn* было

установлено что наибольшей степенью влияния обладают признаки «Стартовый дебит нефти», «Депрессия», «Обводненность». Таким образом, качество прогноза полученной модели предопределяется в большей степени этими тремя переменными.

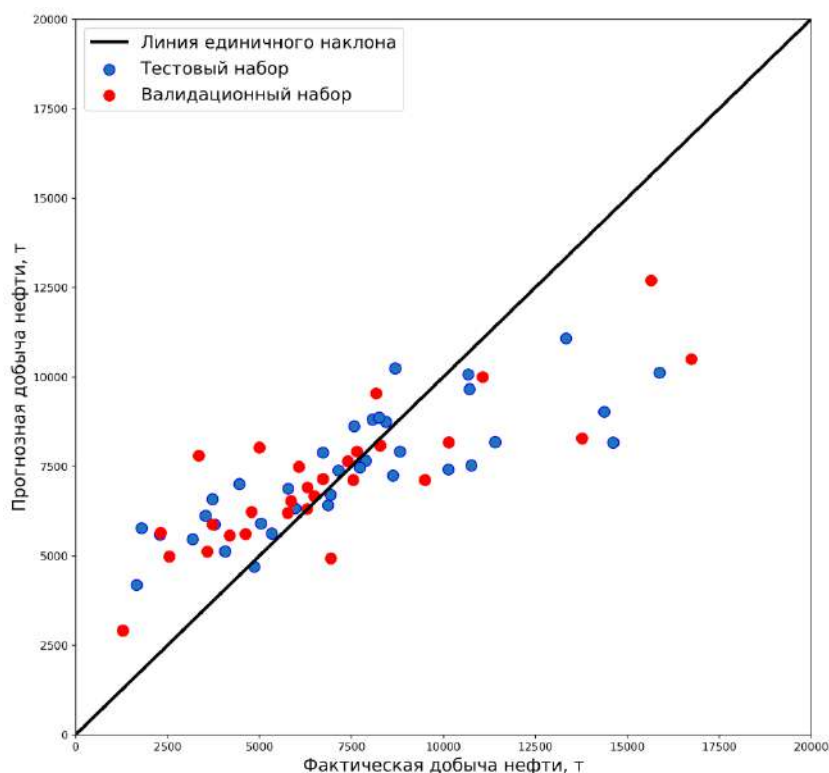


Рисунок 2. Сопоставление фактических и прогнозных значений.

Литература

1. Серебряков О. И., Ермолина А. В. Современное состояние и перспективы разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений горизонтальными и наклонными скважинами // Геология, география и глобальная энергия. – 2017. - №1 (64). – С. 47-50.
2. Breiman L. Random forests // Machine learning. – 2001. – Т. 45. – № 1. – С. 5-32.
3. Schuetter J. et al. Data Analytics for Production Optimization in Unconventional Reservoirs // URTEC-2167005-MS. – 2015.
4. Lolon E. et al. Evaluating the Relationship Between Well Parameters and Production Using Multivariate Statistical Models: A Middle Bakken and Three Forks Case History // SPE-179171-MS. – 2016.
5. Duroux R., Scornet E. Impact of subsampling and tree depth on random forests // ESAIM: Probability and Statistics. – 2018. – Т. 22. – С. 96-128.

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НРС В СКВАЖИНАХ ДИАМЕТРОМ БОЛЕЕ 56 мм

Емельянов Р.В. (ООО"Си Ар Си Си", roma885roma@mail.ru)
Иляхин С.В.(МГРИ, Isv11@mail.ru)*

Аннотация

Проведены лабораторные и полигонные исследования возможности разрушения горной породы с использованием НРС в зарядной камере диаметром более 56 мм. Работы проводились на специальной металлической модели и бетонных образцах. В зарядную камеру устанавливались вставки различной формы и поперечного сечения. Установлено влияние формы вставок на перераспределение напряжений по периметру зарядной камеры и площади поперечного сечения вставок на процесс гидратации НРС.

Ключевые слова: НРС, бетонные модели, зарядная камера, вставка, динамометр.

Один из широко применяемых химических способов разрушения горной породы является НРС (невзрывная разрушающая смесь). К преимуществам данного способа относятся: относительная беззвучность раскалывания, отсутствие сейсмического эффекта и разлёта осколков породы, экологическая безопасность и безопасность ведения работ, не требуется специальное разрешение на ведение работ по разрушению горных пород или других материалах. К недостаткам метода можно отнести невозможность его использования в зарядных камерах более 56 мм[1]. Поэтому были проведены исследования доказывающие использование разрушение горной породы в зарядных камерах более 56 мм.

Цель доклада – изучить возможность использовать НРС в скважинах диаметром более 56 мм. при помощи вставок, например, из металла.

Вначале изучение расширения НРС в зарядной камере производилось в лабораторных условиях на металлической модели конструкции Христолюбова В.Д., подробное описание которой изложено в работе [2]. В зарядную камеру диаметром 100 мм. (рисунок 1.) помещались металлические вставки диаметром 27,33,42,44 мм (рисунок 2).



Рисунок 1. Металлическая модель зарядной камеры

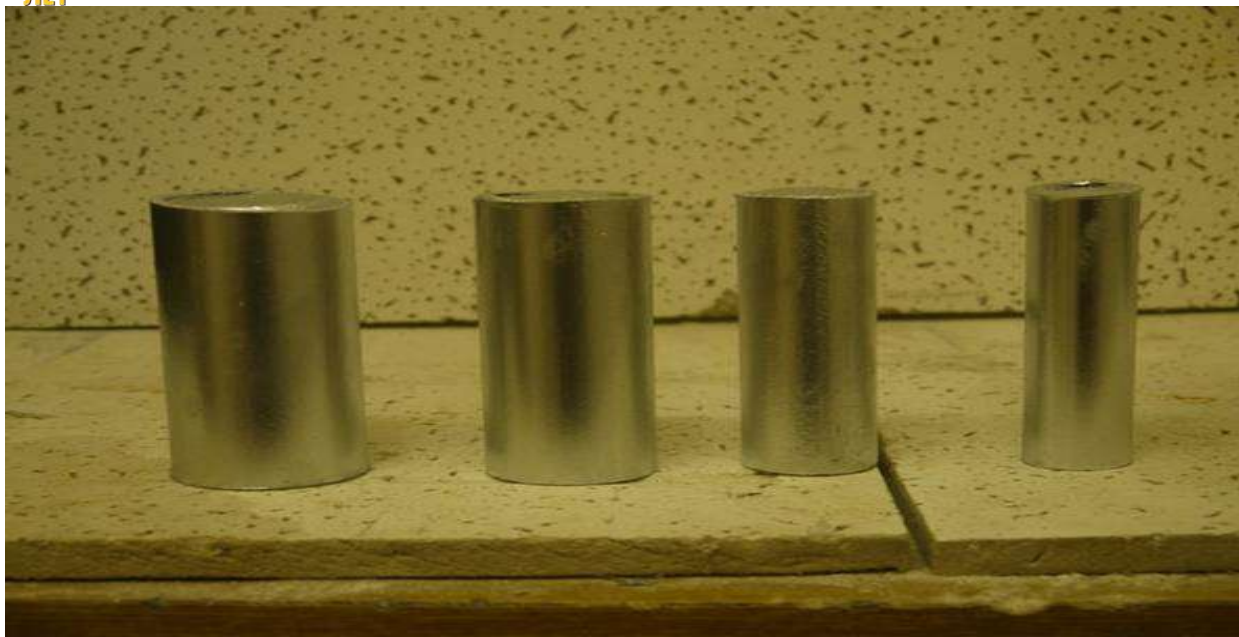


Рисунок 2. Металлические вставки

Собранную зарядную камеру устанавливают на подставку строго по оси прибора, прижимают к одной из сторон динамометр с помощью винта. После этого, подготавливают рабочую смесь.

Путём вращения винта устанавливают нагрузку на рабочую камеру, равную 1/4 максимального усилия развиваемого смесью. Величину нагрузки контролируют по показаниям динамометра.

По началу роста показаний динамометра фиксируют время достижения усилия, развиваемого смесью при заданной величине нагрузки. Далее увеличивают нагрузку на зарядную камеру путем вращения винта и продолжают измерение. Шаг увеличения нагрузки определяется требуемой точностью измерений и рекомендуется равным 1/10 максимального развиваемого смесью усилия. Измерения заканчивают после прекращения интенсивного роста, развиваемого смесью.

Результаты измерений рабочего усилия НРС представлен на графике (рисунок 3.).

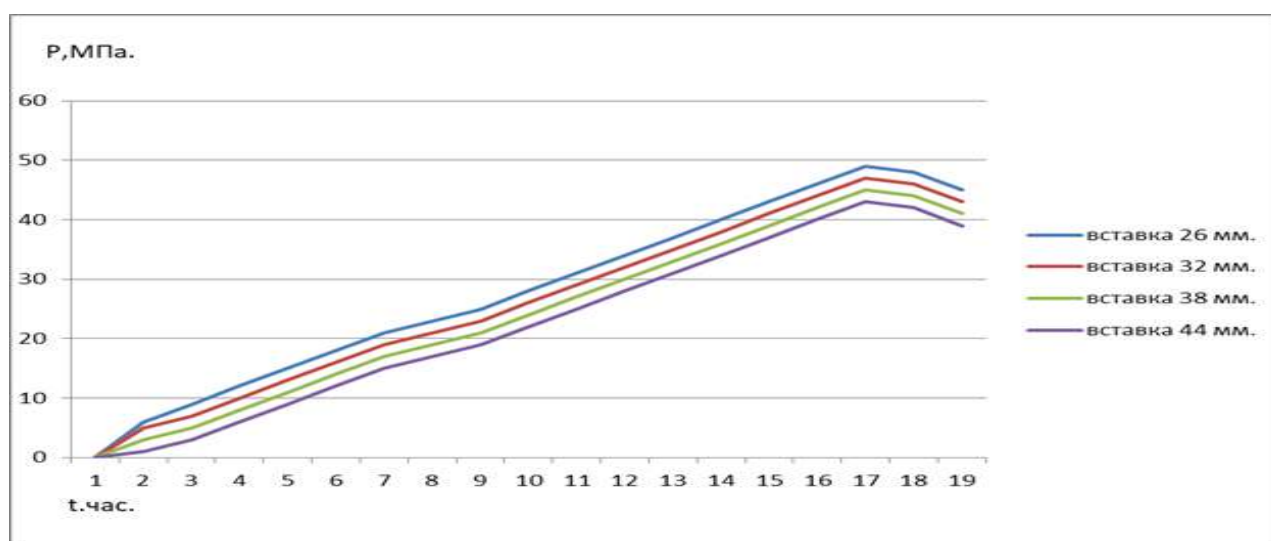


Рисунок 3. Усилие НРС в зарядной камере в зависимости от времени воздействия

На основании анализа результатов проведенного эксперимента можно сделать вывод о том, что увеличении диаметра вставки с 26 мм до 44 мм способствует уменьшению развиваемого смесью давления на 15-25 %. Причем выброса смеси из зарядной камеры не наблюдается.

Для подтверждения отсутствия выброса НРС из зарядной камеры 100 мм. со вставками (и одновременного разрушения) были подготовлены бетонные модели высотой 1300 мм, диаметром 300 мм с зарядной камерой диаметром 100 мм по центру цилиндрической модели. Для изготовления бетонных моделей использовался цемент марки 500 (соотношение В/Ц=1:3). Для набора прочности бетона модели сушили в течение 28 дней.

В центр бетонной модели помещалась вставка и зарядная камера со вставкой заполнялась смесью. В результате реакции гидратации невзрывная разрушающая смесь твердеет и расширяется, создавая давление на стенки бетонных моделей до 40-50 МПа. Результаты разрушений представлены на рисунке 4.



Рисунок 4. Результаты разрушений бетонных моделей с помощью НРС со вставками

Самопроизвольного выброса НРС из скважины зафиксировано не было, т.е. этот эксперимент доказывает возможность применения зарядной камеры диаметром более 56 мм для разрушения горной породы с применением НРС.

Выводы:

- Увеличение диаметра вставки с 27 до 44 мм уменьшает развиваемое смесью давление на 15-25%.

- Разрушение объектов с помощью НРС допустимо при использовании зарядных камер диаметром более 56 мм.

Литература

1. Христюков Владимир Дмитриевич. Невзрывные способы разрушения горных пород. МГИ, 1991.

2. Разработка ресурсосберегающего способа добычи минерального сырья невзрывными разрушающими смесями: DOI: 10.25018/0236-1493-2017-9-0-209-213.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОРАДАРОВ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Изымов С.В. *(ООО «Геологоразведка, inter@trgeo.ru)
Gajdos Vojtech, (CSc IngGeoCom s.r.o, Bratislava, vojtechgajdos@gmail.com)*

Аннотация

В статье приводится описание метода георадиолокации для обследования дорог.

Ключевые слова: георадар, подповерхностное зондирование, интерпритация.

В результате техногенного воздействия на существующие объекты улично-дорожной сети городов, связанных со строительством и эксплуатацией подземных инженерных коммуникаций и сооружений, расположенных под дорожным полотном, вследствие карстовых и оползневых процессов, имеющих местно в ряде регионов РФ, значительное число объектов улично-дорожной сети подвержено просадкам основания дорожного полотна, что ставит под угрозу безопасность движения автотранспорта.

Строительство подземных сооружений и коммуникаций в крупных городах ведёт к изменению гидрогеологического режима подземных вод, что иногда приводит к подтоплениям и размывам грунта. Встречаются случаи нарушения технологии проходки тоннелей метро и прокладки инженерных подземных коммуникаций. Эти нарушения могут приводить к просадкам или даже провалам грунта под объектами улично-дорожной сети. Многие подземные коммуникации, канализационные и водосточно-дренажные коллекторы, водопроводы, находящиеся в эксплуатации сверх положенного срока, подвержены многочисленным разрушениям. Происходит вынос грунта вместе с потоком сточных или дождевых вод в разрушенные коммуникации. Такие суффозионные процессы неизбежно приводят к просадкам и провалам грунта. Зачастую они осложняются нарушениями естественного гидрогеологического режима в результате подземного строительства.

Перед появлением видимых разрушений дорожного покрытия внутри дорожной одежды или земляного полотна протекают скрытые процессы (образование пустот, заиливание дренирующих слоев, переувлажнение грунта земляного полотна, инфильтрация грунтовых вод и т.п.), своевременное выявление которых позволило бы вовремя принимать соответствующие меры.

Большинство проектных организаций и контролирующие организации используют геофизические методы. Для обследования состояния улично-дорожной сети метод подповерхностной георадиолокации обеспечивает высокую скорость сканирования, оперативность и достоверность получаемых результатов. Геофизическое зондирование проводится георадаром. Георадарное зондирование проводится в основном низкочастотным (НЧ) георадаром “ТР-ГЕО-01” производства ООО “Геологоразведка” [1,2] с центральной частотой рабочего диапазона 150 МГц. Георадар “ТР-ГЕО-01-08”, являющийся более новой версией данного георадара, показан на рис.1. Размер каждой из антенн георадара составляет 40×40 см.



Рисунок 1 Георадар “ТР-ГЕО-01-08” производства ООО “Геологоразведка” (Россия, г. Москва). Справа георадар представлен в сложенном виде

В качестве примера обследования полотна автодороги можно привести пример по выявлению мест протечки грунтовых вод (рис.2), в результате которых имели место неоднократные просадки и провалы дорожного полотна. Для выявления мест протечек и объяснения причин провалов дорожного полотна был использован георадар «ТР-ГЕО»

На вертикальном профиле рис.3 представлено радиолокационное изображение неоднородностей исследуемой среды, в том числе всевозможных неоднородностей, локальных зон обводнения, коммуникаций и других техногенных объектов. В верхней части радиолокационных профилей (глубины до 1-1.5 м) могут также находиться изображения сигналов, вызванных изменениями сигнала прямого прохождения в процессе сканирования. Кроме полезных отражённых сигналов и сигналов от прямого прохождения в сигнале георадара могут присутствовать также мешающие отражения со стороны объектов, находящихся в верхнем воздушном полупространстве.

В радиолокационном изображении каждый отражённый сигнал от объекта или от границы раздела имеет вид затухающего осциллирующего сигнала, состоящего из нескольких (2-3) полупериодов. Первые два колебания (полупериода) обычно имеют наибольшую амплитуду. При визуализации по первому полупериоду отражённого сигнала определяется положение и характер объекта. Глубина объекта определяется по началу первого полупериода. Знак отражения определяется по знаку первого полупериода отражённого сигнала. Амплитуда и знак полупериодов отражённых сигналов на радиолокационном изображении показаны цветовой палитрой.

Характер объекта (металлический/влажный или диэлектрический) определяется следующим образом. Если объект имеет большую диэлектрическую проницаемость или проводимость, чем вмещающая среда (массив грунта), первый полупериод отражённого сигнала имеет отрицательный знак. Если диэлектрическая проницаемость объекта меньше, чем у окружающего грунта, знак первого полупериода положительный. Металлические объекты и зоны увлажнения имеют отрицательный знак отражённого сигнала. Первый полупериод отражённого сигнала для таких объектов на радиолокационном изображении показан “холодным” цветом: голубым, синим или зелёным.

На вертикальных профилях локальный объект (неоднородность, зона увлажнения) или возможный линейный объект (труба, кабель), расположенный перпендикулярно профилю, выглядит как серия полос чередующегося знака и изогнутых в виде гипербол. Гиперболы обращены вершиной вверх. Положение верхней границы объекта совпадает с вершиной верхней гиперболы, соответствующей началу первого полупериода колебаний отражённого сигнала. По форме этой "гиперболы" можно оценить диэлектрическую проницаемость среды зондирования.



Рисунок 2 Определение мест движения подземных вод под автомагистралью

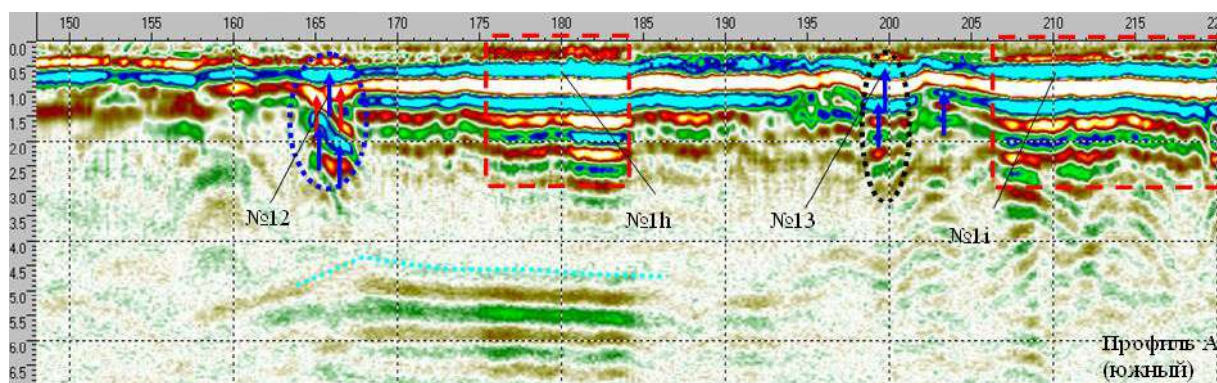


Рисунок 3. Результаты полученные после обработки данных зондирования.

Выводы: Двадцатипятилетний опыт применения георадаров серии «ТР-ГЕО», разработанных в ООО «Геологоразведка», в различных регионах РФ и за рубежом показал, что потенциал георадаров достаточен для решения многих задач в первых десяти метрах. Использование георадаров дает возможность получение информации об основных элементах строения природных массивов; определение состояния массива горных пород, наличия зон естественной и техногенной трещиноватости. Методика георадарных исследований включает в себя два основных способа : профилирование и зондирование.

Литература.

1. Изюмов и др. «Теория и методы георадиолокации», Учеб. пособие, М.: Изд. «Горная книга», Изд. Московского государственного горного университета, 2008, 196 с.
2. Изюмов и др. «Теория и практика георадиолокации», Учеб., М.: Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2018, 220 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ПРОГНОЗА ТЕХНОГЕННОЙ ОСАДКИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПОЛНЫЙ СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Касьянова Н.А. (МГРИ, nkasyanova@mail.ru)

Аннотация

предлагается технология перспективного пространственно-временного прогноза развития техногенной осадки земной поверхности (морского дна) на полный срок эксплуатации месторождений углеводородов. Приведена последовательность действий для получения информации, необходимой для количественной оценки, прогноза и управления техногенными геодинамическими рисками, связанными с техногенной осадкой на разрабатываемых месторождениях. Представлены некоторые результаты апробации данной технологии на морском нефтегазовом месторождении им. Ю. Корчагина в Северном Каспии. Указаны необходимые превентивные мероприятия по снижению техногенных геодинамических рисков (управление рисками) в течение всего периода эксплуатации месторождений УВ.

Ключевые слова: осадка земной поверхности (морского дна), техногенные геодинамические риски, пространственно-временной прогноз и управление рисками.

С целью повышения промышленной и экологической безопасности на разрабатываемых на суше и шельфе месторождений углеводородов (УВ) предлагается для использования технология пространственно-временного прогноза техногенной осадки земной поверхности (морского дна) и управления техногенными геодинамическими рисками на полный срок эксплуатации месторождений.

Предлагаемая технология является авторской разработкой и базируется на использовании новейших научных знаний и многолетнего опыта в области изучения пространственно-временных закономерностей развития современных геодинамических процессов, а также - оценки, прогноза и управления природными и техногенными геодинамическими рисками на разных этапах нефтегазового производства. Уникальность ее заключается в возможности проведения *перспективного пространственно-временного прогноза* развития техногенной осадки в связи с отбором флюидов, благодаря использованию в качестве базовых исходных данных технологическую схему и гидродинамическую модель разработки месторождения.

Реализация предлагаемой технологии предполагает следующую последовательность действий:

- сбор необходимой для исследования информации: топографические (батиметрические) данные, геолого-физические данные (глубина залегания и толщина продуктивных отложений, литолого-петрофизическая и деформационная характеристика пород вмещающей и вышезалегающей толщи), последние варианты технологической схемы и гидродинамической модели разработки на полный срок эксплуатации месторождения УВ;

- создание банка данных и расчет прогнозных величин, характеризующих пространственно-временные особенности развития осадки земной поверхности (морского дна), связанной с отбором флюидов (скорость и абсолютная величина осадки), на полный срок эксплуатации месторождения. При расчете используются алгоритмы, описывающие взаимосвязь между изменениями напряженно-деформационного состояния земных недр (деформациями горных пород на глубине и поверхности) и изменениями пластового давления (тектонического напряжения в продуктивном пласте) [1, 2];

- 2D- и 3D-визуализация и количественный анализ предвычисленных значений скорости и амплитуды прогнозной техногенной осадки на разрабатываемых месторождениях УВ;

- пространственно-временная оценка техногенных геодинамических рисков и разработка рекомендаций по их снижению (управление рисками).

Апробирование технологии. Данная технология уже получила апробацию на морском нефтегазовом месторождении им. Ю. Корчагина в Северном Каспии [3], для которого до начала его разработки были предвычислены перспективные прогнозные пространственно-временные особенности развития техногенной осадки морского дна на весь планируемый период (50 лет) эксплуатации месторождения (рис. 1), выполнена оценка техногенных геодинамических рисков на основе результатов количественного анализа скоростей и амплитуды прогноз техногенной осадки морского дна (рис. 2) и сделаны рекомендации по обеспечению геодинамической безопасности на полный срок эксплуатации месторождения.

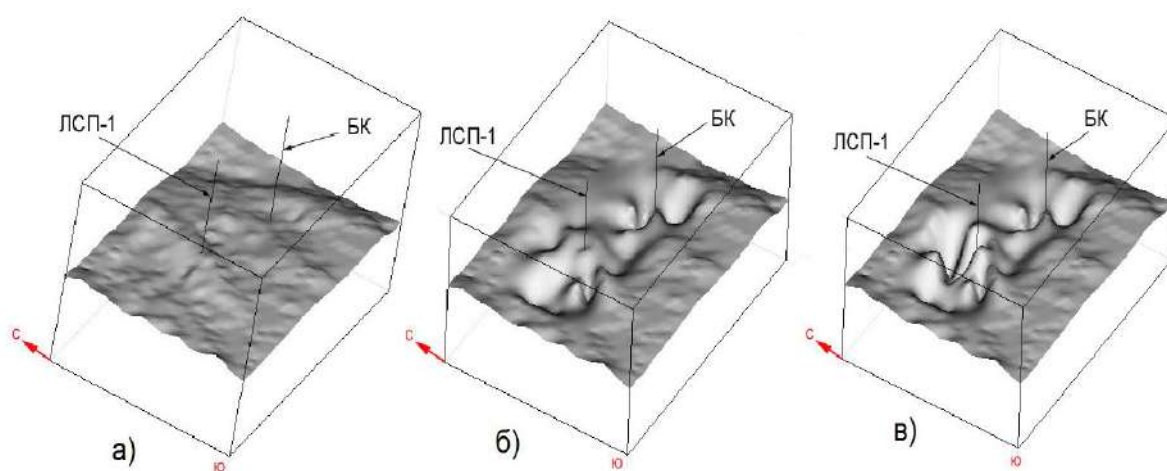


Рисунок 1. Примеры трехмерного изображения современной поверхности морского дна до начала эксплуатации месторождения и прогнозируемых его поверхностей на разные периоды эксплуатации месторождения им. Ю. Корчагина:

а) до 2008 г., б) к концу 2038 г., в) к концу 2045 г.

(ЛСП-1, БК – морские платформы).

Следует отметить, что результаты перспективного пространственно-временного прогноза развития техногенной осадки морского дна на полный срок эксплуатации месторождения, конечно же, не следует рассматривать в качестве экспертной оценки прогнозной гидродинамической модели и принятой технологической схемы разработки залежи, которые служат базовой информацией для выполняемого прогноза. На стадии проектирования невозможно учесть и тем более предвидеть все аспекты разработки месторождения. По мере получения новых данных в процессе эксплуатации залежей технологическая схема разработки и гидродинамическая модель залежи неоднократно корректируются. Первые признаки начала формирования критических значений локализованной техногенной осадки на разрабатываемом месторождении прогнозируются к 7-10 году с начала эксплуатации месторождения.

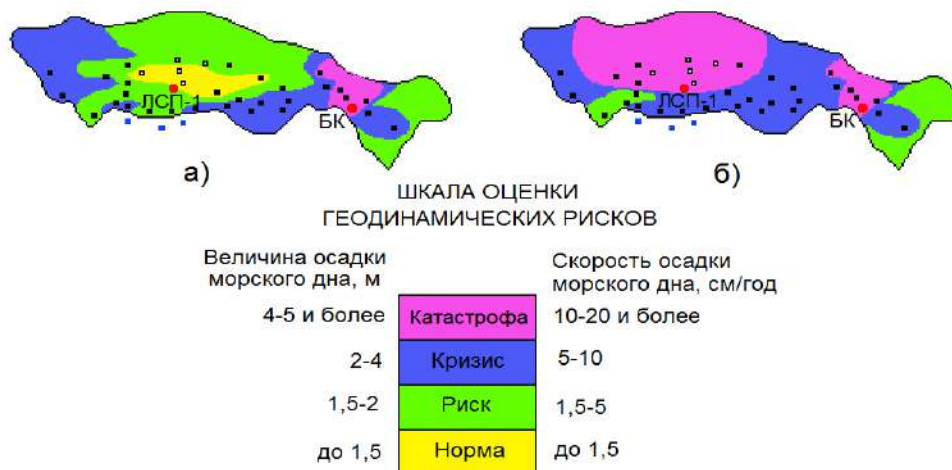


Рисунок 2. Перспективная оценка геодинамических рисков, связанных с техногенной осадкой морского дна на конец планируемой добычи нефти (а) и газа (б) на месторождении им. Ю. Корчагина: а) к концу 2038 г., б) к концу 2045 г.

Необходимые превентивные мероприятия по снижению техногенных геодинамических рисков (управление рисками), проводимые на протяжении всего периода эксплуатации месторождений УВ:

- своевременная корректировка технологической схемы и гидродинамической модели разработки месторождения УВ с учетом прогнозных пространственно-временных особенностей развития техногенной осадки земной поверхности (морского дна), связанной с отбором флюидов;

- проведение геодинамического мониторинга, который в настоящее время является законодательно предписанным обязательным мероприятием. При проведении подобного мониторинга необходимо использовать эффективные методы измерений геодеформаций, а для оценки и управления техногенными геодинамическими рисками уметь распознавать природу (тектоническую, техногенную) геодеформаций, фиксируемых в пределах разрабатываемых месторождений.

Возможность заблаговременного получения на количественной основе информации о пространственно-временных особенностях прогнозного развития техногенной осадки земной поверхности (морского дна) на весь период эксплуатации месторождения трудно переоценить. Техногенные геодеформационные процессы, развивающиеся избирательно по площади и во времени, нередко интенсивно, могут привести к разрушению горных пород со всеми вытекающими негативными последствиями. В частности, техногенные вертикальные и горизонтальные сдвигения толщ горных пород могут стать причиной серьезных осложнений при бурении и эксплуатации разноориентированных скважин, нарушения устойчивости и технического состояния различных инженерных сооружений.

Литература

1. Касьянова Н.А., Кузьмин Ю.О. Современная аномальная геодинамика недр и ее влияние на объекты нефтегазового комплекса. М.:Геоинформмарк. 1996. 54 с.
2. Касьянова Н.А. Экологические риски и геодинамика. М.:Научный мир.2003.332 с.
3. Касьянова Н.А., Баюканский Ю.Ф., Репей А.М. и др. Пространственно-временной прогноз техногенной осадки морского дна на полный срок эксплуатации месторождения им. Ю. Корчагина // Нефтяное хозяйство. 2007. № 5. С. 50-54.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ РЕЖИМАМИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В ГАЗОВЫХ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ ДЛЯ ПЛАВЛЕНИЯ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

*Кирос Кабасканго В.Э. (Санкт-Петербургский горный университет,
valeritae111@mail.ru), Бажин В.Ю.*

(Санкт-Петербургский горный университет, bazhin-alfoil@mail.ru)

Аннотация

В настоящее время производство высокотехнологичных изделий из никелевых сплавов в металлургической промышленности предъявляет весьма жёсткие требования к свойствам полуфабрикатов. Процессы приготовления никелевых сплавов в литейных агрегатах играют важную роль в процессе конфигурации и получения требуемых свойств продукта, для производства используются высокопроизводительные газовые отражательные печи. Температура расплава является наиболее важным фактором, который влияет на эффективность основных технологических операций в газовых отражательных печах, температура определяет качество будущего продукта, эффективность многостадийных процессов рафинирования в жидкометаллической ванне в процессе плавки, а также интенсивность газонасыщения расплава, засорение его примесями и безвозвратными потерями.

В Горном университете Санкт-Петербурга выполняются исследование по этой тематике.

Ключевые слова

Газовые отражательные печи, никелевые сплавы, автоматизация, управление, температура плавления, сплавы, техника безопасности.

Современные оптимальные печи для плавки никелевых сплавов являются газовые отражательные печи. (Рис. 1), работающие на газовом топливе. Природный попутный газ обладает целым рядом преимуществ. При более простых методах сжигания он дает высокие температуры, а также при использовании газа появляются широкие возможности регулирования состава печной атмосферы.

При всем этой газовых печах представляет из себя весьма компактных технологических агрегатов, занимая относительно небольшой площади производственного.

Одновременно с несомненными преимуществами отражательных печей обладает рядом серьезных недостатков. К основным из них относятся достаточно высокий угар металла, повышенная газонасыщенность расплава за счет взаимодействия его с печной атмосферой, возможность местного перегрева металла, неравномерность температурного поля ванны по ее глубине.

Основные дефекты отливок из никелевых сплавов, зависящие от качества собственного расплава, приготавливаемого в газовой плавильной печи, определяется взаимодействием жидкого металла с различными средами в рабочем пространстве агрегата.

Основным источником газов в печи является печная атмосфера, куда большое количество газов и водяных паров поступают с воздушным дутьем. Первостепенное значение имеет процесс окисления расплава кислородом печной атмосферы, приводящей к образованию на поверхности ванны плотной защитной окисной пленки,

защищающей сплав от дальнейшего окисления. В обычных условиях плавки эта пленка, однако, не является достаточным препятствием для контакта металла с

различными газами атмосферы. Насыщение сплавов газами происходит в результате многостадийного взаимодействия металла с газами вследствие последовательных процессов адсорбций, диффузии и растворения (абсорбция). Наряду с растворением, газы взаимодействуют со сплавом, зная химические соединения неметаллического характера (главным образом, окислы никеля), легко замешиваемые в сплав при его перемешивании в печи.

Значительное загрязнение металла посторонними примесями может также иметь место за счет реакции с футеровкой печи, шлаками и покровными веществами, применяемыми при плавке. Огромное значение при плавке никелевых сплавов приобретают вопросы безвозвратных потерь металла (угар). Угар металла складывается из потерь вследствие его испарения, потерь в процессе окисления с образованием нерастворимых в металле соединений, из которых наибольшее значение имеют окислы, и потерь вследствие реакций с футеровкой печи.

Таким образом из изложенного следует, что в плавильной печи может иметь место значительный угар металла и нежелательные взаимодействия расплава с различными веществами в рабочем пространстве агрегата.

С повышением температуры металла в печи усиливаются процессы окисления сплава, более интенсивно происходят реакции взаимодействия с футеровкой, шлаками, флюсами. Это приводит к заметному росту угара металла в печи, к увеличению засоренности сплава примесями и включениями, к выгоранию легкоплавких компонентов и др. Отсюда ясно, насколько важно ограничивать температуру расплава в процессе плавки.

Пониженная температура расплава вызывает в первую очередь значительное повышение вязкости металла, что затрудняет выделение газов в атмосферу. Особенно это касается рафинирования от неметаллических примесей и шлаковых включений, имеющих удельный вес, близкий к удельному весу металла. Выделение их из расплава флотирующим действием пузырьков рафинирующего вещества значительно затрудняется при пониженных температурах расплава.

В то же время при достаточно высоких температурах металла процесс рафинирования также оказывается недостаточно действенным из-за большой растворимости водорода в сплаве. Кроме того, рафинирование азотом при высоких температурах сплава может привести к нежелательному образованию нитридов. Это определяет весьма узкий оптимальный диапазон температур процесса рафинирования, определяющий его эффективность и составляющий в вариациях 10 ч-30К.

Итак, из изложенного следует, что температура расплава самым существенным образом влияет на процессы в плавильной печи, во многом определяющие качество будущего изделия. Сюда прежде всего относятся процессы взаимодействия расплава с различными веществами в рабочем пространстве агрегата, приводящие к насыщению газами и засорению его примесями. Температура металла является важнейшим технологическим фактором, влияющим на эффективность основных технологических операций в печи и прежде всего на процесс рафинирования расплава.

Температура металла также в значительной мере влияет на величину угара металла, определяя в этом смысле экономичность работы агрегата. При всем этом следует особо подчеркнуть узость оптимального диапазона допустимых температур жидкой фазы.

Газовая отражательная печь для никелевых сплавов как объект автоматического регулирования температурой жидкого металла

В основу построения математической модели объекта управления, в качестве которого всюду далее рассматривается температурные режимы жидкого расплава,

должны быть положены взаимосвязанные уравнения внешнего и внутреннего теплообмена в рабочем пространстве и в ванне печи.

Явления теплопередачи в современных металлургических агрегатах отличаются чрезвычайной сложностью. Их рассмотрение даже в самом упрощенном виде приводит к необходимости решать систему уравнений, связанных с процессами собственного излучения, гидродинамики, горения, диффузии и др., характеризующих теплообмен в рабочем пространстве, в совокупности с уравнениями внутреннего теплообмена, что в общем случае оказывается невозможным.

Для решения поставленных задач используются методы математического анализа, теории теплопроводности, классической теории автоматического управления, теории оптимального управления и т.д. для никелевых сплавов, как объекта управления температурой расплава.

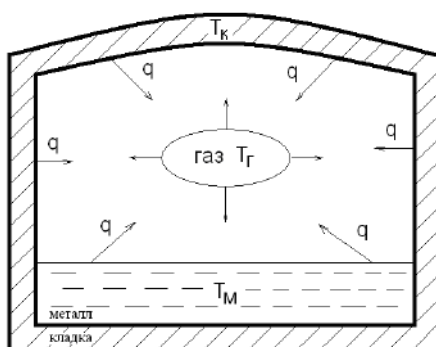


Рисунок 1 - Система «газ – футеровка – металл»

Целью работы является автоматизированный контроль и управления газовых отражательных печей при огненном рафинировании никеля, как объекта управления тепловым режимом и систем автоматической оптимизации отражательных печей.

Работа расширяет и углубляет теоретические представления в области оптимального управления процессами нагрева жидких никелевых сплавов в газовой плавильной печи.

Полученные в работе результаты позволяют выйти на качественно более высоком уровне решать инженерные задачи синтеза систем автоматического и автоматизированного управления процессом нагрева жидкометаллической ванны плавильного агрегата.

Решение задач определяет актуальность темы исследовательской работы, посвященной решению комплекса этих задач в целях разработки математического алгоритмического обеспечения и средств реализации систем автоматического управления температурными режимами приготовления никелевых сплавов в газовых плавильных агрегатах (Рис. 2).

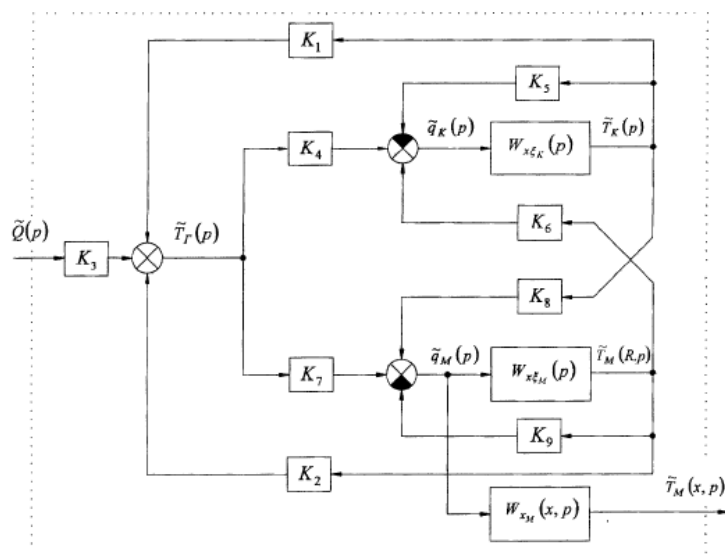


Рисунок 2 - Структурная схема газовой отражательной печи как объекта управления температурным полем жидкого металла

Структура объекта включает в своём составе три динамических звена, с передаточными функциями $W_{x\xi_k}(p) = \frac{\tilde{T}_k(p)}{\tilde{q}_k(p)}$, $W_{x\xi_m}(p) = \frac{\tilde{T}_m(R,p)}{\tilde{q}_m(p)}$ и

$W_{xM}(x,p) = \frac{\tilde{T}_M(x,p)}{\tilde{q}_M(p)}$ связывающими соответственно, температуру $\tilde{T}_k(p)$ внутренней поверхности кладки с тепловым потоком $\tilde{q}_k(p)$; температуру поверхности жидкого металла $\tilde{T}_m(R,p)$ и температуру металла в любой точке $x \in [0, R]$ по глубине ванны с тепловым потоком $\tilde{q}_m(p)$.

Сокращение проблем, которые влияют на качество продукта или производительность, а также время, с которым он выполняется, являются одной из основных задач производственных процессов; Это достигается благодаря автоматизации, которая дает нам точность, скорость и надежность.

Ученые которые занимались этой проблемой ранее: Альтман М.Б., Бойков Г.П., Бутковский А.Г., Лебедев А.А., Рапопорт Э.Я., Соломатов В.В., Тайц Н.Ю., Узенгер А.А., Чухров М.В.

Литература:

1. Рапопорт Э.Я., Узенгер А.А. Чебышевская аппроксимация частотных характеристик газовой отражательной печи для алюминиевых сплавов // Вестник СамГТУ, серия "Технические науки", №2(20) – 2007, с.168-174. ISSN 1991-8542
2. А.П. Жуков, А.С. Спитченко, С.А. Новокрещенов, С.И. Холод Рафвнирование меди: учебное пособие//Екатеринбург: УрФУ, 2010, 317 с.
3. Rapoport E., Pleshivtseva Ju. Optimal Control of Induction Heating Processes. CRC Press. New York, 2007, 358p.
4. Узенгер А.А. Аналитическое решение задачи Штурма-Лиувилля в системе Maple //Математическое моделирование и краевые задачи: Труды III Всероссийской конференции.
5. Математические модели в информационных технологиях. - Самара: СамГТУ, 2016, с. 103-107.
6. Analytical and Experimental Study of the Mechanisms of Diamond Bits Interaction with Rocks in the Wellbore During Sinking Processes, Gorelikov V. G., Lykov Yu. V., Baatarkhuu Gantulga/ International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 10 (2016) pp 7012-7016

ВЛИЯНИЕ ДЕНУДАЦИИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СОЛЕОТХОДОВ В ПРОЦЕССЕ СУХОГО СКЛАДИРОВАНИЯ И ГИДРОНАМЫВА

Кологривко А.А. (Белорусский национальный технический университет, urnkvk@bntu.by)*

Аннотация

Представлены результаты исследований влияния суффозии, водной и ветровой эрозии, карстообразования на структурные изменения поверхностей солеотвалов. Изложено влияние процессов денудации в телах солеотвалов на прочностные свойства солеотходов при их сухом складировании и гидронамыве, образованных в результате флотационного метода обогащения руд Старобинского месторождения.

Ключевые слова: солеотходы, солеотвалы, денудация, прочностные свойства солеотходов, складирование солеотходов, формирование солеотвалов, гидронамыв.

Наряду с закономерностями проявления цементационных связей, образующихся в верхней части солеотвала [1, 2], процессы выветривания также играют существенную роль в формировании (изменении, разрушении) его поверхности [3], что определяет актуальность исследований процессов денудации в теле солеотвала с целью оптимизации технологий сухого складирования солеотходов и гидронамывом. Денудация в телах солеотвалов проявляется в виде суффозии, водной и ветровой эрозии, карстообразования, что определяет методы исследований соответствующих геологических процессов.

Суффозия, на стадии складирования солеотходов является наиболее активным экзогенным процессом. Первичная рапа представляет фактор, обуславливающий проявление суффозных процессов. Вследствие наличия на стадии сухого складирования цементационных связей, вместе с рапой механическим путем выносятся глинистые и солевые частицы. После производства гидронамыва в солеотходах присутствуют силы структурного сцепления.

Водно-эрозионные и карстовые процессы в телах солеотвалов играют доминирующую роль в процессах выветривания. Пологие склоны солеотвалов, в отличие от крутых, более эродированные и являются источником большего засоления. В зимний период времени эрозионные формы имеют вертикальную направленность, в летний – поверхностную. Эрозия летнего периода обуславливает сглаживание рельефа тела солеотвала, зимнего – ведет к глубинной гидратации тела солеотвала, что приводит к развитию оползней на крутых склонах.

Структурные связи солеотходов изменяются от действия атмосферных осадков. При растворении солей высвобождается первичная рапа и кристаллизационная вода заключенная в порах. Это создает дополнительный сток. Часть выщелачиваемых солей задерживается в теле солеотвала и идет на пополнение рапных озер.

Ветровая эрозия играет существенную роль в процессах выветривания солеотвалов. Так, поступление солей в атмосферу происходит в процессе механического отрыва и переноса отдельных мелких солевых частиц, испарения солей с поверхности солеотвала и рапных озер. Образующийся поток мельчайших частиц солей, поднятый конвенционными потоками воздуха, распространяется на значительные территории и является фактором образования конденсации в атмосфере, источником увеличения агрессивности атмосферных осадков, элементом солевого баланса почв.

Для условий Старобинского месторождения калийных солей среднегодовое поступление солей с 1 га площади солеотвала в среднем составляет 6 т/год, что увеличивает минерализацию атмосферных вод на 0,02 г/л в радиусе 1-2 км [3].

Гидрохимические и гидродинамические условия формирования солеотвалов (растворимость солей NaCl и KCl, высотное складирование) являются благоприятными условиями развития карстообразований (впадин, полостей и прочих геологических образований). На поверхности солеотвалов имеется множество разнообразных мелких карр, трещин, выступов, шероховатостей, небольших воронок, соляного мха. На крутых склонах в местах сброса дождевых вод, отдельных уступов и перепадов встречаются поноры, карстовые колодцы и провалы, глинистые кепроки.

Анализ изучения водно-физических свойств глинистых кепроков солеотвалов Старобинского месторождения калийных солей при флотационном методе обогащения руд показывает, что породы относятся к высокодисперсным жирным глинам со значительным содержанием коллоидной фракции, что демонстрирует их хорошие противодиффузионные свойства. Однако смыв кепроков по склону, растрескивание при высыхании, неравномерность распространения по поверхности снижает эффективность кепроков в качестве противокарстовой защиты тела солеотвала.

Формирование солеотвалов сухим складированием или гидронамывом сопровождается процессами дегидратации, консолидации, конденсации, денудации, происходят пространственно-временные изменения составов и физико-механических свойств складированных солеотходов. С течением времени выделяют четыре подвижные основные гидродинамические зоны в телах солеотвалов (сверху вниз): зона активного водообмена, зона заполнения пор и пустот, зона горизонтальной циркуляции (наиболее уплотненная и практически монолитная, т.е. ядро солеотвала), зона слоя по подошве (основанию). Различия в процессе карстообразования некоторых солеотвалов (отсутствие стойкого стояния озер, низкая гипсометрия выходов источников и пр.) объясняется следующим:

- отличием водно-физических свойств (более крупный гранулометрический состав и меньшая начальная влажность солеотходов обуславливают отсыпку солеотходов с крутыми склонами, а, следовательно, менее подверженными растворению и выщелачиванию);

- пониженным содержанием влаги и более крупным гранулометрическим составом, обуславливающим также образование структур менее плотных и менее водонасыщенных, в результате чего вторая зона (зона полного заполнения порового пространства), имеет значительно меньшую мощность и, следовательно, зона коры выветривания солеотвалов имеет здесь большие размеры;

- продолжительными сроками формирования рассолонепроницаемого слоя (третья зона) в силу указанных выше различий, что ведет к большим относительным потерям влажности всего тела солеотвала и развитой открытой пористости.

Указанное выше обстоятельство может рассматриваться в качестве недостатка способа гидронамыва, т.к. необходимы большие площади под основания солеотвалов. От атмосферных осадков образуются большие объемы рассолов. При сухом способе складирования имеется возможность размещать бóльшие объемы солеотходов на меньших площадях, при этом, от атмосферных осадков образуются меньшие объемы рассолов. Сопутствующие денудации процессы консолидации в телах солеотвалов содействуют большему их выполаживанию (сглаживанию), особенно на периферийных частях. В центральных областях происходит аккумуляция растворенных карстующихся солей. Поскольку для развития соляного карста необходимо наличие растворимой породы, контакта породы с движущейся водой, агрессивности воды методы борьбы с карстом на солеотвалах могут вестись с применением следующих мероприятий: защитой поверхности солеотвалов от агрессивного воздействия атмосферы (покрытие поверхности водонепроницаемым материалом – пленкой, пульверизацией твердеющим полимерным составом), ограничением и ликвидацией движения карстующих вод

(кольматаж выходов источников, слив озер).

Выводы

Изучение влияния процессов денудации в телах солеотвалов на прочностные свойства солеотходов позволяет представить следующие научные выводы и практические рекомендации для технологий сухого складирования и гидронамыва:

- водонепроницаемость глинистых кепроков очень низкая, что, с одной стороны, определяет их высокие противодиффузионные свойства, способствующие противокарстовой защите тела солеотвала, с другой, вследствие незначительной их мощности и в условиях неравномерного их накопления, они подвержены смыву по склонам, растрескиванию при высыхании, что в значительной степени снижает эффективность кепроков в качестве противокарстовой защиты тел солеотвалов;

- растворимость тел солеотвалов находится во взаимозависимости от плотности их сложения, что определяет целесообразность мер по дополнительному уплотнению солеотходов в процессе сухого складирования;

- закономерность скорости растворения солей от времени контакта с агрессивными водами диктует целесообразность при производстве гидронамыва устройство тел солеотвалов с крутыми склонами;

- при гидронамыве необходимы большие площади под основания солеотвалов, образуются большие объемы рассолов из-за атмосферных осадков, а сухой способ складирования позволяет размещать большие объемы солеотходов на небольших площадях, а от атмосферных осадков образуются меньшие объемы рассолов, что, в свою очередь, позволяет рассматривать во времени совместные технологии гидронамыва и сухой отсыпки при формировании солеотвалов на слабых основаниях.

Ввиду пространственно-временных закономерностей формирования солеотвалов, представленные результаты исследований влияния денудации на прочностные свойства солеотходов в процессе сухого складирования и гидронамыва имеют важное значение на стадиях проектирования технологий складирования солеотходов и эксплуатации солеотвалов.

Литература

Опубликованная

1. Кологривко, А.А. Влияние составов, процессов дегидратации и консолидации на прочностные свойства солеотходов / А.А. Кологривко // Новые идеи в науках о Земле : сб. материалов XIII междунар. науч.-практич. конф., Москва, 5-7 апр. 2017 г. : в 2 т. / Рос. гос. геологоразвед. ун-т им. С. Орджоникидзе; редкол.: В.И. Лисов, В.А. Косьянов, О.С. Брюховецкий. – Москва, 2017. – Т.1. – С. 358.

2. Кологривко, А.А. Влияние процессов конденсации в солеотвалах на прочностные свойства солеотходов / А.А. Кологривко // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики : материалы 13-ой Междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, Тула, 2-3 нояб. 2017 г. : в 2 т. / Тул. гос. ун-т ; ред. : Р.А. Ковалев. – Тула, 2017. – Т. 1. – С. 83 – 88.

3. Колпашников, Г.А. Техногенез и геологическая среда / Г.А. Колпашников. – Минск: БНТУ. – 2006. – 182 с.

ПРОЕКТ УЧЕБНОГО СТЕНДА 4-ОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ.

Крылков М. Ю. (МГРИ, m.krylkov@mail.ru),
Латышев Г. В. (МГРИ, latyshev@lon.ru)

Аннотация

В статье описана современная концепция стенда для изучения привода на основе асинхронного электропривода.

Ключевые слова: асинхронный привод, САУ, преобразователь частоты, частота вращения, Etolon Beta, облачный брокер, контроллер, датчики.

В современных приводах горных машин и буровых установок асинхронным электродвигателем (АД) обычно управляют с помощью преобразователя частоты (ПЧ) выходными параметрами которого являются частота и напряжение тока (рис. 1).

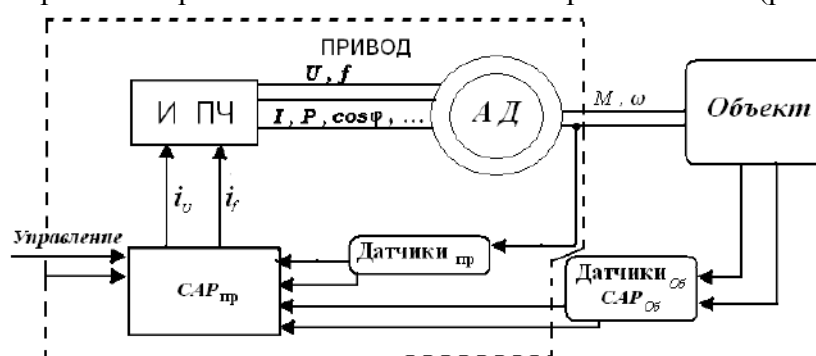


Рисунок 1. Схема управления АД.

На схеме (рис.1) представлены: объект управления, привод, инвертор И преобразователя частоты ПЧ и асинхронный двигатель АД, система автоматического регулирования привода САУ_{пр} и поступающие на нее сигналы обратных связей от датчиков привода (Датчики_{пр}) и датчиков объекта (Датчики_{об}) и управляющие сигналы от системы автоматического регулирования объекта САУ_{об}, внешней по отношению к САУ_{пр}, и от органов управления объектом (Управление). Инвертор ПЧ управляется двумя сигналами САУ_{пр}: сигналом управления напряжением i_u и сигналом управления частотой i_f .

Частота и напряжение являются параметрами управления для АД и управляют они всеми показателями его нагрузки, в тоже время сами частота и напряжение являются выходными параметрами ПЧ, они задаются системой автоматического регулирования САУ привода. Другими словами, частота и амплитуда напряжения являются рассчитываемыми параметрами регулирования.

САУ (САУ) привода должна управлять двумя входными управляющими параметрами АД по двум каналам, то есть, управление АД (ПЧ) является двухпараметрическим двухканальным и направлено в свою очередь на управление многочисленными взаимосвязанными параметрами нагрузки АД: током статора, током ротора, мощностью на входе двигателя, током намагничивания и магнитным потоком в АД, скоростью вращения и моментом на его валу, КПД, коэффициентом мощности и скольжением.

АД с изменяемой частотой вращения в шахтных подъёмных машинах, прежде всего, предназначен для регулирования скорости движения скипа (клет) на разных участках ствола шахты. Частотное управление АД нельзя рассматривать в отрыве от управления горной машиной или буровой установкой (включая колонну бурильных

труб), то есть, управление приводом на основе АД связано как с передаточными функциями привода, так и с передаточными функциями приводимых им механизмов горных машин.

У каждого вида горных машин и механизмов есть свои характеристики и требования к функционированию, реализуемые их приводами. Разнообразие их приводов также достаточно велико, каждый имеет свою специфику и особенности, и у каждого могут быть свои, характерные именно для него, цели и задачи управления, поэтому для выработки стратегии управления на нашем стенде предусмотрен «облачный интерфейс», свойственный автоматике 4-ого поколения.

Частотный привод подключается к специализированному мульти-интерфейсному контроллеру через интерфейс Modbus/RS485 (рис.2). Центральным процессорным модулем описываемого контроллера является компонент AI-Thinker.

Так, как сам компонент не имеет собственных аппаратных портов ввода/вывода, он используется как расширение к универсальному свободно-программируемому технологическому контроллеру Etolon Beta и соединяется по внутреннему разъему SPI, микросплата заняла место крышки в корпусе контроллера. Структура взаимодействия представлена на диаграммах на рис.2.

В операционной системе модуля Ai Thinker реализована поддержка обмена данными с так называемым «облачным брокером MQTT» что позволяет отсылать весь объем снимаемых параметров частотного привода в Интернет для дальнейшей обработки и хранения. Средства обработки этих данных в облаке (так называемая технология «Облачной SCADA») не являются предметом рассмотрения данной статьи. Ai Thinker снабжен собственным WEB сервером, что позволяет реализовать экраны мнемосхем, не уступающие по качеству лучшим SCADA системам. Чем сложнее и ответственнее приводимый механизм, тем многочисленнее и разнообразнее задачи автоматического управления, решаемые в «Облаке». Например, получение статических характеристик для программирования ПЛК, есть множество и других задач.

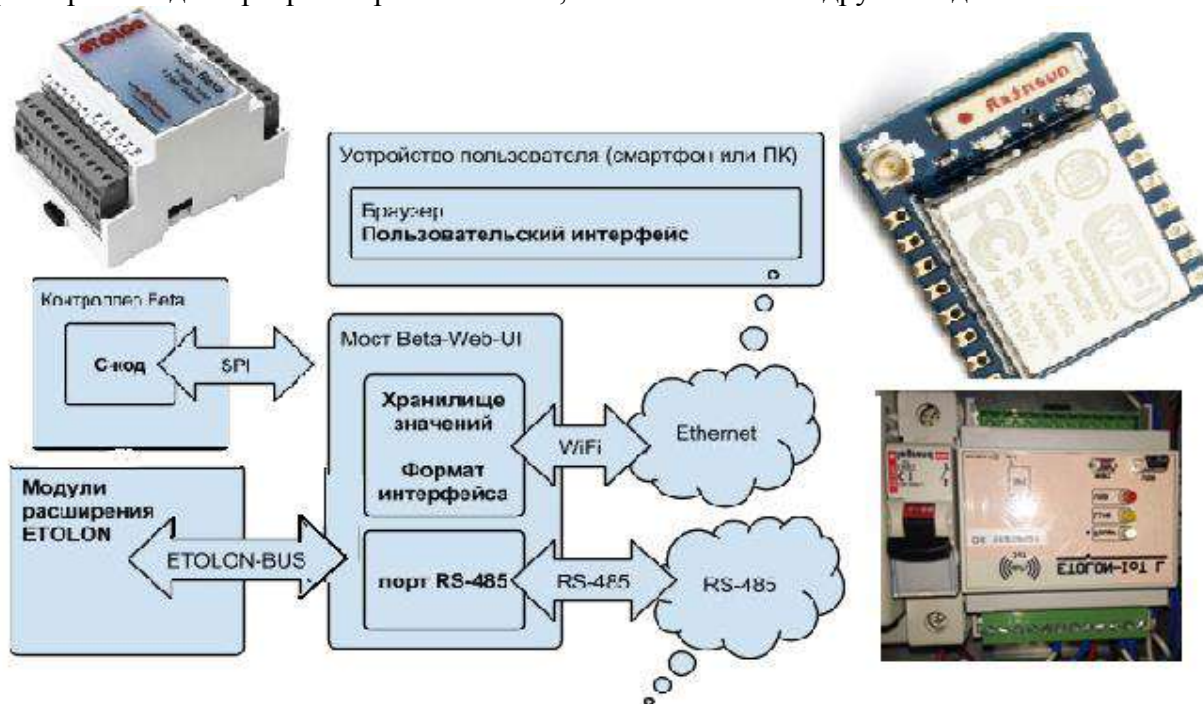


Рисунок 2. Технические средства и структура взаимодействия обработки данных в облаке

Для большинства объектов управления главной целью управления является управление скоростью и ускорением движения механизмов или рабочих органов с

соответствующим отслеживанием момента на валу (в общем - любого параметра нагрузки АД), а также осуществление требуемых изменений скорости и выдерживание требуемых для привода внешних характеристик, зависимостей развиваемой тяги (нагрузки двигателя) от скорости, и обеспечение требуемого порядка изменения этих характеристик.

Проектируемый стенд должен позволить студентам решать задачи собственно асинхронного привода. Это определение запаса статической устойчивости двигателя, ограничение на безопасном для компонентов привода уровне значений напряжения, токов и магнитного потока АД, оптимизация по КПД работы двигателя, защита АД от опасных для него режимов и подобные им задачи.

К наиболее характерным из внутренних задач управления асинхронным частотно-управляемым приводом мы относим:

1) ограничение в процессе работы электромагнитного момента АД значением, близким к опрокидывающему, для предотвращения опрокидывания, т. е. защиты привода от выхода из рабочего режима;

2) ограничение мгновенного значения тока двигателя для обеспечения защиты вентилях ПЧ при случайных скачках нагрузки и возможных замыканиях в электрических цепях;

3) ограничение длительного тока и слежение за его значениями при увеличении нагрузки в процессе работы для защиты вентилях ПЧ и обмоток двигателя от перегрева;

4) ограничение напряжения для защиты вентилях ПЧ от пробоя;

5) слежение за магнитным потоком двигателя и ограничение его величины для предотвращения явления «горения железа» при его чрезмерном повышении и для предотвращения уменьшения перегрузочной способности двигателя при его чрезмерном снижении;

5) обеспечение управления напряжением на двигателе в заданной функции частоты и нагрузки, которое обеспечило бы наибольшую экономичность работы АД и всего привода.

Для решения поставленных задач стенд должен быть оснащён датчиками и актуаторами системы контроля и измерения параметров привода, а именно: датчиками напряжения (датчики напряжения для измерения напряжений сложной, в том числе импульсной формы), датчиками тока (датчики Холла), датчиком мощности (вычислитель на основе датчика тока и напряжения), датчиком магнитного потока (косвенное вычисление по результатам измерения фазных токов), датчиком оборотов или частоты вращения, энкодерами, датчиком частоты скольжения АД, датчиком крутящего момента, датчиками температуры и сопротивлений.

Для практического получения многочисленных характеристик привода и моделирования привода с учётом конкретных машин и механизмов используется MATLAB.

Литература.

1. Крылков М.Ю., Башкуров А.Ю. Элементы теории автоматического регулирования: учебное пособие. – ОАО Клепиковская типография, 2018. - 112 с.

К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ НОВЫХ ПОДХОДОВ В РАЗВИТИИ ТЕХНОЛОГИЙ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Кузьмин М.Б. (ИПКОН РАН),
Красавин А.Г. (ИПКОН РАН, krasavin_08@mail.ru),
Рыжова Л.П. (РГГРУ)*

Аннотация

Главной целью оперативного управления минерально-сырьевым потенциалом является необходимость развитие техники и технологии 5 и 6 поколений. Необходимо оптимально планировать цели добычи разумной достаточности, согласуя их с горными возможностями и конъюнктурой международных рынков сырья. На путях освоения руднометаллических месторождений необходимо уделять особое внимание гибкой системе оперативного управления многозабойными тренд-технологиями и самоходным оборудованием, которые преобразуют недра.

Ключевые слова. Минерально-сырьевой потенциал, развитие техники и технологии, планирование целей добычи, геометризация, многозабойные тренд-технологии, самоходное оборудование.

Обращая внимание на процесс горно-геологического производства, раскрывающий сущность гибкой системы оперативного управления на основе анализа и оценки конкурентной среды в сфере минерально-сырьевого потенциала руднометаллических месторождений, необходимо ориентироваться на грядущую динамичность выпуска наукоемкой инновационной конечной продукции. Она определяется более четким регулированием кластерных отношений в системе уровней управления-наукоемкими технологиями будущего.

Главной целью их организации является потенциал задействованных интересов, будь это вершины бизнеса и коммерции, либо развитие техники 5-го и 6-го поколений, либо увеличение мощности промышленных производств современных индустрий, либо повышение обороноспособности конкретных государств и т.п.

Необходимым условием развития и совершенствования современных индустрий является все более растущее использование редких металлов. Поэтому важен прогноз освоения определенных ценностей уникальной конкретики минерально-сырьевого потенциала руднометаллических месторождений, с особым видением разнообразия его применения в наукоемких технологиях. При этом рудник рассматривается как горно-геологическое производство, главной особенностью которого является выявление промышленно-технологических свойств сортамента руд и видов металлов.

Рассматривая ценность минерально-сырьевого потенциала на путях освоения руднометаллических месторождений как горно-геологическим производством, так и современными индустриями, во многом определивших инвестиционные программы, необходимо оптимально планировать цели добычи разумной достаточности, на что обращал внимание акад. К.Н.Трубецкой, как в национальных интересах, так и согласуя их с горными возможностями для конъюнктуры международных рынков сырья. На рисунке показана система ценностей при освоении минерально-сырьевых ресурсов целевым моделированием руднометаллических месторождений.

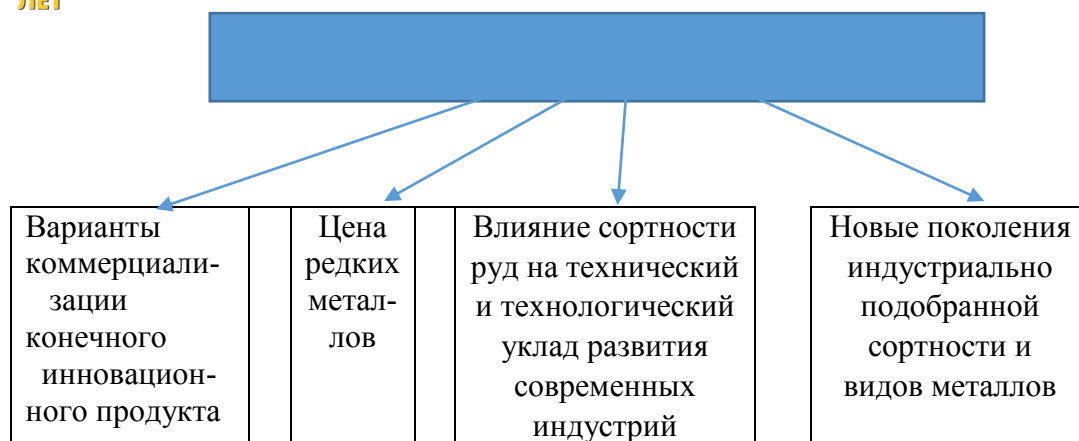


Рисунок. Система ценностей целевого моделирования МСБ РММ

При определении информационным полем сортамента руд и видов металлов для современных индустрий ценность индивидуально подобранного минерально-сырьевого потенциала открывает новые возможности и перспективы эффективности и качества подземной разработки, где разнообразие выделенных ценностей играет важную роль, прежде всего обуславливает такие схемы рудоподготовки, которые ориентируют организацию горно-геологического производства на наукоемкие технологии очистной выемки. При этом каждая стадия организации горно-геологического производства контролирует задействованность технического уровня по всей технологической цепочке добычи.

Поэтому оптимизация добычи руд по сортам и видам металлов сводится к синхронизации технологических схем на подэтаже, концентрационном горизонте и на поверхности.

Все это позволит не только успешно заниматься страхованием рыночных операций, но и развивать наукоемкие геотехнологии и технику с оптимальным извлечением сортамента руд и видов металлов.

На путях освоения руднометаллических месторождений необходимо уделять особое внимание технологиям, изменяющим пространство и время и гибкой системе оперативного управления преобразования недр минерально-сырьевым потенциалом. Определение своевременности освоения уникально «временной» конкретики минерально-сырьевых ресурсов с их потенциалом в рудно-металлических месторождениях может повлиять не только экономическую, но и стратегическую безопасность страны.

Чтобы понять стратегию освоения минерально-сырьевых баз на данный момент, которая должна быть согласована с многозабойными тренд-технологиями и самоходным оборудованием, содержащими ценностно-целевые установки добычи, необходимо, по нашему мнению, составлять «Атлас геометризации объектов горно-геологического производства». Этот «Атлас», в совокупности с применением самоходного оборудования укажет, как с наибольшим эффектом использовать уникальную конкретику сортности и видов металлов в рудно-металлических месторождениях. При этом надо иметь в виду, что на перспективу их освоение должно быть согласовано с политической, военной, экономической и научно-технической сферами развития на международной арене (проф. Е.А.Козловский, РГГРУ).

Необходимость исследования целей и тенденций развития инновационных технологий геометризации с применением самоходного технологического оборудования является важным фактором, определяющим жизненные циклы не только

горно-геологических, но и промышленных производств. Для организации устойчивого процесса добычи руды разумной достаточности в режиме заданного времени авторами разработаны карты для соответствующих производительностей одного очистного забоя $Q_{гв}$, т/см. при планировании целей на основе современной техники и технологии. Это показано в тахограмме -методике, разработанной авторами (1).

Все это укажет на важнейшие пути обеспечения минерально-сырьевой безопасности при освоении рудно-металлических месторождений самоходным оборудованием в прогрессивных системах с торцовым выпуском руды. Они требуют стратегического планирования добычи, учитывающего принцип разумной достаточности, что ведет к устойчивому развитию минерально-сырьевых баз. Так, например, ореолы элементов-спутников - редких металлов, являющихся стратегическим сырьем для современных индустрий: ВПК, аэрокосмических и телекоммуникационных систем и других высоких технологий, должны быть выбраны с целью оптимального использования на участках, определенных геолого-технологическим картированием.

Востребованность видов редких металлов для конкретной отрасли современной индустрии может определяться на основе геолого-информационно-аналитических систем, разрабатываемых в ВИМС и ранее - в ИМГРЭ. Совместно с геометризацией рудно-металлических месторождений и с применением методов геолого-технологического картирования, разработанными в ИПКОН РАН и РГГРУ, открываются новые возможности использования природного капитала недр.

Литература

Кузьмин М.Б., Красавин А.Г. Методы геометризации недр при разработке рудных месторождений по сортам и видам металлов. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. - №7. – С. 113-115.

АВТОНОМНЫЙ КОМПЛЕКС ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК НЕФТИ

*Добуш В.С. (Санкт-Петербургский Горный университет, griimov@yandex.ru),
Бельский А.А. (Санкт-Петербургский Горный университет, ABelskij@gmail.com),
Куксов Н.А. (Санкт-Петербургский Горный университет, kolya-budsk@yandex.ru),
Глуханч Д.Ю. (Санкт-Петербургский Горный университет, dmitglu8@gmail.com)*

Аннотация

В работе выполнен аналитический обзор существующих методов и систем обнаружения утечек нефти в трубопроводах и способов их электроснабжения. Обоснован состав и параметрическая достаточность автономного комплекса на базе термоэлектрогенераторных элементов для электроснабжения систем обнаружения утечек нефти в трубопроводах. Создан имитационный лабораторный стенд с использованием термоэлектрогенераторных элементов для изучения энергетических возможностей автономного комплекса электроснабжения. Определены зависимости позволяющие осуществить выбор номинальных параметров термоэлектрогенераторных элементов в составе автономного комплекса, его структуры, параметров и режимов работы.

Ключевые слова: термоэлектрический генератор, альтернативные источники электроэнергии, система обнаружения утечек нефти, транспортировка углеводородов.

В связи с увеличением количества чрезвычайных ситуаций в нефтедобывающей отрасли, которое обусловлено ростом добычи нефти и износом основных производственных фондов (в частности, трубопроводного транспорта), негативное воздействие разливов нефти на окружающую среду становится все более существенным. Поэтому обеспечение безопасной и надежной эксплуатации нефтепроводов представляет собой первостепенную задачу, для решения которой используются различные системы обнаружения утечек (СОУ) нефти.

Одной из проблем СОУ нефти является то, что зачастую нефтепроводы находятся в труднодоступных местах, а минимальная рекомендуемая частота установки пунктов сбора данных — 1 датчик давления на 20 км трубопровода. Поэтому возникают затруднения или вовсе становится невозможным обеспечить электрической энергией шкафы СОУ, датчики давления, расходомеры и другое оборудование, необходимое для стабильной работы систем.

С учетом того, что среднее потребление электроэнергии нижним (датчики давления, расходомеры) и средним (контроллер) уровнями таких СОУ менее 5–10 Вт [1], предлагаемый способ электроснабжения — источник питания на основе термоэлектрических модулей (ТЭГ). Такое решение будет отличаться автономностью, энергонезависимостью, высоким сроком службы и отсутствием необходимости в частом обслуживании.

На рисунке 1 представлен принцип выработки электроэнергии для питания систем обнаружения утечек нефти. Термоэлектрогенератор наиболее эффективен в зимнее время года, когда средняя температура окружающей среды минус 20°C, а температура нефтепровода может достигать 60°C [2]

Оценка эффективности работы в положительном и отрицательном диапазонах температур представлена на рисунке 2. Разница температур достигалась нагреванием горячей стороны путем пропускания тока через резисторы и охлаждением холодной стороны модуля при помощи сухого льда ($\approx -72^\circ\text{C}$).



Рисунок 1. Использование ТЭГ в системе контроля утечек

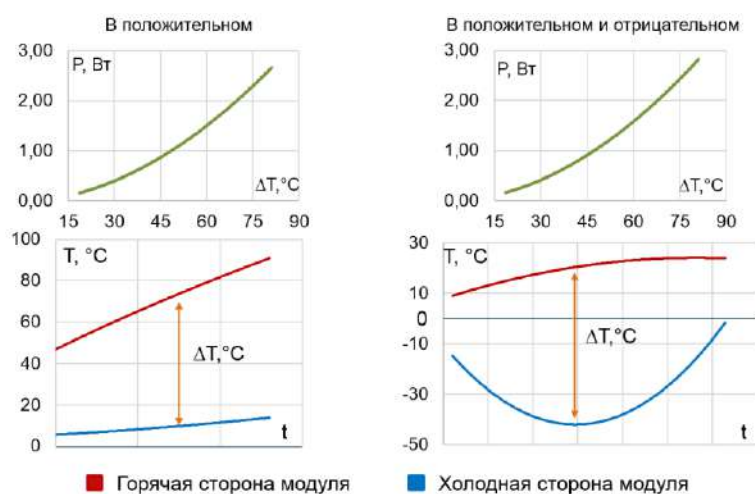


Рисунок 2. Результаты обработки экспериментальных данных

Полученные результаты позволяют говорить о возможности применения данных модулей для автономного электроснабжения СОУ нефти в трубопроводе любого диаметра в различных климатических условиях. Такой продукт решает не только проблему энергоэффективного электроснабжения систем обнаружения утечек, но и, благодаря возможности более частой установки данных систем, а также их установки в труднодоступных местах, уменьшает время поиска места аварий на нефтепроводах, что снижает как негативное воздействие на окружающую среду, так и финансовые затраты предприятий на ликвидацию аварий.

Литература

1. ЭТМС.СТО 7.2.1-030-2015. Общие технические требования. Система обнаружения утечек. М., 2016. 40 с.
2. Kopteva A.V., Koptev V.Yu. Automatic Measuring System for Oil Stream Paraffin Deposits Parameters. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, vol. 327, 2018. P. 042053. DOI:10.1088/1757-899X/327/4/042053.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЖИГА ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Кунилова И.В. (ИПКОН РАН, ecoreagent@yandex.ru),
Лавриненко А.А. (ИПКОН РАН, lavrin_a@mail.ru), Лусинян О.Г. (ИПКОН
РАН, lusinyan.oganes@yandex.ru), В.Н. Кравченко (ИПКОН РАН, k.w.n.-90@mail.ru),
Шимкунас Я.М. (ИПКОН РАН, ecoproject@rambler.ru)*

Аннотация

Установлена эффективность обжига исходных золошлаковых отходов при 900 °С как способа повышения степени выщелачивания ценных элементов при выщелачивании 20%-ным раствором соляной кислоты. Исследование влияния различных реагентов при обжиге золошлаковых отходов и продуктов их переработки показало большую эффективность карбоната натрия по сравнению с хлоридом натрия и отсутствие значительного эффекта от добавки $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$.

Ключевые слова Золошлаковые отходы, обжиг, выщелачивание, ценные элементы

С целью повышения степени извлечения основных и попутных ценных элементов при комплексной переработке золошлаковых отходов проведено исследование влияния обжига с различными реагентами на степень извлечения в раствор элементов при последующем выщелачивании.

Методы исследования – рентгенофлуоресцентный, рентгенофазовый, микроскопический, термический обжиг, гидрометаллургический (выщелачивание).

Результаты исследований. Объект исследований - золошлаковые отходы Каширской ГРЭС, использующей каменные угли Кузнецкого бассейна. Золошлаковые отходы (ЗШО) – преимущественно тонкодисперсный материал крупностью -40 мкм (43,4%) и -71+40 мкм (32,0%). Анализ фазового состава показал, что основным веществом ЗШО являются алюмосиликаты и силикаты различного состава, в т.ч. трудновыщелачиваемый муллит. Также присутствуют магнетит и недожженный уголь (недожог). По данным рентгеноспектрального полуколичественного анализа, отходы характеризуются повышенным содержанием оксидов алюминия (21,6-30,6%), железа (12,8-19,8%), фосфора (0,54-1,44%) и серы (0,17-0,47%) и пониженным содержанием оксидов кремния (18,5-31,2%), кальция (2,8-5,6%) и титана (0,46-0,58%). Анализ распределения по фракциям микроэлементов, содержания которых соответствуют минимальным содержаниям, имеющим промышленную ценность, показал перспективность обогащения золошлаковых отходов с целью извлечения тугоплавких и редкоземельных групп редких элементов. Содержание V- 148 г/т (>100). Содержание суммы редкоземельных элементов и циркония в исходной пробе составило 750 г/т (>500), в т.ч. Zr 502, Ce 127, La 76, Y 46 г/т.

Для перевода в раствор ценных компонентов используют как кислотные, так и щелочные методы. При этом степень извлечения кремнезема и алюминия составляет от 20 до 65%. Для повышения извлечения ценных компонентов можно использовать не только жесткие условия выщелачивания, в т.ч. автоклавы, но и перевод оксидов в более растворимую форму благодаря предварительному спеканию при температурах 700-900 °С с щелочными реагентами, например, карбонатом натрия или сульфатом аммония.

В данной работе исследованы различные составы реагентов для обжига, которые применяются с целью снижения температуры обжига и изменения физико-химических свойств получаемой смеси, и их влияние на степень выщелачивания основных

макрокомпонентов и ценных микрокомпонентов из золошлаковых отходов, хвостов магнитной сепарации и кека выщелачивания ЗШО. Обжиг проводился при температуре 900 °С в течение 1 часа в муфельной печи при соотношении компонентов смесей ЗШО: реагент 1:1, а также при добавке окислителя $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ в количестве 5%. Результаты последующего выщелачивания 20%-ным раствором соляной кислоты представлены на рис.1 для главных макрокомпонентов и в таблице 1 для микрокомпонентов.

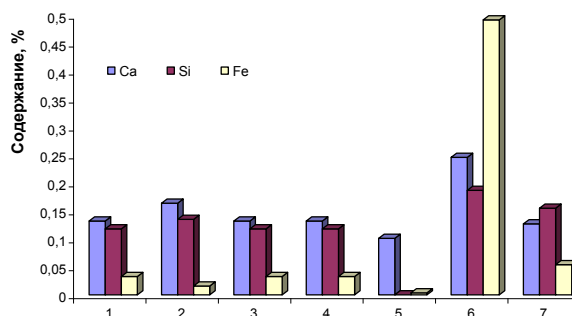


Рисунок 1. Содержание макрокомпонентов в растворах выщелачивания после обжига смесей:

1 – ЗШО+NaCl, 2 – ЗШО+NaCl+ $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, 3 – ЗШО+ Na_2CO_3 ,
4 – ЗШО+ Na_2CO_3 + $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, 5 – Хвосты магн.сепар.+NaCl,
6 – Хвосты магн.сепар.+ Na_2CO_3 , 7 – Кек выщелачивания (HCl) + Na_2CO_3

Таблица 1. Сравнение содержаний ценных элементов в растворах выщелачивания после обжига в смеси с различными реагентами (нумерацию см. в подписи к рисунку 1)

Элемент (ppm)/опыт	1	2	3	4	5	6	7
Nb	10,1	9,1	10,6	12,6	8,8	13,4	13,9
Y	4	6	4	4	0	5	10
Mo	11	0	11	11	7	0	15
Zr	0	0	8	0	5	0	6

Выводы. Исследован способ интенсификации процессов выщелачивания золошлаковых отходов обжигом с щелочными реагентами. Установлена несколько большая эффективность обжига хвостов магнитной сепарации ЗШО, а также исходных золошлаковых отходов с карбонатом натрия по сравнению с обжигом с хлоридом натрия. При обжиге кека предварительного выщелачивания ЗШО в смеси с карбонатом натрия достигается максимальный перевод ценных компонентов в раствор.

ОБОСНОВАНИЕ ШАГА ОБРУШЕНИЯ ОСНОВНОЙ КРОВЛИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СТОЛБОВОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ С МНОГОСЛОЕВОЙ ВЫЕМКОЙ И ГИДРОЗАКЛАДКОЙ НА ШАХТЕ ДЖАМАЛЬГАНДЖ (БАНГЛАДЕШ)

*Кхан Мохаммад Ф.Х. (Политехнический университет (Бангладеш),
consultantunionbay@gmail.com)*

Боровков Ю.А. (МГРИ, bua_51@mail.ru)

Аннотация

В тезисах рассматривается вопрос по определению шага обрушения основной кровли угольного пласта для постепенного развития сдвижения массива при применении системы разработки длинными столбами по простиранию с многослойной гидрозакладкой для условий угольного месторождения Джамальгандж.

Ключевые слова: Пролет, угольный пласт, состав гидрозакладки, сдвижение пород, деформация образцов.

Угольный бассейн Джамальгандж расположен в окрестностях города Джамальгондж и к западу от ширококолейной железной дороги, идущей с севера на юг. Пласты залегают на глубине от 40 до 1158 м. Район добычи угля составляет около 11,7 квадратных километров [1].

В угольном бассейне Джамальгондж в общей сложности семь основных угольных слоев, обозначенных от I до VII сверху донизу. Уголь Джамальгондж отличается большой мощностью и как минимум одним очень мощным угольным пластом III. Петрологический анализ показывает, что верхние пласты (I-V) имеют относительно низкое содержание витринита (19.5-44.2%), переменное содержание эксинита (3-22%) и сравнительно высокое содержание инертинита (24-28%) по сравнению с нижними пластами (VI-VII), которые как правило имеют 46.7-61.4% витринита, 5-10% эксинита и 22-22.5% инертинита.

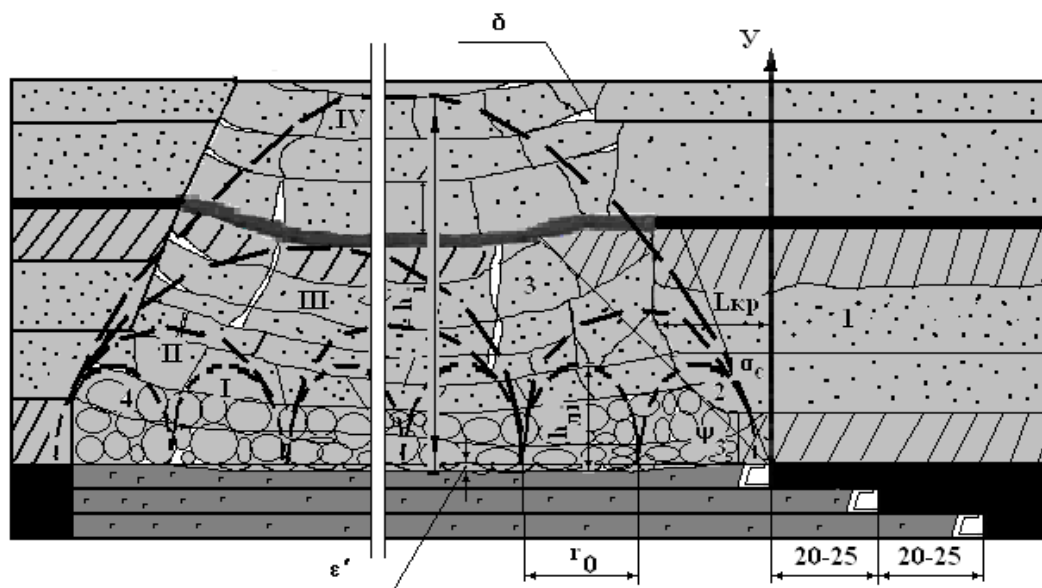
Уголь Джамальгондж классифицируется, как высоко летучий битуминозный уголь. Категории отражения витринита измерены сотрудниками фирм «Фрэд Крупп и Роштаф» и «Робертсон Ресеч Интернешнл Лтд.». В пределах от 0.66 до 0.84% отражение витринита показывает, что слои I и V являются высоко летучей битуминозной категорией B и слои VI и VII являются высоко летучей битуминозной категорией A.

Диапазон мощности отдельных угольных пластов составляет от 2 и до более 46 метров. Рассматриваемый пласт III распределен на три группы слоев примерно по 10 м каждый слой, глубина первой группы слоев составляет 1000 м.

Проект отработки мощного угольного месторождения Джамальгондж был разработан английской фирмой «Робертсон Ресеч Интернешнл Лтд.», а вариант системы разработки длинные столбы по простиранию с многослойной выемкой и закладкой был предложен сотрудниками РУДН (рис.1). В проекте предусматривалась схема вскрытия шахты комбинированная: в пределах бремсбергового поля - центрально-отнесенная, в пределах уклонного поля – фланговая. Подготовка шахтного поля принята этажная, хотя, в принципе, она может быть и панельная.

Слои обрабатываются в восходящем порядке с гидрозакладкой выработанного пространства в связи с необходимостью строжайшего сохранения земельных угодий на поверхности и большой вынимаемой мощностью [6].

В качестве закладочного материала предлагается использование речного или морского песков.



I - IV своды сдвижений

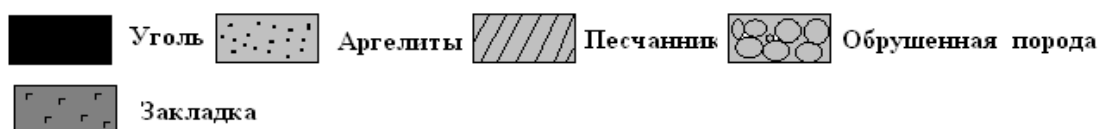


Рисунок 1. Схема сдвижения подрабатываемого массива для условий угольного месторождения Джамальгондж.

Поэтому для оценки компрессионных свойств закладочного материала были проведены испытания образцов различной по составу закладочной смеси. Результаты приведены на рис.2 [2].

Анализируя графики можно сделать вывод, что под действием нагрузки деформации растут по степенному закону, причем величина деформации песчано-глинистой смеси в 1,5 – 2 раза меньше, чем у песчано-сланцевых смесей с различным составом закладочного материала. Таким образом, целесообразно в качестве гидрозакладочного материала использовать песчано-глинистую смесь с меньшим диапазоном её деформирования под давлением налегающих пород.

В связи с тем, что закладочный массив частично воспринимает давление выше расположенных горных пород, то очевидно величина устойчивого пролета и пролета первичного шага обрушения и т.д. должны увеличиться в зависимости от усадки (деформирования) закладочного массива (ϵ).

Это можно учесть, введя в формулы, предложенные Мурашевым В.И. [3] коэффициент относительного изменения мощности заполненного закладочным материалом массива, выражаемый:

$$\eta = \frac{(h_k + h_H')}{m \cdot \epsilon} \cdot (1 - \epsilon) + 1, \quad (1)$$

где h_k - величина сближения кровли с почвой (конвергенция) до возведения закладочного массива при отстаивании формирования закладочного массива от забоя на 8-25м $h_k = 0,15$ м; h_H' - неполнота заложения (среднее расстояние от верха

закладочного массива до кровли пласта: при механизированной выемке пластов длинными столбами по восстанью с гидравлической закладкой) $h'_H = 0,01$

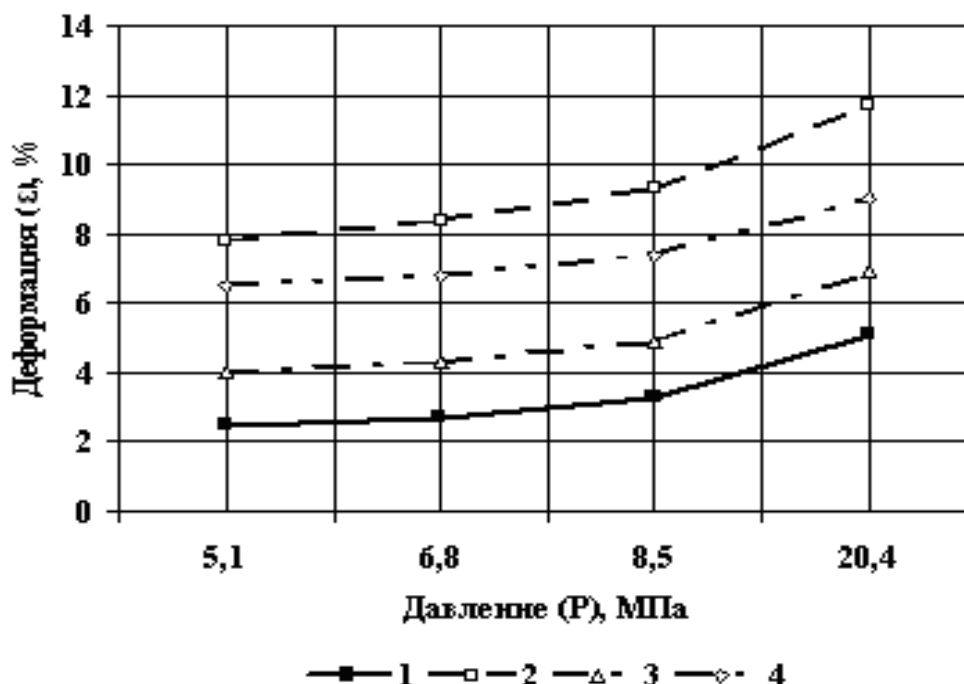


Рисунок 2. Графики изменения деформации образцов закладочного материала от нагрузки: 1 – песчано-глинистая смесь (песка – 90%, глины – 10%); 2 – песчано-сланцевая смесь (песка – 80%, сланцев размером фракций 10-25 мм – 20%); 3 – песчано-сланцевая смесь (песка – 60%, сланцев размером фракций 10-25 мм – 40%); 4 – песчано-сланцевая смесь (песка – 40%, сланцев размером фракций 10-25 мм – 60%).

Тогда величина устойчивого пролёта кровли при гидрозакладке массива примет следующий вид:

$$L_{кр} = B \cdot \eta \cdot \sqrt{\frac{(1 + \sin \alpha) \cdot \sigma_c^0 \cdot \sqrt{\theta}}{\sigma_0 \cdot \sqrt{\frac{l_L}{D_0}}}}, \text{ м} \quad (2)$$

где: B – размерные параметры равные соответственно 23 м, α – угол падения пласта, град; θ – безразмерная скорость продвижения очистного забоя, равная среднесуточной скорости продвижения отнесенной к 1 м/сут; σ_c^0 – предел прочности на одноосное сжатие пород основной кровли, МПа; σ_0 – вертикальная составляющая природного поля напряжений, МПа; l_L – длина лавы по падению пласта, м; D_0 – параметр, равный 3,5 м.

Величина первичного шага обрушения основной кровли $B_1 = 28$ м, а затем её вторичных шагов обрушения и потом вторичный шаг обрушения непосредственной кровли $B_2 = 5$ м, определяется путем подстановки в формулу (2) вместо B значения B_1 и B_2 .

В результате расчета по предлагаемой методике для условий разработки угольного пласта III на месторождении Джамальгондж мощностью слоя $m = 10$ м на глубине 1000 м с использованием в качестве закладочного материала – песчано-глинистую смесь с деформацией его усадки $\epsilon = 0,07$ значение $L_{кр}$ по методике Мурашева В.И. следует увеличить в 3 раза.

В табл. 1 приведены результаты расчетов по различным методам оценки напряженно-деформированного состояния горных пород основной кровли на призабойную часть пласта.

Таким образом, величина устойчивого пролета кровли при гидрозакладке массива зависит обратно пропорционально от усадки (деформирования) закладочного массива, выражаемой коэффициентом относительного изменения мощности пласта, заполненного закладочным, представляющий собой отношения суммы величины сближения кровли с почвой (конвергенция) до возведения закладочного массива при отставании формирования закладочного массива от забоя и неполнотой заложения закладочного материала к вынуженной мощности пласта.

Таблица 1.

Основные геомеханические параметры	Методика расчета (автор)			
	Белавенцев Л.П. [4]	Калинин С.И. [5]	Мурашев В.И. [3]	Предлагаемая
Величина устойчивого пролета кровли, м	-	-	8,4	25,2
Величина первичного шага обрушения основной кровли, м	1,73	6,85	6,85	20,55
Величина вторичных шагов обрушения основной кровли, м	-	-	5,63	16,89
Величина зоны разрушения кровли над пластом, м	-	-	9,03	27,09

Литература:

1. Кхан Мд.Форрукх. Хоссайн Перспективное применение метана в условиях разработки месторождений в Бангладеш //Горно-информационно-аналитический бюллетень, №6, 2011, с. 185-186
2. Кхан Мд. Форрукх Хоссайн Изменение напряженно-деформированного состояния газаносыщенного угольного пласта с глубиной разработки //Горно-информационно-аналитический бюллетень, №6, 2011, с. 183-185.
3. Мурашев, В.И. Разработка научных основ безопасного ведения горных работ в угольных шахтах на основе исследования геомеханических процессов: Автореферат дис. докт.техн.наук. - М., 1980. - 36 с.
4. Белавенцев, Л.П. Безопасность труда и угольных шахтах / Л.П. Белавенцев, А.Ф. Галанин. - М.: Недра, 1992 . - 286 с.
5. Калинин С.И. Геомеханическое обеспечение эффективной выемки мощных пологих пластов с труднообрушаемой кровлей механизированными комплексами. Кемерово: Кузбассвузиздат, 2002.-113 с.
6. Боровков Ю.А., Исмаилов Т.Т., Шершнева М.Л., Тофайл А.М., Полтавец И.А. Геоэкологическая оценка воздействия на земельные ресурсы горных предприятий при развитии горных работ - Горный журнал №5, 2008, с..32-34

ОБ ИНВЕСТИЦИОННОСТИ НАУЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ОСВОЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО- СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

Лимитовский А.М.* (*Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, automation-kaf@mgri-rggru.ru*),
Соловьев А.М. (*Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, cyberlab@mail.ru*)

Аннотация

В настоящее время отмечается изменение стратегической направленности энергоснабжения с проявлением все большего интереса к локальным комплексным когенерационным энергоисточникам. Поэтому исследования когенерационных систем энергообеспечения в современных условиях высокозначимы, актуальны и представляют собой инновационное научное направление в энергетике сегодняшнего дня.

Ключевые слова: энергообеспечение предприятий, когенерационные энергоисточники, стратегическая направленность энергоснабжения, локальные энергоисточники.

Предприятия, связанные с освоением минерально-сырьевого комплекса, включающие в себя геологоразведочные и горные работы, относятся к числу энергоемких объектов (до 50% общих затрат), характеризующихся целым рядом особенностей осложняющих их энергообеспечение, что напрямую влияет на стоимость производства этих работ.

К числу таких особенностей относятся удаленность их от централизованных энергосистем, передвижной характер работ, территориальная рассредоточенность энергопотребителей, необходимость в совместном использовании различных видов энергии (электрической, тепловой, пневматической, гидравлической), влияние горно-геологических, технологических, климатических факторов на выбор энергетического оборудования и обоснование системы энергоснабжения, потребность в энергообеспечении сопутствующих потребителей.

Поэтому направление научно-исследовательских работ в области оптимизации комплексного энергообеспечения объектов, функционирующих в таких условиях, является инновационными и актуальными в каждом конкретном случае.

Одним из первых инновационных направлений научных исследований связанных с энергообеспечением такого рода объектов явилась постановка в начале 60-х годов вопроса о применении гидротранспорта в технологии разработки урановых месторождений, вопреки прочно установившемуся в то время в отрасли отрицательному мнению. Выход по нашей инициативе заведующего кафедрой разработки профессора Г.Н. Попова в вышестоящие инстанции (институт «ПромНИИПроект») с предложением начать промышленные научные исследования по этому направлению увенчались успехом. Было принято решение построить гидротранспортную установку на разведваемом урановом месторождении «Степное» в Калмыкии (Лермонтовский комбинат), что и было осуществлено. Результаты экспериментальных работ 1963 г. (ответственный исполнитель Лимитовский А.М.) превзошли ожидания инициаторов научного направления. Никаких предполагаемых осложнений с позиции обогащения в процессе гидротранспорта рудной массы отмечено не было. Наоборот - транспортируемая гидросмесь дезинтегрировалась, подготавливаясь к обогащению.

Обоснование возможности и эффективности использования гидротранспорта при разведке урановых месторождений (диссертация Лимитовского А.М., МГРИ, 1964 г.) послужило основой для развития широких исследований кафедрой в этом направлении и применительно к другим месторождениям урановых руд (Казахстан, Узбекистан). Результатом этих исследований явилось написание ряда диссертационных работ (в том числе трех докторских) и создание специализированной кафедры.

В середине 70-х годов заведующий кафедрой механизации и автоматизации профессор Н.В. Тихонов пригласив меня работать к себе на кафедру, предложил возглавить научное направление в области оптимизации комплексного энергообеспечения геологоразведочных работ и разработать отсутствующую учебно-методическую литературу в этом направлении.

Работы велись при активном содействии Мингео СССР на базе передовых управлений “Якутгеология”, “Северо-восток геология” и др. В результате научно-исследовательских работ, проводимых кафедрой, при участии Академии народного хозяйства при правительстве РФ были разработаны методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию оптимальной системы энергообеспечения широко востребованные в учебном процессе и используемые при решении практических вопросов.

- Опубликовано большое число (более 300) научных и учебно-методических трудов, включая неоднократно переиздаваемые учебники по электрооборудованию и электроснабжению как геологоразведочных, так и горных работ;
- защищен ряд диссертационных работ по энергетическому направлению (включая четыре докторских диссертации);
- созданы (в 1995 г.) кафедра энергетики и энергетическая комиссия РАЕН с филиалом в СПбГУ;
- открыта специализация по подготовке инженеров-энергетиков для геологоразведочных работ.

Таким образом на базе многолетних научных исследований в рассматриваемой области разработаны научные основы оптимизации энергообеспечения геологоразведочных работ (1980г.) и создана научная школа по этому направлению.

Традиционно энергообеспечение объектов минерально-сырьевого комплекса сложилось так, что при производстве буровых работ используются преимущественно локальные энергоисточники, а при производстве горных - централизованные системы, что объясняется высокими уровнями потребления энергии на горных работах и относительно не высокой себестоимостью, высоким качеством и надежностью поставляемой централизованно энергии.

Однако, в настоящее время в условиях ликвидации единой энергосистемы, разрыва производственных связей, дефицита энергоресурсов, роста цен энергоисточники и на подключение к районным сетям, надежность которых снизилась, отмечается изменение стратегической направленности энергоснабжения с проявлением всё большего интереса к локальным комплексным когенерационным энергоисточникам, которые могут позволить более эффективно в короткие сроки обеспечить электрической, тепловой и пневматической энергией удаленные объекты, в том числе и на горных работах.

Поэтому исследования когенерационных систем энергообеспечения в таких условиях высокозначимы, актуальны и представляют собой инновационное научное направление в энергетике сегодняшнего дня.

Литература



1. Лимитовский А.М., Косьянов В.А. Электрооборудование и электроснабжение геологоразведочных работ // Издательство Российского университета дружбы народов. Москва. 2009.
2. Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Косьянов В.А. Энергообеспечение технологических потребителей геологоразведочных работ // ИПЦ Маска. Москва. 2008.

ПРИМЕНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ ПОВЫШЕННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Лях Д.А. (Санкт-Петербургский Горный Университет, lyakh_danila@mail.ru)

Аннотация

Рассмотрены особенности электроснабжения литейных предприятий в электротехнических комплексах. Проанализированы достоинства и недостатки косинусных конденсаторов используемые вблизи особенно активных источников высших гармоник: дуговые электропечи, выпрямительные установки, тяговые подстанции, электролизные установки.

Ключевые слова: косинусные конденсаторы, реактивная мощность, высшие гармоники, резонансные явления.

В настоящее время конденсаторы косинусные высоковольтные применяются в электрических установках на переменном токе частотой 50 и 60 Гц с целью увеличения значения коэффициента его мощности, а также при комплектации различных конденсаторных установок. Конденсаторы косинусные высоковольтные сертифицированы соответственно регламенту международного стандарта, действующего на территории Российской Федерации.

Конденсаторы, применяемые для КРМ (компенсация реактивной мощности), называются косинусными, так как они корректируют фазу угла ϕ между током и напряжением, косинус этого угла ($\cos\phi$) есть коэффициент мощности (рис. 1).

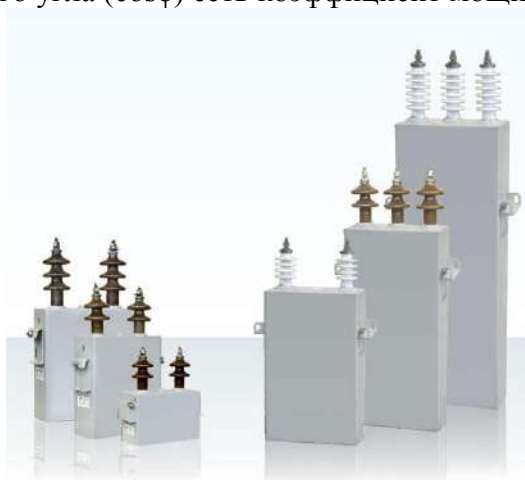


Рисунок 1. Внешний вид косинусных конденсаторов

КРМ индуктивной нагрузки (двигателей и др.) состоит в подборе такого же абсолютного значения реактивной мощности косинусных конденсаторов, но противоположного по знаку. При равенстве абсолютных значений реактивная мощность конденсаторов и нагрузки суммарная реактивная мощность равна нулю. По сравнению с синхронными электродвигателями, которые на современных предприятиях реже используются в качестве компенсаторов реактивной мощности

Основным средством компенсации реактивной мощности на предприятиях являются батареи силовых конденсаторов, подключаемые параллельно к электросети (поперечная компенсация). Достоинствами конденсаторных установок являются: простота, относительно невысокая стоимость, недефицитность материалов, малые удельные собственные потери активной мощности. Конденсаторы являются наиболее экономичным источником реактивной мощности, так как имеют наименьшие потери по сравнению с другими источниками. Поэтому выгодно наиболее полное их

использование во времени. Недостатки: отсутствие плавного автоматического регулирования отдаваемой в сеть реактивной мощности, пожароопасность, наличие остаточного заряда. Неблагоприятное влияние на работу конденсаторных установок оказывает наличие в их цепях высших гармоник. Поэтому при проектировании конденсаторных установок необходимо проверять вероятность наступления резонанса одной из высших гармоник, а иногда и резонанс на основной гармонике, которая может вызвать недопустимое увеличение тока в конденсаторной установке и ее повреждение. Такая проверка, в частности, необходима при размещении конденсаторов вблизи особенно активных источников высших гармоник: дуговые электропечи, выпрямительные установки, тяговые подстанции, электролизные установки. Для преодоления некоторых недостатков на практике для получения эффекта регулирования конденсаторных установок реактивной мощности прибегают к шунтированию их регулируемой индуктивностью в различных комбинациях под названием “статические компенсаторы”. Однако, следует отметить, что параллельно подключаемая регулируемая индуктивность имеет нелинейную характеристику, за счет которой потребляемый ток будет содержать высшие гармоники. Эти гармоники будут замыкаться в конденсаторе, и перегружать его по току, снижая надежность. Существенным фактором снижения надежности конденсаторов являются возникающие перенапряжения. Низкая стойкость конденсаторов по отношению высших гармоник и к перенапряжениям в питающей сети подтверждает необходимость поиска альтернативных источников реактивной мощности.

Чувствительность конденсаторов к высшим гармоникам всегда должна учитываться при применении конденсаторов в электрических сетях. Применение конденсаторов сопряжено с возможностью резонансных явлений благодаря образованию индуктивными и ёмкостными элементами сети последовательных и параллельных цепей. Резонансные явления сопровождаются усилением напряжений (резонанс напряжений) или токов (резонанс токов) на частотах выше номинальной (50 Гц), обусловленных наличием в сети источников высших гармоник тока. На резонансной частоте индуктивное $X_{L(n)}$ и ёмкостное $X_{C(n)}$ сопротивления равны. Низкая стойкость конденсаторов по отношению высших гармоник и к перенапряжениям в питающей сети подтверждает необходимость поиска альтернативных источников реактивной мощности.

Литература

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2012. – 20 с.
2. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. Кучинский Г.С., Назаров Н.И., Назарова Г.Т., Переселенцев И. Ф. Силовые электрические конденсаторы. – М.: Энергия, 1975. 248 с.
4. Справочник по Электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети/ Под. общ. ред. А.А. Федорова, Г.В. Сербиновского. –2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергия, 1980. 576 с.
5. Горбачёв Г.Н. Промышленная электроника / Г.Н. Горбачёв, Е.Н. Чаплыгин // М.: Энергоатомиздат. 1988. – 320 с.

МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОХОДКИ ТОНЕЛЕ-ПРОХОДЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Мазеин С.В. (ООО «Тоннельная ассоциация России», maz-bubn@mail.ru);
Ильяхин С. В. (МГРИ, isv11@mail.ru)*

Аннотация

На примере препятствия известной формы и размеров показаны возможности геофизического метода разведки и геометризации опасных твердых включений в массиве перед забоем тоннелепроходческого комплекса по максимуму и минимуму амплитуд зондирующих сейсмосигналов, отраженных от неоднородностей, при этом установлено, что максимум этой амплитуды соответствует участку перед ними, а минимум – самому включению.

Ключевые слова: проходка, тоннелепроходческий комплекс, грунт, неоднородности, дистанционное зондирование, система, локация.

В настоящее время тоннелестроение сопровождается геофизическими исследованиями грунтов по трассе тоннеля в целях уточнения геологической ситуации в грунтовом массиве, в том числе наличия на трассе инородных искусственных включений, точнее определяемого изысканиями из забоя, чем с земной поверхности.

К недостаткам исследований с поверхности можно отнести низкую оперативность геофизического прогноза, а к достоинствам – обнаружение пологозалегающих геологических слоев с контрастными свойствами. К недостаткам скважинных исследований можно отнести также низкую оперативность прогноза и затраты на бурение скважин с земной поверхности.

Постоянная локализация геологических контрастов, фронтальных к направлению проходки, возможна лишь при внедрении на технологических комплексах проходки тоннелей системы дискретно-непрерывного геофизического прогноза неоднородностей в массиве впереди забоя без прерывания процесса проходки.

При проходке встречаются различные виды опасностей, связанные с наличием валунных включений. Они вызывают обрушение забоя при создании тоннелей большого сечения в мало связных обводненных грунтах, а также разработка неожиданно встречающихся прочных валунов и других неоднородностей в забое становится опасной без достаточного прогноза их механической прочности, положения в забое и размеров.

Из-за недоступности постоянного визуального контроля во время разработки включений в забое операторы контролируют основные параметры работы тоннелепроходческого щита (глубина внедрения резцов, крутящий момент ротора, давление гидравлики дробилки), которые отображаются на дисплее и регистрируются бортовым компьютером [1]. Минимальный размер включения у центра ротора составляет 0,5 м. При увеличении расстояния от центра ротора до местоположения включения этот размер увеличивается до 2,5 м. Эти данные используются для формулировки требований к аппаратуре акустического зондирования. Чтобы исключить опасные ситуации, необходимо правильно выбрать режим эксплуатации оборудования, которое будет задействовано при разработке твердого включения. Для этого необходимо знать его прочность на срез, размер D и местоположение в забое (r – расстояние от центра щита до валунного включения), а также правильно представлять возможную опасность, исходя из геометрии ротора, ворот и дробилки. Методы предварительного и текущего распознавания твердых включений в грунте требуют обоснования эффективности в применении к конкретным геологическим условиям и технологическим параметрам проходки.

Методы дистанционного зондирования с поверхности грунтов электромагнитными или звуковыми волнами, используемые в последнее время, дают информацию о строении горизонтальных слоев пород на глубине до 30 м. Такие геофизические измерения не позволяют оперативно давать информацию для коррекции рабочих режимов тоннелепроходческого механизированного комплекса, движущегося обычно на глубинах порядка 40 м со скоростью 6...12 м в сутки [2]. Данные измерений не точны из-за большой удаленности от включения и от забоя, предполагают большой объем обработки сигналов [3], а также порой недоступны для проходческого персонала, который должен использовать эту геофизическую информацию для выбора щадящего режима проходки во избежание поломок ротора.

Современным решением вопроса повышения безопасности проходки стало внедрение системы опережающего акустического зондирования датчиками передачи и приема на вращающемся роторе проходческой машины (рисунок 1).

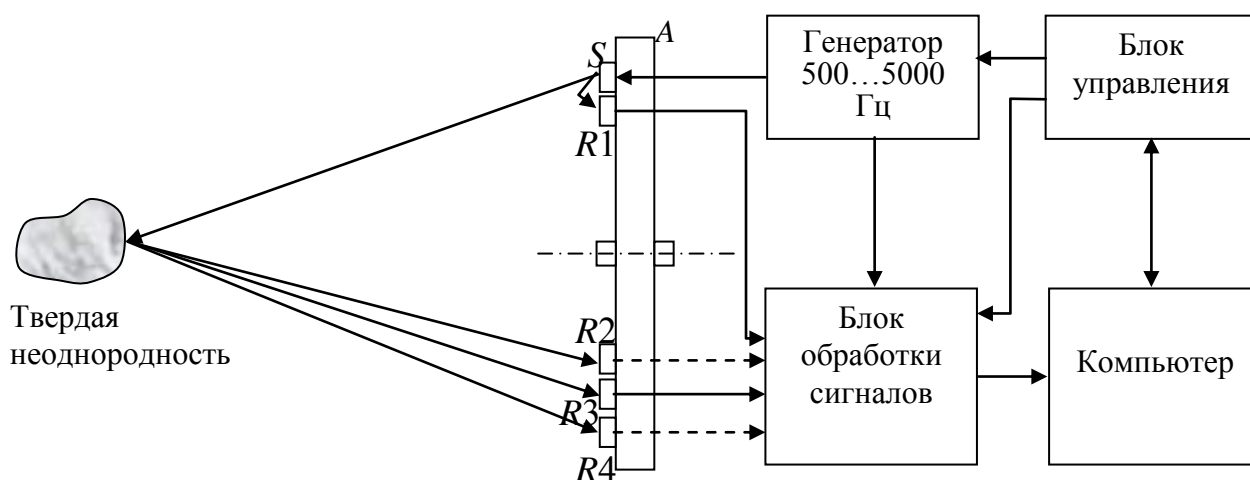


Рисунок 1. Схема системы сейсмоакустического зондирования неоднородностей

Система состоит из преобразователей, размещенных на вращающемся роторе проходческой машины, электронных блоков и компьютерной части (рисунок 1). На роторе А диаметром 14,2 м размещаются излучатель S и четыре приемника R1...4. Электрический сигнал от генератора через поворотное-пропускное устройство ротора поступает к излучателю, туда также подается сжатый воздух (до 6 атмосфер) для выравнивания давления по обе стороны мембраны в капсуле излучателя. В течение 1 секунды через интервал 10 секунд передатчик S излучает сигнал мощностью до 1 кВт, закодированный по частоте от 500 до 5000 Гц, который отражается и рассеивается от неоднородности. При этом с помощью компьютерной системы регистрации параметров ТПМК определяется положение передатчика во время вращения ротора. Отраженные звуковые волны регистрируются четырьмя приемными динамическими датчиками в виде мембранных цилиндрических капсул. Приемники рассредоточены по противоположным лучам ротора, на одной прямой с передатчиком. С помощью кодировки частоты полезный сигнал методами распознавания и корреляционной обработки отделяется от общего шума ротора, т. к. принимаемый сигнал на порядок выше фона акустических помех от разрушения породы. Все принимаемые сигналы на датчиках ускорений преобразуются прибором на роторе в цифровой код и передаются через поворотное-пропускное устройство на систему сбора и обработки данных на пульте управления (рисунок 2).

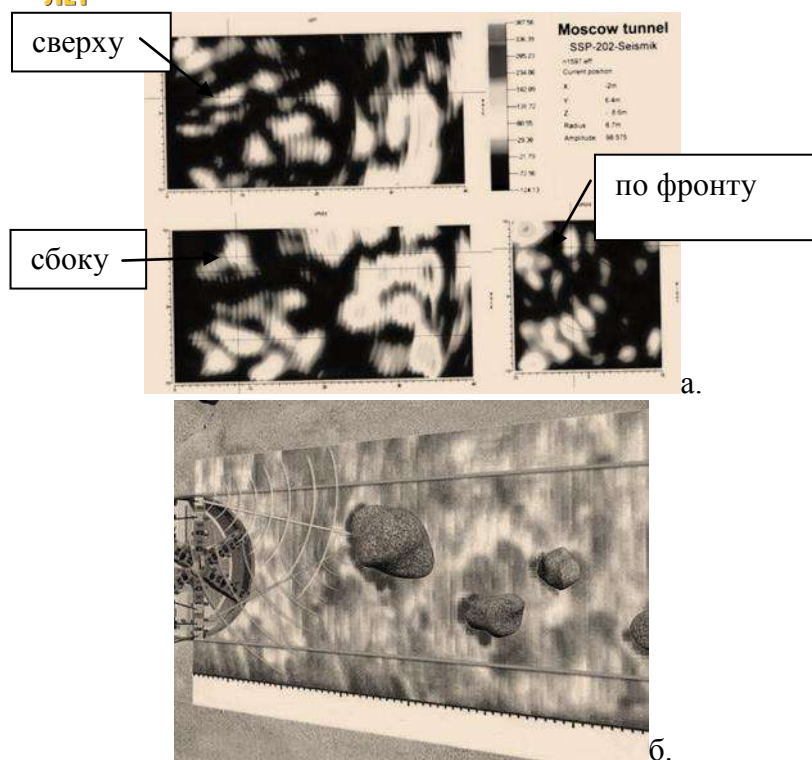


Рисунок 2. Изображение результатов зондирования грунтового массива на расстоянии до 40 м перед ротором.

а) в двухмерном представлении на экране; б) схема в объемном представлении.

Аналогичными системами с 1997 года на щитах «Херренкнехт» перед ротором зондировали различные по составу массивы, представленные гравием, песком, глиной с включениями мергеля, известняка, мрамора [4].

В основных, встречающихся при проходке породах, известняках и глинах, наблюдались неоднородности: включения окварцованного крепкого известняка, а также железобетонные сваи. Габариты таких включений можно было оценить по мере приближения к ним щита (по 3...7 замерам волновой картины массива на расстояниях до 40 м перед ротором).

Во время проходки Лефортовского тоннеля в сопровождении сейсмоконтроля акустическим сигналом 8 частот от 737 до 7905 Гц было прозондировано около 1/3 трассы тоннеля. По 40-метровым отрезкам трассы тоннеля через интервал точек измерений 5...10 м получали данные локаций на самом трудном для проходки глубоком участке тоннеля (по прослоям крепких известняков и твердых глин). Были получены среднестатистические данные по зондированию грунтовых массивов, а именно минимальные, максимальные, медианные и модальные значения, среднеквадратические отклонения всей совокупности амплитуд звуковых отражений. Определялись параметры включений – размеры и ориентация в пространстве, а также их акустическая контрастность. Затем была сделана попытка связать данные по локации с технологическими параметрами проходки и крупностью извлекаемого грунта.

Нами установлено, что для возникновения отраженных волн необходимо, чтобы наряду с разностью звукового сопротивления размер неоднородности превышал бы определенную минимально допустимую величину, сопоставимую с самой малой длиной волны зондирующего сигнала.

Это также определяет разрешающую способность в направлении оси тоннеля. Из-за зависимых от частоты звука свойств поглощения волн максимальная

разрешающая способность наблюдается только на небольшом расстоянии от излучателя и приемников звука.

Результаты геометризации вполне удовлетворительны для информационного обеспечения функциональной и структурной устойчивости ДПТГС щитовой проходки области твердых включений в массиве с помощью опережающего сейсмоакустического прогноза и контроля их размеров. Погрешность определения размеров включения на расстоянии 10 м до него не превышает 5%, а погрешность определения расстояния от центра включения до оси z – 4,5% во всех замерах. Габариты и координаты твердых искусственных и естественных включений в массиве мы уверенно оценивали по мере приближения к ним щита по 3...7 полученным объемным распределениям амплитуд сейсмоакустических отражений в массиве с координатами по оси z от 30 до 5 м перед ротором [5,6].

На примере препятствия известной формы и размеров показаны возможности геофизического метода разведки и геометризации опасных твердых включений в массиве перед забоем по максимуму и минимуму амплитуд зондирующих сейсмосигналов, отраженных от неоднородностей, при этом установлено, что максимум этой амплитуды соответствует участку перед ними, а минимум – самому включению.

Литература:

1. Опыт геоакустической локации твердых включений при щитовой проходке тоннелей большого диаметра / С.В. Мазеин, А.С. Вознесенский // Сб. тр. XVIII сессии Российского акустического общества. Т. 1. – М.: ГЕОС, 2006. – С. 272–275.

2. Арбузов М.Ю., Мазеин С.В., Власов С.Н., Синицкий Г.М., Яцков Б.И. Итоги первого этапа проходки тоннелей в Серебряном Бору // Метро и тоннели. – 2005. – №2. – С.12–15.

3. Мазеин С.В., Вознесенский А.С. Возможности геофизического прогноза и текущего контроля инженерно-геологической обстановки на ТПМК «Херренкнехт» // Докл. кругл. стола «Передовые технологии, оборудование и методы инженерно-геологических и геофизических изысканий и исследований при строительстве подземных сооружений». – М., 2007. – С. 91 – 96.

4. Kassel A. SSP: discovering obstacles in good time. // Research + development.- Herrenknecht.- D-77963 Schwanau, 03/2004.–S. 10-11.

5. Мазеин С., Стафеев Г. Работа системы геофизического контроля на ТПМК диаметром 14,2 м // ГИАБ. – 2005. – № 6. – С. 85–88.

6. Мазеин С.В. Непрерывное геоакустическое зондирование (прогноз) включений и нарушенных зон в грунтах при щитовой проходке тоннелей // Горный журнал. – 2010. – №5. – С. 81–84.

ОЦЕНКА НЕОБХОДИМЫХ ОБЪЕМОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ) В ЦЕЛЯХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

*Максимов Н.А. (Санкт-Петербургский горный университет, maxni97@mail.ru),
Абрамович Б.Н. (Санкт-Петербургский горный университет,
Abramovich_BN@pers.spmi.ru)*

Аннотация

Данная работа посвящена вопросам экономии на горных предприятиях и других промышленных в целом. Выявлена и обоснована необходимость использования средств солнечной энергетики.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, солнечная энергия, экономия, солнечные батареи, предприятия, горная промышленность, перспективы на будущее.

Республика Саха Якутия является уникальной территорией по разнообразию, количеству и качеству полезных ископаемых. Здесь официально зарегистрировано 1823 месторождения 58 видов минерального сырья. Наиболее важными являются месторождения алмазов (82 % запасов России), сурьмы (82 %), урана (61 %). Также на долю республики приходится 47 % разведанных запасов угля, 35 % природного газа и нефти Восточной Сибири и Дальнего Востока. При этом более 16 тысяч потенциальных месторождений по прежнему остаются слабоизученными.

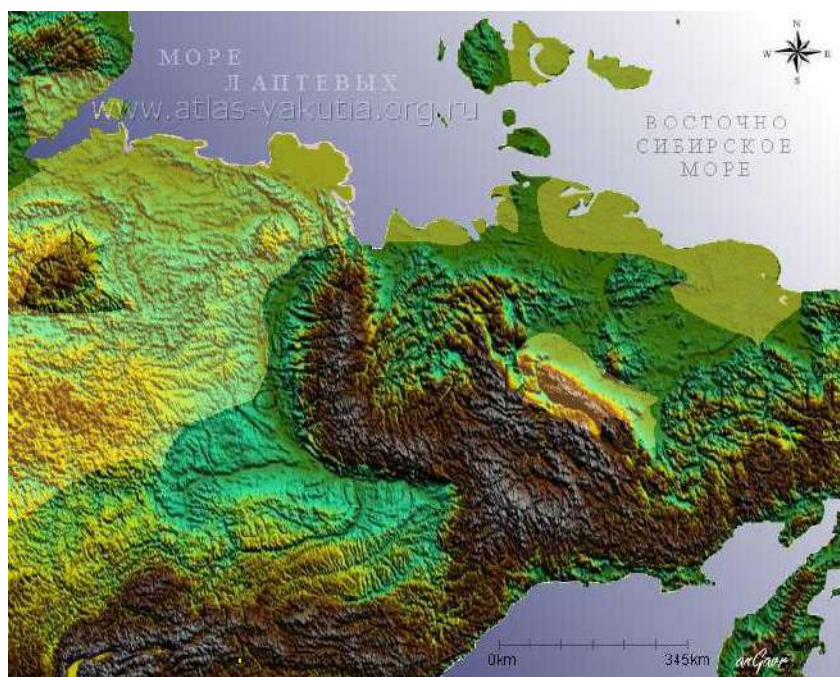


Рисунок 1. Перспективные нефтегазовые области с плотностью УВ < 30 тыс. т/кв. км

Потенциал природных ресурсов Якутии не ограничивается полезными ископаемыми. Высокий уровень солнечной радиации (рисунок 2) позволяет использовать средства солнечной энергетики не только для бытовых целей, но и для горнодобывающей промышленности.



Рисунок 2. Солнечные энергоресурсы России

Так же характерная для арктического региона низкая температура положительно влияет на КПД модулей, который в итоге оказывается даже больше номинального. В качестве примера на рисунке 3 показаны результаты эксперимента, отражающие суточное изменение КПД PV-панелей из монокристаллического кремния для 6 месяцев с июля по декабрь. Результаты эксперимента показывают, что в целом в декабре модули работают с КПД более высоким, чем в другие месяцы. В результате этот параметр превысил номинальный КПД, составляющий для данных солнечных панелей 11,2%.

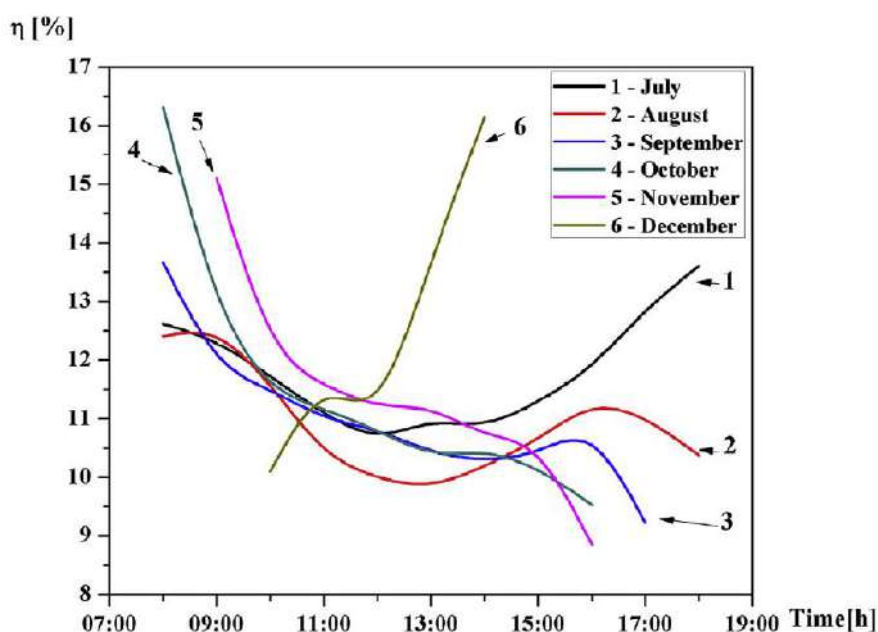


Рисунок 3. Суточное изменение КПД фотоэлектрических модулей для различных месяцев, полученное в ходе эксперимента в университете г. Ниш, Сербия

Непостоянство выработки электроэнергии СЭС связанное с переменами в погоде, обуславливают необходимость резервирования более надёжным источником электроснабжения. В настоящее время использование комбинированных солнечно-

дизельных электростанций (СДЭС) в условиях автономных потребителей малой и средней мощности получает в России всё большее распространение. Так, в полярном посёлке Батагай республики Якутия уже более 3 лет успешно функционирует крупнейшая за Полярным кругом СЭС мощностью 1 МВт, работающая параллельно с ДЭС.

Солнечная электростанция в поселке БатагайВерхоянского района Якутии, возведенная ПАО «РАО ЭС Востока», официально признана самым северным в мире объектом фотовольтаики (технологии получения энергии, путем преобразования солнечного излучения). Соответствующая запись размещена на сайте GuinnessWorldRecords, сообщает пресс-служба ПАО «РАО ЭС Востока».

Опыт применения солнечных электростанций в условиях Саха Якутия показывает, насколько целесообразно внедрение фотоэлементов для электроснабжения месторождений полезных ископаемых.

Целесообразно это не только в связи с природно-климатическими ресурсами, но и благодаря быстрому развитию технологий в сфере фотогальванических систем.

Рекордно полученное КПД фотоэлемента составляет 44,7%. Показатель эффективности у моделей фирмы Sharp составляет 44,4 %. Производитель Sharp считается абсолютным мировым лидером по производству солнечных панелей. Эти устройства довольно сложно устроены, солнечные модули здесь трехслойные, на разработку технологии их создания производители потратили несколько лет, за такой период, проведя множество исследований и испытаний собственной продукции. Есть и другие, упрощенные модели. Технология создания некоторых панелей Sharp обеспечивает им КПД величиной 37,9 %, что тоже немало. Цена устройств ниже за счет того, что в них не используются технические приспособления для концентрации солнечного света на модуль.

Для увеличения производительности желательно оптимизировать выработку электроэнергии за счет выбора состава структуры.

Используя солнечные батареи на горных предприятиях в благоприятное для этого время суток, шахта смогла бы сэкономить тысячи кВт*ч электроэнергии, не принося вред окружающей среде.

Преимущества солнечных электростанций:

- Экономичны, так как расход средств осуществляется только лишь на приобретение оборудования для установок;
- Просты в использовании и в обслуживании.
- Имеют полную безопасность в использовании;
- Долговечны;
- Их использование гарантирует отсутствие скачков напряжения, а также стабильность в электроснабжении;
- Автономны.

В статье рассмотрены варианты и опыт применения солнечных электростанций (СЭС) в Республике Саха (Якутия). Для наиболее продуктивной работы СЭС можно применить выбор оптимальной структуры комбинированного комплекса (в случае комбинирования с дизельной электростанцией). Из проблем можно назвать то, что продуктивная работа солнечных преобразователей энергии нуждается в резервировании и аккумуляции. Развитие возобновляемой энергетики в горной промышленности призвано снизить расход дизельного топлива действующих дизельных электростанций на выработку электроэнергии, а, следовательно, и повысить доход от месторождения.

Литература

1. Геологическое изучение Якутии. Министерство экономики Республики Саха (Якутия). <https://www.sakha.gov.ru/pages/front?url=88044>
2. Состояние и использование минерально-сырьевой базы полезных ископаемых Республики Саха (Якутия). <https://www.vnedra.ru/состояние-и-использование-минеральн-99/>
3. Месторождения Якутии. <http://www.atlas-yakutia.ru/depositmap.html>
4. The assessment of different models to predict solar module temperature, output power and efficiency for Nis, Serbia. Energy 109 (2016) 38e48
5. Monaaf D.A. Al-falahi, S.D.G. Jayasinghe, H. Enshaei. A review on recent size optimization methodologies for standalone solar and wind hybrid renewable energy system// Energy Conversion and Management 2017; 143: 252–274.
6. Gan LK, Shek JKH, Mueller MA. Optimised operation of an off-grid hybrid wind-diesel-battery system using genetic algorithm // Energy Convers Manage 2016;126:446–62.
7. Яковлева Э.В. Электротехнический комплекс для электроснабжения геологоразведочных работ с использованием солнечной электростанции. – СПб.: 2013. 21 с.
8. Лукутин Б.В., Киушкина В.Р. Ветроэлектростанции в автономной энергетике Якутии. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 202 с.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПАРАМЕТРЫ РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК, ПРОЙДЕННЫХ. В ПРИБОРТОВОМ МАССИВЕ КАРЬЕРА

Мальский К.С. (МГРИ, sabbat@mail.ru),
Романов В.В. (МГРИ, roman_off@mail.ru), Посеренин А.И. (МГРИ,
poserenin83@gmail.com), Матюшенко А.А. (МГРИ, anyamatyshenko@rambler.ru)*

Аннотация

Параметры рудничного воздуха, применяемого для проветривания горных выработок, зависят от состояния рудничной атмосферы карьера. В докладе раскрываются факторы, которые влияют на содержание вредных компонент в рудничном воздухе — газов, пыли, радиоактивных элементов.

Ключевые слова: горные выработки, рудничный воздух, карьер Мурунтау, радиоактивность.

При отработке прибортовых запасов карьера подземным способом [1,4] и заборе из карьера воздуха для проветривания подземных горных выработок рудничным воздухом на параметры последнего оказывает существенное влияние состояние рудничной атмосферы карьера.

Рудничная атмосфера карьера Мурунтау находится под влиянием техногенных процессов, связанных с его отработкой и атмосферных условий района, характеризующихся в летний период повышенной температурой (до +40 °С) и низкой относительной влажностью (20 – 25 %). При заборе воздуха на проветривание подземных выработок из карьера этот период по тепловому фактору будет самым напряженным и одновременно самым благоприятным по концентрации вредных веществ особенно диоксида азота в атмосфере карьера, на этом же основании наиболее неблагоприятным по загазованности карьера будет зимний период.

Воздух, содержащий определенное количество вредных веществ, из карьера поступая в подземные выработки и перемещаясь по ним, претерпевает изменения, состоящие в уменьшении содержания кислорода, увеличении содержания углекислого газа и азота, изменении температуры, влажности и запыленности. Существует так же вероятность выделения других вредных веществ, аккумулирующихся в трещинах горного массива и на стенках подземных выработок в результате буровзрывных работ.

Состав рудничного воздуха регламентируется «Правилами безопасности», устанавливающими, что содержание кислорода в воздухе выработок, в которых находятся или могут находиться люди, должно составлять не менее 20 %, содержание углекислого газа – не должно превышать на рабочих местах 0,5 %; в выработках с общей исходящей струей шахты – 0,75 %, а при проведении и восстановлении выработок по завалу – 1 %.

Воздух в действующих подземных выработках не должен содержать ядовитых газов больше предельно допустимой концентрации: оксида углерода - 0,0016 %, диоксида азота – 0,00025 %, сернистого газа – 0,00035 %, сероводорода – 0,000666 %.

Весовое содержание вредных веществ допускает количество: оксида углерода – 20 мг/м³; оксид азота - 5 мг/м³; сернистого газа - 15 мг/м³; сероводорода - 15 мг/м³. Температура рудничного воздуха не должна выходить за пределы 2 ÷ 26 °С.

При подземной разработке рудных месторождений первичными источниками пылеобразования являются: буровые работы, взрывные работы, погрузочно-разгрузочные работы, дробление и транспортирование руды по откаточным выработкам. Вторичным источником пылеобразования является ранее осевшая пыль.

Действующими санитарными нормами для условий карьера Мурунтау установлена предельно допустимая концентрация пыли в рудничном воздухе составляет $2,0 \text{ мг/м}^3$.

К горно-геологическим факторам способным оказывать влияние на параметры рудничного воздуха в первую очередь необходимо отнести трещиноватость и обводненность горного массива[3]. Наличие трещин и разломов в горном массиве будут способствовать возникновению аэродинамических связей между карьером и подземными горными выработками, и как следствие этого незапланированное проникновение вредных газов не только во время взрывных работ, но и в течении длительного периода после их проведения за счет выветривания вредных веществ аккумулирующихся в пустотах.

Обводненность горного массива будет способствовать сглаживанию влияния негативных факторов, т.к. влага займет часть пор горного массива и предотвратит поступление в них вредных веществ, а также частично их растворит. Обводненность горного массива будет способствовать так же снижению температуры и запыленности рудничного воздуха в подземных выработках.

Как уже отмечалось выше в летний период времени возможно превышение свыше допустимой величины в $26 \text{ }^\circ\text{C}$ температуры рудничного воздуха в подземных выработках, особенно пройденных в Северном и Восточном бортах карьера, т.к. они подвержены наиболее интенсивному нагреву солнечными лучами.

Содержание естественных радионуклидов в породах и рудах месторождения Мурунтау не значительно превышает кларковые величины и в связи с этим проблема нормализации радиационной обстановки в карьере и подземных выработках шахты «М» при их нормальном проветривании отсутствует. Однако подземные воды, просачивающиеся в горные выработки, содержат в себе глиняную взвесь, содержание естественных радионуклидов в которой в десятки раз превышает среднее содержание в массиве и поэтому при определении режимов вентиляции подземных горных выработок необходимо учитывать и радиационный фактор[2].

Литература

1. Мальский К.С., Дронов А.Н., Романов В.В., Горбунова Н.Н. Метод контроля устойчивости подземных горных выработок, расположенных в прибортовом массиве карьера, с использованием сейсмоизмерительной аппаратуры // В сборнике: Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых Материалы 13-ой Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 2016. С. 229-230.
2. Медведев А.А., Посеренин А.И. Применение энергодисперсионных рентгеновских спектрометров для элементного анализа геологических образцов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 11. С. 115-124.
3. Романов В.В., Мальский К.С. Анализ возможностей изучения гидрогеологического режима карьеров и подземных горных выработок инженерной сейсморазведкой // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 6. С. 74-78.
4. Романов В.В., Посеренин А.И., Дронов А.Н., Мальский К.С. Обзор геофизических методов, применимых при поиске геомеханических нарушений вблизи горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 1. С. 243-248.

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К БЕЗОПАСНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ АММИАЧНО-СЕЛИТРЕННЫХ ВВ ПРИ СКВАЖИННОЙ ОТБОЙКЕ КОЛЧЕДАНЫХ РУД

*Маслов И. Ю. * (ООО «Спецхимпром», ilmaslov@mail.ru)*

Иляхин С.В. (МГРИ, isy11@mail.ru)

Аннотация

В настоящей работе представлены результаты экспериментов по изучению дефектной структуры колчеданных руд (пористость и удельная поверхность), что является причиной возникновения и развития очага разогрева данных руд при их скважинной отбойке. При принятии решений о возможности применения АСВВ сведения о температуре, концентрации пирита в горных породах целесообразно дополнить сведениями о величине удельной поверхности колчеданных руд. Особенно это актуально при рассмотрении вопросов по возможности применения АСВВ при отбойке массивов с температурой $> 50^{\circ}\text{C}$.

Ключевые слова: сульфидсодержащие породы, пирит, сера, физическая модель, реакция, аммиачно-селитренные ВВ (АСВВ), трещинноватость.

Основным регламентирующим документом о порядке безопасного применения аммиачно-селитренных ВВ (АСВВ) при ведении взрывных работ в сульфидсодержащих горных породах является «Руководство по предупреждению самопроизвольных загораний и взрывов взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры при производстве взрывных работ в медноколчеданных рудах» [1].

Согласно «Руководству по предупреждению самопроизвольных загораний и взрывов взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры при производстве взрывных работ в медноколчеданных рудах» принятие решения о возможности безопасного применения ВВ основывается на знании условий применения, которые характеризуют следующими параметрами:

1. Температура рудного массива;
2. Наличие шахтных вод и их кислотность в заряжаемых скважинах;
3. Содержание пирита в рудном массиве.

Реакция колчеданных (пиритных) руд с аммиачной селитрой проходит на границе соприкосновения веществ. Следовательно, чем больше будет площадь поверхности колчеданной руды, тем более эффективно будет проходить реакция и тем выше вероятность разогрева ВВ до критических значений.

Поэтому сведений о температуре, концентрации пирита в горных породах и уровне кислотности шахтных вод может быть недостаточно для решения вопроса о возможности безопасного применения аммиачно-селитренных ВВ. Согласно данным табл. 1 в работе [1] допустимое время нахождения АСВВ в скважине при температуре от 25 до 50°C не превышает 24-1 ч, соответственно.

Результаты исследований.

Микроскопические исследования внутренней структуры образцов серного колчедана осуществлялось на сканирующем электронном микроскопе CarlZeissEVO. Анализ микроскопических исследований показал, что колчеданные руды содержат огромное количество микродефектов (трещин, раковин, каналов, каверн и т.п.). Характерные результаты исследований представлены на рисунке 1.

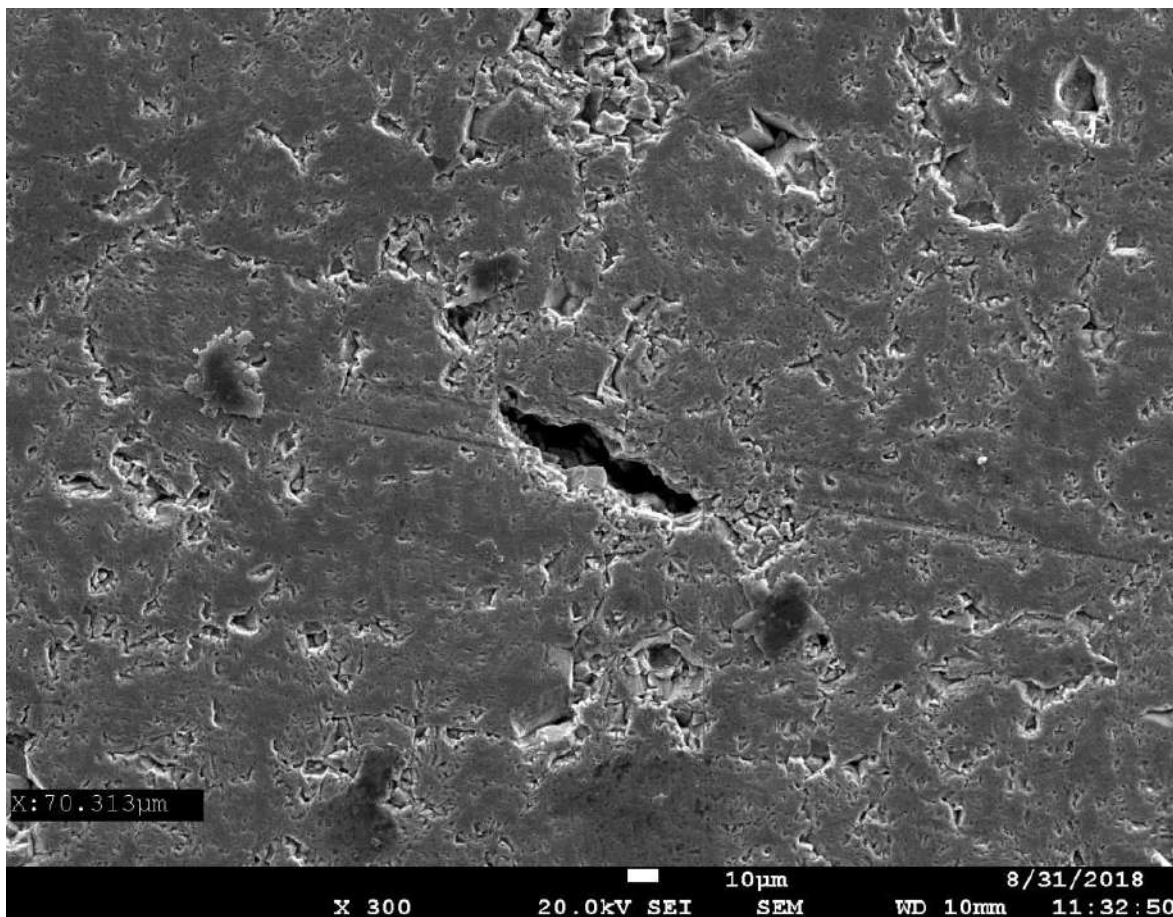


Рисунок 1. Фотографии поверхности образцов колчеданных руд (растровый микроскоп РЭМ CarlZeissEVO)

Для выяснения связи данных дефектов с внешней средой и определения величины открытой удельной поверхности колчеданных руд были выполнены измерения пористости образцов горных пород с различных месторождений. Измерения выполнялись на ртутном порозиметре Pascal 440. Типичная кривая вдавливания ртути в образец представлена на рисунке 2 – приведена зависимость для образца колчеданной руды из Сибайского месторождения. Анализ результатов исследования образцов на пористость и определение удельной поверхности, позволяет сделать заключение о том, что пористость образцов изменяется от 0,7 до 7 %, а удельная поверхность от 0,005 до 0,38 м²/г.

Дефектность микроструктуры колчеданных руд такова, что удельная поверхность образца в 30-3000 раз превосходит удельную поверхность бездефектного образца тех же размеров. Т.к. реакция взаимодействия пирита с АС является топохимической (происходит на поверхности пирита), то фактор различной развитости удельной поверхности руд необходимо учитывать при оценке безопасности ведения взрывных работ в колчеданных массивах с использованием АСВВ.

Литература:

1. Инструкция по предупреждению взрывом сульфидной пыли на подземных рудниках, разрабатывающих пиритсодержащие колчеданные руды / Утв. Министерством металлургии СССР 13.02.1991г. – 26 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЕ ЭЖЕКЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ДВС ПРИВОДА КОМПРЕССОРА

*Джураев Р.У. (Навоийский государственный горный институт,
strong0185@mail.ru),*

*Меркулов М.В. *(МГРИ, mvm.07@mail.ru)*

Аннотация

Рассматривается использование утилизированной теплоты двигателя внутреннего сгорания (ДВС) привода компрессора при бурении геологоразведочных скважин с продувкой. Приводится схема экспериментальной установки эжекции продуктов сгорания ДВС с использованием вихревой трубы. Рассмотрены предварительные результаты экспериментальных исследований влияния эжекции на эффективность работы привода компрессора.

Ключевые слова: геологоразведочные работы, вторичные энергоресурсы, системы утилизации теплоты, энергосбережение.

Бурение с продувкой воздухом является эффективным способом колонкового бурения в зонах значительных потерь циркуляции, при затруднениях с водоснабжением, в высокогорной или труднопроходимой местности или в районах с суровым климатом [1,2]. Однако воздух имеет низкую теплоёмкость по сравнению с жидкостными промывочными растворами, что создает необратимые последствия, сказывающиеся на работе породоразрушающего инструмента. Это высокие контактные температуры, приводящие к деформации матриц алмазных коронок, разрушению алмазов, их зашлифовыванию, снижению твердости алмазов и прижоги инструмента.

Соблюдение температурного режима бурения скважины с использованием различных охлаждающих устройств устраняет отрицательное действие температурного фактора при бурении скважин с продувкой воздухом. Применяемые холодильные установки достаточно энергоёмкие и их использование дорого.

Для создания инновационного и эффективного оборудования для бурения скважин с продувкой мы предлагаем применить вихревую трубу, в которой происходит эффект Ранка, в качестве холодильно-нагревательной установки. Это позволяет одновременно получать потоки воздуха низкой и высокой температуры [3].

Для бурения разведочных скважин с очисткой забоя воздухом применяют передвижные компрессорные станции с поршневыми компрессорами и приводом от ДВС. Эффективный КПД двигателя зависит от ряда факторов и в реальных условиях не превышает 30÷35% [5]. Наибольшая доля потерь в ДВС связана с тепловыми потерями [3,5]. Применение устройств, технологических схем утилизирующих избыточную теплоту ДВС позволит существенно повысить термический КПД установки [4,5].

Отбор теплоты выхлопных газов теплообменниками повышает сопротивления на выхлопном коллекторе ДВС. Величина противодавления на выхлопе лимитируется т.к. это ухудшает рабочие процессы в цилиндрах двигателя, уменьшается коэффициент избытка воздуха, наполняемость цилиндров свежим зарядом и падает эффективная мощность двигателя. Повысить эффективность компрессора с приводом от ДВС можно применением вихревой трубы.

Суть вихревого эффекта заключается в разделении газа при закручивании в цилиндрической или конической камере вихревой трубы на две фракции. На периферии образуется поток с высокой температурой, а в центре – закрученный охлажденный поток. Холодный поток подается в скважину, что обеспечивает эффективное охлаждение породоразрушающего инструмента. Горячий воздушный

поток может быть использован для повышения эффективности работы утилизационной установки, использующей теплоту приводного двигателя внутреннего сгорания компрессора [5].

Нами было предложено устройство утилизации теплоты ДВС компрессора и нагретого воздуха, выходящего с горячего выхода вихревой трубы (рисунок 1).

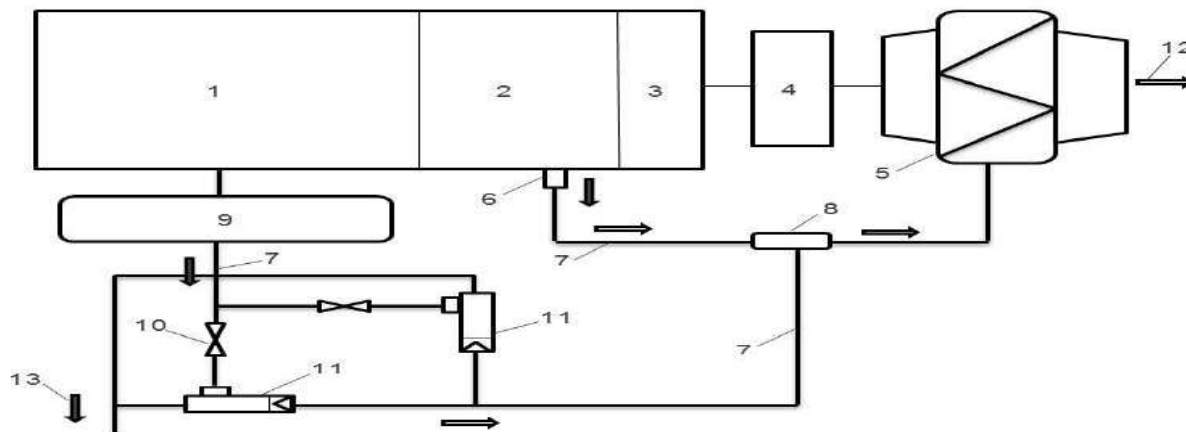


Рисунок 1. Устройство для утилизации теплоты двигателя внутреннего сгорания привода компрессора

1-Компрессор, 2-ДВС, 3-радиатор, 4-вентилятор, 5-теплообменник, 6-выхлопная труба, 7-труба, 8-сопло, 9-ресивер, 10 - задвижка, 11-вихревая труба, 12-теплый поток, 13-холодный поток.

Устройство работает следующим образом. После того, как двигатель компрессора запущен, сжатый воздух из ресивера 9 компрессора 1 подается в вихревые трубы 11, где происходит температурное разделение воздуха на холодный и горячие потоки. После разделения в вихревых трубах 11, холодный поток воздуха 13 подается в скважину. Горячий поток воздуха с выхода вихревой трубы, через сопло 8 эжектируя и смешиваясь с выхлопными газами, поступающими из выхлопной трубы 6 двигателя внутреннего сгорания 2, и подается в трубы теплообменника 5.

Вентилятор 4 отбирая теплоту радиатора 3, направляет его в межтрубное пространство теплообменника, где воздух подогревается теплом выхлопных газов, смешанных с горячим потоком из вихревых труб. Теплообменник 5 создает сопротивление движению выхлопных газов, что снижает полезную мощность двигателя и повышает его расход топлива. На предложенное устройство получен патент на полезную модель, что подтверждает его техническую новизну.

Для снижения вредного влияния сопротивлений теплообменника, горячий поток высокого давления из вихревых труб 11 подается в сопло 8, установленное в выхлопном трубопроводе. В сопле происходит разрежение газов за счет того, что струя горячего потока воздуха с вихревой трубы выходит с большой скоростью из сопла и увлекает за собой выхлопные газы. При этом уменьшается сопротивление движению выхлопных газов создаваемое теплообменником, что способствует снижению расхода топлива двигателем.

При прекращении процесса бурения на небольшие промежутки времени, когда не требуется очистка забоя, компрессор работает вхолостую, что приводит к дополнительным затратам топлива и снижает эффективность бурения. В этом случае, вырабатываемый компрессором воздух может направляться в сопло 8 для эжекции выхлопных газов.

В целях исследования влияния эжекции выхлопных газов на эффективность работы ДВС, нами было проведено экспериментальные исследования расхода топлива при эжекции выхлопных газов потоком воздуха от вихревой трубы. Основными задачами экспериментальных исследований являлись следующие:

- определение расхода топлива ДВС при использовании теплообменника без эжекции;
- определение расхода топлива ДВС при использовании теплообменника и эжекционного сопла.

Для выполнения экспериментальных исследований использовалась установка, схема которой представлена на рисунке 2.

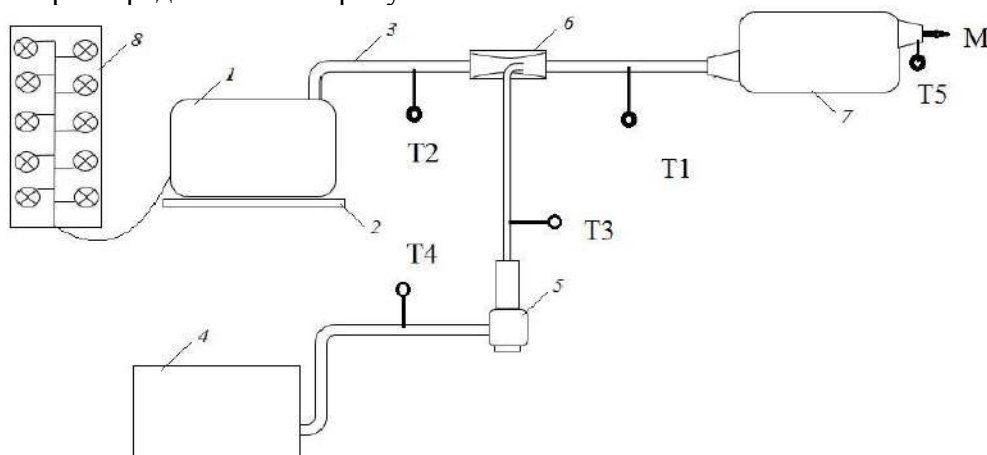


Рисунок 2. Схема экспериментальной установки по исследованию влияния эжекции выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания

1–бензогенератор, 2–весы, 3–выхлопная труба, 4–компрессор, 5–вихревая труба, 6–эжекционное сопло, 7–теплообменник, 8–блок с лампами, T_i –точки замера температуры.

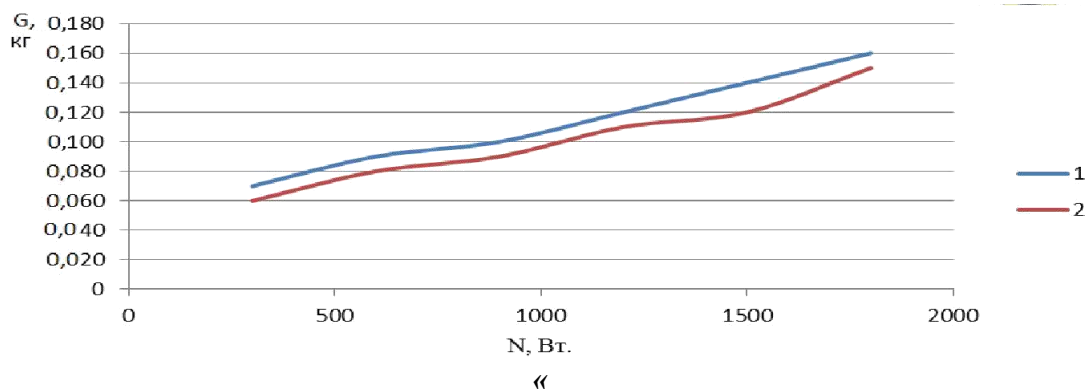
Методика экспериментальных исследований заключалась в следующем.

- качестве двигателя внутреннего сгорания использовался двигатель бензогенератора 1 мощностью 2 кВт. Нагрузка генератора задавалась лампами накаливания 8 и фиксировалась ваттметром. Выхлопной коллектор бензоагрегата подключался к теплообменнику 7, который охлаждался потоком воздуха. Емкость с топливом бензогенератора устанавливалась на электронные весы.

Первый этап испытания проводился с подсоединением к глушителю теплообменника без применения эжекционного сопла. После запуска и прогрева двигателя бензогенератора подключалась нагрузка, фиксировался вес топлива и время работы. Время работы составляло 10 минут, после чего фиксировалось вес топлива и его расход. Затем нагрузку увеличивали на 300 Вт и цикл измерений повторялся. Для снижения ошибки измерений, все измерения повторялись трижды. Нагрузка изменялась от 0 до 1800 Вт.

После проведения полного комплекса испытаний, между бензогенератором и теплообменником на выхлопном коллекторе 3 устанавливалось эжекционное сопло 6. В эжекционное сопло поступал сжатый воздух горячего потока вихревой трубы 5 от компрессора и весь комплекс замеров проводился в том же порядке. При проведении испытаний применялась вихревая труба от Nex Flow™ марки 50008H. Вихревая трубка может производить холодный воздух до -45°C для местного охлаждения и горячий воздух до $+120^{\circ}\text{C}$. Расход сжатого воздуха компрессора оставался постоянным, давление 0,6 МПа. Расход горячего воздуха вихревой трубы составлял 0,226 м³/мин, температура T_3 составляла 83°C .

По результатам испытаний построена зависимость расхода топлива от нагрузки с использованием эжекционного сопла и без него представлена на рисунке 3.



«
Рисунок 3. График зависимости расхода топлива ДВС (G) за время замера от нагрузки (N). 1- без применения эжекционного сопла, 2- с применением эжекционного сопла

Зависимость расхода топлива от нагрузки в обоих случаях носит характер близкий к линейному. В ходе испытаний с применением и эжекционного сопла устойчиво наблюдалось снижение расхода топлива. Результаты экспериментальных исследований показывают, что применение эжекционного сопла позволяют снизить расход топлива ДВС в среднем на 7÷10 %. Дальнейшие исследования могут проводиться в направлении определения оптимальных параметров эжекционного сопла 1 режимов его работы для получения максимального эффекта. Подобные установки могут быть использованы при осуществлении энергосберегающих технологий, особенно в удаленных и труднодоступных районах и суровых климатических условиях [1,2].

Литература

- 1 Джураев Р.У., Меркулов М.В. О возможности применения вихревых труб при бурении геологоразведочных скважин. Известия высших учебных заведений. Геология 5. разведка. 2013. № 3. С. 76-78.
- 2 Джураев Р.У, Меркулов М.В. Нормализация температурного режима скважин при бурении с продувкой воздухом. -Навоий, «А. Навоий», 2016. 128 с.
- 3 Джураев Р.У, Меркулов М.В. Утилизация теплоты ДВС привода компрессора и избытков воздуха при бурении геологоразведочных скважин с продувкой воздухом. Горный информационно-аналитический бюллетень - ГИАБ, №7, 2016 г. С. 186-192.
- 4 Косьянов В.А., Черезов Г.В., Меркулов М.В., Головин С.В. Система утилизации теплоты передвижных дизельных электростанций при бурении геологоразведочных скважин.//Горный журнал.2017, №3. С.67-69
- 5 Меркулов М.В., Башкуров А.Ю. Двигатели внутреннего сгорания. Москва, 2018. 76 с.

ОТ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ К ЦИФРОВИЗАЦИИ ПОДЗЕМНОГО ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

*Михайлов Ю.В.,
(МГРИ, mikhaylov_44@mail.ru)*

Аннотация

Разработка принципиально новых технологий добычи полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях, обеспечивающей безопасность горняков, высокое качество извлечения и производительность труда со значительным снижением техногенной нагрузки на окружающую природную среду, возможно только с применением новейшего оборудования (включая с компьютерным и дистанционным управлением), созданного на базе последних достижений науки и техники.

На примере разработки конкретных месторождений, в том числе в криолитозоне, показано, что применение новых технологий с цифровым оборудованием и формированием оптимального закладочного массива на основе математической модели обеспечивает безопасность, высокую экономическую и экологическую эффективность.

Ключевые слова: подземное освоение минеральных ресурсов; сложные горно-геологические условия; криолитозона; экологическая безопасность; механизация, автоматизация, цифровизация горного оборудования; аналитическое решение проблемы; опытно-промышленные испытания новых технологий; технология разработки месторождений с льдопородной закладкой; потери и разубоживание ценных руд; экономическая и экологическая эффективность.

Существование человека на Земле, его жизнедеятельность, можно обеспечить, решая вопросы получения энергетических и материальных ресурсов. Однако получить энергетические и материальные ресурсы можно только путём разрушения самой природы. Горное дело – одно из наиболее опасных производств [1], связанное в первую очередь с добычей полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях, возрастающее ежегодно с увеличением глубины добычи.

Безграничное потребление минеральных ресурсов приводит к уничтожению окружающей природной среды, уничтожению условий существования самого человека. Поэтому экономическое развитие не должно нарушать равновесие экосистем.

Это противоречие можно решить при условии целенаправленного совершенствования применяемых технологий, создания принципиально новых технологий более высокого уровня. Совершенствование технологий добычи полезного ископаемого связано с модернизацией систем разработки месторождений, обеспечивающей безопасность труда, качество и высокую производительность, экономическую целесообразность, снижение техногенной нагрузки на окружающую природную среду. Это, в свою очередь, связано с необходимостью совершенствования горного оборудования: переход от механизации и автоматизации к цифровизации – на базе новейших достижений науки и техники.

Целью цифровизации горного оборудования является обеспечение качественной и безопасной добычи полезного ископаемого из недр при исключении таких противоречий как: улучшение качественной добычи полезного ископаемого с увеличением производительности, которое в свою очередь противоречит снижению техногенной нагрузки на окружающую природную среду, то есть противоречит обеспечению экологической безопасности.

В настоящей работе рассмотрена добыча ценных руд в сложных горно-геологических условиях, (включая криолитозону) из маломощных и удароопасных месторождений подземным способом.

Криолитозона (зона «вечной мерзлоты») - это 64% территории России (Арктика, Сибирь и Дальний Восток, Алтай) с содержанием огромных запасов природных ресурсов: ценных, редких, урановых руд, стратегического сырья.

Как правило, это маломощные (от нескольких сантиметров до 3,0..5,0 м, в раздутьях до 7,0 м), крутопадающие рудные тела с углом падения от 50⁰ до 90⁰. Общее количество запасов в таких месторождениях составляет более 300 млн. тонн.

Более 60% маломощных месторождений России разрабатываются системами с магазинированием руды.

Рассмотрим динамику модернизации горного оборудования и технологий разработки маломощных месторождений на примере Дукатского ГОКа.

Первый этап. Система разработки с магазинированием руды.

Системы разработки с магазинированием руды получили широкое применение при разработке жильных месторождений редких металлов и золота.

Отличительной особенностью этих систем является заполнение выработанного пространства отбитой рудой, которая служит для поддержания вмещающих пород и используется в качестве своеобразной платформы для рабочих, выполняющих обустройство забоя ручными перфораторами. Во всех случаях после окончания выемки блока отбитую руду полностью выпускают.

Применяемое оборудование: ручные перфораторы типа ПП,

Описанный вариант системы отличается простотой, однако нахождение бурильщиков на отбитой руде при обустройстве наклонных забоев представляет определенную опасность, что и ограничивает применение этого варианта.

Комплекс оборудования: Пневмоперфоратор ПП; зарядчик ВВ порционный со съемной платформой ЗМКД-1; скреперная лебедка ЛС-10, (ЛС-17, ЛС-30); вентилятор ВМ-8; электровозная откатка. **Потери - 20—25%; разубоживание – до 40%...50%**

Недостатки систем разработки: низкая производительность труда, повышенная трудоемкость работ, слабая механизация, значительные потери и разубоживание руды.

Технико-экономические показатели системы при отработке тонких рудных тел: производительность труда забойщика с применением **гидравлических перфораторов** до **4 м³/смену**; производительность блока до 400 м³/месяц; **потери до 15%; разубоживание до 30%**.

Достоинства варианта: снижение уровня разубоживания по сравнению с альтернативной системой подэтажных штреков, увеличение производительности блока, возможность контроля за состоянием боковых пород.

Второй этап. Разработка месторождений механизированными комплексами КОВ-25, включающий: – проходческую машину КПВ-6; вспомогательный подъемник ПВ-1000; очистную машину КОВ-25 [2].

Очистные работы начинают у отрезного восстающего в нижней части блока проходческой машиной КПВ-6 (**рис.1**). Выемку руды производят слоями в направлении снизу вверх. Высота слоя 1,5—2,5 м. Бурение шпуров осуществляют бурильщики, находящиеся в очистной машине КОВ-25. Подъемник ПВ-1000 применяется для вспомогательных работ: осмотр восстающего, доставка материалов, монтаж монорельса и т.д.

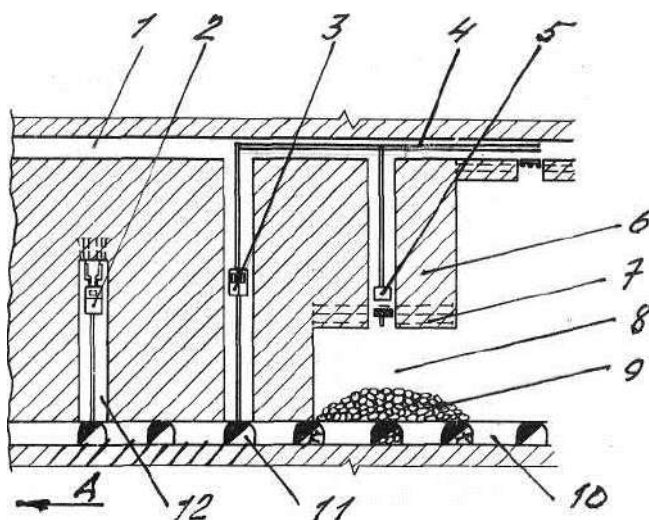


Рисунок 1. Принципиальная технологическая схема системы разработки с отбойкой руды из восстающих выработок спаренными прирезками:

1 - верхний этажный штрек (вентиляционный); 2 – проходческая машина КПВ-6; 3 – вспомогательный подъемник ПВ-1000; 4 – монорельс; 5 – очистная машина КОВ-25; 6 – спаренные прирезки, обуриваемые круговым веером или параллельными скважинами из очистной машины КОВ-25; 7 – взрывные очистные скважины; 8 – очистное пространство; 9 – взорванная рудная масса; 10 - нижний этажный штрек (транспортный); 11 – доставочный орт; 12 – восстающая выработка, проходимая КПВ-6; А – направление отработки этажа (ведения подготовительных и очистных работ)

Достоинством этого варианта: применение механизированного комплекса позволяет поднять распространенные системы с магазинированием руды на качественно новый уровень за счёт высокой степени механизации труда путём замены ручного перфораторного бурения буровой системой КОВ-25 и обеспечения безопасности рабочих за счёт выполнения всех операций очистного цикла из защищённых кабин горных машин КОВ-25 и ПВ-1000.

Коэффициент механизации работ составляет 0,75, то есть все технологические операции механизированы на 75%, что позволяет увеличить производительность труда забойного рабочего до 9,9...12,5 м³/чел. смену [2]

Третий этап. Применение цифровизированного комплекса самоходного оборудования, переход на слоевую систему отработки с твердеющей закладкой выработанного пространства – льдопородной закладкой (ЛПЗ).

Для отработки *маломощных рудных тел* Дукатского месторождения (мощностью до 2,0...3,0 м) принята система разработки восходящими слоями с **заполнением выработанного пространства льдопородной закладкой (дробленые горными породами из отвалов пустых пород** с охлаждённой водой.

Высокая производительность и качество извлечения руд при этом варианте обеспечивается возможностью применения **полного механизированного комплекса самоходного оборудования:** буровые установки с компьютерным управлением типа «Аксера D05, погрузочно-доставочные машины с дистанционным управлением *Торо-350*; каток прицепной, кулачковый ДУ-26; топливозаправочная машина ДЗ-1; зарядчик ВВ порционный.

Более мощные рудные **5...7 м** с выдержанным позволяют использовать высокомеханизированное горное оборудование с компьютерным и дистанционным управлением: для бурения скважин станки типа *Solo 200*; для доставки руды

погрузочно-доставочные машины с дистанционным управлением *Toro 350* с емкостью ковша **3,5...4,0 м³** и автосамосвалы *MoA3 6401-9585* грузоподъемностью **20...22 т**.

На этой основе были созданы системы с плоским днищем, камерной выемкой руды и льдопородной закладкой выработанного пространства [3].

Дистанционно управляемые погрузочно-доставочные машины (*ПДМ с ДУ*) позволяют изменить конструкцию днища камеры и сформировать днище камеры плоским, что обеспечивает высокую безопасность, а при применении участковых дробилок - бесперебойную поточность движения горной массы по всей трассе и огромную производительность до **7...12 тыс. т руды в год** на одного рабочего!

Наряду с этим необходимо было решить проблему формирования льдопородного целика в условиях криолитозоны с необходимыми прочностными свойствами и временем формирования.

С этой целью была разработана математическая модель формирования льдопородного массива позволяющая выполнить все необходимые требования с учётом многообразия параметров.

Эффективность при разработке Дукатского месторождения подземным способом новыми системами разработки с оптимизацией льдопородной закладкой выработанного пространства состоит: из увеличения производительности забойного рабочего в **2...3 раза**; из снижения разубоживания руды в **1,3...1,5 раза**; из получения экономического эффекта более **8 млн у.е./год**.

Экологическая эффективность складывается из: снижения расхода лесоматериалов **до 70%**; снижения техногенной нагрузки на **ОС**; сокращения расхода электроэнергии обогатительных фабрик ввиду снижения объёма обогащаемой руды.

Заключение. Разработка принципиально новых технологий добычи полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях, совершенствование технологии, обеспечивающей безопасность горняков, высокое качество извлечения и производительность труда со значительным снижением техногенной нагрузки на окружающую природную среду, возможно только с применением новейшего оборудования (включая с компьютерным и дистанционным управлением), созданного на базе последних достижений науки и техники. На примере разработки конкретных месторождений показано, что применение новых технологий с цифровым оборудованием и формированием оптимального закладочного массива на основе математической модели обеспечивает безопасность, высокую экономическую и экологическую эффективность.

Литература

1. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. N 116-ФЗ О промышленной безопасности опасных производственных объектов.
2. Галченко Ю.П., Дружков В.Г., Филонов В.А., Гришин Е.Г. Технология разработки жильных месторождений с применением монорельсовых прлоходческо-очистных комплексов. – М.: ИПКОН РАН СССР, 1897. – с 15...29.
3. Михайлов Ю.В. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых. Подземная разработка рудных месторождений в сложных горно-геологических условиях. – М.: Академия, 2008.

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ ЛИКВИДАЦИИ ПРЯДЕВЫХ АНКЕРОВ

*Мураенко А. И. * (МГРИ, aleksandr.muraenko.96@mail.ru)*

Иляхин С. В. (МГРИ, isv11@mail.ru)

Чубаров В.В. (МГРИ, isv11@mail.ru)

Аннотация

При сооружении подземных объектов рядом с уже построенными возникает проблема устранения части вспомогательных конструкции, например, анкеров, служащих ранее для укрепления стенок котлована. В статье изложены типы и способы извлечения грунтовых анкеров при укреплении ограждений типа «стена в грунте». Отмечены их преимущества и недостатки. С учетом выявленных недостатков разработан новый способ извлечения прядевых грунтовых анкеров из массива без нарушения сплошности массива, а также ранее построенных подземных объектов. Это достигается за счет переувлажнения массива грунта, после чего усилие извлечения анкеров снижается на два порядка, по сравнению с извлечением из ранее неподготовленного массива.

Ключевые слова: анкер, корень анкера, грунт, массив, проходка, извлечение, скважина.

Грунтовые анкеры обычно выполняют для удержания бортов котлована или для повышения устойчивости откосов. По конструкции анкерной тяги различают следующие виды анкеров: Атлант или Titan, прядевые и стержневые анкеры. При сооружения выработок неглубокого заложения, например, тоннелей вблизи зданий и подземных сооружений, сталкиваются с проблемами не извлеченных анкеров из массива. Для предотвращения возможных аварий проходческих щитов с такими анкерами необходимо осуществить их извлечение.

Все вышеуказанные типы анкеров могут быть извлекаемыми. В этом случае, между корнем и свободной длиной в анкере устанавливается пиропатрон, на который, при необходимости извлечения, подается электрический сигнал и происходит пережигание анкерной тяги. В последствие свободная длина анкера может быть извлечена из грунта, но корень остается в грунте [1].

В зависимости от параметров несущего стержня, остающегося в массиве вместе с корнем, при встрече с ротором комбайна или проходческого щита может произойти разрушение рабочего органа. Так например, буроинъекционные анкеры, с шарнирной тягой из металла диаметром до 50-60 мм представляет серьезную угрозу для проходческих механизмов [2]. Именно поэтому оставшиеся корни анкеров, если они находятся на трассе будущего тоннеля или подземной горной выработки, необходимо удалять для предотвращения аварий проходческих механизмов.

«Мосинжпроектом» была поставлена задача извлечения анкеров прядевого типа, оставленных при сооружении станции метро «Мичуринский проспект», в связи с последующей проходкой тоннелей, в зону проходки которых попадают корни оставленных анкеров. Длина анкеров 7-10м. Диаметр прядей около 12-16 мм. Диаметр корня не известен.

Длина корня не известна.

Для удаления анкеров в настоящее время применяются следующие методы. При их сооружение закладывается пиропатрон, который поджигается и расплавляет несущий элемент анкера. К недостаткам этого метода можно отнести оставление корня в массиве т.к. извлекается только металлическая часть. При разрушения корня с

металлическими вставками в процессе проходки ротором щита возможна авария и остановка щита на устранение аварии.

Второй метод, это выбуривание анкера колонковым методом вместе с корнем.

Со стороны «Мосинжпроект» предлагался вариант выбуривания колонковым методом корня анкера вместе с прядями. Последующее их извлечение и заполнение образовавшийся полости бетоном или бентонитом. На наш взгляд, предложенный метод является относительно дорогостоящим и трудоемким.

После совещания, проведенного «Мосинжпроект» с участием не менее 20 ведущих специалистов по проходке выработок неглубокого заложения, был принят технологический вариант предложенный кафедрой «Горного дела» МГРИ-РГГРУ для извлечения прядевых анкеров. Сущность предложения: предполагалось пройти неглубокую траншею на границе стены в грунте со стороны станции метро глубиной от 3 до 5 м, чтобы обеспечить доступ к устью анкеров. После этого было предложено пробурить скважину между двумя анкерами (параллельно им) и закачать либо воду, по всей длине анкеров, либо жидкую цементную смесь с использованием станка для струйной цементации.

Скважина забурируется до забоя корней анкеров, после чего влажность грунта в месте нахождения анкеров доводится 30-40%. После водонасыщения части массива с анкерами или формирования грунтоцементной сваи, включающей 2 анкера (верхний и нижний) при помощи маломощной домкратной установки извлекаются анкера вместе с корнями. Причем корни анкеров извлекаются либо до пересечения с контуром будущего тоннеля (с запасом 0,2-0,5м). Со стороны поверхности откоса траншеи извлеченные пряди анкера отрезаются, а корни остаются в массиве и не будут препятствовать проходке щита. Либо анкера извлекаются полностью в заранее пройденную траншею.

Данное предложение основывается на том что при увеличении влажности грунта коэффициент сцепления грунта снижается почти на два порядка и поэтому без значительных усилий корни извлекаются из грунта. Учитывая, что после извлечения не должно быть пустот в грунте, грунтовое пространство заполняется грунтобетоном, который схватывается через определенное время.

Для оценки влияния увлажнения на коэффициент сцепления грунта с анкером была выполнена модель прядевого анкера: длина прядей из проволоки составляла 25 см и они закреплялись на модели корня, а корень анкера в виде деревянного цилиндра высотой 0,12 м и диаметром 2,5 (см. рис 2). Пряди выполнялись из стальной прочной проволоки диаметром 1,5 мм. Для извлечения анкеров на одном из торцов пряди формировалась петля.

Влажность грунта изменялась за счет добавление воды в грунт, затем вся масса тщательно перешивалась. Исследовались 3 типа грунта: песок с влажностью(12%; 20%; 33%, 40%); суглинок с влажностью(12%; 20%; 33%); глина с влажностью(12%; 20%; 33%).

При достижении требуемой влажности грунта заглубленный анкер на две длины корня извлекался из грунта при помощи динамометра с фиксацией усилий.

Порядок выполнения эксперимента:

Образец анкера (брусок) помещается в емкость (рисеујг 1). Емкость засыпается грунтом до горлышка. Добавляется в емкость вода и тщательно перемешивается, чтобы вода в песке распределилась равномерно. После этого динамометром за петлю цепляется модель анкера и извлекается с фиксацией усилия извлечения. Фиксация осуществлялась с помощью видеокамеры.

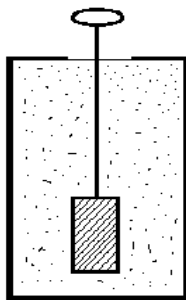


Рисунок 1. Схема закладки модели анкера в модель «массива»

На Рисунках 2, 3, 4 представлены графики изменения усилия извлечения анкера с корнем из грунта в зависимости от влажности грунта.

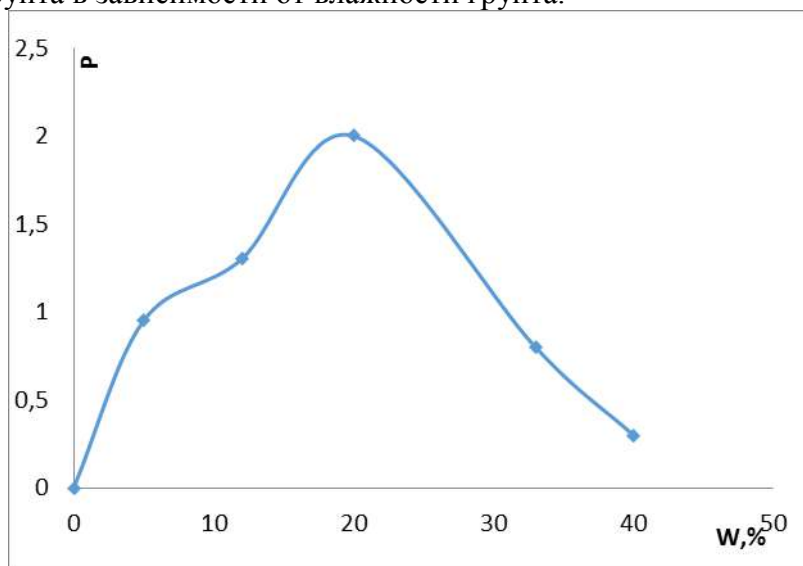


Рисунок 2. График усилия извлечения анкера из песка в зависимости от влажности

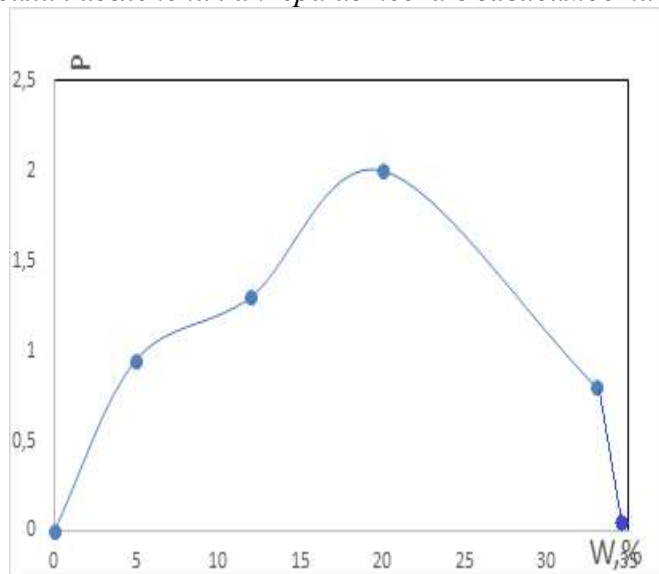


Рисунок 3. График усилия извлечения анкера из суглинка в зависимости от влажности

Анализ представленных графиков на рисунках 2,3 и 4 позволяет сделать заключение, что минимальное усилие извлечения (0,05 кг) наблюдается для анкера, размещенного в суглинке с влажностью грунта 33-40% и усилие извлечение уменьшается на два порядка по сравнению с максимальным значением.

Таки образом на практике для извлечения рекомендуется проходка траншеи между станцией метро «Мичуринский проспект» и стеной в грунте шириной не более 5 м. Глубина траншеи ограничивается глубиной вскрытия основания нижнего анкера. Затем можно предложить 2 варианта:

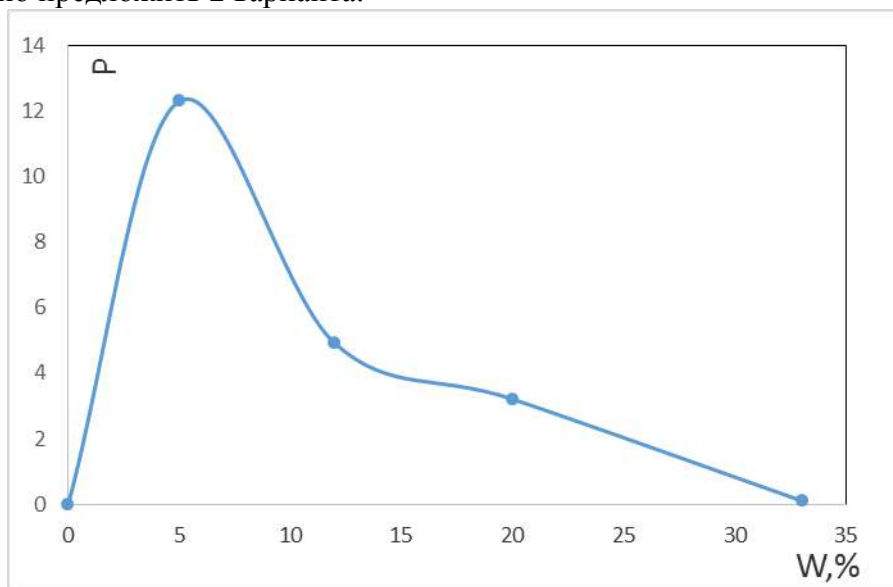


Рисунок 4. График усилия извлечения анкера из глины в зависимости от влажности

1. Бурение наклонной скважины между двумя анкерами (по высоте) и подачу воды под давлением для доведения влажности до 33-40%.

2. Бурение скважины над верхним анкером (параллельно) и с последующей подачей воды.

Либо, вместо воды можно использовать бентонит, т.к. после извлечения корней анкеров не должны оставаться пустоты в массиве.

После увлажнения массива при помощи гидродомкратов анеры за пряди извлекают из массива на всю длину. Коэффициент сцепления грунта с анкером уменьшается от увеличения влажности, достигая минимальной величины при влажности 34-40%. Корни анкеров подтягивают к стене в грунте таким образом, чтобы они в дальнейшем не создавали помехи для проходки щита. А пряди отрезают известным способом.

Работы можно выполнить с минимальными затратами и за короткий промежуток времени. Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что

Выводы:

1. Проведены лабораторные исследования по извлечению анкеров прядевой конструкции из грунтов на примере песков, суглинка и глины.
2. Увлажнение массива грунта в месте нахождения корня анкера до 33-40% позволяет на два порядка снизить усилие извлечения анкера из грунта.
3. Для ликвидации прядевых анкеров в грунтах разработан способ их извлечения с наименьшими затратами труда и времени.

Литература

1. Соколов А.Д. Анкерно-контрфорсные конструкции подпорных стен и устоев мостов и новые методы их расчета, дис. канд. техн. наук : 05.23.15 М., 2000.
2. Р.А. Мангушев, Н.С. Никифорова, В.В. Конюшков, А.И. Осокин, Д.А. Сапин. Проектирование и устройство подземных сооружений в открытых котлованах. Учебное пособие. - М.: Ассоциация строительных вузов, 2013.

О РАЗВИТИИ КУЛЬТУРЫ ПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОИЗВЕДЕННЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ

Насыров А.А. (МГРИ, mining@mail.ru)

Аннотация

Рассмотрена необходимость развития культуры пользования произведенными энергетическими ресурсами с целью экономии электроэнергии и охраны здоровья на примере эксплуатации освещения и работы ЭВМ.

Ключевые слова: культура пользования энергоресурсами, экономия электроэнергии, охрана здоровья, энергоэффективность и энергоёмкость обработки информации.

Ежегодный рост тарифов энергоносителей на 6-8% требует бережного и вдумчивого отношения к использованию произведенных энергетических ресурсов [1]. Пристальный анализ энергопотребления приводит к неожиданным результатам: чем грамотнее человек использует электроэнергию, тем больше он сохраняет своё здоровье. Данный факт вызывает необходимость развития культуры пользования энергоресурсами, что подразумевает комплексный подход к анализу потребителей, объемам и последствиям потребления энергоресурсов. Это позволяет экономить не только материальные и финансовые ресурсы, но и сохранять здоровье. Поясним на примерах.

Все привыкли к банальной фразе «Уходя – выключи свет». Как показывает практика, не все это соблюдают, но помнить этот девиз - полезно для здоровья. Так, оставленное на ночь освещение всего одного помещения с 20 люминесцентными световыми источниками ведет к перерасходу 12 кВт·ч в сутки или 4380 кВт·ч в год, что составляет сумму 26280 руб/год. При этом ртуть, содержащаяся в лампах, активно испаряясь, оседает на предметах интерьера. Утром, перемещаясь по помещению, мы «собираем» её микрочастицы, совершенно не подозревая о том, что дышим парами ртути. Сходная картина наблюдается и при применении светодиодных LED светильников: при нагревании их пластмассового корпуса и деталей выделяется целый ряд токсичных, канцерогенных, опасных для здоровья соединений, которые мы вдыхаем.

Уходя надолго (например, с работы домой или на работу) выключайте компьютерные устройства и оргтехнику из режима ожидания. Оставленные в таком режиме приборы ничего хорошего человеку не несут: энергозатраты растут, возникают опасные облучающие электромагнитные и тепловые поля, происходит испарение канцерогенных электронных элементов, плат, пластиковых оболочек аппаратуры, нагреваемых до 60⁰С - разрушается экология жилища и места работы. Эти факторы медленно, незаметно, ежедневно губят здоровье энергопотребителя, провоцируя появление онкологии. Режим ожидания каждого аппарата не потребляет мощности более 10Вт, что кажется мизерным. Однако простейший расчет показывает следующее: 1000 экземпляров оргтехники, компьютеров, остающихся включенными в режиме «standby» на ночь, «уносят» 50440 кВт·ч в год стоимостью более 300000 руб.

Переход от пользования стационарным компьютером к моноблоку или ноутбуку с монитором может снизить потребление энергии для ЭВМ МГРИ в 3,5–9 (!) раз (см. табл. №1). При этом не создается вредного для слуха шумового поля, не повышаются температура, магнитная и электрическая напряженность окружающего пространства. По производительности и ценам компьютерная минитехника и «стационары» сейчас сопоставимы, а по показателям экономичности и сохранения самого ценного ресурса – здоровья пользователя – ноутбуки на порядок предпочтительнее.

Энергоэффективность работы компьютера можно выразить объемом обрабатываемой информации, приходящимся на 1кВт·ч затраченной электроэнергии. Это предположение позволяет ввести важные параметры аспекта выбора, применения и модернизации компьютеров – энергоемкость обработки информации (кВт·ч/Гб) и её энергоэффективность (Гб/кВт·ч). Средние по техническому оснащению и стоимости системные блоки, моноблоки, ноутбуки с одинаковыми 4-х ядерными процессорами и памятью DDR4 [2] в категории «для обучения» имеют следующие показатели:

Таблица 1 Сравнительная таблица показателей возможного использования ЭВМ

Показатель	Стационарный компьютер.блок	Моноблок	Ноутбук
Потребляемая мощность, кВт	0,45 (с монитором)	0,12	0,05
Ёмкости: диска HDD WD	1000Гб	1000Гб	1000Гб
опер. памяти DDR4	4Гб	4Гб	4Гб
видеопамяти	2Гб	2Гб	2Гб
Срок службы:	7 лет	5 лет	5 лет
гарантийный	2 года	2 года	2 года
рекомендуемый	6 лет	5 лет	4 года
Вес	7 – 15 кг	до 10 кг	до 2,5 кг
Занимаемый объем – источник канцерогенов	0,0415м ³	0,01 м ³	0,003 м ³
Электробезопасность	220В, требует заземления	220В, требует/не требует заземлен.	9-14-20 В, не требует заземления
Пожароопасность	высокая	средняя	низкая
Уровень шума	высокий	низкий	низкий
Сохранность данных при потере питания	нет, необходим ИБП	нет, необходим ИБП	да
Возможность модернизации	да	да	да, ограниченно
Стоимость: в среднем	35 000 руб	45 000 руб	38 000 руб
Примерное количество	700 шт		
Капитальные затраты	24 500 000 руб	31 500 000 руб	26 600 000 руб
Уд. расход электро-энергии в год на 1 вычисл. машину: - затраты при цене 6 руб/кВт:	0,45*9ч*5дн*45 недель *0,6 = 546,8кВт/год 3281 руб/год	0,12*9ч*5дн*45 недель *0,6 = 145,8 кВт/год 875 руб/год	0,05*9ч*5дн*45 недель *0,6 = 60,8 кВт/год 365 руб/год
Затраты на э/энергию в год	2 296 700 руб	612 500 руб	255 500 руб
Экономия в год	0 руб	1 684 200руб	2 041 200 руб
Энергоемкость обработки 1Гб (сохранение 20 сек)	2,5 Вт	0,67 Вт	0,28 Вт
Энергоэффективность обработки данных	400 Гб/кВт·ч	1500 Гб/кВт·ч	3600 Гб/кВт·ч

Как видно из анализа, при равной скорости обработки информации, энергоэффективность ноутбука в 9 раз выше, а объем источника канцерогенных испарений в 14 раз ниже по сравнению с обычным компьютерным блоком при их сопоставимых ценах.

Вывод: развитие культуры пользования произведенными энергетическими ресурсами должно способствовать осуществлению всестороннего сравнительного анализа последствий энергопотребления с последующим отбором энергоэффективных и безопасных для здоровья энергопотребителей, подразумевать внедрение комплекса технических и воспитательно-дисциплинарных мер для рационального энергопользования.

Литература



«Новые идеи в науках о Земле»



1. Материалы Международного форума по энергоэффективности «ENES-2018». М., 2018
2. www.fcentr.ru

РАЗРАБОТКА МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕМНОГО НАПРЯЖЕННО - ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ВБЛИЗИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

Норель Б.К. *(АО ННЦ ИГД им. А.А. Скочинского, igd@igds.ru),
Боровков Ю.А. (МГРИ, bua_51@mail.ru), Бунин Ж.В. (МГРИ, bua_51@mail.ru)

Аннотация

В статье излагается аналитическое исследование определения нового комплекса физических, механических и энергетических параметров, определяющих изменение механического состояния породного массива вблизи горных выработок. Включение в полученный комплекс дополнительного параметра Надаи-Люде позволяет составить новую механическую модель напряженного состояния массива с учетом неоднородных свойств горных пород в объемном напряженном состоянии.

Ключевые слова: модель, модель механико-математического состояния породного массива; напряжение, физико-механические свойства горных пород; тензоры и инварианты напряжений; массив, горных пород, объемное напряженное состояние массива горных пород.

При разработке механико-математической модели напряженно-деформированного состояния массива горных пород были проанализированы математические уравнения на основе научных положений общей теории напряженного и деформированного состояния элемента сплошной среды (породы), изложенные в монографии Н.И. Безухова [1], с целью получения основных характеристик напряженного и деформированного состояния массива горных пород при его объемном нагружении, к которым относятся *инварианты главных напряжений и деформаций*.

Исходные данные компонентов поля напряжений представляются в форме тензора напряжений, которые действуют по трём взаимно перпендикулярным осям координат. Компоненты тензора напряжений состоят из девяти напряжений объемного напряженного состояния, действующего по трем взаимно перпендикулярным осям координат x, y, z , и, кроме того, эта комбинация касательных напряжений является симметричной относительно главной диагонали тензора осевых напряжений, т.е. $\tau_{xy} = \tau_{yx}$; $\tau_{xz} = \tau_{zx}$; $\tau_{yz} = \tau_{zy}$. Написание тензора напряжений в форме математической зависимости матрицы третьего порядка представляется следующим образом:

$$T_{\sigma} = \begin{vmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{vmatrix} \quad (1)$$

В первой строке тензора напряжений расположены все компоненты напряжений, имеющие направление, параллельное оси x , во второй строке – параллельные оси y , и в третьей строке – параллельные оси z . Таким же образом составляется тензор деформаций для соответствующего поля деформаций. По положениям общей теории напряженного и деформированного состояния в точке элемента твердого тела, «напряженное и деформированное состояние в точке вполне определено, если задан тензор напряжений и тензор деформаций для этой точки» [1]. Из переменных компонент объемного напряженного состояния, записанного в тензоре (1) для поля напряжений, составляем математическую модель определения компонент главных

напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, расположенных в главных координатных плоскостях, на которых касательные напряжения $\tau_{xy} = 0$, $\tau_{xz} = 0$, $\tau_{yz} = 0$, равны нулю. Математические операции состоят из следующих действий. Выбирается так называемый шаровой тензор для определения величин главных напряжений в следующей форме.

$$T_{sch} = \begin{vmatrix} \sigma & 0 & 0 \\ 0 & \sigma & 0 \\ 0 & 0 & \sigma \end{vmatrix}, \quad (2)$$

Затем составляется система тензорных уравнений, левая часть которых представляет собой разность между компонентами тензора напряжений объемного напряженного состояния (1) и компонентами тензора главных напряжений (2), у которого отличными от нуля являются только компоненты напряжений по главной диагонали. Правая часть этой системы уравнений представляется в виде нулевого вектора третьего порядка. Определитель третьего порядка, составленный из матрицы коэффициентов левой части тензорных уравнений, включающий неизвестную независимую переменную σ , и приравненный нулю, записывается в виде алгебраического уравнения третьей степени относительно переменной σ в форме:

$$\sigma^3 - \sigma^2 \cdot (\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}) + \sigma \cdot (\sigma_{xx}\sigma_{yy} + \sigma_{yy}\sigma_{zz} + \sigma_{zz}\sigma_{xx} - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2) - (\sigma_{xx}\sigma_{yy}\sigma_{zz} + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \tau_{yz}^2\sigma_{xx} - \tau_{zx}^2\sigma_{yy} - \tau_{xy}^2\sigma_{zz}) = 0 \quad (3)$$

Коэффициенты указанного алгебраического уравнения, составленного из соотношений, выбранных на основании физических законов сохранения, для определения главных напряжений не зависят от выбора координатной системы и являются инвариантами преобразования координат напряжения тензора (1).

Математические формулы для первого, второго и третьего инвариантов напряжений записываются в виде соотношений, известных в теории сплошных сред [1]:

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}, \quad (4)$$

$$I_2 = \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3 = \sigma_{xx}\sigma_{yy} + \sigma_{yy}\sigma_{zz} + \sigma_{zz}\sigma_{xx} - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2, \quad (5)$$

$$I_3 = \sigma_1\sigma_2\sigma_3 = (\sigma_{xx}\sigma_{yy}\sigma_{zz} + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \tau_{yz}^2\sigma_{xx} - \tau_{zx}^2\sigma_{yy} - \tau_{xy}^2\sigma_{zz}), \quad (6)$$

где I_1, I_2, I_3 – соответственно, первый, второй и третий инвариант главных напряжений.

С учетом научных положений общей теории напряженного и деформированного состояния в элементе сплошной среды следует принять, что такие же выражения составляются и для трех инвариантов компонентов главных деформаций для материала сплошной однородной среды Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 :

$$\Psi_1 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3; \quad \Psi_2 = \varepsilon_1\varepsilon_2 + \varepsilon_2\varepsilon_3 + \varepsilon_3\varepsilon_1; \quad \Psi_3 = \varepsilon_1\varepsilon_2\varepsilon_3, \quad (7)$$

Представленные в формулах (4–7) инварианты комплексов главных напряжений главных напряжений и комплексов главных деформаций рассматриваются как основные характеристики напряженного и деформированного состояния в элементе твердого тела (однородной сплошной среды), а компоненты напряжений и деформаций, как связанные с направлениями осей координат, являются вспомогательными.

К характеристикам показателей механических моделей горных пород

дополнительно к инвариантам главных напряжений и деформаций, которые описывают изменение механического состояния при действии объемного напряженного состояния, добавляется физический показатель – параметр Надаи-Лоде (μ_σ), позволяющий численно устанавливать по соотношениям между главными напряжениями вид действующего объемного напряженного состояния.

Математическое соотношение, представляющее собой новый функционал, связывающий компоненты главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ по определенным физическим законам, записывается в форме известного параметра Надаи-Лоде [2]:

$$\mu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - (\sigma_1 + \sigma_3)}{\sigma_1 - \sigma_3}, \quad (8)$$

Для компонент главных напряжений, включённых в формулу (8), предусматривается выполнение алгебраического неравенства: $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$. При рассмотрении параметра μ_σ , как части коэффициентов в геометрической фигуре, необходимо иметь в виду соотношение:

$$\sigma_2 - \frac{1}{2} \cdot (\sigma_1 + \sigma_3) = \mu_\sigma \cdot \frac{1}{2} \cdot (\sigma_1 - \sigma_3) \quad (9)$$

Левая часть равенства представляет собой разность между величиной промежуточного главного напряжения σ_2 и величиной гидростатического сжатия. Правая часть равенства показывает произведение максимального касательного напряжения на величину параметра Надаи-Лоде μ_σ . Напряженное состояние массива горных пород с учетом параметра Надаи-Лоде соответствует *зоне растяжения* - если $\mu_\sigma = -1$, *зоне сдвига* - $\mu_\sigma = 0$, *области сжатия* $\mu_\sigma = +1$. Изменяющиеся виды объемных напряженных состояний определяются по расчетным величинам параметра Надаи μ_σ с учетом $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ с добавлением новых механических параметров в функцию состояния массива пород - $\Omega(\mu_\sigma, T)$. Последний параметр для главных деформаций по аналогии с параметром главных напряжений имеет следующий вид:

$$\mu_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_2 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_3)}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}, \quad (10)$$

Теперь, математическая формула функции состояния массива пород для компонент главных напряжений может быть представлена в виде суммы произведений трех стандартных единичных тензоров, которые в свою очередь умножены на аналитические соотношения с механическими характеристиками.

$$\Omega(\mu_\sigma, T) = T_n = \begin{vmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{vmatrix} = (\sigma_g + \mu_\sigma T) \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} + T \cdot (1 - \mu_\sigma) \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{vmatrix} + 2\mu_\sigma T \cdot \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}, \quad (11)$$

где T – максимальное касательное напряжение $T = 0,5 \cdot (\sigma_1 - \sigma_3)$; σ_g – гидростатическое напряжение сжатия $\sigma_g = 0,5 \cdot (\sigma_1 + \sigma_3)$; T_n – тензор главных компонент $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$. Функция механического состояния массива пород, включающая формулы с тремя тензорами объемного напряженного состояния различного вида и тремя тензорами объемного, деформированного состояния позволяет рассматривать уравнения связи между полем напряжений и полем деформаций элемента горной

породы, как механическую процедуру сравнения тензоров напряженных состояний с тензорами деформируемых состояний. Определенные механические соотношения функции состояния горных пород позволяют рассчитать величины модуля сдвига G и модуля всестороннего сжатия K для трех основных видов объемного напряженного состояния (по классификации Надаи). На рис. 1 представлена механическая модель распределения главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ в объемном напряженном состоянии массива [3] и изменение величины параметра Надаи-Лоде (μ_σ) от +1 до -1, характеризующего различные виды объемных напряженных состояний, а полосы внизу показывают возможный характер так называемых «наведенных» трещин при реализации установленных видов предельных напряженных состояний.

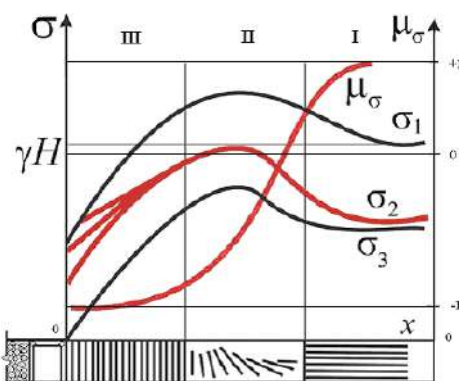


Рисунок 1 Механическая модель распределения главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ в объемном напряженном состоянии массива

При проведении горных выработок массив горных пород разделяется на три разные зоны (I – III) объемного напряженного состояния. В первой зоне объемного напряженного состояния, которая классифицируется в механике горных пород, как зона геостатического сжатия, формируется объёмное напряжённое состояние с соотношениями между главными напряжениями вида $\sigma_1 = \sigma_2 \geq \sigma_3$. С механических позиций состояние в этой зоне можно принять равновесным. Согласно теории Надаи этот вид объёмного напряжённого состояния относится к обобщённому сжатию, так как $\mu_\sigma = +1$. Во второй зоне предельных состояний главные напряжения вначале достигают своих максимальных сжимающих значений до разрушения сдвигом. После этого механическое состояние породного массива переходит в зону III пассивной разгрузки. В зоне III максимальное сжимающее напряжение σ_1 , до начала разрушения сдвигом, реализует своё максимальное значение, а минимальное сжимающее напряжение σ_3 возрастает значительно медленнее (рис. 1).

Литература

1. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. М.: Высшая школа, 1961. - 538 с.
2. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел М.: Мир, т.1, 1969. - 648 с.
3. Норель Б.К., Боровков Ю.А., Голиков А.Г. Аналитическое исследование механических свойств горных пород при действии объемного напряженного состояния в общей теории напряженно-деформированного состояния элементов твердых тел. [Текст]/ Норель Б.К., Боровков Ю.А., Голиков А.Г. // М: Геология и разведка. 2014, №1. - с 60-66

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ТРУДНОПРОМЫВИСТЫХ ПОРОД ГИДРОМОНИТОРНЫМИ СТРУЯМИ

Клочков Н.Н. (МГРИ, klochkov4692@yandex.ru), Пятова Н.Е. (МГРИ, piatova1959@yandex.ru), Носова К. С. (МГРИ, nekozksy@mail.ru)

Аннотация

В связи с истощением запасов легко- и среднеpromывистых песков в настоящее время вовлекаются в разработку россыпные месторождения, сложенные трудноpromывистыми породами. Разработка таких месторождений требует применения соответствующих технологий, подбора технологических параметров и правильного выбора оборудования.

Ключевые слова: Гидромониторные струи. Гидравлическое разрушение. Конгломераты. Глинистые породы. Длина начального участка струи. Удельный расход воды на размыв. Насадка гидромонитора. Коэффициент дезинтеграции.

При гидравлическом разрушении горных пород одним из основных факторов, определяющих эффективность размыва, является качество гидромониторной струи. Важно обосновать такой критерий, при помощи которого с достаточной надежностью можно оценить эффективность гидромониторного разрушения с учетом технологических, горно-геологических и конструктивных факторов. Выбор критерия качества струи должен исходить из оценки сущности процесса струеформирования во взаимосвязи с эффективностью гидроразрушения. Процесс непосредственного взаимодействия струи с забоем относится к вопросу механики разрушения твердого тела напорной струей и составляет подчиненную роль всего процесса размыва.

Большинство исследователей гидромониторных струй в качестве критерия качества принимают длину начального участка струи.

При расчете начального участка гидромониторных струй для гидромониторов с диаметром входного патрубка ствола менее 250 мм рекомендуется уравнение [1]:

$$\frac{l_n}{d} = \left(\frac{50 \cdot 10^8 \cdot D^{2.5}}{Re} + 15 \right)^{0.8}$$

где l_n - относительная длина начального участка струи;

d - диаметр насадки гидромонитора;

A, B - эмпирические коэффициенты;

Re - число Рейнольдса.

Длина начального участка струи имеет максимальное значение при определенном размере диаметра насадки (d_{opt}):

$$d_{opt} = \frac{A \nu}{2BV} \quad V = \varphi \sqrt{2gH}$$

где $\varphi = 0,96$ - коэффициент скорости, м/с;

H - напор воды у насадки, м.в.ст.

С учетом того, что $\varphi = 0,96$; $\nu = 1,01 \cdot 10^{-6}$ выражение можно представить в

виде:
$$d_{opt} = 0,119 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{1}{\sqrt{H}}$$

Полученная формула устанавливает взаимосвязь между напором и диаметром насадки гидромонитора.

Исследования по гидравлическому разрушению глинистых пород проводились на месторождении конгломератов. Продуктивный пласт месторождения представлен гранодиоритами, кристаллическими сланцами и кварцитами, сцементированными глинистым материалом, состоящим из каолинита и монтмориллонита. В продуктивном пласте выделяются две разновидности конгломератов – красные и синие. По своему минеральному и химическому составу они очень схожи. Мало различаются они также и по гранулометрическому составу. При этом красные конгломераты содержат 15-20% глинистых минералов, а синие конгломераты 20-25%. Однако физико-механические свойства разновидностей конгломератов при залегании в целике значительно отличаются друг от друга. Прочность красных конгломератов меньше, чем у синих (сцепление в 2 раза, а угол внутреннего трения в 1,3 раза). У красных конгломератов ниже плотность и выше пористость, хотя плотность частиц, из которых слагаются конгломераты, практически одинакова.

В процессе исследований фиксировался объем размытой породы в единицу времени, расход воды через насадку гидромонитора и удельный расход воды на размыв.

На рис.1 приведены зависимости удельного расхода воды на размыв красных и синих конгломератов после буровзрывного рыхления от расстояния между насадкой гидромонитора и забоем.

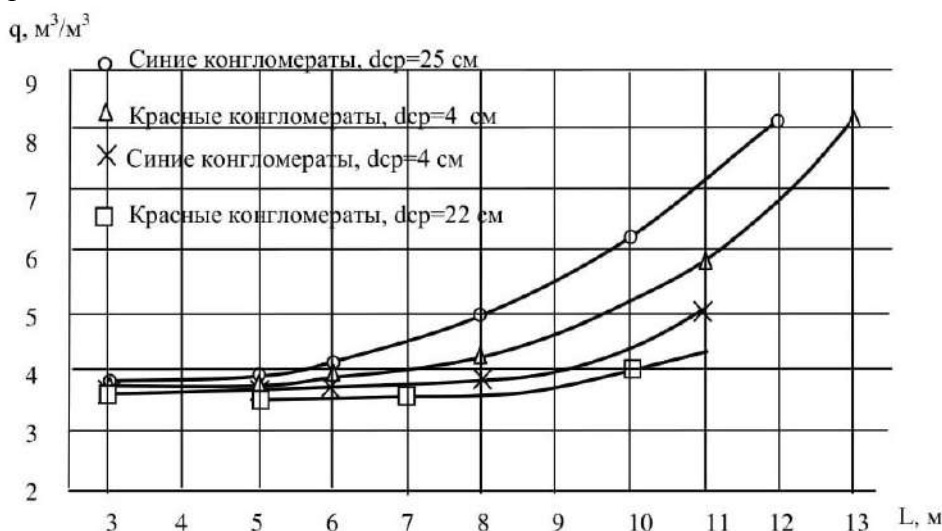


Рисунок 1. Зависимости удельного расхода воды на размыв (q) от расстояния до забоя от насадки гидромонитора (L) при диаметре насадки $d_n=90$ мм.

Из представленных зависимостей видно, что удельный расход воды на размыв красных конгломератов ниже, чем синих. Это объясняется как более низкими значениями прочностных характеристик красных конгломератов, так и большей интенсивностью размокания их в воде, что определяется различием их структурных связей.

На расстоянии от насадки гидромонитора до забоя близком к величине начального участка струи (до 6 м) изменение удельного расхода воды на размыв незначительно, а с увеличением расстояния более 6 м и в пределах возможной эффективной дальности полета струи удельный расход воды на размыв возрастает в 3 раза. Таким образом для обоих видов конгломератов и среднего размера куска конгломератов в отвале нецелесообразно увеличивать расстояние от насадки гидромонитора до забоя свыше 5 – 6 м.

Обобщающим показателем разрушающей способности гидромониторной струи является осевое контактное динамическое давление струи, которое учитывает напор воды у насадки гидромонитора и расстояние от насадки до забоя [2]. На рис.2 приведены результаты экспериментальных исследований по разрушению глинистых конгломератов с использованием гидромонитора ГМН-250.

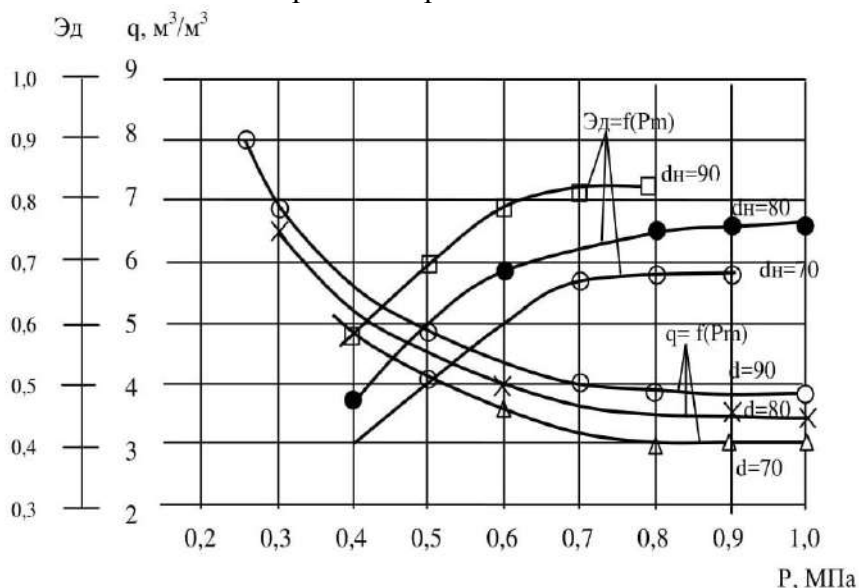


Рисунок 2. Зависимости удельного расхода воды на размыв (q) синих конгломератов и коэффициента дезинтеграции (Э_d) от осевого контактного динамического давления (P_m) при $d_{cp}=25$ см.

При увеличении диаметра насадки с 70 до 90 мм и постоянном осевом контактном динамическом давлении расход напорной воды через насадку увеличивается. При этом коэффициент дезинтеграции возрастает на 18 – 20 %, а удельный расход воды на размыв увеличивается на 0,7 – 0,8 м³/м³[3]. С увеличением диаметра насадки увеличивается также площадь поперечного сечения струи, в результате чего оптимальное значение осевого контактного динамического давления сохраняется только по оси струи, а к ее периферии уменьшается. В результате снижается разрушающее действие струи на единицу площади ее поперечного сечения. За счет этого удельный расход воды на размыв при увеличении диаметра насадки соответственно возрастает.

Коэффициент дезинтеграции наиболее интенсивно возрастает с увеличением осевого контактного динамического давления струи в интервале 0,4 – 0,7 МПа – на 34%, а свыше 0,7 МПа – на 1%.

Литература

1. Хныкин В.Ф. Разрушение горных пород гидромониторными струями на открытых разработках.- М.: Наука, 1969.
2. Малухин Н.Г., Дробаденко В.П., Ключков Н.Н., Тимошенко С.В. Повышение эффективности работы гидромонитора ГМД-350 при добыче янтаросодержащих глин. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) 2010, № 12, с.236-241.
3. Ключков Н.Н. Оценка разрушающей способности гидромониторных струй. В сборнике: Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ–РГГРУ). Материалы Международной научно-практической конференции. В 7-ми томах. 2018. С. 41-43.

АНАЛИЗ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГИДРОКОМПЛЕКСОВ

Носова К.С. (МГРИ, nekozksy@mail.ru)*

Аннотация

Отмечается, что регулирование режимов работы гидротранспортной системы заключается в установлении оптимальных расходно-напорных параметров грунтового насоса и трубопровода, по которому движется гидросмесь с определенной объемной концентрацией.

Приводится анализ применяемых методов контроля часовой производительности гидрокомплексов при земснарядном и гидромониторно-грунтонасосном способах производства горных работ, которые не позволяют с достаточной точностью (с погрешностью до 20 %), контролировать оперативный контроль производительности гидромеханизированной установки.

Анализируется современная контрольно-измерительная база технологических параметров гидротранспортирования (расходомеры, консистомеры, плотномеры) различных по принципу действия конструкций. Отмечается, что, несмотря на большое количество приборов-датчиков, эксплуатационные качества их весьма неоднородны. Поэтому для специфических горно-технических условий разработки месторождений полезных ископаемых, учитывая наиболее приемлемые для оперативного контроля режимов работы гидрокомплексов использовать приборы, обладающие достаточной надежностью, простотой изготовления и в эксплуатации.

Ключевые слова: гидротранспорт, расход, плотность, параметры, труба Вентури, труба Антивентури, измерительная аппаратура, оперативный контроль, грунтовый насос, производительность, режимы работы, приборы-датчики, гидросмесь.

Режим работы гидротранспортной системы в общем виде определяется расходно-напорными характеристиками грунтового насоса и потребляемой мощностью в зависимости от объемной концентрации твердых частиц в гидросмеси.

Сущность регулирования технологических параметров (расхода и плотности гидросмеси) при её движении является контроль и поддержание эффективного режима гидротранспортирования со скоростью, близкой к критической, при максимальном насыщении гидросмеси и максимальном к.п.д. агрегата.

В настоящее время на многих предприятиях, ведущих разработку месторождений полезных ископаемых средствами гидромеханизации, отсутствует оперативный контроль параметров гидротранспортирования горной массы. Так, при гидромониторно-землесосном способе этот контроль в основном ведется гидромониторщиком визуально (по уровню пульпы в зумпфе грунтонасоса или гидроэлеватора), либо по амперметру, показывающему нагрузку грунтонасоса по количеству израсходованной электроэнергии, по различным параметрам приводного электродвигателя. Погрешность определения режимов работы гидроустановки по силе тока (полного, активного, реактивного) составляет 20 % и более, что обуславливается также зависимостью силы тока от колебаний нагрузки и напряжения сети. Такие способы контроля не позволяют объективно оценивать и анализировать работу гидрокомплекса в целом, точность таких методов невелика, так как постоянно меняются условия выемки и гидротранспортирования пород. Кроме того, регулирование технологических параметров целиком зависит от опыта и навыков гидромониторщика.

При земснарядном способе разработки без контрольно-измерительной аппаратуры невозможно осуществлять даже визуальное наблюдение за ходом

технологического процесса (подводной выемкой горной массы). По образному выражению д.т.н. Н.А.Иванова «...багермейстер работает как экскаваторщик с завязанными глазами...».

При экскаваторно-гидравлическом способе разработки месторождений учет производительности (сменной, суточной, годовой) осуществляется:

- по количеству рабочих циклов (ковшей или ножей) землеройной техники, подающей породу для размыва гидромонитором;
- по выпуску концентрата;
- по количеству электроэнергии, израсходованной забойной гидротранспортной установкой;
- по маркшейдерским замерам.

Маркшейдерская съемка позволяет определить объем выполненных гидромеханизированных работ с достаточной на практике точностью лишь при сравнительно длительной работе (декада, месяц). Поэтому она практически не применяется для оперативного контроля часовой, сменной или суточной производительности гидрокомплексов.

К настоящему времени для измерения технологических параметров гидротранспортирования твердых материалов создано большое количество разнообразных приборов-датчиков, эксплуатационные качества которых весьма неоднозначны. Так, ультразвуковой консистомер основан на использовании зависимости удельного акустического сопротивления пульпы или скорости распространения в ней ультразвука от содержания в ней твердой составляющей. Однако, наличие в разнофракционной гидросмеси других твердых включений неоднозначно влияют на функциональную связь измеряемой величины и определяемых параметров консистенции пульпы, что значительно снижает точность показаний.

К приборам, основанным на измерении электропроводности гидросмеси, значения которой меняется в зависимости от количества в потоке твердых частиц, относятся магнитометрические, кондуктометрические, диэлькометрические устройства. Опыт их испытаний и эксплуатации показал, что они могут быть использованы только для отдельных разновидностей гидросмесей. Магнитометрический - применим для измерения консистенции гидросмеси с ферромагнитными включениями; кондуктометрический - для различных суспензий и угольных пульп. Диэлькометрический основан на зависимости абсолютной диэлькометрической проницаемости (АДП) от степени ее насыщения твердой фазой, которая существенно отличается от воды ($81\text{ ф}\cdot\text{м}$) при $t=20^\circ\text{C}$. Замеры для пульп, содержащих глинистые фракции, значения АДП которых незначительно отличаются от воды, вызывают большие трудности и характеризуются значительными погрешностями.

Принцип действия индукционных расходомеров, используемых в трубопроводном транспорте основан на измерении электродвижущей силы, индуцированной в потоке электропроводности жидкости под действием внешнего магнитного поля и пропорциональной средней скорости движения жидкости,

При известных преимуществах недостатки расходомера - это невозможность использования для измерения расходов неэлектропроводных жидкостей, сложность настройки, зависимость показаний от внешних магнитных полей, возникновение помех в результате механического взаимодействия с поверхностью электродов в зоне двойного электрического слоя «электрод - жидкость», что приводит к дополнительным погрешностям измерений.

Измерение расхода гидросмеси ультразвуковым доплеровским методом базируется на смещении частоты звукового сигнала, отраженного от дискретных, неоднородных твердых фракций в движущемся потоке пульпы. Однако этот метод

можно использовать для контроля расхода потоков гидросмесей мелких и тонкоизмельченных материалов.

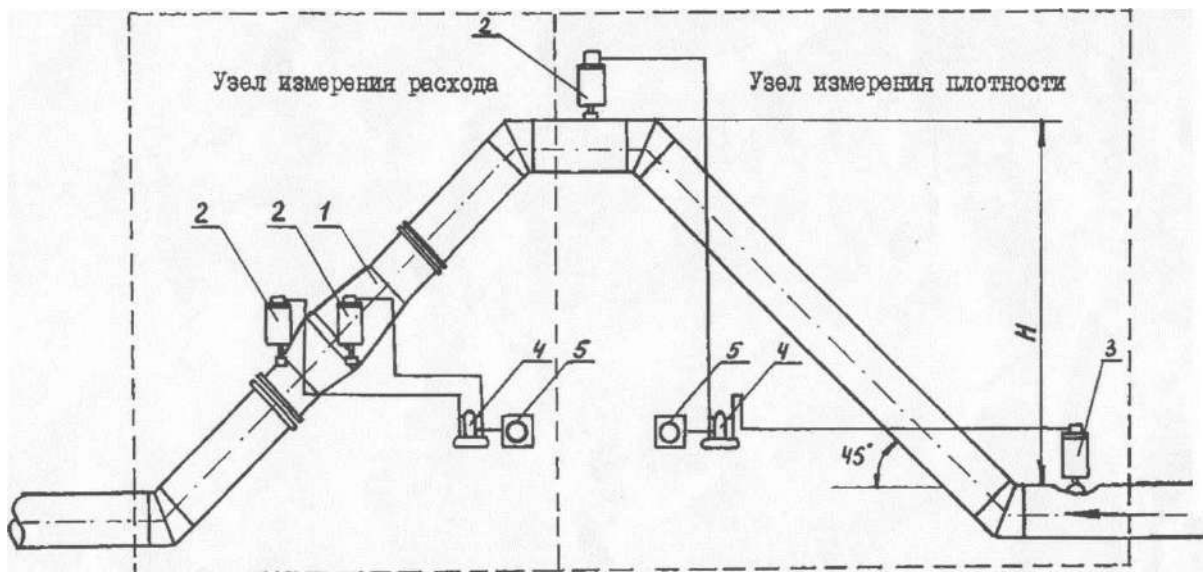


Рисунок 1. Принципиальная схема системы оперативного контроля режима работы гидрокомплекса.

1. Гидродинамический расходомер. 2. Отборники давления. 3. Отборник давления с шаровым датчиком К.В. Диминского. 4. Первичные приборы типа ДМ. 5. Вторичные самопишущие приборы.

Изыскания и промышленные испытания рациональных схем оперативного контроля позволили установить, что наиболее приемлемыми в производственных условиях, обладающими достаточной надежностью, простотой в изготовлении и в эксплуатации являются приборы, работающие на принципе перепада давлений. Так, приборы для измерения расхода взвесенесущих потоков типа трубы Вентури нередко используются в производстве и исследованиях. Для условий гидротранспортирование твердых минералов они обладают такими ценными качествами: простота в изготовлении, не имеют деталей, расположенных внутри потока, обладают относительно высокой производительностью (большой пропускной способностью) и не вызывают значительные дополнительные потери напора в трубопроводе. Однако, широкого применения в практике до настоящего времени они не получили.

По нашему мнению, при их эксплуатации особенно на песчано-гравийных породах происходит абразивный износ самого узкого участка сечения – калибровочного отверстия, которое приводит к значительным погрешностям. Это и является основной причиной ограниченного применения расходомеров типа трубы Вентури, так как для точности измерения расхода большое значение имеет постоянство проходного сечения.

Более практичным является применение вместо сужающего расширяющее устройство типа трубы «Антивентури». Впервые было предложено В.В. Длоугим, но для измерения плотности гидросмеси. Отличительной особенностью гидродинамического расходомера типа «Антивентури», который на земснарядных работах применяли специалисты института гидромеханики АН УССР, являются:

- прибор измеряет расход гидросмеси, а не концентрацию гидросмеси;

- перепад давлений создается в двух сечениях, а именно в самом трубопроводе и в расширяющейся цилиндрической части (вставке);

- отбор давления производится на самом расширяющем устройстве (вставке), а не в конфузорной (сужающей) части как в аналоге.

Опытно-примышленные испытания на предприятии (Иршинской ГОК, рис. 1) контрольно-измерительной базы для оперативного контроля режима работы гидродобычного комплекса позволило в ритме производственного процесса вести автоматический контроль за следующими параметрами:

– мгновенной и суммарной производительностью насосной станции по воде, поступающей в карьер;

– мгновенной и суммарной производительностью землесосной установки ГрТ 1600/50 по гидросмеси;

– мгновенной и средней плотностью гидросмеси за определенный промежуток времени;

– мгновенной и суммарной производительностью карьера по твердому, поступающему на обогатительную фабрику;

– учетом фактического времени работы гидродобычного оборудования карьера.

Эффективность от внедрения данной системы в целом выражается в следующем:

– общей стабилизации производственного процесса и поддержании его в заданных режимах и, как следствие, увеличение степени извлечения металла на обогатительной фабрике;

– достижении согласованной работы всего комплекса «карьер — фабрика» за счет вскрытия и устранения дефектов в работе, выявления резервов и «узких» мест по отдельным производственным процессам;

– создании нормальных условий работы оборудования, увеличении межремонтных периодов и повышении коэффициента его использования;

– снижении некоторых видов энергетических затрат;

– увеличении извлечения металла;

– повышении производительности труда;

– снижении себестоимости продукции.

Литература

1. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 2 / Под общ. ред. Е. А. Шорникова. — 5-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Политехника, 2004. — 412 с

2. Диминский, К. В. Гидростатические способы измерения консистенции гидросмеси в трубопроводах гидротранспортных установок [Текст] : Автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук / АН УССР. Ин-т гидромеханики. - Киев : [б. и.], 1967. - 16 с., 2 л. табл. : схем.

3. С.П. Санников, М.С. Бондюгова. Исследование расходомеров и счетчиков количества жидкости. УГЛТУ, Екатеринбург, 2013

4. Технические средства контроля в системах управления технологическими процессами: учебное пособие / сост. А.Р.Герке [и др.]; Казан. гос. технол. ун-т. — Казань. 2007. — 80с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОТОРНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ PUSH THE BIT И POINT THE BIT НА СЕВЕРО – УРЕНГОЙСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

*Объедков А.С. * (МГРИ, aobiedkov@yandex.ru)
Басинский В.Г.* (МГРИ, 170541@mail.ru)*

Аннотация

Оценка эффективности применения систем Push the bit и Point the bit, которые использовались на Северо – Уренгойском месторождении, достоинства и недостатки систем, основные модели этих систем. ЗАО «Нортгаз» – российское газодобывающее предприятие, занимающееся разработкой и освоением газоконденсатных залежей Северо-Уренгойского месторождения. Компания специализируется на добыче, подготовке и реализации природного газа и газового конденсата, проводит разведку неокомских залежей, а также ведёт строительство объектов обустройства месторождения.

Ключевые слова: Скважина, Point the bit, Push the bit, Роторная Управляемая Система, телеметрия, скорость проходки, перекоп долота, вращение колонны

В настоящее время создание систем разработки нефтяных месторождений с использованием горизонтальных скважин должно являться одним из приоритетных направлений в нефтегазодобывающей отрасли по вовлечению в промышленную разработку трудно извлекаемых запасов нефти и газа. Это связано с увеличением доли месторождений, относящихся к категории трудно извлекаемых и нерентабельных запасов, содержащих низко проницаемые и неоднородные пласты и коллекторы, приуроченные к водонефтяным и газонефтяным зонам, нефтяным оторочкам нефтегазовых залежей, залежей с высоковязкой нефтью.

Бурение горизонтальных скважин является одним из перспективных методов интенсификации добычи нефти и газа, что позволяет намного увеличить площадь фильтрации пластового флюида за счет длины горизонтального участка. На сегодняшний день верхом развития наклонно-направленного бурения являются сложные горизонтальные скважины и скважины с большим отходом от вертикали. Достичь успеха в этой области можно лишь применяя самые передовые технологии. На настоящий момент, верхом технологии бурения наклонно направленных скважин, являются роторные управляемые системы (РУС).

Северо-Уренгойское месторождение, открытое в 1966 году, расположено в 25 км к югу от Юрхаровского месторождения. Лицензия на освоение Северо-Уренгойского месторождения принадлежит ЗАО «Нортгаз». В ноябре 2012 года «НОВАТЭК» приобрел 49% акций ЗАО «Нортгаз». В июне 2013 года доля была увеличена с 49% до 50% по итогам проведенной допэмиссии. Залежи углеводородов Северо-Уренгойского месторождения сосредоточены на двух куполах – Западном и Восточном.

Промышленная эксплуатация Западного купола ведется с 2001 года. В октябре 2013 года в эксплуатацию введен Восточный купол. Инфраструктура Восточного купола также включает установку комплексной подготовки газа мощностью 6 млрд куб. м в год, газосборные сети, газопровод и конденсатопровод до Западного купола. Запуск Восточного купола позволяет вывести Северо-Уренгойское месторождение на его проектную мощность. В сентябре 2014 года на Западном куполе месторождения введена в эксплуатацию вторая очередь дожимной компрессорной станции в составе двух агрегатов по 10 МВт, общая мощность компрессорной станции выросла до 40

МВт. Компрессорная станция необходима для поддержания добычных мощностей месторождения.

В 2015 году на Западном куполе Северо-Уренгойского месторождения введена в эксплуатацию установка деэтанализации конденсата (до запуска установки деэтанализация осуществлялась на мощностях ПАО «Газпром»). Запуск собственной установки позволил сократить расходы на деэтанализацию и увеличить выход готовой продукции. В этом году на месторождении было добыто 5,0 млрд куб. м товарного газа и 1,2 млн т газового конденсата. Доля "НОВАТЭК" составила 2,5 млрд куб. м товарного газа и 0,6 млн т газового конденсата.

Эффективность РУС определяется следующими обстоятельствами:

- улучшается вынос шлама, так как РУС не создает зауженных интервалов ствола скважины;
- повышается скорость проходки, поскольку эффективный вынос шлама препятствует его осаждению, что положительно влияет на процесс разрушения породы;
- повышается скорость бурения и длина горизонтального ствола за счет снижения силы трения между колонной и стенкой скважины вследствие вращения всей колонны;
- сокращается риск механического и дифференциального прихватов, поскольку нет неподвижных элементов РУС, контактирующих с обсадной колонной, отклонителем или стенкой ствола скважины. Системы РУС позволяют бурить пологие и горизонтальные скважины с плавным профилем из-за отсутствия перегибов ствола (обычных при использовании забойных двигателей) с большей протяженностью за счет снижения сил трения и лучшей очисткой ствола от шлама. Более высокая проходка с постоянным вращением бурильной колонны предотвращает вероятность прихватов бурильного инструмента, сокращает время на очистку ствола от выбуренной породы и дает ряд дополнительных преимуществ по качеству вскрытия продуктивного горизонта.

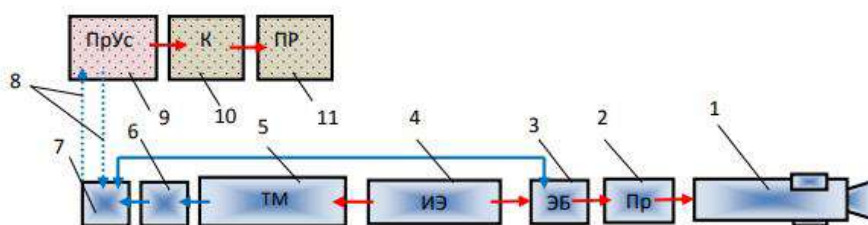


Рис. 1 Блок-схема забойной отклоняющей системы: 1 – механизм искривления; 2 – привод механизма искривления; 3 – электронный блок управления приводом механизма искривления; 4 – источник электроэнергии (гидротубина или аккумуляторные батареи); 5 – телеметрия; 6 – электронный блок телеметрии; 7 – блок передачи и приема информации, передаваемой с поверхности и к забойной системе; 8 – канал связи (гидроимпульсный, электромагнитный); 9 – приемное устройство и усилитель сигнала; 10 – компьютер; 11 – прибор для визуального контроля процесса бурения на буровой

Рисунок 1. Блок-схема забойной отклоняющей системы

Различают три типа РУС: реализующие механизм фрезерования стенки (push-the-bit), реализующие механизм асимметричного разрушения забоя вследствие перекаса долота (point-the-bit), а так же РУС совмещающие эти два механизма.

Система «Push the bit» – предполагает набор кривизны фрезерованием стенки скважины под действием отклоняющего усилия. В системе с отклонением долота отклоняющая сила на долоте Рот появляется в результате выдвижения лопаток 1, осуществляющих давление на стенку скважины с усилием Рр (рис. 2).

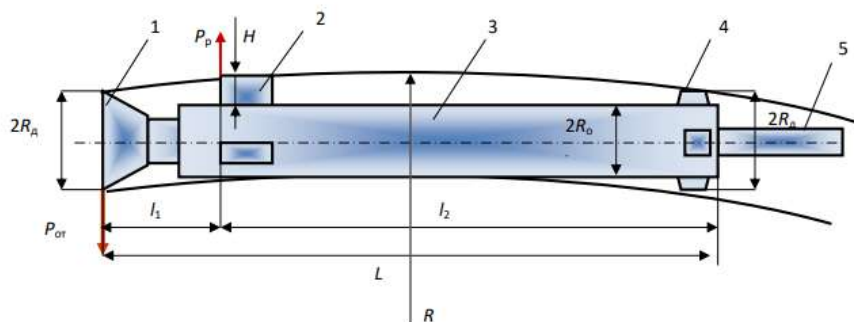


Рис. 2. Схема для расчета радиуса искривления РУС с радиальным смещением долота: 1 – долото; 2 – выдвижные лопатки; 3 – корпус; 4 – верхний стабилизатор; 5 – труба; D_d – диаметр долота; H – выход лопатки из корпуса; D_o – диаметр корпуса; D_s – диаметр стабилизатора

Рисунок 2. Схема для расчета радиуса искривления РУС с радиальным смещением долота

Привод лопаток 1 гидравлический, осуществляемый за счет последовательной подачи бурового раствора в соответствующие гидрокамеры. Для увеличения угла отклонения каждая лопатка 1, проворачиваясь и находясь в нижней части ствола, нажимает на нижнюю сторону ствола, а для уменьшения угла каждая лопатка 1 нажимает на верхнюю часть ствола. Команды, направляемые при помощи телеметрии по гидроимпульсному и электромагнитному каналам связи, определяют время и силу срабатывания башмака 1. Блок управления 3, расположенный над блоком отклонения 5, приводит в действие поворотную заслонку 6, которая закрывает или открывает канал для подачи бурового раствора в камеры с лопатками 1 в соответствии с поворотом буровой колонны. Система синхронно изменяет интервал воздействия и усилие, с которым лопатка 1 воздействует на стенку скважины, тем самым направляя долото 4 в требуемом направлении. Долото 4 обеспечивает отклонение ствола фрезерованием стенки скважины боковым вооружением. Таким образом, значительная роль в процессе искривления данным типом РУС отводится долоту, которое должно отвечать определенным требованиям.

В РУС реализующих механизм перекоса долота – (point-the-bit) используют внутренний изгиб вала отклонителя для изменения направления скважины. В такой системе точка изгиба вала находится внутри корпуса над долотом. Ориентация изгиба вала контролируется с помощью серводвигателя, который вращается с той же скоростью, что буровая колонна, но в обратном направлении. Это позволяет сохранить геостационарную ориентацию торца бурового инструмента при вращении колонны.

Литература

1. Портер М. Конкурентное преимущество: как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость. — М.: «Альпина Паблишер», 2008. — 720 с.

2. <http://lib.fedpress.ru/company/rn-purneftegaz>

3/ <https://inneft.ru/rosneft/rn-purneftegaz>

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ВЫБОРА РОТОРНОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ НА ЮЖНО – ТАРАСОВСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

*Объедков А.С. * (МГРИ, aobiedkov@yandex.ru), Басинский В.Г. (МГРИ, 170541@mail.ru)*

Аннотация

В настоящее время, существует много оценок выбора Роторной Управляемой Системы, это не только качественная оценка и технические характеристики РУС, но и экономические методы выбора, один из которых является Чистый Дисконтированный Доход (NPV) или Внутренняя Норма Доходности (IRR).

Ключевые слова: Бурение скважин, роторные управляемые системы. NPV, IRR, ставка дисконтирования, КНБК.

Южно – Тарасовское месторождение – перспективное нефтегазовое месторождение Тюменской области России. По административному положению месторождение находится на территории Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области. Ближайшими месторождениями являются: Комсомольское, Губкинское, Вынгахинское, Восточно-Таркосалинское. В орогидрографическом отношении месторождение располагается в междуречье по берегам Пякопур и его левого притока.

Самой крупной на месторождении является нефтегазоводяная залежь пласта ПК19-20. Месторождение относится к распределённому фонду недр. По размерам запасов относится к классу крупных. Лицензия зарегистрирована ОАО НК «Роснефть-Пурнефтегаз» в 1993 году. В настоящее время разрабатывается нефтяной компанией ООО «РН-Пурнефтегаз».

В настоящее время для проходки вертикальных, наклонных и горизонтальных стволов активно применяются rotary steerable system (RSS) – роторные управляемые системы (РУС), в которых разрушение горной породы осуществляется вращением долота с бурильной колонной верхним приводом буровой установки или ротором, а также отклоняющие системы, сочетающие применение винтовых забойных гидродвигателей и РУС. Данные системы являются наиболее совершенными, а в сочетании с системами телеметрии и геонавигации превратились в совершенные беспилотные средства дистанционного управления направлением буримых скважин. Возможности этих систем впечатляют: при высочайших точности ($\pm 0,1^\circ$) и оперативности данные системы способны осуществлять бурение скважин любой ориентации в пространстве протяженностью до 13 км непрерывными рейсами, протяженность которых может составлять более 1000 м. Современная отклоняющая система представляет собой беспилотный электронно-механический агрегат, управляемый дистанционно.

Наиболее важная особенность РУС состоит в том, что она обеспечивает непрерывное вращение бурильной трубы, тем самым исключая необходимость скольжения в ходе наклонно-направленного бурения. Инструменты РУС практически мгновенно реагируют на команды с поверхности, когда буровику необходимо изменить траекторию забоя. На раннем этапе такие системы использовали, главным образом, для бурения скважин с большим отходом от вертикали, в которых возможность протаскивания управляемых двигателей ограничивается трением в стволе скважины. Их применение часто обеспечивало улучшенную скорость проходки и качество ствола скважины по сравнению с прежними системами. Сегодня РУС широко применяют

благодаря возможности бурения прямолинейных скважин, промывки ствола и точного контроля параметров бурения.

Системы РУС позволяют бурить пологие и горизонтальные скважины с плавным профилем из-за отсутствия перегибов ствола (обычных при использовании забойных двигателей) с большей протяженностью за счет снижения сил трения и лучшей очистки ствола от шлама. Более высокая проходка с постоянным вращением бурильной колонны предотвращает вероятность прихватов бурильного инструмента, сокращает время на очистку ствола от выбуренной породы и дает ряд дополнительных преимуществ по качеству вскрытия продуктивного горизонта. Применение РУС позволяет бурить протяженные – более 10 км горизонтальные стволы, так как бурение с вращением бурильной колонны снижает вероятность зашламования колонны и обеспечивает более высокую способность к проталкиванию колонны по горизонтальному стволу.

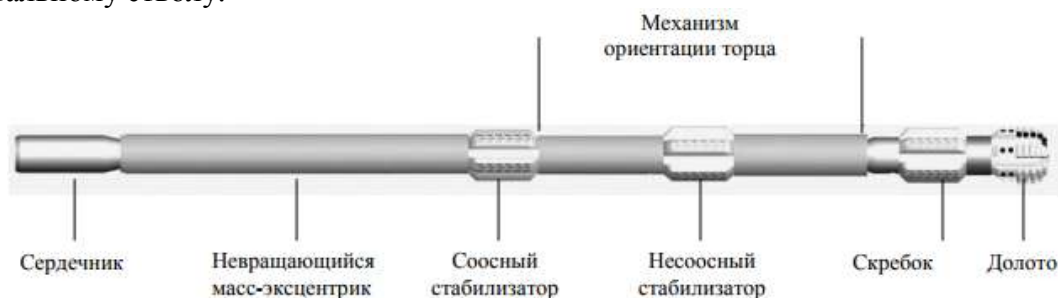


Рисунок 1. Роторная Управляемая Система Dart

Основные методы выбора РУС:

- Качественная оценка при выборе РУС
- Метод Чистого Дисконтированного Дохода (NPV)
- Внутренняя Норма Доходности (IRR)
- Технические характеристики РУС

Для того, чтобы выбрать оптимальную систему, можно использовать правило NPV

NPV — это сокращение по первым буквам фразы «Net Present Value» и расшифровывается это как чистая приведенная (к сегодняшнему дню) стоимость. Это метод оценки инвестиционных проектов, основанный на методологии дисконтирования денежных потоков.

Если NPV больше нуля, то проект можно принять, если NPV меньше нуля, то проект стоит отвергнуть.

Логическое обоснование метода NPV очень простое. Если NPV равно нулю, это означает, что денежные потоки от проекта достаточны, чтобы

- а) возместить инвестированный капитал и
- б) обеспечить необходимый доход на этот капитал.

Если NPV положительный, значит, проект принесет прибыль, и чем больше величина NPV, тем выгоднее/прибыльнее является данный проект.

Внутренняя норма доходности (IRR) - коэффициент, показывающий максимально допустимый риск по инвестиционному проекту или минимальный приемлемый уровень доходности. Внутренняя норма доходности равна ставке дисконтирования, при которой чистый дисконтированный доход отсутствует, то есть равен нулю.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} - IC ;$$

где:

CF_t (*Cash Flow*) – денежный поток в период времени t ;
 IC (*Invest Capital*) – инвестиционные затраты на проект в первоначальном периоде (тоже являются денежным потоком $CF_0 = IC$).
 t – период времени.

Показатель используется для оценки привлекательности инвестиционного проекта или для сопоставительного анализа с другими проектами. Для этого IRR сравнивают с эффективной ставкой дисконтирования, то есть с требуемым уровнем доходности проекта (r). За такой уровень на практике зачастую используют средневзвешенную стоимость капитала (*Weight Average Cost of Capital, WACC*).

Значение IRR

$IRR > WACC$ - Инвестиционный проект имеет внутреннюю норму доходности выше чем затраты на собственный и заемный капитал. Данный проект следует принять для дальнейшего анализа

$IRR < WACC$ - Инвестиционный проект имеет норму доходности ниже чем затраты на капитал, это свидетельствует о нецелесообразности вложения в него

$IRR = WACC$ - Внутренняя доходность проекта равна стоимости капитала, проект находится на минимально допустимом уровне и следует произвести корректировки движения денежных средств и увеличить денежные потоки

$IRR_1 > IRR_2$ - Инвестиционный проект (1) имеет больший потенциал для вложения чем (2).

Роторная управляемая система (РУС) PowerDrive Archer позволяет бурить скважины, которые ранее можно было пробурить только применяя Винтовой забойный двигатель, при этом, обеспечивая оптимальную механическую скорость проходки и хорошее качество ствола скважины. РУС PowerDrive Archer позволяет срезаться с вертикали на большей глубине, достигать целевые интервалы раньше, получать качественный ствол скважины для облегчения спуска обсадной колонны.



Рисунок 2. Роторная Управляемая Система Xceed

Роторная управляемая система PowerDrive Xceed — система, направляющая долото с помощью внутреннего механизма, предназначена для работы в сложных скважинных условиях. Как и у всех РУС PowerDrive, внешние элементы КНБК непрерывно вращаются, что позволяет улучшить качество очистки ствола скважины, качество стенок ствола скважины, повысить механическую скорость проходки и снизить риск возникновения прихвата или закупорки КНБК. Полностью закрытый внутренний механизм управления РУС и протестированная в полевых условиях электроника обеспечивают более точное и надёжное бурение в абразивных породах, при высоких температурах и высоких ударных нагрузках. Это также снижает зависимость контроля направления от контакта со стенками скважин, что делает прибор идеальным для зарезок боковых стволов в скважинах, диаметр которых больше, чем размер долота. Указанная особенность позволяет РУС PowerDrive Xceed бурить через переслаивающиеся породы с твердыми пропластками с большим углом залегания, удерживая ствол скважины в целевом интервале.



Литература

1. Портер М. Конкурентное преимущество: как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость. — М.: «Альпина Паблицер», 2008. — 720 с.
2. <http://lib.fedpress.ru/company/rn-purneftegaz>
- 3/ <https://inneft.ru/rosneft/rn-purneftegaz>

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В КОЛОННЕ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ ПРИ БУРЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТНО- РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА.

*Оливетский И.Н. * (МГРИ, filimona2007@mail.ru)*

Аннотация

Рассмотрены переходные процессы при бурении геологоразведочных скважин с применением нерегулируемого и частотно-регулируемого асинхронного электропривода.

Целью является анализ переходных процессов при бурении геологоразведочных скважин с применением нерегулируемого и частотно-регулируемого асинхронного электропривода.

Ключевые слова нерегулируемый асинхронный электропривод, частотно-регулируемый асинхронный электропривод, модель бурильной колонны, переходные процессы, динамические показатели.

Переходные процессы в колонне бурильных труб (КБТ) рассмотрены для режима пуска колонны бурильных труб.

Моделирование производилось на персональном компьютере по методике [1] для двух систем:

1. Нерегулируемый асинхронный электропривод – колонна бурильных труб (НАЭ – КБТ);
2. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод – колонна бурильных труб (ЧРАЭ – КБТ).

Условная глубина бурения скважины принята сто метров. Расчеты проводились на базе буровой установки ЗИФ 1200 МР. Результаты фиксировались в виде графиков на которых отображалось изменение упругого момента в различных сечениях КБТ, на которые условно разделена колонна (нумерация идет от устья скважины к забою), от времени переходных процессов – $M_1(T) \div M_5(T)$, Нм. Анализ данных графиков позволит сделать первичные выводы на влияние ЧРАЭ на переходные процессы при пуске КБТ.

При исследовании процесса пуска в моделях принимались нулевые начальные условия. Процесс пуска в системе НАЭ – КБТ разбивается на два этапа: пуск вхолостую асинхронного электродвигателя до номинальной скорости, подключение КБТ при поднятой над забоем коронкой. В системе ЧРАЭ – КБТ пуск производился вхолостую совместно с КБТ при поднятой над забоем коронкой.

На рисунке 1 представлены графики изменения упругого момента в пяти сечениях КБТ от времени переходных процессов при пуске для систем:

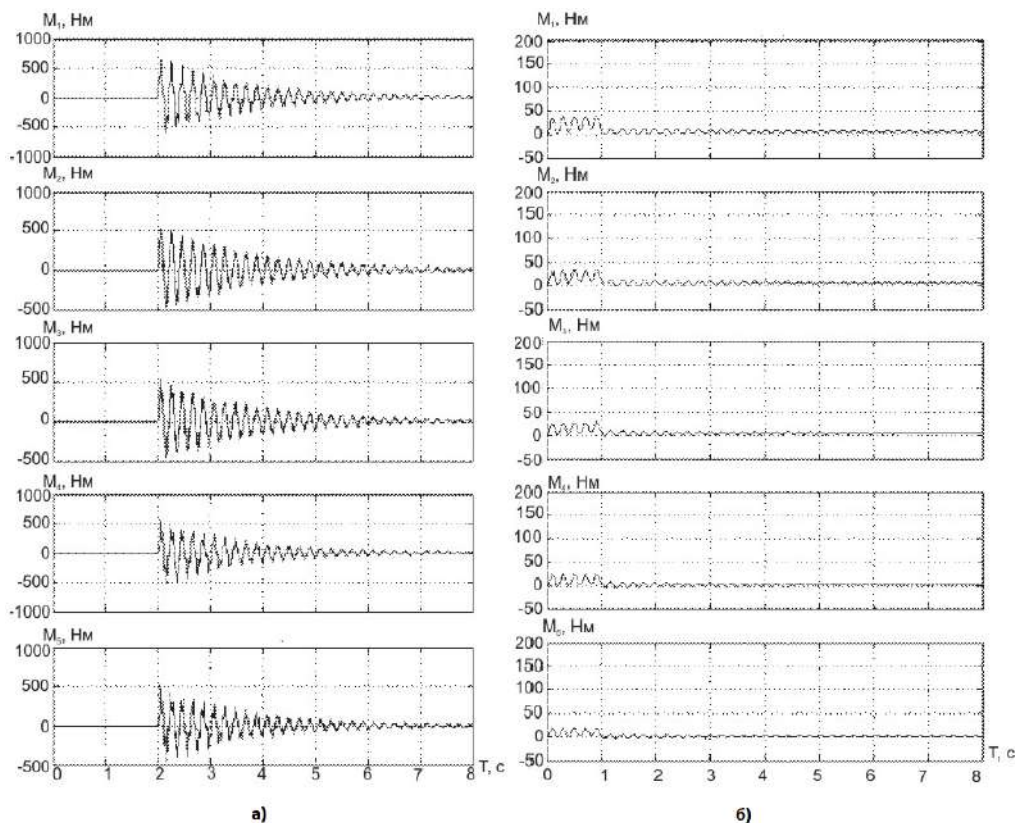


Рисунок 1. Пуск колонны в системах: а) НАЭ – КБТ; б) ЧРАЭ – КБТ.

Анализ графиков рисунок 1 позволяет сделать следующие выводы:

1. Значительные броски момента электродвигателя при пуске в системе НАЭ - КБТ, приводят к распространению колебаний момента приводного электродвигателя по КБТ от устья скважины к забою. Возникающие в сечениях КБТ колебания упругого момента имеют максимальные амплитуды колебаний 480 Нм;

2. На графиках упругих моментов по сечениям КБТ $M_1(T) \div M_5(T)$ (рис.1б) видны колебания, которые по мере приближения к устью скважины уменьшаются и на забое практически отсутствуют. Амплитуды колебаний в сечениях значительно ниже, чем в системе НАЭ – КБТ.

Выводы:

1. Частотно-регулируемый асинхронный ЭП является эффективным средством повышения качества переходных процессов в КБТ при геологоразведочном бурении, что позволяет уменьшить усталостные напряжения в материалах передач, снизить риск развинчивания КБТ и, что самое важное для геологоразведочного бурения, повысить качество выхода керна.

Литература:

1. Керимов З.Г. Динамические расчеты бурильной колонны. М.: Недра, 1970 – 152 с.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ БУРЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТНО- РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА.

Оливетский И.Н. (МГРИ, filimona2007@mail.ru)*

Аннотация

Рассмотрены энергетические показатели при бурении геологоразведочных скважин с применением нерегулируемого и частотно-регулируемого асинхронного электропривода.

Целью является анализ энергетических показателей при бурении геологоразведочных скважин с применением нерегулируемого и частотно-регулируемого асинхронного электропривода.

Ключевые слова нерегулируемый асинхронный электропривод, частотно-регулируемый асинхронный электропривод, модель бурильной колонны, переходные процессы, энергетические показатели.

Рассмотрены энергетические показатели (U – напряжение питающей сети, B ; I_c – ток статора, A ; $M_{дв}$ – момент приводного двигателя, N_m) электропривода бурового станка при переходных процессах для одного из тяжелых режимов бурения, пуска колонны бурильных труб.

Моделирование производилось на персональном компьютере по методике [1] для двух систем:

1. Нерегулируемый асинхронный электропривод – колонна бурильных труб (НАЭ – КБТ);
2. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод – колонна бурильных труб (ЧРАЭ – КБТ) [2].

Условная глубина бурения скважины принята сто метров. Расчеты проводились на базе буровой установки ЗИФ 1200 МР. Результаты фиксировались в виде графиков, на которых отображались величины, характеризующие энергетические показатели, такие как: $U(T)$ – изменение напряжения питающей сети, от времени переходных процессов, B ; $I_c(T)$ – изменение тока статора, от времени переходных процессов, A ; $M_{дв}(T)$ – изменение момента приводного двигателя, от времени переходных процессов, N_m . Анализ данных величин позволит сделать первичные выводы на влияние ЧРАЭ на энергетические показатели в электроприводе при пуске КБТ.

Процесс пуска при бурении геологоразведочных скважин за счет наличия колонны бурильных труб (КБТ) является одним из наиболее тяжелых режимов. При исследовании процесса пуска в моделях принимались нулевые начальные условия. Процесс пуска в системе НАЭ – КБТ разбивается на два этапа: пуск вхолостую асинхронного электродвигателя (АД) до номинальной скорости, подключение КБТ при поднятой над забоем коронкой. В системе ЧРАЭ – КБТ пуск производился вхолостую совместно с КБТ при поднятой над забоем коронкой.

На рисунке 1 представлены энергетические показатели электропривода (ЭП) бурового станка при пуске КБТ для систем:

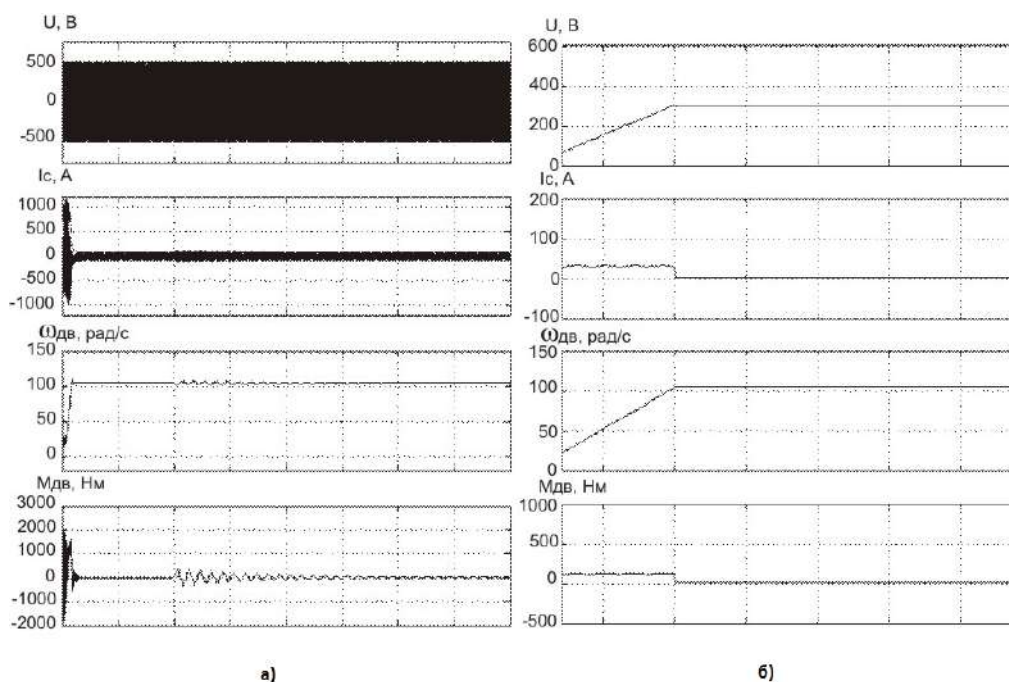


Рисунок 1. Пуск колонны в системах: а) НАЭ – КБТ; б) ЧРАЭ – КБТ.

Анализ графиков рисунок 1 позволяет сделать следующие выводы:

1. При пуске электродвигателя в системе НАЭ – КБТ, происходит значительный бросок тока статора (1000 А) и момента приводного двигателя (2000 Нм), после набора скорости и подключения КБТ наблюдаются колебания частоты вращения электродвигателя (5 рад/с);

2. В системе ЧРАЭ – КБТ, в отличие от системы НАЭ – КБТ, при пуске электродвигателя практически отсутствуют броски тока статора (30А) и момента приводного двигателя (100 Нм). Разгон электродвигателя сопровождается плавным увеличением тока статора и момента приводного двигателя, что объясняется плавным возрастанием частоты вращения приводного двигателя (без колебаний) и возможностью данного привода увеличивать время пуска.

Выводы:

1. В режиме пуска при частотном регулировании энергетические показатели электропривода находятся в значительно шадящем диапазоне по отношению к показателям при НАЭ – КБТ. Применение системы ЧРАЭ – КБТ позволит повысить эксплуатационные показатели электропривода бурового станка, а именно продлить срок службы.

Литература

1. Балицкий П.В. Взаимодействие буровой колонны с забоем скважины. М.: Недра, 1975.
2. Калашников В.И. Векторное управление асинхронным электроприводом. Донецк, ДонНТУ, 2006

ОПАСНОСТЬ ОТКРЫТОЙ ГОРНЫХ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ АТМОСФЕРЫ И ПОЧВ ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

*Папичев В.И. *(Институт проблем комплексного освоения недр РАН,
valeriypapichev@mail.ru)*

Аннотация

Представлены результаты оценки опасности воздействия карьера на ресурсы атмосферы и почвенного покрова прилегающих территорий. В качестве примера оценки использованы данные за один из годовых периодов эксплуатации Лебединского железорудного карьера. Полученные результаты показывают, что с удалением от центра горного отвода потребление ресурсов, как атмосферного воздуха, так и почвенного покрова снижается. Граница стационарного состояния системы при воздействии на почвенный покров находится на удалении около 13 км, на атмосферу – около 16 км. Наибольшую опасность для атмосферы прилегающих территорий несет пыление отвалов, для почвенного покрова карьерная выемка, пыление отвалов и взрывные работы.

Ключевые слова: карьер; взрывные работы; отвалы; автотранспорт; атмосфера; почва; потребление; нагрузка.

Все компоненты биосферы связаны друг с другом обменными процессами. «Каждый компонент играет вполне определенную и незаменимую для данного состояния роль в поддержании целостного и упорядоченного характера биосферы как системы. Сколько-нибудь существенное изменение любого из компонентов рано или поздно отражается на остальных и обуславливает соответствующее их изменение» [1]. В процессе разработки месторождений происходит обмен веществом и энергией с компонентами природной среды, вызывающий их изменение. Для каждого компонента уменьшение ресурса на какую-либо величину имеет для биосферы не меньшее значение, чем уменьшение на ту же величину любого другого ресурса. Чем большая доля того или иного ресурса будет извлекаться в результате производственной деятельности, тем большей опасности будет подвергаться этот компонент, и чем большее количество компонентов биосферы будет вовлекаться в процесс потребления, тем большую экологическую опасность будет иметь данное производство. То есть экологическая опасность горного производства – это вероятность уменьшения запасов ресурсов в окружающей среде в результате их потребления производственными процессами и объектами.

Однако существуют допустимые границы потребления ресурсов. Закон «пирамиды энергий», сформулированный Р. Линдеманом (1942 г.), является одним из основных в экологии. Он гласит: С одного трофического уровня экологической пирамиды на другой, более высокий ее уровень по иерархической лестнице: «продуцент–консумент–редуцент» переходит в среднем около 10 % поступившей на предыдущий уровень экологической пирамиды энергии. Закон Р. Линдемана, называемый иногда «закон 10 %», примерно описывает замкнутый цикл перехода энергии между трофическими уровнями. Именно примерно, а не математически точно, т.к. для разных систем переход энергии составляет от 7 до 18 % (Реймерс, 1994) [2]. Этот закон является следствием законов сохранения энергии и массы на уровне биологических систем. Нельзя изымать с предыдущего уровня экологической пирамиды для своего питания более «примерно 10 %» массы или энергии, т.к. система разрушится. Из закона Р. Линдемана, как его развитие, следуют правила «1 и 10 %», которые примерно очерчивают границы выхода биологических систем из

стационарного состояния и последующего разрушения: 1) для природных систем с организменным типом управления превышение потребления примерно 1 % от потока энергии ведет к выходу системы из стационарного состояния; 2) порог саморазрушения систем с организменным типом управления составляет примерно 10 % от «нормы» потребления (для популяционных систем превышение в среднем 10 % объема изъятия приводит к выходу из стационарного состояния). Научных доказательств точности выполнения этих правил нет, но «эмпирически порог потребления 5...10 % от суммы вещества, приводящий с переходом через него к заметным изменениям в системах природы, достаточно признан. Принят он, главным образом, на эмпирико-интуитивном уровне» [2]. Отсюда следует, что подобный подход может быть использован для оценки потребления не только биологических, но и других ресурсов из окружающей природной среды.

Опробование принятого подхода к оценке опасности горного предприятия в целом и его технологических процессов для окружающей среды выполнено на примере воздействия Лебединского железорудного карьера на атмосферу и почвенный покров, в течение одного из годов эксплуатации. Количественным выражением степени воздействия на окружающую среду является нагрузка, представляющая собой объём потребления ресурсов относительно запасов их на оцениваемой территории. Методология оценки нагрузки, как результате ресурсопотребления, разработана в ИПКОН РАН [3]. При нагрузке, составляющей 0,01 величины от запасов ресурсов, система приблизилась к выходу из стационарного состояния, при нагрузке достигшей 0,1 от величины запасов система достигла порога саморазрушения. В процессе оценки нагрузки карьера на атмосферу и почвенный покров использовалась общая формула, представленная в работе [4]

$$N = \sum_{i=1}^t \frac{M_i}{n_i \rho_i} / R_t + \sum_{i=1}^t \frac{G_{ni} \cdot T_i}{\text{ПДК}} / R_t + \sum_{i=1}^t \frac{G_{ni} \cdot T_i}{\rho_i} / R_t,$$

где M – масса вещества, изъятая из природного компонента; G_{Ti} – масса внесенного в ресурс токсичного инородного вещества; n_i – доля изъятая вещества в природном составе ресурса; G_{ni} – масса внесенного в ресурс нетоксичного инородного вещества; ρ_i – плотность изъятая или внесенного в ресурс нетоксичного вещества; i – количество поступивших веществ; ПДК – предельно-допустимая концентрация внесенного в ресурс токсичного инородного вещества; T_i – поправка на время существования примеси на оцениваемой территории; R_t – запасы ресурса на оцениваемой территории в объемном выражении.

Таким образом, общая величина нагрузки состоит из трех слагаемых: 1 – от непосредственно потребленного ресурса как результата прямого изъятия части ресурса из природной среды; 2 – от опосредованно потребленного ресурса как результата внесения в него токсичного инородного вещества, вызывающего временное изъятие части ресурса из природной среды на период деструкции вещества; 3 – от опосредованно потребленного ресурса как результата внесения в него нетоксичного инородного вещества, вызывающего временное замещение части ресурса из природной среды на период деструкции вещества. Для оценки опасности функционирования карьера для прилегающих площадей приняты четыре варианта. Минимальную площадь оцениваемой территории составляет площадь земельного отвода карьера, т.к. априори в пределах этой площади атмосфера и почвенный покров на период разработки карьера изымаются из запасов ресурсов региона. Удаление границ расчетных площадей от центра горного отвода составляет соответственно: 5 520; 7 980; 12 620; 17 845 м. Методика расчетов нагрузки на атмосферу изложена в работе [4]. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Нагрузка на атмосферу от воздействия технологических процессов и объектов карьера с удалением от центра карьера, доли ед.

Площадь оцениваемой территории, тыс. м ³	Технологические процессы			Общая нагрузка	Граница стационарного состояния
	Взрывные работы	Автотранспорт	Отвалы		
95600	0,00767	0,00948	0,0272	0,04435	0,01
200000	0,00528	0,00754	0,0098	0,02262	0,01
500000	0,0048	0,00477	0,0078	0,01737	0,01
1000000	0,0016	0,00337	0,0006	0,00557	0,01

Полученные результаты расчетов свидетельствуют о том, что общая нагрузка на атмосферу превышает границу стационарного состояния, составляющую 1 % от потребления, на удалении 17 км от центра горного отвода. При этом основным источником опасности является пыление отвалов, взрывные работы и автотранспорт оказывает на атмосферу меньшее влияние и только с удалением на расстояние более 15 км нагрузку от отвалов опережает автотранспорт, а еще через 2 км – взрывные работы. Методика расчетов нагрузки на почвенный покров изложена в работе [5]. Результаты расчетов представлены в табл. 2

Таблица 2. Нагрузка на почвенный покров от воздействия технологических процессов с удалением от центра карьера, доли ед.

Площадь оцениваемой территории, тыс. м ³	Объекты карьера		Пыление карьера и отвалов	Общая нагрузка	Граница стационарного состояния
	Карьерные выемки	Отвалы			
95600	0,0328	0,0145	0,0184	0,06569	0,01
200000	0,01567	0,00144	0,0092	0,0263	0,01
500000	0,00627	0,00058	0,0038	0,01065	0,01
1000000	0,003135	0,000135	0,002	0,00527	0,01

Полученные результаты расчетов свидетельствуют о том, что наибольшую нагрузку на почвенный покров в районе открытой разработки месторождения оказывает сама карьерная выемка, приводящая к непосредственному изъятию почв. Вторым по опасности источником воздействия являются выбросы пыли от взрывных работ в карьере и отвалах. Наименьшая нагрузка приходится от непосредственного изъятия почв под отвалами. О том, какой из рассмотренных компонентов природной среды подвергается большей опасности при эксплуатации карьера, можно судить по представленным на рисунке результатам расчетов. Суммарная величина нагрузки, оказываемой всеми объектами карьера на оцениваемые компоненты природной среды ни для одного из рассмотренных компонентов не достигает предельного значения порога саморазрушения системы, составляющего 10 % от величины нагрузки, то есть 0,1 долей единицы, а границу стационарного состояния превышает нагрузка на почвенный покров территории в радиусе около 13 км от центра земельного отвода. Нагрузка на атмосферу превышает эту границу в пределах территории радиусом около 16 км.

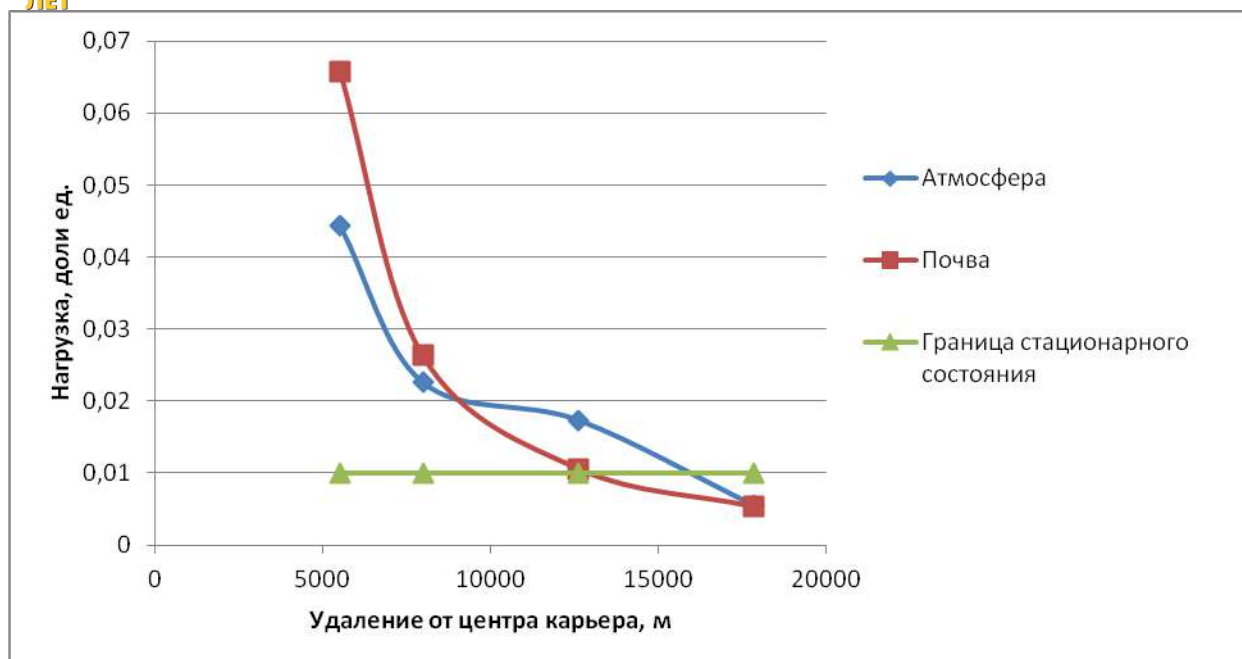


Рисунок 1 Опасность функционирования карьера для прилегающих территорий.

Таким образом, в процессе эксплуатации карьера выбросы в атмосферу являются более опасными для прилегающей территории, чем изъятие почвенного покрова. Однако необходимо учесть и такой фактор, как продолжительность воздействия горного производства на окружающую среду. Представленные результаты получены по данным эксплуатации карьера в один из периодов его работы за год. Фактически за весь период эксплуатации воздействие на природу от некоторых объектов карьера возрастет в результате его суммирования. Если воздействие на атмосферу с окончанием горных работ практически сведется к минимуму, за исключением пыления поверхности отвалов, то нагрузка от изъятых почвенного покрова остается постоянно действующим фактором, и за период эксплуатации карьера многократно возрастет как за счет расширения площадей карьера и отвалов, так и за счет загрязнения осаждающейся пылью от взрывных работ и сдувания с отвалов. Это вызывает необходимость уделить особое внимание производству последующих по окончании разработки карьера работ по рекультивации отвалов и карьерных выемок.

Литература

1. Поляков В.И. Экзамен на «Homo sapiens» (от экологии и макроэкологии к миру). Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2004. 496 с.
2. Чаплыгин Н.Н. Галченко Ю.П. Папичев В.И. Сабянин Г.В. Жулковский Д.В. Прошляков А.Н. Экологические проблемы геотехнологий: новые идеи, методы и решения. М.: ОАО Издательство «Научтехиздат», 2009. 320 с.
3. Папичев В.И., Прошляков А.Н. Характер изменения нагрузки на атмосферу от выбросов пыли карьерными источниками // Экологические системы и приборы. 2014. № 10. С. 48...55.
4. Папичев В.И., Прошляков А.Н. Оценка потребления ресурсов почвы карьерными отвалами // Экологические системы и приборы. 2012. № 12. С. 51...

СПОСОБЫ УТЕПЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ

Петров В. Л. (Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, fireredpv@gmail.com),

Тимофеев Н. Г. (Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, ng.timofeev@s-yfu.com)

Аннотация

В данной работе рассмотрена проблема негативного влияния низких температур на гидравлические системы буровых установок в условиях Северо-Востока и Арктики Российской Федерации. Проведен анализ и представлена идея утепления гидравлической системы самоходных буровых установок.

Ключевые слова:

Гидравлическая система, утепление, рукава высокого давления, греющий кабель.

В районах Северо-Востока и Арктики Российской Федерации при геологоразведочных и инженерных работах широко востребованы самоходные буровые установки широкой модификации для бурения скважин различного целевого назначения. В связи с географической труднодоступностью участков производственных работ в теплое время года, основной объем буровых работ приходится в зимнее время года.

Буровой парк геологоразведочных организаций устаревает из-за отсутствия выпуска отечественными заводами бурового оборудования нового поколения, начался процесс закупки импортного оборудования, обладающего более высокими технологическими возможностями, но недостаточно приспособленного для работы в условиях криолитозоны северных и арктических регионов. К тому же, увлечение импортной техникой, как известно, приводит к постоянной зависимости от зарубежных фирм – поставщиков по обеспечению запасными частями, технологическими средствами, материалами и техническому обслуживанию.

Все это не соответствует политике импортозамещения, проводимой в стране в последнее время в условиях санкций.

В районах Севера и Арктики задача научно-технического прогресса и внедрения инновационных технологий в бурении скважин приобретают особую актуальность. Требуются современная буровая техника северного исполнения и специфичные технологии, учитывающие особенности климата региона.

Многолетняя мерзлота и сложноструктурное строение вскрышных породных массивов характерны для месторождений Якутии, где температура в зимние месяцы достигает - 50 °С, а средняя годовая - не превышает минус 10-15 °С. Это предопределяет весьма неблагоприятные условия бурового процесса, обслуживания станка и работы смежных механизмов горного производства. Главной причиной осложнений является недоучет температурного фактора, нарушение нормального температурного режима скважины, при котором интенсивность теплообменных процессов между мерзлыми породами и циркулирующей в скважине промывочной средой, вызывает нарушения агрегатного состояния льда как связующего цемента.

Опыт бурения инженерно-изыскательских скважин ООО «МИП «Арктик-Бур» зимой показывает ряд проблем, связанных с отрицательной температурой окружающей среды. Одной из таких проблем можно считать то, что при бурении скважин, когда температура воздуха ниже - 30 °С, происходит мгновенное смерзание выбуренной породы (керн) к внутренней стенке колонковой трубы. Это объясняется тем, что

процесс механического разрушения породы сопровождается выделением тепловой энергии и нагревом буровой коронки и керна. Положительная температура керна сохраняется до окончания углубления забоя скважины, т.е. до подъемных операций, когда колонковая труба перестает подвергаться трению о стенки скважины и нагреваться. После извлечения полной колонковой трубы из ствола скважины идет обратный процесс промерзания бурового снаряда и происходит мгновенное смерзание выбуренного керна [1,2,3,4].

В зимнее время года характерны осложнения, связанные с отрицательной температурой окружающей среды. Одной из таких проблем является экстремально низкая температура (ниже -40 C), которая приводит к замерзанию гидравлических рукавов самоходных буровых установок, в последствии к разрыву в местах изгиба рукавов и их соединений с фитингами при спуско-подъемных и вспомогательных операциях, что способствует вытеканию гидравлической жидкости в наружу и прекращению буровых работ, с созданием далеко не комфортных ситуаций обслуживающему персоналу (рисунки 1). Обусловлено это во первых - повышением давления внутри рукавов высокого давления за счет увеличения вязкости масла, и во вторых - уменьшением упругих свойств резины рукавов, что в следствии приводит к разрывам в этих участках при воздействии напряжений.



Рисунок 1. Особенности бурения скважин в зимних условиях. На фото выделено наиболее уязвимое место изгиба РВД гидросистемы УРБ при спуско-подъемных операциях

Резервуар буровой установки, наполненный гидравлической жидкостью, постоянно подвергается перепаду температур при частых подогревах и охлаждениях жидкости, покрывается изнутри конденсатом, увеличивающимся с каждым циклом замерзания-оттаивания. В результате такого явления образуется не допустимое количество воды в гидравлической системе буровой установки, которое приводит к прихвату гидравлических соединений и крана системы, с аварийными последствиями.

В результате возникновения данных ситуаций, наблюдаются преждевременный выход из строя основных узлов кинематики установки, частый ремонт оборудования, закупка запасных частей и др., что создает далеко не комфортные условия машинистам буровых установок, инженерам и мастерам предприятий по обслуживанию оборудования в зимнее время.

Рабочему персоналу постоянно приходится контролировать условия работы узлов гидросистемы бурового оборудования:

- на предмет избыточного изгиба;
- дефекта рукавов высокого давления (РВД) гидравлической системы;
- сезонная замена рабочей жидкости гидравлической системы;

- предварительное прогревание гидросистемы перед работой;
- необходима постоянная циркуляция рабочей жидкости в гидравлической системе при остановке процесса бурения и другие факторы которые прямо зависят от окружающей среды работы самоходной буровой установки с гидравлической подачей.

при остановке процесса бурения и другие факторы которые прямо зависят от окружающей среды работы самоходной буровой установки с гидравлической подачей.

Большинству промышленных организаций, в силу отсутствия специальных технологических укрытий и защиты основных узлов гидросистемы самоходной буровой установки, приходится останавливать рабочий процесс при температуре окружающей среды ниже -40°C , что в последствии способствует простоям и отставанию от производственного плана.

Стоит также отметить, что данная проблема также актуальна для многих других механизмов работающих с гидравлическим приводом. Манипуляторы, экскаваторы, мусороуборочные машины, гидросистемы этих машин уязвимы негативному воздействию отрицательных температур.

Для того чтобы минимизировать угрозу разрыва, нужно поддерживать оптимальную температуру масла и шлангов. Была придумана идея утепления гидравлической системы.

Идея заключается в использовании саморегулирующихся греющих кабелей для поддержания температуры в гидравлической системе, благоприятной для проведения буровых работ.

Выбор саморегулирующегося кабеля обусловлен его свойством «саморегулироваться» сопротивление полупроводников в зависимости от температуры окружающей среды. Чем ниже температура, тем меньше сопротивление, а следовательно больше ток и мощность нагрева. С повышением температуры сопротивление участка повышается, а мощность нагрева падает. [5]

К достоинствам систем на основе саморегулирующегося нагревательного кабеля следует отнести их повышенную безопасность, долговечность, простоту монтажа и эксплуатации, полную автоматизацию управления без дополнительного оборудования.

Немаловажным полезным эксплуатационным свойством такого кабеля следует считать то, что его можно резать на куски любой длины, начиная от 20–ти см.[5]

Резервуар буровой установки по всей площади стенок обматывается кабелем (рисунок 2), далее его покрывают плотным теплоизолирующим материалом. Греющий кабель с резервуара продолжают прокладывать уже по рукавам высокого давления, поверх обмотки, для теплоизоляции крепится пенополиэтилен (рисунок 3).

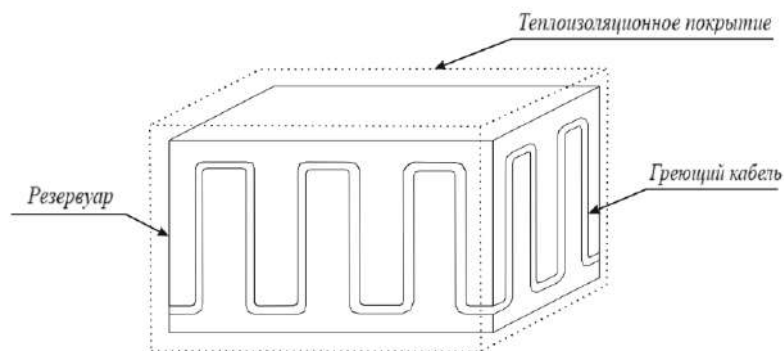


Рисунок 2. Обмотка греющим кабелем резервуара гидравлической системы.

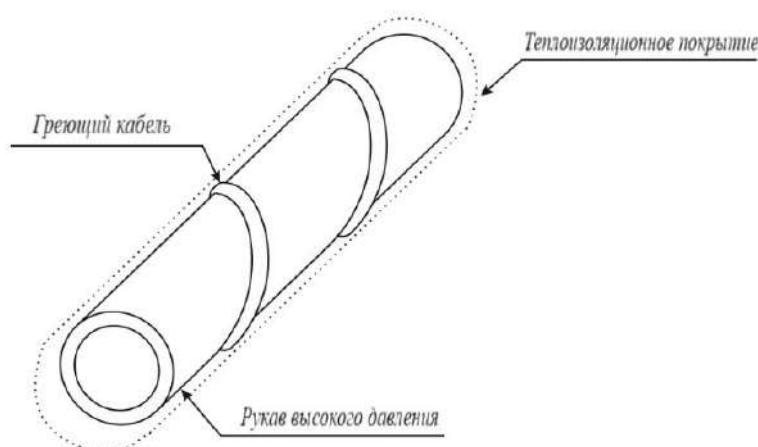


Рисунок 3. Обмотка греющим кабелем рукавов высокого давления.

Однако для работоспособности данной системы греющих кабелей потребуется питание в 220 вольт, это можно будет решить установкой мобильного дизельного генератора.

Как показывает практика, объемы буровых работ в зимнее время сохраняются, а местами идет увеличение производственного плана и актуальность разработки инновационного метода утепления оборудования возрастает.

Исходя из этого, в районах Северо-Востока и Арктики Российской Федерации проведение исследований и разработка инновационных методов улучшения условий труда рабочего персонала и технологии защиты гидравлической системы самоходного бурового оборудования, учитывающей суровые особенности климата региона, является актуальной научно-технической задачей всего бурового производства.

Литература

1. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий ООО «МИП «Арктик-Бур» на объекте «Якутский республиканский онкологический диспансер на 210 коек в г. Якутске с радиологическим отделением и хозблоком (2-ая очередь первого пускового комплекса: Онкоклинический центр с поликлиникой на 210 посещений в смену, стационаром на 180 коек и хозблоком)»;
2. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий ООО «МИП «Арктик-Бур» на объекте «Центр подготовки лыжников в г. Алдан. Главный корпус»;
3. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий ООО «МИП «Арктик-Бур» на объекте «Многоквартирный жилой дом в с. Сунтар, ул. Строительная, 2/1»;
4. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий ООО «МИП «Арктик-Бур» на объекте «Цех комплексной переработки руды, золотоизвлекательной фабрики (ЗИФ) на руднике «Бадран»;
5. Применение саморегулирующихся нагревательных кабелей:
<http://elektrik.info/main/fakty/335-primenenie-samoreguliruyuschih-sya-nagrevatelnyh-kabeley.html>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД НА СОХРАННОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ КОНТУРА ПОДЗЕМНОЙ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ

*Пименова А.В. (МГРИ, pimenova_av@bk.ru),
Бочаров И.А. (МГРИ, ilya.bocharov.19@mail.ru), Величко Д.В. (МГРИ,
dmitrii_velichko@mail.ru), Иляхин С.В. (МГРИ, isv11@mail.ru)*

Аннотация

Рассмотрено влияние внешних поверхностных нагрузок на контур полости в массиве горной породы в зависимости от её формы и размеров.

Ключевые слова Устойчивость, коэффициент запаса прочности, горная порода, напряжения, свойства грунта, полость, нагрузка.

На территории Башкирской республики, Республики Крым, Калининградской области массив горных пород выполнен из известняков. Карбонатные и сульфатные отложения создают характерные подземные полости [1]. При сооружении наземных объектов, а особенно подземных сооружений, необходимо учитывать возможность обрушения части сооружений из-за наличия полости под ними. В первую очередь требуется изучить влияние внутренних и внешних напряжений.

Одноосное напряженное состояние по величине максимальных напряжений в рассматриваемой точке проводится для оценки устойчивости контура незакрепленной выработки. Критерием оценки устойчивости используется запас прочности (запас устойчивости) пород, определяемый для одноосного напряженного состояния. Запас прочности численно показывает, во сколько раз расчетные (допускаемые) напряжения меньше предела прочности (временного сопротивления) массива горных пород. Запас прочности используется для расчёта устойчивости обнажения горных пород в выработке по предельному состоянию. В массиве горных пород, окружающих горную выработку без крепи, со временем меняются свойства: продолжается развитие трещин на контуре, приводящее к перераспределению напряжений внутри массива. Изменяются свойства пород под действием тектонической силы, влиянием рудничной атмосферы и сейсмического воздействия взрывов [2].

На устойчивость возводимых конструкций влияет: объём полости, её форма; параметры полости: высота, площадь поперечного сечения, отношение площади поперечного сечения основания к площади поперечного сечения потолочины и др.

Для изучения влияния формы полости на возникающее напряжение в массиве были проведены лабораторные исследования по следующей методике: изготавливались образцы размером 10×10×10 см, в которых формировалась полость. Отверждение гипсовой смеси происходит в течение 3-5 минут, поэтому все работы необходимо произвести в пределах указанного времени. Образец набирает максимальную прочность после 12 дневной сушки. После изготовления образцов модели подвергаются воздействию сжимающих нагрузок.

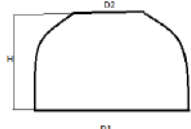
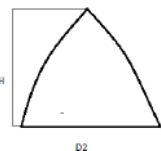
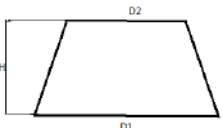
Эксперименты проводились на прессе «Установка ЗИМ, ТИП: П-50, № 911, ГОСТ 8905-73», с нагрузкой до 5 тонн. Фиксация давления осуществлялась при помощи видеокамеры.

Материал моделей (гипс) был отобран на том основании, что наиболее подверженными растворению осадочными породами в массиве горных пород на глубине до 100 м является известняк и гипс. Учитывая простоту использования гипса, модели образцов в экспериментах изготавливали из гипса.

Кроме этого, проводились исследования с использованием программы Phase 2 применительно к гипсовым моделям [2].

Формы моделей полостей с подробным описанием представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Характеристика полостей в образцах.

№	Форма полости	Параметры полости			
		D ₁ ,см	D ₂ ,см	h,см	S _{основания} /h
1.		6,1	3,2	3,8	2,115
2.		-	6	4,5	6,28
3.		4,2	6,4	2,3	13,98

Напряжение в массиве при внешней нагрузке, результаты обработки моделей по программе Phase 2 отражены на Рисунке 1. Из анализа рисунка следует, что в центральной части образуется зона, запас прочности которой составляет 5,6. Для количественной оценки влияния нагрузки на устойчивость полостей в гипсе исследовались полости в форме усечённого конуса со скругленными краями у меньшего диаметра (потолочины полости), высотой H от 2,3 см до 5,6 см, диаметр потолочины изменялся от 2,8 см до 6,1 см, диаметр основания от 0,8 см до 6,4 см.

Наличие упрочнённой зоны над потолочиной полости можно использовать в дальнейшем в качестве точки опоры для формирования ограждающей конструкции по обеспечению устойчивости полости. Кроме этого, как следует из анализа рис. 2, коэффициент запаса прочности по контуру полости не ниже 0,96, а значит, контур полости в массиве будет устойчив.

Помимо этого была проведена вторая серия экспериментов с изучением влияния площади основания полости и её высоты на устойчивость по отношению к внешним нагрузкам. В испытаниях использовались полости с параметрами, представленными в таблице 1. Учитывая тот факт, что высота также, как и площадь полостей, изменялась, для оценки влияния параметров полости на сопротивляемость внешним нагрузкам был использован безразмерный параметр: отношение площади основания к высоте (рис.2).

Из анализа графиков на рис.2 следует, что с уменьшением высоты полости, гипсовые модели выдерживают большую нагрузку, т.к. контур выработки подвержен меньшему разрушению.

Таким образом применительно к практическому использованию полученных результатов лабораторных исследований для сохранения контура горной выработки, пройденной в подземных условиях, необходимо создавать ограждающую конструкцию в которой одной из точек опоры может служить упрочненная зона над потолочиной полости (рис. 2). Причем, для увеличения коэффициента запаса прочности контура подземной горной выработки необходимо в расчетах принимать во внимание высоту полости (выработки) и площадь ее основания.

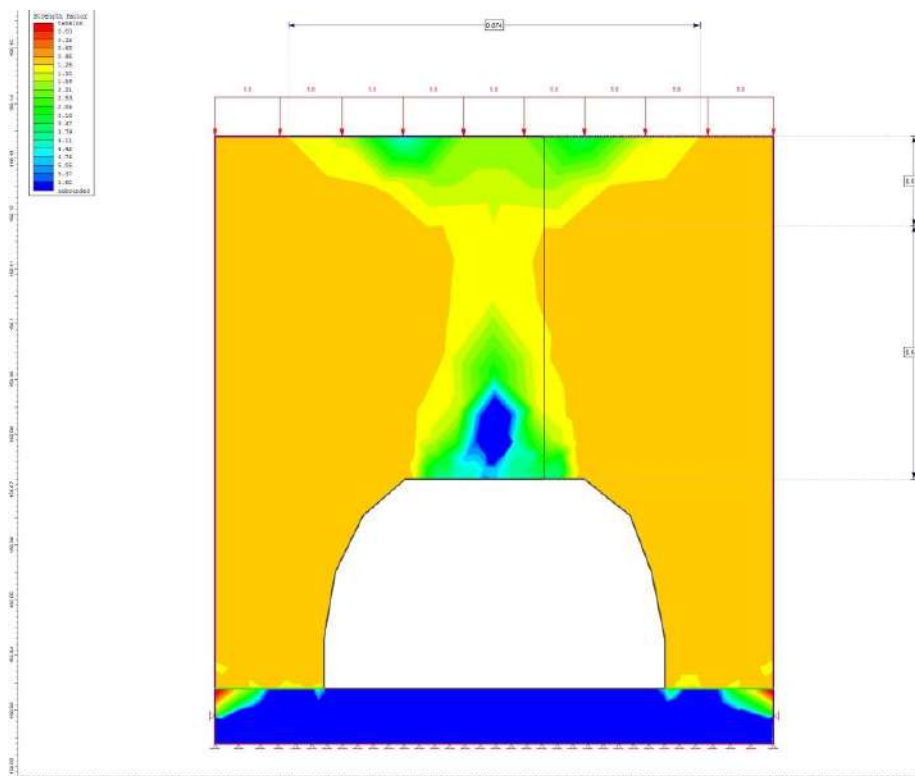


Рисунок 1. Определение запаса прочности на испытуемом образце, с нагрузкой 5.8 МПа



Рисунок 2. График влияния нагрузки на высоту полости в образце

Литература:

1. Р.Ф. Абдрахманов, В.И. Мартин, В.Г. Попов, А.П. Рождественский, А.И. Смирнов, А.И. Травкин «Карст Башкортостана» // Уфа 2002. с.3
2. Булычев Н.С. «Механика подземных сооружений» // Москва «Недра» 1994. с. 121-132.
3. <https://www.rocsience.com/software/rs2/>

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

*Рахматуллин И.З. * (МГРИ, ilrahman@yandex.ru),
Меркулов М.В. (МГРИ, mvm.07@mail.ru), Попов И.В. (МГРИ)*

Аннотация

В работе рассмотрены особенности комплексного энергообеспечения геологоразведочного. В результате анализа поставлены и решены оптимизационные задачи по использованию теплоты дизельных электростанций использовании совместно с котельной установкой для теплоснабжения буровых установок глубокого бурения. Это полностью обеспечивает тепловую нагрузку буровой и приведет к снижению нагрузки на котельную установку, ведущему к существенной экономии дорогостоящего в отдаленных регионах производства работ жидкого топлива.

Ключевые слова: геологоразведочные работы, вторичные энергоресурсы, системы утилизации теплоты энергосбережение

До настоящего времени не разработано оптимальной системы утилизационной установки, которая могла быть рекомендована в качестве эффективной и надежной базовой автоматизированной теплоэлектроцентрали, обеспечивающей теплотой установки глубокого бурения на нефть и газ и потребителей поселков геологоразведочных партий [3].

При разработке схем утилизации тепла стационарных дизельных электростанций (ДЭС) необходимо выбрать теплоносители. В первую очередь следует выбрать вторичный теплоноситель (ТН), воспринимающий тепло от выхлопных газов и воды системы охлаждения и передающий его к потребителю.

При выборе схемы определяются так же с типом системы циркуляции вторичного ТН (принудительная или естественная). Систему циркуляции обычно принимают принудительной, т.к. это увеличивает скорость движения ТН в теплообменнике (ТО), что приводит к интенсификации теплообмена [4].

Для стационарных условий поселка геологоразведочной партии, использующей в качестве источника электроэнергии дизельную электростанцию, рекомендуется схема утилизации теплоты, включающая ДЭС с теплоутилизатором в автоматизированную теплоэлектроцентраль (рисунок 1).

Дизельная теплоэлектроцентраль (ДТЭЦ) состоит из дизель-агрегатов с утилизаторами теплоты выхлопных газов, градирни, резервного источника тепла и включает три контура.

По контуру I тепло с охлаждающей водой от системы охлаждения дизель-агрегата 3 поступает к резервному источнику тепла 17. Температура воды на выходе из систем охлаждения дизель-агрегатов контролируется датчиком 4 и поддерживается в пределах 90-95°C. В момент пуска непрогретых дизель-агрегатов трехходовой кран 10 находится в положении «1», при этом вода из систем охлаждения дизель-агрегатов подается насосом 12 через трехходовой кран II обратно в систему охлаждения. Когда двигатели прогреются и температура достигнет заданного значения, срабатывает датчик 4 и трехходовой кран займет положение «2». В этом случае горячая вода минуя системы охлаждения дизель-агрегатов поступает в ёмкость резервного источника тепла 17, а вода, поступающая в дизель-агрегаты 3, забирается из ёмкости 15. При превышении значения температуры воды на выходе из систем охлаждения дизель-

агрегатов выше заданной, импульс от датчика 4 поступает на привод трехходового крана II, который принимает положение «2» и направляет подаваемую насосом 12 воду через градирию 9 и далее насосом 8 к дизелям.

По контуру II вода насосом 14 подается в теплообменник I, а затем, будучи нагретая выхлопными газами, – в ёмкость 17 резервного источника тепла. Температура вода на выходе из теплообменника контролируется датчиком 2 и поддерживается в пределах 80-95°C. При отклонении температуры, датчик 2 воздействует на привод задвижки 13, обеспечивающей необходимую подачу насоса.

В отопительном контуре III температура воды, подаваемой насосом 20, должна поддерживаться на уровне 80-95°C. Величина температуры контролируется датчиком 21. При снижении значения температуры ниже допустимого уровня, обеспечивается включение резервного источника тепла. В данной схеме в качестве резервного источника тепла используются электронагреватели 18, которые включаются по сигналу датчика 21 выключателем 19.

Повышение температуры в системе выше 95 °С приводит к срабатыванию трехходовых кранов 24 на выхлопе дизелей и отключению теплообменников. Понижение уровня воды в системе из-за разбора горячей воды потребителями 22, вызывает срабатывание датчика 16, который обеспечивает открытие подпитывающего трубопровода 23.

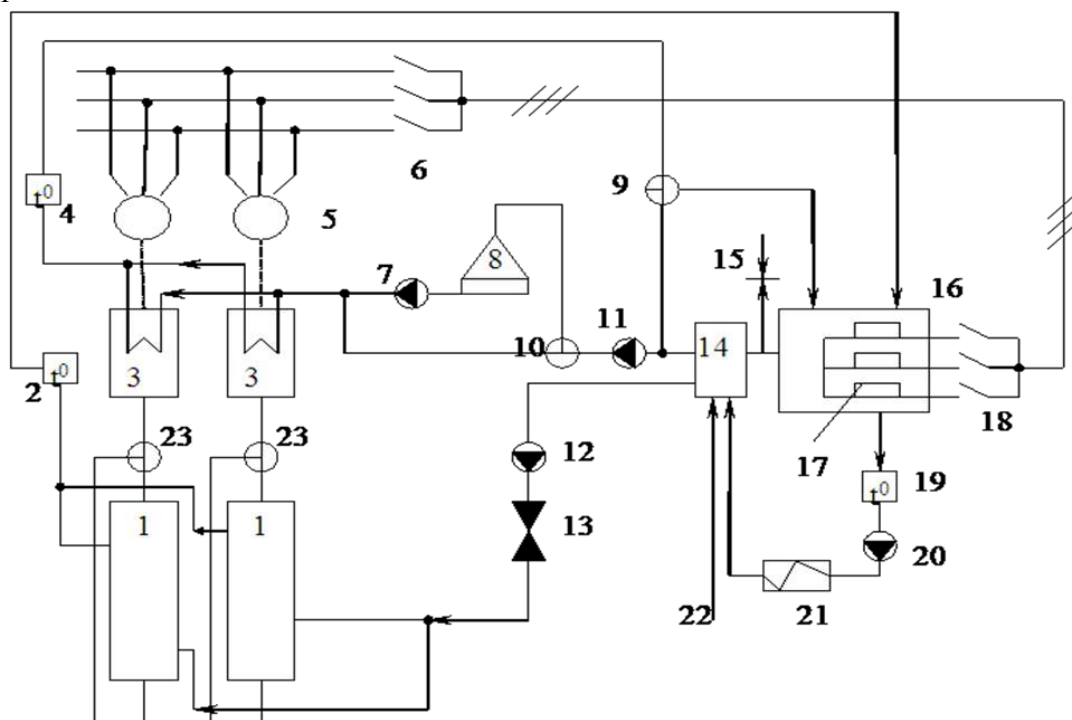


Рисунок 1 – Схема утилизации теплоты стационарной ДЭС

1 – газо-водяные ТО, 2 – датчик температуры, 3 – дизель-агрегаты, 4 – датчик температуры системы охлаждения, 5 – генераторы, 6 – щит управления, 7 – насос градирии, 8 – градирия, 9, 10 – трёхходовой кран, 11 – насос системы охлаждения, 12 – насос ТО, 13 – регулятор расхода, 14 – промежуточная ёмкость, 15 – датчик уровня, 16 – аккумулирующая ёмкость, 17 – электрические нагреватели, 18 – выключатель, 19 – датчик температуры системы отопления, 20 – насос системы отопления, 21 – тепловая нагрузка потребителей, 22 – холодная вода, 23 – газовый трёхходовой кран.

Такая система утилизации теплоты позволяет обеспечивать отопление и горячее водоснабжение потребителей независимо от котельной установки поселка, а также контролировать и поддерживать в заданных пределах температурный режим двигателя и теплосети.

Основным элементом схемы утилизации тепла стационарных ДЭС является теплообменник для выхлопных газов. На кафедре механизации, автоматизации и энергетики МГРИ-РГГРУ были разработаны и испытаны две принципиально различные конструкции теплообменников: трубчатая и пластинчатая [1,2].

Результаты проведенных испытаний показали, что утилизированный тепловой поток зависит от нагрузки на генераторе ДЭС и расхода воды через теплообменник. Наибольшая величина теплового потока, достигнутая при испытаниях пластинчатого теплообменника, составила 160 кВт при расходе воды 6000 кг/ч и нагрузке генератора 200 кВт. Для трубчатого теплообменника эта величина составила 210 кВт при расходе воды 10400 кг/ч и нагрузке генератора ДЭС 250 кВт.

Тепловая нагрузка утилизатора на холостом ходу дизель-агрегата (нагрузка на генераторе $P = 0$) составляет около 25% от тепловой нагрузки при номинальной мощности дизель-агрегата. Как показали экспериментальные исследования, в общей тепловом балансе утилизатора потери тепла в окружающую среду составляют до 50% в зависимости от расхода воды и нагрузки генератора. Таким образом, применение теплоизоляционных покрытий корпуса ТО и трубопроводов позволит значительно повысить тепловую мощность ТО, а соответственно и эффективность утилизации.

КПД дизель-агрегата без утилизации тепла достигает 42% при нагрузке генератора 250 кВт. Использование утилизированного тепла выхлопных газов позволит увеличить этот показатель до 60-65%, т.е. почти в полтора раза. Комплексная утилизация тепла ДЭС (с использованием тепла выхлопных газов и воды системы охлаждения дизель-агрегата) повышает КПД установки до 75% для пластинчатого ТО и 69% для трубчатого ТО.

Обобщая итоги опытно-промышленных разработок конструкций теплообменников и схем утилизации тепла для стационарных ДЭС, можно отметить следующие основные моменты.

1. Разработанная схема утилизации тепла стационарных ДЭС позволяет эксплуатировать дизельные электростанции в режиме ТЭЦ.

2. Проведенные испытания разработанных конструкций теплообменников показали, что тепловой поток, утилизированный в трубчатом ТО, составил 210 кВт при нагрузке дизель-агрегата 250 кВт и расходе воды 10.610 кг/ч.

3. При этом достигнут наибольший КПД утилизации, равный 33,54%. Наибольший полный КПД установки с учетом совместной утилизации теплоты выхлопных газов и воды системы охлаждения дизель-агрегата превышает 90%.

Таким образом, теплообменник трубчатого типа, по сравнению с ТО других типов, имеет высокую теплопроизводительность, доступен для обслуживания и очистки. Он является более простым в конструктивном отношении, его не сложно изготовить даже в условиях мастерских экспедиции, он имеет меньшие габариты и металлоёмкость [2,3].

Расчет утилизаторов теплоты проводится после выбора схем утилизации, типа конструкции теплообменника и теплоносителя. Расчет проводится в два этапа.

На первом этапе проводят теплотехнический расчет дизель-агрегата, определяя тепловой поток, отводящийся выхлопными газами и охлаждающей водой, расход теплоносителя для утилизации этой теплоты, а также тип оборудования для транспортирования вторичного теплоносителя.

На втором этапе определяют размеры теплообменника, площадь теплообмена и производят проверку расчета по конечным температурам теплоносителей [4].

Литература

1. Косьянов В.А., Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Головин С.В. Повышение эффективности комплексного энергообеспечения децентрализованных геологоразведочных объектов в условиях Заполярья и Крайнего Севера. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, № 4 2014.
2. Головин С.В., Меркулов М.В., Косьянов В.А. Повышение энергоэффективности разведочного бурения посредством автоматического регулирования теплоутилизационных установок. Горный журнал.2018.№11.С.51-55.DOI:10.17580/gzh.2018.11.09
3. Косьянов В.А., Меркулов М.В., Головин С.В., Черезов Г.В. Система утилизации теплоты передвижных дизельных электростанций при бурении геологоразведочных скважин. Горный журнал. 2017. № 3. С. 70
4. Меркулов М.В., Косьянов В. А., Башкуров А.Ю., Головин С. В. Теплотехника и техническая термодинамика. Изд-во ООО «Полиграфия», М.2017-С.170 ISBN 978-5-905051-19-7

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС БУРОВОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ЧАСТОТНОГО ПРИВОДА В СОЧЕТАНИИ С КОГЕНЕРАЦИОННЫМ ЭНЕРГОИСТОЧНИКОМ

*Ролдугин К.В. *(МГРИ kir_2008@inbox.ru),
Лимитовский А.М. (МГРИ, kir_2008@inbox.ru)*

Аннотация

Модернизация электропривода отечественных буровых установок является актуальным направлением деятельности. В рамках которого необходимо решить некоторые, как конструктивные, так и технологические моменты. А именно это замена группового привода на индивидуальный и применение плавнорегулируемого электропривода.

Ключевые слова

электропривод, буровые установки, частотное регулирование, ДЭС

Особенностью развития электротехнических комплексов в настоящий момент является расширение области применения регулируемых электроприводов в основном за счет количественного и качественного роста электроприводов переменного тока.

Освоение новых регионов добычи углеводородного сырья на севере и востоке России, их удаленность от источников централизованного электроснабжения вызывают у компаний приступающей к производству геологоразведочных работ, интерес к использованию собственных энергоисточников – локальных электростанций. Конечно, строительство теплоэлектроцентрали на базе парогенераторных установок вряд ли приемлемо, а вот использование газотурбинных или дизельных электростанций с утилизацией тепловой энергии – перспектива вполне реальная.

Стоит отметить, что использование автономных источников энергии порождает проблему пуска электродвигателей соизмеримой мощности, которая в настоящее время успешно решается применением полупроводниковых устройств плавного пуска с микропроцессорным управлением.

Актуальность этого вопроса возрастает на фоне антироссийских санкций. Преодолеть их возможно за счёт активизации технической и промышленной политики страны. Так в проекте Энергетической стратегии России на период до 2035 года планируется переход от экспортно-сырьевого к ресурсно-инновационному развитию экономики, включая создание импортозамещающих технологий.

Уже сейчас на тендерах можно столкнуться с тем, что крупные российские корпорации, такие как «Газпром», «Лукойл», пересматривают программу закупок в соответствии со стратегией импортозамещения. При этом не планируется снижение требований к надёжности, эффективности и другим важным показателям. То есть необходимы решения, которые соответствовали бы мировому уровню и производились бы у нас в стране по приемлемой цене. А для этого нужны годы разработок и огромные капиталовложения.

Применение плавного - регулируемого электропривода буровых установок, позволяющего существенно снизить энергозатраты и увеличить при этом производительность труда, осуществлялось в последнее время, как отмечено выше, путем использования электродвигателей постоянного тока в качестве привода основных технологических механизмов.

Однако потребность в этом случае иметь на буровых установках, эксплуатируемых в отдаленных регионах, и зачастую в суровых условиях, двух родов

тока и двигателей имеющих не самые высокие параметры и надежность, какими являются двигатели постоянного тока, предопределили необходимость изыскания более эффективных систем, обеспечивающих сохранение преимуществ плавно - регулируемого привода.

Анализ, проведенный фирмой ООО «Электропром» показал, что наиболее полно данного рода требованиям отвечает частотно - регулируемый электропривод с использованием надежных короткозамкнутых двигателей, питаемых от тиристорных преобразователей инверторного типа с электропроцессорным управлением.

Этой фирмой разработан и передан в эксплуатацию комплектный частотнорегулируемый привод для установок БУ - 4200/250 ЭК - БМ (ч).

Тип привода был выбран с учетом преимуществ, которыми обладает современный электропривод переменного тока: меньший вес электрооборудования, сокращение эксплуатационных затрат, высокая надежность и более простое обслуживание.

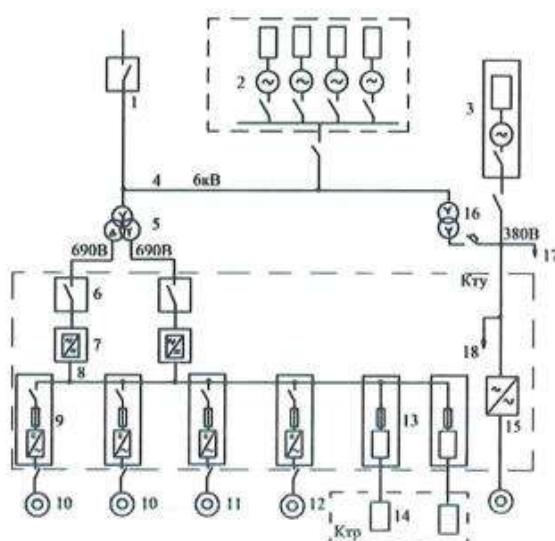


Рисунок 1. Схема главных электроприводов буровой установки БУ 4200/250 ЭК-БМч.

В установке (рис. 1) для каждого из главных механизмов (насоса 10, ротора 11, лебедки 12) предусмотрен единый асинхронный двигатель мощностью 1200 кВт. В качестве регулируемого источника питания каждого из этих двигателей принят унифицированный инвертор 9 с ЮВТ транзистором и широтно - импульсной модуляцией на ток 1270 А.

Инверторы подключены к общей формируемой сети постоянного тока 8, представленной общими модулями линейного ввода 6 и выпрямителями 7, подключенными ко вторичной обмотке силового трансформатора 5 напряжением 690 В. Преобразователи (выпрямители) типа Sinamics S-120 модифицированы поставляющей фирмой в соответствии с техническими требованиями ООО «Электропром». Трансформатор 5 имеет две вторичные обмотки со схемами соединения «Звезда» и «Треугольник» с одинаковым напряжением 690 В, что обеспечивает повышенный коэффициент мощности и пониженное содержание высших гармоник. В диапазоне изменения частоты вращения от нуля до номинального значения регулирование осуществляется при допустимом постоянном моменте двигателя изменением частоты и напряжения преобразователя.

Система автоматического регулирования (САР) электропривода обеспечивает:
- плавное регулирование скорости двигателя;

- ограничение темпов разгона и торможения;
- поддержание скорости вращения приводного двигателя;
- ограничение момента двигателя в диапазоне от 40 до 110% от номинального.

В приводе лебедки САР осуществляет еще и точную остановку талевого блока в заданном положении: поддерживает заданную нагрузку на долото в режиме бурения.

Торможение привода лебедки осуществляется через дополнительные сопротивления 14, размещаемые в специальном контейнере КТР и подключаемые через электронные ключи 13. Конструктивно все источники питания и регулирования электропривода а также коммутационная аппаратура размещены в контейнере КТУ.

Управление всеми механизмами буровой установки осуществляется по сети Ethernet с пульта бурильщика оборудованного графическим дисплеем и системой контроля состояния главных приводов.

В целях обеспечения высокой надежности предусмотрены резервная 2 и аварийная 3 дизельные электростанции.

В настоящее время уже введены в эксплуатацию несколько установок БУ 4200/250 ЭК БМ (ч).

В итоге следует отметить, что по сравнению с электроприводом по системе ТП - Д частотно-регулируемый привод (УЧП - АД) обладает следующими преимуществами:

- использование асинхронного короткозамкнутого двигателя;
- улучшение массо - габаритных характеристик;
- более высокая точность регулирования скорости;
- повышение надежности и долговечности привода, работающего в более тяжелых условиях;
- более высокое значение КПД;
- сокращение затрат на техническое обслуживание и простои оборудования благодаря встроенной системе диагностики;
- уменьшение динамических нагрузок.

В этой связи в электроприводе наиболее перспективными являются системы плавно-регулируемого привода как постоянного, так и переменного тока. Производственные испытания буровой установки УКБ-7 с приводом постоянного тока показали, что механическая скорость бурения возрастает на 25-40%, а расход энергии снижается на 40% по сравнению с традиционным приводом установки серии УКБ. Однако при этом было установлено, что использование постоянного тока в полевых условиях при передвижном характере работ затрудняет эксплуатацию бурового оборудования и снижает надежность работ. Более перспективным в этом плане является использование плавно-регулируемого привода на основе двигателей переменного тока (УЧП-АД) с частотным регулированием скорости, что с успехом осваивается в практике бурения на нефть. Использование УЧП-АД по сравнению с ТП-Д повышает надежность и долговечность привода, улучшает массогабаритные характеристики, повышает КПД и плавность регулирования.

Однако широкое использование в плавно-регулируемых системах силовых выпрямителей, преобразователей частоты приводит к появлению высоких гармоник резко ухудшающих качество электроэнергии и как следствие рабочие параметры оборудования. И если эти отрицательные моменты фиксируются в той или иной степени в системах центрального электроснабжения, когда мощность энергоисточника велика, то практически неизвестно, как будут проявляться эти моменты при локальном энергоисточнике соизмеримой мощности с потребителем (ДЭС).

Также среди отрицательных моментов можно выделить уменьшение срока эксплуатации электрооборудования, ложные срабатывания систем автоматики, сложности, выход из строя устройств компенсации реактивной мощности, отгорание

нулевых проводов вследствие действия токов гармоник нулевых последовательностей и др.

А как повлияет это на работу самой ДЭС. Ведь в настоящее время 65% территорий России находится в зоне изолированного (автономного) энергоснабжения и в основном обеспечивается электроэнергией от дизельных электростанций, работающих на привозном топливе.

Что бы предварительно проявить нами был проведён опыт на Сергиево-Посадском учебно-научно-производственном полигоне, который смоделировал работу буровой установки УКБ-4, в комплекте с преобразователем частоты Micromaster mx 440 – 22kWt (далее – ПЧ) и получением энергии от дизельного агрегата АД30-Е400-1Р (Д-242).

От данной ДЭС медным кабелем длиной 185м и сечением 4x10 мм был подключен, через ПЧ, двигатель буровой.

Бурение велось без промывки с отбором керна. В ходе опыта было отмечено, что в мягких породах бурение шло стабильно, но при столкновении коронки с твердыми породами мощности ДЭС не хватало, и ПЧ не позволял повысить осевую нагрузку на колонну. Тем самым предотвращая ДЭС от перегрузки. Также стоит отметить, что на выходе из ЧП осциллографом были зафиксированы большие помехи в питающей сети.

Вывод:

В пределах номинальных мощностей ЧП электропривод работал устойчиво, позволяя осуществлять плавное регулирование в широком диапазоне;

Отмечались существенные (%) отвлечения гармоник в питающей линии, что может создать осложнения в электропитании бурового насоса, работающего одновременно с вращателем.

Литература

1. Важанин Р.Е. Сравнение технико-экономических показателей работы отечественных и зарубежных буровых установок в условиях ООО «БЕЛОН-ГЕОЛОГИЯ» / С.Я. Рябчиков. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 175с.
2. Лимитовский А.М., Косьянов В.А. Электрооборудование и электроснабжение геологоразведочных работ: Учебник для вузов, - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: РУДН, 2009 – 384с.
3. Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Косьянов В.А. Энергообеспечение технологических потребителей геологоразведочных работ: Учебное пособие, - М.: ООО «ИПЦ “МАСКА”», 2008 – 136с.
4. Лимитовский А.М., Башкуров А.Ю. Повышение эффективности освоения объектов минерально-сырьевого комплекса на основе модернизации электропривода технологического оборудования и оптимизации систем комплексного энергообеспечения: учебное пособие. – Рязанская область, г. Спас-Клепики: ОАО «Клепиковская типография».

СИСТЕМА СОБСТВЕННЫХ НУЖД СЕТЕВОГО МОДУЛЬНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

*Бельский А.А. (Санкт-Петербургский Горный университет, ABelskij@gmail.com),
Добуш В.С. (Санкт-Петербургский Горный университет, griimov@yandex.ru),
Ротару Л.Г. (Санкт-Петербургский Горный университет, rotaru.lulu@gmail.com)*

Аннотация

В работе выполнен расчет электропотребления системы собственных нужд модуля сетевого литий-ионного накопителя электроэнергии мегаваттного класса. В качестве форм-фактора модульной конструкции накопителя выбран ISO-контейнер размером 2 TEU (40 ft).

Ключевые слова: литий-ионный аккумулятор, сетевой накопитель электроэнергии, собственные нужды, ISO-контейнер.

Для устойчивого развития энергосистемы страны, внедрения программ Smart Grid (умные сети) и Microgrid (локальные сети), а также развития концепции Smart Field (умное месторождение) необходимо осуществлять внедрение модульных сетевых накопителей электроэнергии мегаваттного класса на основе литий-ионных аккумуляторов. Существует необходимость внедрения ресурсосберегающих, экологически безопасных и легко масштабируемых технологий хранения электрической энергии для оснащения индивидуальных промышленных потребителей, распределительных сетей и генерирующих комплексов на базе ВИЭ.

Обычно сетевой накопитель состоит из нескольких модулей. В каждом модуле на полках в батарейных шкафах размещаются литий-ионные батареи (см. рис. 1). Батарейные шкафы располагаются вдоль контейнера с каждой стороны с проходом посередине. В качестве форм-фактора модульной конструкции накопителя примем ISO-контейнер размером 2 TEU (40 ft).



Рисунок 1. Модуль сетевого накопителя в разрезе

Для нормальной работы модуля накопителя необходимо обеспечить электропитание системы собственных нужд: системы отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC); системы освещения; системы пожаротушения; системы подзарядки батарейных шкафов и системы управления модулем накопителя.

В качестве исходных данных по энергопотреблению отдельных систем собственных нужд модуля накопителя были использованы сведения указанные для ESS LG (системы хранения энергии от компании LG) размещаемой в ISO-контейнере с размером 2 TEU (40 ft), работающей в диапазоне температур от -20°C до $+40^{\circ}\text{C}$: система HVAC — 5,6 кВт; система управления модулем — 1,4 кВт; освещение — 0,3 кВт [1].

С учетом того, что для России проектируемый модуль накопитель должен работать в более широком диапазоне температур, например от -30°C до $+40^{\circ}\text{C}$, то необходимо увеличить мощность системы HVAC на 20%, т.е. до 6,72 кВт.

Исходя из максимального значения саморазряда аккумуляторных батарей 5% в месяц, определим максимальную мощность, требуемую для системы подзарядки батарейных шкафов.

В среднем, для модуля сетевого накопителя в контейнере 2 TEU (40 ft) запасаемое количество энергии (ёмкость) составляет от 2000 до 3000 кВт·ч. Определим максимальную мощность, требуемую для системы подзарядки батарейных шкафов:

$$R_{\text{подзаряда}} = 3000 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 12 \text{ мес.} \cdot 0,05 / (365 \text{ дн.} \cdot 24 \text{ ч.}) = 0,21 \text{ кВт.}$$

Для системы пожаротушения используем модуль порошкового пожаротушения «Буран-2,5взр» во взрывозащищенном исполнении, предназначенный для локализации и тушения пожаров класса А, В, С, а также пожаров, возникающих в электрооборудовании, находящемся под напряжением [2]. Пусковой ток устройства равен 0,4 А, тогда при напряжении 28,5 В установленная мощность устройства 0,011 Вт.

Огнетушащая способность модуля до 7 м² или до 18 м³. Модуль пожаротушения должен быть зарезервирован на случай несрабатывания. Таким образом, для накопителя в ISO-контейнере с размером 2 TEU (40 ft) потребуется 8 модулей пожаротушения.

Итоговый расчет энергопотребления собственных нужд модуля накопителя в ISO-контейнере с размером 2 TEU (40 ft) приведен в таблице 1.

Таблица 1

Собственные нужды модуля накопителя в ISO-контейнере 2 TEU (40 ft)

Вид потребителя	Коэффициент спроса	Установленная мощность [кВт]	Потребляемая мощность [кВт]
Система HVAC	0,4	6,72	2,69
Система управления модулем	1	1,40	1,40
Освещение	1	0,30	0,3
Система пожаротушения	1	0,09	0,09
Система подзарядки батарейных шкафов (компенсации саморазряда)	1	0,21	0,21
Итого	0,495	9,47	4,69

Результатом работы стало определение мощности собственных нужд модуля накопителя, расположенного в ISO-контейнере с размером 2 TEU (40 ft). Обычно сетевые накопители проектируются исходя из условия 4-х часовой работы в режиме полной загрузки, поэтому ёмкость модуля накопителя и его мощность соотносятся как 1/4. Для рассматриваемого модуля ёмкость составляет от 2000 до 3000 кВт·ч, следовательно, номинальную мощность можно оценить в 500–750 кВт. Тогда на долю собственных нужд будет приходиться 0,6–1,0% от номинальной (паспортной) мощности модуля накопителя.

Литература

1. LG ESS. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lg.com/global/business/ess/utility> (дата обращения: 15.01.2019).
2. Модуль порошкового пожаротушения «Буран-2,5взр» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.epotos.ru/produkcija/poroshkovoe-pozharotushenie/buran-2-5vzr/> (дата посещения: 21.01.2019).

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*Рыжов С.В. (ПАО «Селигдар», sryzhov@seligdar.ru),
Иляхин С.В. (МГРИ, isv11@mail.ru),
Сытенков В.Н. (ФБГУ ВИМС, sytenkov@vims-geo.ru)*

Аннотация

Статья посвящена поиску метода повышения эффективности использования ресурсного потенциала рудного месторождения за счет определения оптимального уровня производительности рудника на разных этапах отработки запасов месторождения, которое соответствует достижению максимального значения чистой приведенной стоимости (ЧПС, NPV) горнодобывающего предприятия.

Выбор оптимального уровня производительности рудника на разных этапах отработки запасов месторождения осуществляется через построение финансовых моделей для каждого сценария отработки рудника и определения значения чистой приведенной стоимости (ЧПС, NPV) отработки месторождения. Другим критерием выбора оптимального сценария отработки месторождения является распределение денежного потока по этапам отработки месторождения.

Ключевые слова

Стратегия горнодобывающего предприятия, добыча, оптимальная производительность рудника, формула Тейлора определения продолжительности работы рудника, этапы отработки месторождения, финансовая модель отработки месторождения, расчет чистой приведенной стоимости (ЧПС, NPV) и денежного потока.

Цель любого предприятия - извлечение максимально возможной прибыли от собственной деятельности. В связи с этим в рамках разработки стратегии освоения месторождения перед горнодобывающей компанией каждый раз встает вопрос выбора оптимальных параметров производства.

В рамках проведения геолого-экономической оценки существуют различные методы определения оптимальной производительности горнодобывающего предприятия. Наиболее распространенный метод – расчет оптимальной продолжительности работы рудника по эмпирической формуле Тейлора [1]:

$$1) T = 6,5 \cdot \sqrt[4]{Q},$$

где: T – период отработки, годы;

Q – запасы руды, млн. т.

Далее по данным, полученным из формулы Тейлора, рассчитывается оптимальная производительность рудника P (млн. т/год), которая и определяет режим и объемы работ предприятия на период отработки месторождения [3]:

$$P = \frac{Q}{T}.$$

На графике, построенном по формуле Тейлора (рис 1.) приведена зависимость периода отработки от запасов руды месторождения. Хорошо видно, что даже при небольших запасах руды период отработки месторождений составляет несколько лет. Оптимально ли это? Постоянный рост темпов развития научно-технического прогресса, увеличение производительности и доступности горного оборудования

наталкивают на сомнения относительно достоверности результатов, полученных с помощью формулы Тейлора.

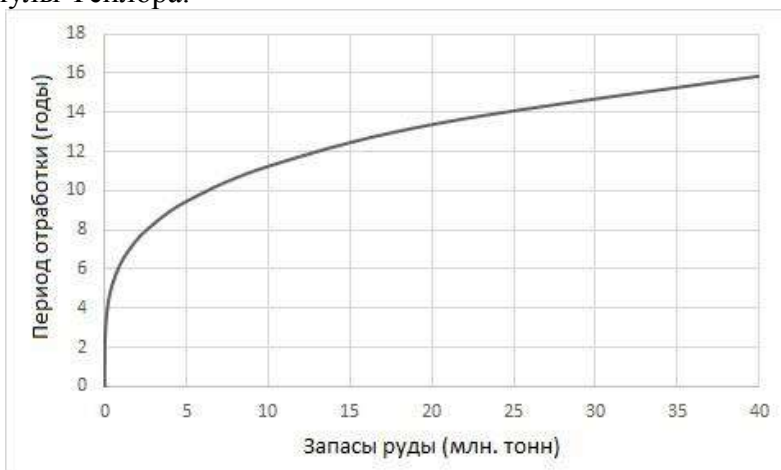


Рисунок 1. График определения продолжительности работы рудника по правилу Тейлора

В связи с этим возникает потребность в проведении дополнительных исследований по проверке определения оптимальной производительности по методу Тейлора и сравнению с результатами при других уровнях производительности.

Общепризнанным и давно зарекомендовавшим себя подходом к принятию наилучшего стратегического решения по принципам функционирования любой организации является расчет чистой приведенной стоимости проекта или предприятия – показателя NPV (Net Present Value) для каждого возможного сценария производственной программы. Верно это и для горнодобывающего предприятия [2].

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{CF_t}{(1+i)^t},$$

где CF_t – денежный поток через t лет ($t = 1, \dots, N$);

i – ставка дисконтирования.

Величина годового объема переработки руды зачастую ограничена мощностью обогатительной фабрики и перерабатывающей установки, однако производительность рудника по извлеченной горной массе, объему вскрыши и добычи руды в год можно увеличивать в значимом интервале путем привлечения дополнительной горной техники. В случае привлечения для ведения дополнительных горных работ специализированной подрядной организации, которые получили большое распространение в настоящее время, такое решение не потребует даже начальных капитальных затрат.

При этом у горнодобывающего предприятия появляется возможность разделения периода отработки месторождения на несколько этапов, в рамках каждого из которых производительность рудника будет различной, что позволит в приоритетном порядке вовлечь в отработку более высокотехнологичные типы руд или руды с повышенным содержанием полезного компонента [5].

В связи с этим возникает возможность формирования различных сценариев порядка отработки месторождения. В случае, если показатель чистой приведенной стоимости (ЧПС, NPV) вновь сформированного сценария окажется значимо выше аналогичного показателя базового сценария порядка отработки месторождения, то экономически целесообразно принять решение о применении нового порядка отработки месторождения [4].

При изменении календарного графика отработки месторождения и сохранении всех остальных параметров неизменными, суммарный не дисконтированный денежный поток останется неизменным (рис. 2) [6].

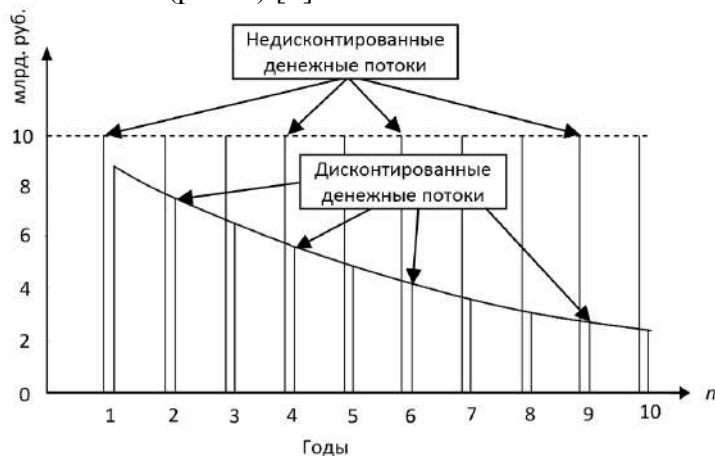


Рисунок 2. Динамика дисконтированных и недисконтированных денежных потоков базового сценария отработки месторождения твердых полезных ископаемых

Однако, в случае, если денежный поток на первом этапе отработки, будет выше, чем на последующих, то за счет меньшего дисконтирования NPV отработки месторождения будет выше. (рис. 3.)

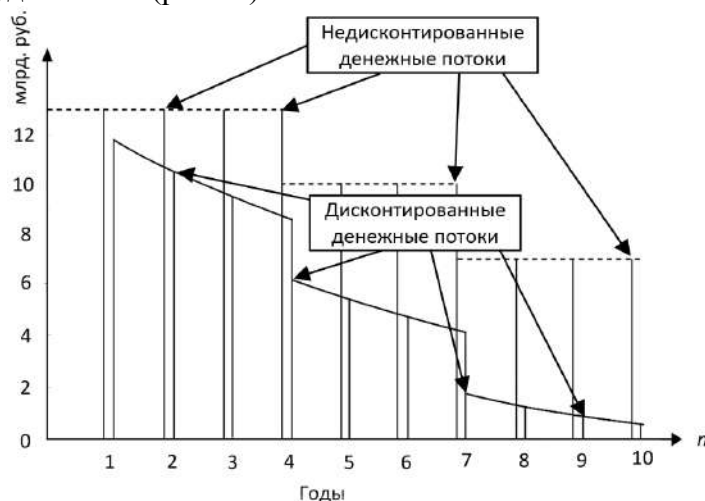


Рисунок 3. Динамика дисконтированных и недисконтированных денежных потоков отработки месторождения твердых полезных ископаемых этапами

Сопоставление графиков, изображенных на рис. 2 и рис. 3 показывает, что в случае отработки месторождения этапами, высокий денежный поток первого этапа увеличивает чистую приведенную стоимость (ЧПС, NPV) отработки месторождения и, что еще более важно, существенно сокращает срок окупаемости инвестиций в разведку и запуск месторождения в эксплуатацию.

Практическое применение данного подхода к построению графиков отработки ряда золоторудных месторождений Южной Якутии позволило увеличить расчетную чистую приведенную стоимость (ЧПС, NPV) отработки на 6-9% и увеличить среднегодовой текущий денежный поток на первом этапе освоения месторождений на 20% и более.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Основным экономическим критерием правильности выбора графика отработки рудного месторождения является достижение максимума чистой приведенной стоимости (ЧПС, NPV).

2. Базовый сценарий отработки месторождения, как правило, предполагает выбор неизменной производительности рудника на всех этапах отработки месторождения.
3. Повышение экономической эффективности отработки месторождения может быть достигнуто за счет отработки месторождения этапами, на каждом из которых выбирается различная производительность рудника по объему вскрыши и качеству добываемой и перерабатываемой руды.

Литература

1. Taylor, H. K., Mine valuation and feasibility studies, in Hoskins, J. R., and Green, W. R., eds., // Mineral industry costs: 2nd ed, Northwest Mining Association, Spokane, Washington, 1977, p. 1–17.
2. Брюховецкий О.С., Иляхин С.В., Карпиков А.П., Яшин В.П., Основы горного дела., Издательство Лань, 2017, с 181-184, 244-245.
3. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). Разработаны Федеральным государственным учреждением «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых». Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р.
4. Филиппов С.А., Сытенков В.Н. Рациональное освоение ресурсов месторождений - путь к воспроизводству минерально-сырьевой базы горноперерабатывающих комплексов // Рациональное освоение недр. – 2011. – № 6. – С. 16-21.
5. Арсентьев А.И. Производительность карьеров. Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 2002. 85 с.
6. Friedrich-Wilhelm Wellmer, Roland W. Scholz, What Is the Optimal and Sustainable Lifetime of a Mine?, // Sustainability, Volume 10, Issue 2 (February 2018), p. 480.

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВЕДОЧНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАБОТ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РАССЕЯННОГО КРИСТАЛЛОСЫРЬЯ

*Саватеев Я. В. * (ИФЗ, savvateevyar@gmail.com)*

Иляхин С.В. (МГРИ, isv11@mail.ru)

Аннотация

Разработана технология поиска рассеянных кристаллов размером от 0,5 см до 15 см и гнезд от 0,5 до 1 м в массиве г.п. при ведении разведочно-эксплуатационных работ на месторождениях кристаллосырья. Доказана возможность применения поверхностных георадаров типа ТР-ГЕО-04 для поиска кристаллов размером до 3 см на расстоянии от забоя до 1-1,2 м, скважинных георадаров на расстоянии 0,7 м. С определенной доработкой для определения наличия скрытых кристаллов в отбитой горной массе рекомендуется использование «Портативного анализатора минералов и горных пород Mineral Analyser 7000», а также технологии разработанной ООО «Диамант» с использованием рентгеномографии.

Ключевые слова: кристаллы, гнезда, георадар, рентгеномография, горная выработка.

При разведке месторождений кристаллосырья одной из основных проблем является получение достоверной геологической информации о кристаллах в массиве. Связано это с тем, что при проходке разведочных выработок (чаще всего с применением энергии взрыва), происходит разрушение кристаллосырья и определить его качество (в массиве) затруднительно из-за нарушений вызванных взрывом.

За последние десятилетия, начиная с 1980-90 г.г. в Советском Союзе, а затем в России начали активно применяться невзрывные методы разрушения. Это клиновой метод (простой и сложный клин), гидроксы, невзрывные разрушающие смеси, газогенераторы, бесшпуровой метод отбойки (все из перечисленных апробированы на кафедре горного дела под руководством Корнеева А.И., Чубарова В.В., Иляхина С.В.) и др., позволившие значительно снизить потери кристаллосырья при вскрытии кристаллоносных гнезд и при отбойке пород, содержащих рассеянные кристаллы.

Но как показала практика ведения разведочных и разведочно-эксплуатационных работ в бывшем производственном объединении «Союзкварцсамоцветы» при решении проблем, связанных с безопасным извлечением кристаллосырья из массива необходимо в первую очередь знать место залегания отдельных кристаллов или гнезд. С 1980 г. для поиска крупных гнезд пьезокварца использовался сейсмический метод и метод ультразвукового прозвучивания (Богуславский М.Е.). Однако их использование ограничивалось применительно к скоплениям в несколько метров или. Для кристаллов меньшего размера, особенно рассеянных (шпинель, изумруды, гранаты и др.) эта проблема до сих пор не решена.

Начиная с 2000-х годов на кафедре горного дела для поиска кристаллоносных гнезд начали применять георадары. На первом этапе ограничились только крупными скоплениями кристаллов размером в поперечнике 0,6-1,0 м [1].

Разработанная нами технология позволит обнаружить и извлечь ценные кристаллы из массива вмещающих пород сохранив их качество и не нарушая целостности до проведения взрывных работ. В связи с тем, что стоимость ювелирных кристаллов, например изумрудов, растет в геометрической прогрессии от их размеров, применение технологии, позволяющей извлекать из массива вмещающих пород неповрежденные кристаллы, даст очевидную экономическую выгоду горнодобывающим компаниям.

Технология предполагает обследование массива вмещающих пород с применением различных неразрушающих методов, в частности высокочастотного видеоимпульсного георадиолокационного зондирования, для установления местоположения кристаллов и их извлечение с применением колонкового бурения (до начала цикла буровзрывных работ).

Для установление принципиальной возможности обнаружения и определения местоположения рассеянных кристаллов размерами от 2-3 см в массиве вмещающих пород использовались георадар ТР-ГЕО-02. Антенный блок георадаров серии ТР-ГЕО включает две антенны - приемную и передающую. Излученный и затем принятый сигнал в направлении зондирования после прохождения приемо-передающего тракта георадара содержит не более 2-3-х основных полупериодов колебаний.

В радаров серии ТР-ГЕО применяются экранированные антенны целевого типа, которые были разработаны в МФТИ, затем дорабатывались в ЗАО «Геологоразведка». Щель имеет форму двух треугольников. Антенны ориентированы так, что линия, соединяющая центры антенн находится в Н- плоскости антенн.

Антенны характеризуются значительной развязкой «вверх-низ», то есть отношением полезного сигнала, излученного в грунт, к сигналу, излученному в воздух. Антенны обеспечивают низкий уровень паразитного излучения вверх, в сторону открытого пространства. Это свойство полезно при работе радара в непосредственной близости от стен строений, при проезжающих или стоящих рядом автомобилях, при наличии вблизи радара других посторонних предметов в горно-разведочных выработках. Конструкция антенн обеспечивает также большую развязку между передающей и приемной антеннами.

Допускается небольшой зазор (до 3 до 5 см.) между антеннами и исследуемой поверхностью. Излучаемый в сторону грунта полезный сигнал максимален при плотном контакте антенн с грунтом. Неровности поверхности приводят к изменениям сигнала прямого прохождения по мере передвижения антенн, если антенны располагаются вплотную к поверхности. Эти изменения сигнала являются помехами при обработке и интерпретации результатов и требуют дополнительной пространственной фильтрации. Сканирование с небольшим постоянным зазором между антеннами и поверхностью фунта позволяет сильно снизить уровень этих помех, хотя уровень полезного сигнала при этом уменьшается.

Недостатком георадаров ТР-ГЕО-02 являлось невозможность его применения при проходке выработок по продуктивной толще с включениями рассеянных кристаллов и кристаллоносных гнезд размерами от 2 см по большей оси в связи с низкой разрешающей способности применяемого георадиолокационного оборудования не позволяющего обнаруживать объекты размерами менее 30 см. При использовании высокочастотного георадара ТР-ГЕО-04 (с частотой 2 ГГц) была доказана возможность нахождения кристаллов размером 0,5-3 см в массиве г.п. на расстоянии от 1 до 1,2 м. Применяя при этом специальный шаблон из резистивного материала ликвидирующий неровности поверхности забоя и позволяющий обследовать теневую зону георадара, составляющую для модификации с центральной частотой 1 - 2 ГГц около **5 - 10** см. Зондирование проводят по всей площади забоя по параллельным профилям со смещением в размер антенн.

Затем обрабатывают полученные данные, с учетом конкретных условий на месторождении (диэлектрической проницаемости, проводимости и затухания электромагнитных волн для вмещающих пород установленных заранее) и определяют пространственное залегание кристаллов и кристаллоносных гнезд. Предлагаемая технология позволяет обеспечить получение наиболее достоверной и полной

информации о залегании кристаллосырья при ведении разведочных и разведочно-эксплуатационных работ, за счет максимального щадящего извлечения из массива кристаллов размерами от 2 см но большей стороне, а значит существенно расширяет область применения и может использоваться на месторождениях ценною ювелирного сырья.

Последующее обследование на глубину более 1-1,2 м производят с применением скважинного георадара по следующей схеме. В начале бурят, например колонковым способом, опережающую скважину из забоя выработки в направлении будущей проходки на глубину безопасного расстояния по осевому направлению, в которую помещают скважинный георадар и зондируют массив горных пород вокруг скважины в радиальном направлении на расстояние не менее 0,7 м, определяют координаты кристаллов в пространстве, и после их установления бурят дополнительные скважины в направлении установленных координат кристаллов. Таким образом определяется местоположение в пространстве большинства кристаллов, за исключением мелких (менее 0,5 см) включений.

Кроме этого, при добыче рассеянных кристаллов возникла проблема их нахождения в отбитой отдельности (одним из невзрывных методов), чтобы извлечь для дальнейшего использования (также с применением методов щадящей отбойки). Но главное, нужно было установить в куске присутствие или отсутствие кристаллов (изумруды, шпинель).

Современные технологии обогащения должны предусматривать комплексное использование вовлекаемого в переработку сырья с целью наиболее полного извлечения из него полезных компонентов. В связи с этим возрастает роль технологической оценки качества сырья на всех стадиях геологического изучения и освоения недр, в том числе прогнозной, которая основывается на детальной информации о его составе и морфоструктурных характеристиках слагающих фаз. Промышленная вычислительная томография, называемая в мировой практике X-ray CT – computed tomography или transmission tomography, развивалась как метод для решения задач в области дефектоскопии, являясь инструментом неразрушающего контроля внутренних параметров объекта [3-7]. Использование рентгеновской томографии в комплексе с другими методами, обеспечивающими технологические процессы промышленной переработки минерального сырья, может быть эффективно применено для отбраковки бедной руды или пустой породы на обогатительных комбинатах, а также в геологоразведочных экспедициях, занимающихся разведкой и добычей кристаллического сырья. Разработанная установка приспособлен для работы в полевых условиях, не требуется никакой пробоподготовки., а масса пробы может варьироваться от 100 г до 10 кг. При этом возможно определять трехмерное положение изучаемого элемента в образце, например кристалла изумруда или алмаза. Зона обследования составляет 150x150 мм на расстоянии 310 мм от мишени нейтронного генератора

В изумруде определяющим является наличие Cr_2O_3 от 0,15 до 0,6 %. Присутствие хрома в изумруде обуславливает его очень характерный спектр поглощения, по которому можно отличить изумруд от всех других драгоценных камней. В отличие от берилла, который является сопутствующим минералом на месторождении изумрудов, например, Малышевское месторождение, в нем отсутствует Ti. Для определения в полевых условиях при ведении разведочных работ, а также при отбойке в забое рудной толщи, содержащей изумруды, нами рекомендуется использовать портативный анализатор минералов и горных пород Mineral Analyser 7000.

К недостаткам данной технологии относится длительность сканирования (может достигать 15 минут), а также невозможность использования его при обогащении всей добытой горной массы в забое.

Компанией «Диамант» в подмосковной Дубне [8] была создана установка специально для элементного анализа горных пород методом меченых нейтронов. В настоящее время проект реализуется совместно с АК АЛРОСА. Нетривиальным и уникальным в этой разработке можно считать именно то, что она дает возможность узнать, что внутри предмета, который скрыт в оболочке пустых пород. Возможно это благодаря высокой проникающей способности быстрых нейтронов, а также из-за того, что ответное рентгеновское «свечение» вещества тоже способно проходить сквозь большую толщину [8]. Для того, чтобы найти изумруды внутри слюдитовой породы, куски руды подвергаются облучению потоком быстрых нейтронов. Под их воздействием руда начинает «светиться» в рентгеновском диапазоне. При этом каждый элемент руды имеет свой спектр, свое «свечение». Изумруд — это хром и детектируется именно такое хромовое «свечение». Сигнал от изумруда — это локальное превышение элементной концентрации хрома над средним по облучаемому образцу. Но при этом, необходимо учитывать, что кристаллы берилла, тоже содержат хром. Но в отличие от изумруда в них может присутствовать Ti, что и позволит отличить берилл от изумруда.

Выход полезного компонента может достигать 97 %. Производительность опытной установки – 1 т/час.

Разработанную технологию Сапожниковым М.Г. в фирме «Диамант» можно рекомендовать, после доработки, для обогащения руды содержащей различные виды кристаллов в процессе ведения разведочно-эксплуатационных работ на месторождениях кристаллосырья.

Т.о. решена поставленная задача по определению местонахождения кристаллов в массиве горных пород при ведении разведочно-эксплуатационных работ на месторождениях рассеянных кристаллов, а также технология обнаружения кристаллов в отдельностях отбитой горной массы размером до 0,4 м.

Литература

1. Изюмов С.В. Совершенствование технологии Дис. к.т.н., МГГА, 2001 г.
2. http://woman-1.ru/kamen-izumrud-i-ego-svoystva/#h2_5/
3. Вайнберг Э.И. Компьютерные томографы – уникальные средства бесконтактного измерения размеров и плотности внутри сложных разборных промышленных изделий // Мир измерений. 2004. №3. С. 8-14.
4. Блинов Н.Н. Методы компьютерной томографии в медицине // Здравоохранение и медицинская техника 2005. №3 (17). С. 10-11.
5. Неразрушающий контроль. В 5-ти кн. / Под ред. В.В. Сухорукова. М.: Выс. шк. 1993. 329 с.
6. Хозяинов М.С., Вайнберг Э.И. Рентгеновский микротомограф как инструмент изучения образцов горных пород // Матер. межд. научн. конф. «Геофизика и современный мир» / М.: ВИНТИ, 1993. С. 255.
7. Исследование фазовой и структурно-текстурной микронеоднородности объектов методом рентгеновской микротомографии. Методические рекомендации № 130 // Утверждены НСОММИ. М.: ВНИИгеосистем. 1999. 53 с.
8. Якушина О.А., Ожогина Е.Г., Хозяинов М.С. Университет Дубна, ФГУП ВИМС им. Н.М. Федоровского. О возможности оперативной оценки качества минерального сырья при решении технологических задач методом рентгеномикрографии. Георазрез, <http://georazrez.uni-du>.

К ВОПРОСУ ПЕРЕСЧЕТА ПАСПОРТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОНАСОСОВ С ВОДЫ НА ГИДРОСМЕСЬ

*Дробаденко В.П. (МГРИ, drobadenko@mail.ru),
Малухин Г.Н. (Инвестрегионпром, gmalukhin@info-prof.ru), Салахов И.Н.
(МГРИ, ilmirest@yandex.ru)*

Аннотация

В статье излагается анализ методов перерасчета паспортных рабочих характеристик землесоса ЗГМ-2М по воде, устанавливаемых обычно для грунтонасосов при заводских испытаниях на перекачиваемую гидросмесь определенной объемной концентрации. Сравнение расходно-напорных характеристик (Q-H) агрегатов, вычисляемых по различным методикам с их тестированием при эксплуатации грунтонасосов показывает, что наибольшую сходимость имеют расчеты, предложенным ВНИИ Гидромашем. Аналогичное тестирование, выполненное также для грунтонасоса ГрТ 1600/50 позволяет сделать вывод, что этот метод может быть наиболее приемлемым и действительным для рекомендаций в расчетах при проектировании систем трубопроводного транспорта.

Ключевые слова

Землесос, грунтонасос, рабочие расходно-напорные, потребляемая мощность, гидросмесь, расчеты, тестирование, режимы работы, гидротранспортирование, формулы, уравнения, объемная концентрация, напор, расход.

Известно, что для трубопроводного транспорта с центробежными насосами режимы работы устанавливаются рабочими характеристиками этих агрегатов, которые представляют собой функциональные зависимости развиваемого напора $H=f(Q)$, расходуемой мощности $N=f(Q)$, допустимой высотой всасывания $H_{вс}^{доп} = f(Q)$, коэффициентом полезного действия $\eta=f(Q)$ от производительности установки. Для грунтовых насосов с данной концентрацией гидросмеси при наложении характеристик пульповода на характеристику грунтонасоса устанавливается оптимальный режим работы гидротранспортирования, на основе расчета точки пересечения кривой Q-H перекачивающей установки и трубопровода.

Заводские испытания с целью определения землесосов или центробежных насосов обычно приводятся на воде, и методика их расчета подробно излагается во многих работах. Характеристики землесосов, снятые на воде, обычно принимаются в качестве стандарта или эталона, с которыми потом сравниваются характеристики, снятые при работе на гидросмеси различной концентрации. Однако, характеристики грунтонасосов при работе на гидросмеси существенно отличаются от характеристик, которые снимаются обычно при заводских испытаниях. Это важно учитывать, как при расчетах, так и при проектировании и эксплуатации трубопроводного транспорта. Многие авторы предлагают различные методики, однако, никто из них не приводит не только опытных данных, но и соображений (доводов), послуживших основанием для этих выводов.

В центробежных насосах для воды и гидросмеси вследствие разности числа лопастей и оборотов рабочего колеса, а также гранулометрического состава исходного сыпучего материала, их эксплуатационные характеристики (рабочие и кавитационные) существенно различаются. При различных объемных концентрациях транспортируемой пульпы изменяется развиваемый напор, потребляемая мощность и к.п.д. насоса, чем для однородной жидкости.

Перерасчет рабочих расходно-напорных (Q-H), мощностных (Q-N) и к.п.д. (Q-η) характеристик грунтонасоса с воды на пульпу осуществляется в связи с изменением режимов гидротранспортирования в зависимости от концентрации и гранулометрического состава сыпучего материала.

Таким образом, учитываются наличие в потоке твердых частиц и их влияние на гидродинамику процесса. В литературных источниках существуют различные формулы для пересчета значений паспортных характеристик грунтонасосов по воде для перерасчета на пульпу, которые из-за небольшого объема данной статьи не могут быть приведены. В основу их положен один обобщенный показатель $d_{ср}$ и соответственно параметры H , η , N пересчитываются на основании этого средневзвешенного диаметра, которые, однако, неравнозначно определяют эти величины.

Так, напор, создаваемый грунтовым насосом при работе на пульпе, рекомендуется рассчитывать по уравнению из инструкции по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов [1]:

$$H_{см} = K_0 \cdot H_0 \cdot \left(1 + \frac{C_0^{-1.2}}{\sqrt{\varphi}}\right)$$

Где K_0 – безразмерный коэффициент;

H_0 – напор, развиваемый при работе на воде, м.вод.ст.;

C_0 – действительная объемная концентрация;

φ – средневзвешенное значение коэффициента транспортабельности потока по крупности:

$$\varphi_{ср} = \frac{\sum \varphi_i \cdot P_i}{100}$$

где φ_i – коэффициент транспортабельности отдельной фракции;

P_i – процентное содержание i -той фракции.

Другое уравнение пересчета, предложение Б.М. Шкундиным [2]:

$$H_r = H_0 \cdot \frac{\rho_r}{\rho_0} \cdot \left(1 - 0,57 \cdot \frac{\rho_r - \rho_0}{\rho_r}\right)$$

ρ_0 – плотность несущей жидкости, кг/м³;

ρ_r – плотность гидросмеси, кг/м³

$$\rho_r = S \cdot (\rho_r - \rho_0) + \rho_0$$

ВНИИ Гидромаш рекомендует для пересчета следующее уравнение [3]:

$$H_r = H_0 \cdot \left[1 - K_p \cdot K_z \cdot K_{2\beta_{л}} \cdot \frac{\rho_r - \rho_0}{\rho_r} \cdot \sum K_H^i \cdot \frac{q_i}{100}\right]$$

где K_p – коэффициент, учитывающий режим работы насоса:

$$K_p = 1,94 - 1,68 \cdot \frac{Q}{Q_0} + 0,74 \cdot \left(\frac{Q}{Q_0}\right)^2$$

где Q_0 – нормальный режим работы насоса;

Q – фактический режим работы насоса;

K_z - коэффициент числа лопаток рабочего колеса:

$$K_z = 0,546 + 0,159 \cdot z - 0,011 \cdot z^2$$

где z – число лопаток.

$K_{2\beta_{л}}$ - коэффициент угла выхода лопатки:

$$K_{2\beta_{л}} = 1,215 - 0,0077 \cdot \beta_{2л}$$

где $\beta_{2л}$ – угол вылета лопатки рабочего колеса.

Уравнение пересчета мощностных характеристик с воды на гидросмесь [3]:

$$N_r = N_0 \cdot \frac{\rho_r}{\rho_0}$$

Где N_0 – мощность, потребляемая насосом на воде.

Уравнение пересчета к.п.д. с воды на гидросмесь [3]:

$$\eta_r = \eta_0 \cdot \frac{H_r}{H_0}$$

Где η_0 – к.п.д. на воде.

Таблица 1. Результаты перерасчетов (Q-H) по различным методикам.

Расход, кг/м ³	Напор, м				Эксперименталь ные данные
	Паспортная характеристика на воде	ВНИИ Гидромаш	ВНИИ Гидротехники им. Веденеева	Б.М. Шкундин	
300	62,5	60,71	76,51	69,36	
500	62	60,38	75,89	68,8	
1000	60	58,72	73,45	66,58	57,6
1500	56,3	55,28	68,92	62,48	54,5
2000	52	51,13	63,65	57,71	50,25
2500	47,3	46,49	57,9	52,49	
3000	31,5	30,89	38,56	34,95	

Анализ данных уравнений показывает, что наиболее полный охват возможных факторов на изменение напора учитывается в методике расчета, представленной ВНИИ Гидромаш (табл. 1). Так, в отличие от уравнений, разработанных в ВНИИ Гидротехники им. Веденеева или Б.М. Шкундиным, которые, в качестве входных данных используют только концентрацию гидросмеси, а также плотности ее компонентов, уравнения, представленные ВНИИ Гидромаш, охватывают большее количество факторов, таких как режим работы насоса, количество лопаток в нем, а также угол выхода этих лопаток из рабочего колеса.

На рис. 1 представлены расходно-напорные характеристик землесоса ЗГМ-2М при работе на гидросмеси со средним диаметром 0,305 мм с объемной концентрацией 15%.

Анализ результатов расчетов показывает, что наиболее близкими к фактическим данным, полученным при тестировании этого землесоса, а также грунтонасоса ГрТ 1600-50 на предприятии, является методика ВНИИ Гидромаш (табл.2).

Таблица 2. Сравнение расчетных данных с экспериментальными.

Расход, м ³ /ч	Погрешность, %		
	ВНИИ Гидромаш	ВНИИ Гидротехники им. Веденеева	Б.М. Шкундин
1000	2,0	21,5	13,5
1500	1,5	21,0	12,8
2000	1,8	21,1	13,0

Испытания, проведенные при эксплуатации этих агрегатов, также показали, что с увеличением концентрации транспортируемой гидросмеси уменьшается развиваемый грунтонасосом напор, повышается потребляемая мощность и уменьшается к.п.д. При этом изменяется расход гидросмеси, что увеличивает возможность образования зоны кавитации, когда агрегат работает недостаточно устойчиво и может прекратить подачу, вследствие срыва вакуума (разрыва сплошности потока) во всасывающей трубе.

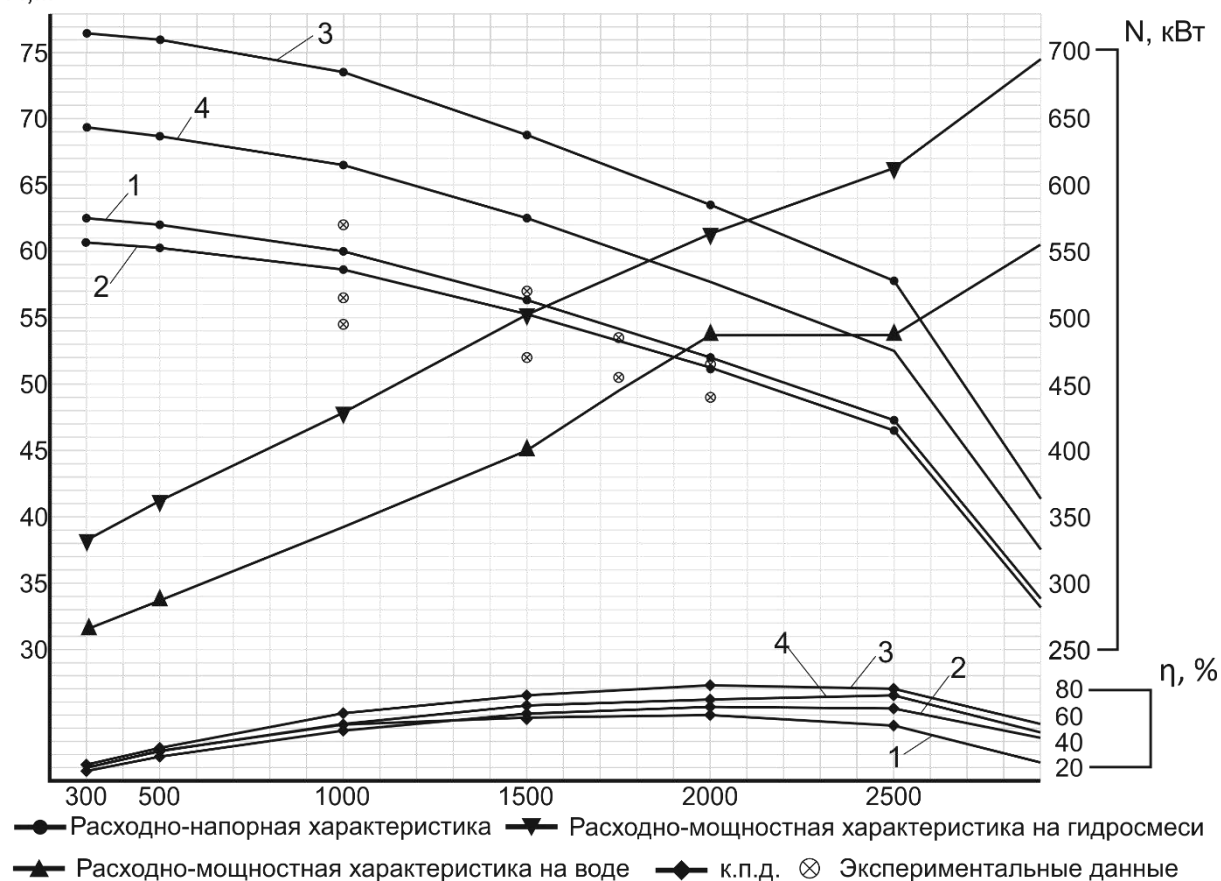


Рисунок 1. Перерасчет паспортных характеристик насоса ЗГМ-2М с воды на гидросмесь.

1 – паспортные данные на воде; 2 – ВНИИ Гидромаш; 3 – ВНИИ Гидротехники им. Веденеева; 4 – Б.М. Шкундин.

Литература:

1. Инструкция по гидравлическому расчету систем напорного гидротранспорта грунтов. «Энергрия», Ленинградское отделение, 1972г.
2. Шкундин Б.М. Землесосные снаряды. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, переработанное. М. «Энергрия», 1972 г.
3. Центробежные насосы для абразивных гидросмесей. Каталог. ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, М. 1989 г.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРОВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС ДЕЭМУЛЬСАЦИИ СИСТЕМЫ: ВОДА-НЕФТЬ

Собаев А.Г. (МГРИ, sobaev.a.g@mail.ru)

Аннотация

Обводнение скважиной продукции нефтяных месторождений осложняет процесс добычи и транспортировки, является причиной отказа работы подземного оборудования, выхода из строя насосных агрегатов, способствует повышению коррозионной активности. По мере продвижения двухфазного потока (вода, нефть) неминуемо образуется дисперсная система-эмульсия, обладающая качественно новыми свойствами отличными от слагаемых компонентов. Разделение водонефтяной эмульсии является сложным и дорогостоящим процессом, требующим большие энергозатраты не сопоставимые с выходом получаемого сырья (отношение затрат на эл. энергию к стоимости дополнительно полученных объёмов нефти).

Ключевые слова обводнение скважин, водонефтяная эмульсия, подготовка нефти, микроволновое воздействие, деэмульсация.

Целью данной работы является: анализ эффективности микроволнового воздействия для разделения водонефтяных эмульсий; модификация существующих методов воздействия для повышения качества получаемой продукции; снижение стоимости проводимых операций.

Рассматриваемый метод деэмульсации является энергосберегающим вариантом теплового обработки продукции т.к. передача тепловой энергии осуществляется без нагревающего элемента.

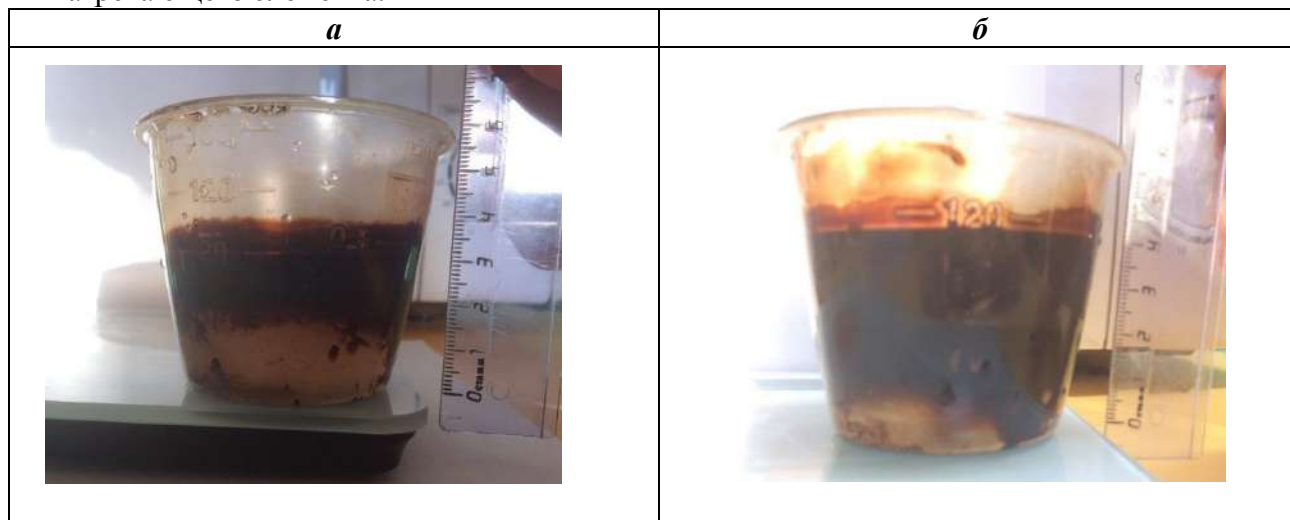


Рисунок 1. Определение высоты контакта двух фаз для образцов с различным водосодержанием: (а) 40%, (б) 30%

Под действием микроволнового облучения, на межмолекулярном уровне инициируется колебание, приводящее в движение диполи воды. В результате за счёт сил внутреннего трения происходит нагрев продукции. Повышение температуры способствует деструкции бронирующей оболочки.

При проведении серии экспериментов по облучению образцов с различным объёмным соотношением фаз, было установлено, что динамика нагрева имеет сложный

нелинейный характер. Такое поведение обусловлено рядом факторов: компонентный состав нефти, количество растворённых солей, соотношение объёмов фаз нефти и воды, объём и форма измерительного сосуда и др.

Для оценки эффективности микроволнового воздействия определяли количество выделившейся воды после обработки, замеряя высоту контакта двух фаз. Было установлено, что скорость расслоения фаз выше в сравнении с гравитационным методом разделения.

Для данного исследования были приготовлены 30 проб эмульсий с различным объёмным соотношением фаз: 90:10; 80:20; 70:30; 60:40; 50:50. Было выявлено, что вне зависимости от соотношения объёма фаз скорость расслоения лежит в пределах 12-15 минут. Такой результат был зафиксирован после облучения образцов в течение одной минуты. При обработке эмульсии до 40 секунд не было выявлено существенной динамики изменения скорости отстаивания по сравнению с контрольной группой.

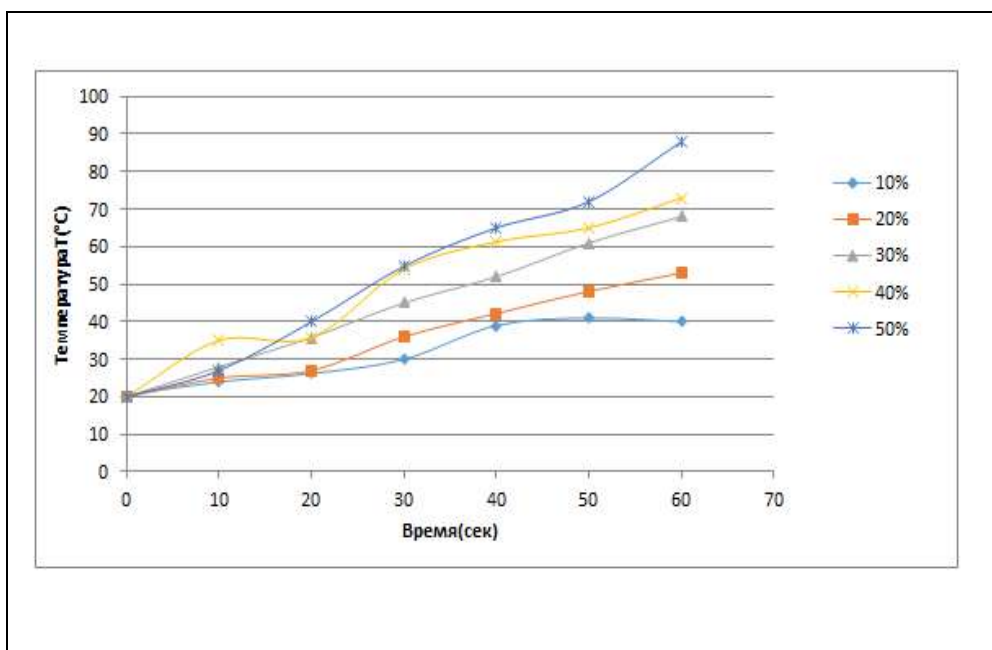


Рисунок 2. Зависимость скорости нагрева эмульсии от содержания водной фазы в эмульсии: 10%, 20%, 30%, 40%, 50%

Основываясь на результатах исследования, были определены оптимальные диапазоны времени непрерывного облучения, соответствующие порядка 120 с (для данных объёмов). Дальнейшее проведение обработки в рассмотренных условиях невозможно из-за нестабильного поведения системы, зафиксировано вскипание капель воды.

В ходе исследования были определены дальнейшие направления развития данной методики: переменное изменение частоты облучателя (для снижения энергозатрат), комбинирование с химическими реагентами (для снижения минимальной концентрации), предотвращение вскипания, определение оптимальной формы аппарата.

Обработка водонефтяных эмульсий с помощью микроволн, является перспективным направлением по ряду причин: отсутствует активные реагенты влияющие на качество продукции, требуется меньшее количество подводимой энергии.



Литература

- 1 Евдокимов И.Н. Структурные характеристики промышленных водонефтяных эмульсий: Учебное пособие для вузов. - М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина 2012.-477 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИВОДА БУРОВЫХ НАСОСОВ С ПОМОЩЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Соловьев И.М. (МГРИ, ims@mgri-rggru.ru), Соловьев А.М. (МГРИ, cyberlab@mail.ru)*

Аннотация

При проведении геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые, чаще всего применяется ступенчато-регулируемый электропривод переменного тока. В настоящее время созданы все предпосылки для модернизации этого привода с целью повышения энергоэффективности бурения. Один из наиболее перспективных способов в достижении этой цели, это использование современных частотных преобразователей, позволяющих не только повысить экономичность работы бурового насоса, но и упростить его конструкцию, увеличить межремонтные периоды и стать основой для возможной автоматизации этого оборудования.

Ключевые слова: буровые насосы, оптимизация электропривода, частотное регулирование.

В настоящее время основной объем геологоразведочных работ выполняется буровым способом. Без бурения не обходится разведка практически ни одного вида полезных ископаемых как твердых, так жидких и газообразных. Техническими средствами для проведения бурения в зависимости от стадии геологоразведочных работ могут служить различные буровые установки, но практически любой вид вращательного, вращательно-ударного и ударно-вращательного бурения сопровождается промывкой скважины с целью очищения забоя от шлама и охлаждения породоразрушающего инструмента. Исключение составляют лишь особые условия пустынь и вечной мерзлоты, где целесообразнее использовать продувку сжатым воздухом.

Средствами промывки на геологоразведочном бурении как в России, так и за рубежом, служат поршневые и плунжерные буровые насосы. Отечественные буровые насосы, в основном, выпускаются с нерегулируемым электроприводом переменного тока, оснащенным механической коробкой передач, что позволяет регулировать подачу насоса ступенчато. Объем разведочного бурения в Российской Федерации находится на уровне 1,5-2 миллионов погонных метров в год и имеет тенденцию к росту. При этом затраты энергии на промывку занимают заметную часть общих затрат энергии на бурение. Поэтому оптимизация привода буровых насосов является актуальным направлением, особенно сейчас, в условиях роста стоимости отпускаемой электроэнергии и стоимости за её подключение в случае питания от региональной линии электропередачи.

Ступенчатое регулирование подачи буровых насосов не позволяет точно соблюдать расчетный режим промывки скважины, что приводит к перерасходу электроэнергии. Кроме того, применение гидроударников для увеличения скорости проходки, обратной циркуляции жидкости для повышения выхода керна, гидротранспорта керна и многих других специальных технологических приемов и технических устройств требует от бурового насоса возможности плавного регулирования расхода и напора в широких пределах, согласно заданным технологическим параметрам бурения.

Наилучший способ осуществить плавное частотное регулирование бурового насоса с электроприводом переменного тока – это оснастить его преобразователем частоты питающего напряжения. Среди всего многообразия преобразователей частоты,

преобразователь частоты на базе автономного инвертера на IGBT-модулях с широтно-импульсной модуляцией и векторным алгоритмом управления асинхронным электродвигателем является наиболее прогрессивным по сравнению с другими типами преобразователей. Он характеризуется высоким значением коэффициента мощности во всем диапазоне изменения выходной частоты. Частотно-регулируемый электропривод — это экономичное средство регулирования работы бурового насоса и ограничения динамических перегрузок, что увеличивает долговечность насоса.

Если на мощных насосных установках, применяемых при бурении на нефть и газ частотно-регулируемый электропривод применяется относительно давно, то при проведении геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые этот привод применяется редко, в связи с высокой стоимостью частотных преобразователей и необходимостью иметь специалистов высокой квалификации при его обслуживании. Однако, за последнее время себестоимость частотных преобразователей значительно снизилась, а все плюсы, даваемые этим приводом, в настоящее время значительно перевешивают недостатки. Использование частотного регулирования на буровом насосном оборудовании позволяет:

- максимально использовать мощность приводного двигателя;
- обеспечить плавный пуск двигателя;
- исключить динамические перегрузки;
- создать оптимальные условия для очистки скважины в процессе бурения;
- обеспечить оптимальный расход электроэнергии;
- повысить срок службы насоса, благодаря уменьшению динамических нагрузок и более экономичному ходу двигателя;
- обеспечить более широкий диапазон подачи промысловой жидкости;
- упростить конструкцию насоса, исключив из нее коробку передач;
- повысить коэффициент полезного действия насоса, не только обеспечивая высокий коэффициент мощности приводного двигателя в широком диапазоне регулирования, но и за счет исключения потерь на механические потери в коробке передач.

Литература

1. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках // Москва. Энергоатомиздат. 2006.
2. Соловьев А.М. Повышение энергетических параметров буровых работ на твердые полезные ископаемые путем освоения и модернизации частотно-регулируемого привода // Дис. Ктн: 25.00.14. Москва. 2016.
3. Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Косьянов В.А. Энергообеспечение технологических потребителей геологоразведочных работ // ИПЦ Маска. Москва. 2008.
4. Ильский Н.Ф., Москаленко В.В. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение // Москва. Издательский центр "Академия". 2008.

ХРОМИТЫ ГИПЕРБАЗИТОВОГО КОМПЛЕКСА МАТУН (ВОСТОЧНЫЙ АФГАНИСТАН)

*Туров А.В. * (МГРИ, avturov@yandex.ru),
Брюховецкий О.С. (МГРИ, bos.rggru@mail.ru)*

Аннотация

Приведено описание хромитового оруденения провинции Парван (Республика Афганистан), представленного группой мелких разобщенных рудных залежей массива Таркомар. Проведено сопоставление хромитового оруденения провинции Парван и провинции Логар, позволившее оценить запасы хромитовых руд в провинции Парван.

Ключевые слова: Афганистан, Кабульский блок, провинция Парван, массив Таркомар, гипербазиты, эоцен, хромитовое оруденение, линзовидная залежь.

В 2013-2014 гг. авторы в составе коллектива сотрудников МГРИ выполняли научно-исследовательские работы по договору с компанией “Hewad Brothers Mining Company” по анализу и оценке минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых провинции Парван в восточном Афганистане. Программой работы предусматривалось посещение хромитовых рудопроявлений в провинциях Парван и Логар. Некоторые результаты этих исследований приведены ниже.

Провинции Парван и Логар расположены на территории Кабульского тектонического блока в центральной части Восточного Афганистана. Блок вытянут в меридиональном направлении на 190 км, при ширине около 70 км, и имеет в плане форму асимметричной линзы с более выпуклой восточной стороной.

В общей структуре Афганистана Кабульский блок занимает центральное положение, объединяя в единую субширотную зону позднедокембрийские срединные массивы. На севере, в районе Джабль-Уссараджа, Кабульский блок выклинивается, «упираясь» в зону Пандшерского разлома, ограничивающего с юго-востока Афгано-Северопамирскую герцинскую складчатую систему. На северо-востоке он граничит с Нуристан-Памирским срединным массивом, на востоке и юго-востоке – со структурами Сулейман-Киртарской альпийской складчатой системы, на западе – с Центрально-Афганским срединным массивом, который, как и Нуристан-Памирский массив, имеет позднепротерозойский фундамент. От смежных структур Кабульский блок повсеместно отделен зонами глубинных разломов: на западе – Чаман-Мукурской, на востоке – дугообразной Сароби-Альтимурской. Субширотной поперечной зоной Унай-Спингарского разлома блок разделен на две неравные части [1, 2].

В строении Кабульского блока принимают участие структурно-формационные комплексы протерозойского складчатого фундамента и палеозойско-кайнозойского осадочного чехла. Комплекс фундамента образован метаморфическими толщами, представленными различными гнейсами, кристаллическими сланцами, кварцитами, мраморами, доломитами, пара- и ортоамфиболитами общей мощностью 4800—5500 м, и интрузивными телами протерозойских гранитоидов.

Осадочный чехол (более 12000 м) сохранился лишь на отдельных участках и представлен терригенно-карбонатными, реже вулканогенными комплексами различного возраста (вендско-кембрийский, каменноугольно-раннепермский, позднепермско-триасовый, неоген-четвертичный). Отложения чехла прорваны интрузиями хромитоносных гипербазитов эоценового возраста, гранитоидов олигоцена, и смяты в складки разной интенсивности (от линейных голоморфных до прерывистых брахиформных).

Эоценовые интрузивные массивы ультраосновных пород (гипербазтов) Кабульского блока К.Ф. Стажило-Алексеевым отнесены к комплексу Матун и разделены на две группы: Логарскую и Альтимур-Тарнакскую [1].

Логарская группа массивов ультраосновных пород локализована в южной части блока Кабул и включает крупный массив Логар, тела серпентинитов, распространенных на левобережье р. Кабул и ряд небольших линзовидных и пластообразных тел гипербазитов в юго-западной части рассматриваемого блока. Гипербазитовые массивы Логарской группы развиты среди вулканогенно-терригенных вендско-кембрийских и филлит-карбонатных верхнепалеозойских и нижнемезозойских толщ. В этой группе наиболее хорошо изучен массив Логар, представляющий крупный интрузив, форма которого еще во многом не ясна. В коллективной монографии [2] определенно указывается, что он представляет собой лакколит, а в [1] отмечается, что форма массива лополитообразная. Мощность массива превышает 1000 м, в плане он имеет форму неправильного овала, вытянутого в субмеридиональном направлении на 65 км при ширине 40 км. В строении массива Логар принимают участие главным образом перидотиты, гарцбургиты, дуниты, пироксениты, лерцолиты, серпентиниты. Перидотиты в различных соотношениях ассоциируются с дунитами. Нижние горизонты сложены мощными слоями перидотитов и дунитов (последние преобладают), в средней части массива доминируют гарцбургиты, с подчиненным количеством дунитов, а в верхней – пироксениты с подчиненными лерцолитами. Дуниты обычно образуют линзообразные шпирсы и полосы в различных частях массива. Мощность их невелика и обычно колеблется от первых дециметров до нескольких метров. Иногда встречаются крупные тела дунитов от 20—40 м до нескольких сот метров в поперечнике.

С гипребазитами Логарского массива ассоциируются хромитовые залежи, которые развиты на двух уровнях. Первый из них, сложенный сплошными и густо вкрапленными рудами, расположен в верхней части массива вблизи пироксенитов. Второй – находится в основании интрузива и представлен убого вкрапленными рудами.

Альтимур-Тарнакская группа массивов ультраосновных пород приурочена к сароби-альтимурской зоне разломов, ограничивающей Кабульский блок с востока. Массивы протягиваются узкой прерывистой полосой в северо-восточном направлении от бассейна р. Тарнак на юге в район ущелья Танги-гару восточнее г. Кабул, образуя единый пояс. Вмещающими породами для гипербазитов являются известняково-терригенные толщи венда-кембрия, палеозоя и терригенно-вулканогенные образования триасового и мелового-палеоценового возраста. Гипербазитовые массивы Альтимур-Тарнакской группы ассоциируются с толщами основных вулканитов и кремнистых пород, совместно с которыми в мощных тектонических зонах они образуют «цветной меланж» [1]. Массивы этой группы представлены мелкими телами, имеющими в плане линзовидную, иногда неправильную форму. Размеры их колеблются в значительных пределах: от мелких линз (1—8 м) до крупных массивов протяженностью 3—10 км и шириной до 1 км. Все они вытянуты в северо-восточном направлении согласно с общим простираанием вмещающих толщ.

Гипербазиты Альтимур-Тарнакской группы сложены серпентинитами, перидотитами, дунитами, причем мелкие тела представлены серпентинитами, среди которых, иногда сохраняются реликты перидотитов. Крупные массивы образованы серпентинитами, серпентинизированными перидотитами и изредка дунитами.

На северо-востоке Кабульского блока расположен массив Торкамар, приуроченный к широтному разлому Чарикар. В составе гипербазитов этого массива широко распространены дуниты, серпентинизированные дуниты и серпентиниты. Среди дунитов встречаются небольшие шпирсы хромитов. Несмотря на то, что

пространственно интрузив расположен ближе к гипербазитам Альтимур-Тарнакской группы, особенности состава и структурная приуроченность, по нашему мнению, позволяют отнести массив Торкамар к Логарской группе.

Проявления хромитовой минерализации на территории Кабульского блока связаны с двумя основными площадями выхода на поверхность эоценовых ультраосновных интрузивных массивов комплекса Матун в провинциях Логар и Парван. В провинции Логар известно единственное месторождение Логар, приуроченное к одноименному массиву, и ряд еще плохо изученных рудопроявлений. В провинции Парван хромитоносным является массив Торкамар, в котором наряду с известными рудопроявлением Джургати, в последние годы выявлено еще 25 хромитовых залежей (Шамальхель и др.).

Хромитовые руды комплекса Матун отличаются хорошим качеством, являются сплошными и густовкрапленными. Они приурочены к дунитам и разделены на три группы [1]: хромсодержащие дуниты, средневкрапленные хромитовые руды и сплошная хромитовая руда.

Хромсодержащие дуниты представлены светлыми фисташково-зелеными массивными породами, в которых на светлом фоне отчетливо выделяются полосы и цепочки редко вкрапленных черных хромшпинелидов. Дуниты на 80% состоят из изометричных зерен оливина (до 5 мм в поперечнике) и на 20% из мелких идиоморфных зерен хромшпинелидов.

Средневкрапленные хромитовые руды состоят из хромшпинелидов (30—40%) и оливина (60—70%). Хромшпинелиды представлены идиоморфными изометричными зернами (до 1,5 мм) и их сростками. Оливин представлен овальными неправильной формы зернами, иногда с включениями хромшпинелидов.

Сплошная хромитовая руда на 90—95% состоит из слабопросвечивающейся бурым цветом сплошной массы хромшпинелидов, по трещинам и пустотам в которой развит серпентин и мелкие зерна оливина.

Хромиты комплекса Матун отличаются сложной формой залежей, в основном в виде удлинённых, линзовидных тел, присутствующих полособразными группами. Например, на хромитовом месторождении Логар рудные залежи имеют протяженность 30—50 м (максимум 100 м) при мощности 1—5 м (максимум 10 м, в среднем 3 м), продолжение на глубину достигает 20 м [2].

На изученном нами рудопроявлении Шамальхель (массив Таркамар) рудная залежь (Рис. 1) представлена двумя широтно расположенными коренными скальными выходами тела сплошных хромитовых руд (Рис. 2) общей протяженностью приблизительно 30 м, при мощности до 3 м и продолжением на глубину не менее 20 м, что хорошо коррелируется с данными по месторождению Логар. Можно считать, что и остальные 24 залежи, установленные на массиве Таркамар, имеют схожие параметры. Это позволяет провести прогнозную оценку хромитового оруденения массива Таркамар провинции Парван. Количество хромитовой руды в залежи Шамальхель может достигать около 7200 т, а при наличии еще 24 подобных залежей общая оценка запасов в пределах массива Таркамар может составлять около 180,0 тыс. т. Запасы хромитовых руд на месторождении Логар по результатам разведочных работ оцениваются в 181,2 тыс. т. Данные по месторождению Логар удивительно близки к нашей оценке запасов руды в провинции Парван. Косвенно это свидетельствует о том, что в пределах групп рудных залежей провинций Логар и Парван количество известных рудных залежей тоже является близким – 25 в каждой провинции.



Рисунок 1. Вид рудопроявления Шамальхель.



Рисунок 2. Хромитовые руды залежи Шамальхель.

Выводы

Выявленные значительные проявления хромитового оруденения в Восточном Афганистане, связаны с комплексом молодых ультраосновных интрузивных пород эоценового возраста, выходы которых контролируются глубинными разломами, окаймляющими Кабульский тектонический блок с юго-запада (Логарский массив с месторождением Логар) и северо-востока (массив Торкамар с рудопроявлениями Джургати, Шамальхель и др., всего 25 рудопроявлений).

Общие выявленные ресурсы двух основных хромитоносных массивов Афганистана практически одинаковые и они суммарно не превышают 400 тыс. т. руды. Так как, определенные данные о хромитоносности других эоценовых интрузий ультраосновного состава в Афганистане практически отсутствуют, то можно оценить общие масштабы известного хромитового оруденения Афганистана величиной около 500 тыс. т. При более детальном изучении, с применением геофизических методов для прослеживания оруденения на глубину, возможность выявления в Афганистане пока не известных более крупных рудных тел не исключается.

Хромитовые руды провинций Логар и Парван относятся к качественному металлургическому типу, присутствуют в виде мелких (до 10 тыс. т. руды) разрозненных рудных залежей, представляющих собой отдельные разобщенные друг от друга самостоятельные рудопроявления. Таким образом, вышеуказанные ресурсы хромитов в Афганистане рассредоточены между большим количеством часто далеко отстоящих друг от друга рудных залежей – отдельных месторождений. При современной обеспеченности мирового рынка хромитовым сырьем для отнесения месторождения к категории «мелкого промышленного месторождения» требуется наличие на нем запасов не менее 1 млн. т. Месторождения с такими запасами в провинциях Логар и Парван, в Афганистане в целом пока не выявлены. Перспективы выявления в Афганистане новых, более крупных месторождений высококачественных хромитов в процессе проведения дальнейших поисково-разведочных работ – имеются. Открытие таких месторождений повлияет на общую оценку запасов хромитов страны.

Литература

1. Магматизм и эндогенная металлогения Афганистана. Ред. В.В. Ярмолюк, К.Ф. Стажило-Алексеев. М.: ООО «Геоинформмарк». 2012. - 480 с.
2. Геологическое строение и полезные ископаемые центральной части Кабульского срединного массива. Кн. 2. Полезные ископаемые. Чмырев В.М. и др. Недра. 1980. - - 360 с.

К ВОПРОСУ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ БУРОВЫХ РАБОТ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Тышкевич И.В. (МГРИ, ivan_tyshkevich@list.ru),
Лимитовский А.М. (МГРИ, cyberlab@mail.ru)*

Аннотация

Особенностью развития электротехнических комплексов в настоящий момент является расширение области применения регулируемых электроприводов в основном за счет количественного и качественного роста электроприводов переменного тока. Достигнутые за последние годы успехи в совершенствовании полупроводниковых преобразователей частоты дают основание предполагать, что в ближайшие годы развитие регулируемых электроприводов переменного тока, использующих асинхронные короткозамкнутые двигатели более простой конструкции и меньшей металлоемкости, приведет к интенсивному вытеснению регулируемых электроприводов постоянного тока. Основные преимущества таких электроприводов заключаются в простоте, надежности, экономичности и долговечности асинхронного двигателя. Применение электропривода переменного тока позволяет минимизировать затраты на запасные части, аппаратуру коммутации, эксплуатацию и ремонт двигателей и аппаратуры управления, а также расход электроэнергии.

Ключевые слова: буровые установки, частотно-регулируемый электропривод, энергетические комплексы.

Объекты минерально-сырьевого комплекса, включающие в себя как геологоразведочные и горные работы так и нефтегазовую промышленность являются одной из ведущих отраслей народного хозяйства. Не смотря на большое многообразие условий их производства и технического оснащения имеют целый ряд общих специфических особенностей, присущих непосредственно отдельно взятой области, без учёта которых не может быть представлена эффективная система энергообеспечения предприятий отрасли и их эффективная эксплуатация. К числу таких особенностей можно отнести удалённость объектов от централизованных энергосистем и потребность их как в электрической, так и тепловой энергии. Так же одной из важнейших особенностей можно выделить высокую энергоёмкость проводимых работ, на которых доля энергетических затрат достигает 40% от общего вложения средств. Сюда же относится передвижной характер работ, ограниченные сроки их проведения и увязка энергообеспечения с предполагаемыми перспективами развития предприятия. Особыми условиями отрасли можно выделить большое влияние горно-геологических, технологических, климатических факторов на выбор энергетического оборудования и обоснования категоричности системы энергоснабжения.

Непосредственно рассматривая предприятия горно-геологического профиля используются различные виды энергии (электрическая, тепловая, пневматическая), но базовой является электроэнергия, обладающая такими свойствами, как возможность преобразования её в любой другой вид энергии, передача на любые расстояния, преобразование параметров применительно к потребностям объекта, высокая степень автоматизации и компактности электрооборудования, экологическая чистота.

Основной объём геологоразведочных работ как на твёрдые, так и на жидкие полезные ископаемые выполняется буровым способом. При буровых работах на твёрдые полезные ископаемые используются, как самоходные, так и передвижные буровые установки. Первые из них более мобильны и нашли широкое применение при поиске и предварительной разведке месторождений полезных ископаемых [Таб.1].

Буровые установки глубокого бурения свыше 4500 метров относятся к потребителям первой категории и при их использовании с увеличением глубины бурения возникает необходимость повышения мощности главных электроприводов буровых установок.

Для существенного снижения энергозатрат и увеличение производительности предлагается использовать частотно-регулируемый электропривод, который обладает меньшим весом, сокращает эксплуатационные затраты, имеет высокую надёжность и более простое обслуживание. Практика применения частотно-регулируемого электропривода для управления различными типами рабочих машин доказывает целесообразность его применения не только для управления ими, но и для создания специализированных систем управления технологическим процессом. Такой подход позволяет получить экономический эффект как от снижения потребляемой из сети электрической энергии, так и добиться (существенного уменьшения эксплуатационных расходов, улучшения условий труда и увеличения срока службы оборудования).

Современные преобразователи частоты позволяют получить информацию о большом числе параметров состояния электропривода и технологического процесса. Соответствующая обработка этих параметров позволяет реализовать глубокое диагностирование оборудования и всего технологического процесса, дает возможность оптимизировать процесс и предотвращать аварийные ситуации. Другой особенностью является повышение требований к характеристикам регулируемого электропривода, усложнение и расширение его функций, связанных с управлением технологическим процессом, и соответствующее возрастание сложности систем управления.

Важное место в развитии современного электропривода занимают вопросы унификации элементной базы и схемотехнических решений, создания унифицированных комплектных систем электропривода. Эти принципы положены в основу создания современных систем регулируемого электропривода постоянного и переменного тока.

Освоение новых регионов добычи углеводородного сырья на севере и востоке России, их удаленность от источников централизованного электроснабжения вызывают необходимость их обеспечения энергией от автономных источников.

	Классы										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Диапазон глубин бурения, м	600-1250	1000-1600	1250-2000	1600-2500	2000-3200	2500-4000	3200-5000	4000-6500	5000-8000	6500-10000	8000-12500
Допустимая нагрузка на крюке, МН	0,8	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0
Расчётная мощность на входе на валу подъёмного агрегата, кВт	200-240	240-320	300-440	440-550	550-670	670-900	900-1100	1100-1475	1475-2200	2200-2500	2500-2950
Расчетная мощность привода ротора не более, кВт	180	180	370	370	370	370	370	440	550	-	-
Род тока	переменный			переменный	постоянный		постоянный				
Мощность привода бурового насоса, не менее, кВт	375	475	600	600	600	750	750	950	1180	-	-
Число насосов	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3

Шифр установок с дизельным приводом	-	БУ-75 БрД	БУ-80 БрД	БУ-2500 ДГУ	БУ-3000 БД	БУ-3Д-76 БУ-4000 ДГУ	БУ-5000 ДГУ	БУ-6500 ДГ	-	-	БУ-300 ДЭ
Шифр установок с электроприводом	-	БУ-75 БрЭ	БУ-80 БрЭ	БУ-2500 ЭУ	БУ-3000 БЭ БУ-125 БЭ	БУ-4Э-76 БУ-4000 Э-1	БУ-5000 ЭУ	БУ-6500 Э	-	-	БУ-300 Э

Таблица 1. Характеристика установок эксплуатационного и глубокого разведочного бурения (ГОСТ 16293-82)

Литература

1. Абрамов Б.И. и др. Частично-регулируемый привод буровой установки БУ-4200/250. ООО «Электропром», 2008 (Для журнала «Электротехника», №1, 2009).
2. Алексеев В.В., Гланц А.А., Чайкин А.С. Передвижные и стационарные электростанции в геологоразведочных организациях. М., Недра, 1984. С.96-114.
3. Алексеев В.В., Гланц А.А. Экономия топливно-энергетических ресурсов в геологических организациях. М., Недра, 1986. С.58-64.
4. Белоусенко И.В., Шварц Г.Р., Великий С.Н., Ершов М.С., Яризов А.Д. «Новые технологии и современное оборудование в электроэнергетике нефтегазовой промышленности» М., 2007. С.218-220.
5. Лимитовский А.М., Косьянов В.А., «Электрооборудование и электроснабжение геологоразведочных работ», М., 2008. С.121-138.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КПД ДВС НА ГОРНЫХ И ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ

Фоменко А.А.* (МГРИ, Foma26199622@mail.ru),
Меркулов М.В. (МГРИ, mvm.07@mail.ru)

Аннотация

В докладе рассмотрена проблема повышения КПД двигателей внутреннего сгорания на горных работах и описаны современные методы её решения.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, коэффициент полезного действия, потери, повышение

Несмотря на все свои преимущества, ДВС имеет существенный недостаток – относительно невысокий КПД. Даже у самых современных ДВС он не превышает 50-53% у дизельных и 20-25% у бензиновых двигателей, поэтому проблема низкого КПД, относительно других двигателей, для ДВС является актуальной.

Основными видами потерь в ДВС являются:

- потери топлива
- потери тепла
- потери мощности

Поэтому КПД ДВС можно условно поделить на три части:

— топливная эффективность (учитывает потери топлива) - показывает, какое количество топлива эффективно сгорело в двигателе и превратилась в объём рабочих газов высокой температуры и высокого давления, а какая часть топлива так и не была сожжена и в виде продуктов неполного сгорания, обугленных частиц (в виде дыма, копоти и сажи), или вообще практически в виде чистых паров топлива, прошла двигатель напрямую и вылетела в выхлопную трубу;

— термический КПД (учитывает потери тепла) - показывает, какое количество тепла, полученного от сжигания топлива, превращается в полезную работу, а какое – бесполезно рассеивается в окружающем пространстве;

— механический КПД (учитывает потерю мощности) - показывает, какое количество механической работы превращается в силу крутящего момента на главном валу и передается потребителю, а какое – бесполезно расходуется на трение или затрачивается на привод обеспечивающих механизмов;

Проблема топливной эффективности заключается в том, что топливо сгорает в камере не полностью – даже самые современные поршневые двигатели сжигают не более 75% поступающего топлива.

В основном указывают две главные причины:

1) Нехватка времени для горения;

Сразу после того, как поршень достигает верхней мёртвой точки и начинается горение, он начинает опускаться вниз, из-за чего первые порции рабочей смеси будут гореть при высокой температуре и давлении, а последующие – в условиях резко снижающейся температуры и давления, из-за чего резко падает эффективность горения, и в результате топливо либо сгорает не полностью, либо вообще не сгорает, и уходит в выхлопную трубу.

Методы решения:

А) Использование каталитических «дожигателей». Их используют на современных автомобилях, ставя в выхлопную трубу, чтобы частицы или часть топлива, не сгоревшие в камере сгорания и попавшие в выхлопную трубу, догорели на поверхностях активных элементов. Однако этот способ никак не влияет на КПД – часть

топлива – то всё равно покинуло камеру сгорания, но он достаточно ощутимо снижает токсичность выброса – выхлоп автомобиля становится намного чище.

Б) Использование раннего зажигания. Данный метод представляет собой поджигание рабочей смеси и начала процесса горения ещё до прихода поршня в верхнюю мёртвую точку, чтобы как можно меньший объём рабочей смеси горел в условиях падающих температур и давления. Однако существенный недостаток этого метода – резкое возрастание нагрузки на кривошипно-шатунный механизм, так как ему приходится преодолевать помимо прочего ещё и сопротивление от горящей расширяющейся смеси, что ощутимо увеличивает нагрузку на коленвал, пальцы и поршни кривошипно-шатунный механизм.

2) Нехватка кислорода для горения.

Стоит заметить, что данный недостаток характерен только для бензиновых двигателей. Топливо сгорит не полностью, если в рабочей смеси будет много паров топлива и мало кислорода, потому что тогда для окисления углеводородов в топливе просто не хватит кислорода, в результате чего пары топлива уйдут в выхлоп не сгорев.

Методы решения.

На данный момент реально эффективных способах решения данной проблемы пока не найдено. Если сделать смесь, в которой будет мало паров топлива, но много кислорода – она сгорит полностью с максимально возможным КПД, но здесь появляется серьёзный недостаток – такая смесь будет гореть долго, что неприменимо в условиях реально действующего ДВС.

Основным направлением, позволяющим существенно повысить термический КПД, является решение вопросов рекуперации тепла.

Тепловой баланс ДВС складывается таким образом:

- тепло, теряемое от потерь через систему охлаждения - 30% - потери 1-й категории
- тепло, теряемое с выхлопными газами - 35% - потери 2-й категории
- тепло, переводимое в полезную работу - 35%;

Если потери тепла при отводе в систему охлаждения – это осознанное и необходимое снижение КПД, так как работа двигателя без системы охлаждения невозможна, то при рассмотрении потерь 2-й категории встаёт вопрос о рекуперации тепла – температура выхлопных газов из цилиндров колеблется от 800 до 1100 °С, из-за чего выхлопные коллекторы порой начинают раскаляться до малинового свечения. Это значит только одно — энергия горения топлива, превратившаяся во внутреннюю энергию газов горения в виде их высокой температуры, теряется безвозвратно и совершенно бесполезно.

В настоящее время основной путь избавления от этого недостатка – это создание максимального перепада температур, ведь согласно закону Карно тепловой двигатель с предельно возможным КПД должен иметь максимальную температуру рабочих газов в начале рабочего цикла, и минимальную температуру рабочих газов в конце цикла. Достичь максимальной температуры в начале цикла в настоящее время пытаются путём добавления паровой составляющей – в цилиндры предлагается впрыскивать воду, чтобы она, превращаясь в пар, резко повышала температуру и давление рабочей смеси, однако получению максимальной температуры в начале цикла мешает система охлаждения. Поэтому решение данной проблемы лежит через изменение конструкции двигателя.

Другой проблемой являются механические потери. Механический КПД учитывает заметные потери на преодоление сил трения и инерции движущих масс механизмов – шатуна, вала и т.д. – всего примерно 10% затраченной работы. Также причиной снижения механического КПД является скачкообразное изменение

крутящего момента, что особенно сильно сказывается на шатуне и поршне, необходимость сжатия рабочей смеси (причём, чем выше степень сжатия, тем больше потери) и необходимость привода многих вспомогательных механизмов двигателя.

Методы решения.

Пути преодоления этих недостатков также проходят через изменение конструкции, так как необходимо создать такую конструкцию двигателя, у которого давление рабочих газов не прижимало бы главный движущийся рабочий орган к неподвижному корпусу, а также позволяла иметь постоянное плечо крутящего момента на всем пути движения главного рабочего органа двигателя.

В настоящее время очень перспективным направлением является преобразование тепловой энергии отработавших газов в электрическую. Для этого предлагается использование термоэлектрических генераторов, работающих на основе эффекта Пельтье. Например, компанией BMW был предложен вариант применения рекуперации отработавших газов для питания бортовой сети автомобиля. Рядом с системой выпуска размещается термоэлектрогенератор на основе теллурида висмута, который позволяет вырабатывать до 600 Вт мощности при высоких значениях температур отработавших газов.

Достоинством элемента Пельтье являются:

- небольшие размеры;
- отсутствие каких-либо движущихся частей, а также газов и жидкостей;
- отсутствие механических частей;
- отсутствие шума.

К недостаткам элементов Пельтье относят:

- очень низкий коэффициент полезного действия;
- высокая стоимость элемента.

Однако, несмотря на низкий КПД, элементы Пельтье применяют для охлаждения различных приборов и в качестве генераторов для установок с большой мощностью для вырабатывания энергии бортовой сети установки.

В итоге для достижения максимального КПД в поршневых двигателях, необходимы следующие условия:

1) Основные технологические процессы двигателя «горение» и «расширение» должны быть разделены и разнесены для реализации в разные технологические камеры. При этом сгорание должно происходить в запертой камере, в условиях нарастающей температуры и увеличивающегося давления.

2) Процесс сгорания должен происходить достаточное время и в условиях избытка воздуха. Это позволит на 100% сжигать рабочую смесь.

3) Объём камеры расширения должен быть значительно больше камеры сжатия, минимум на 50%. Это нужно для полноценного перевода давления рабочих газов в работу на главном рабочем органе.

4) Должен быть создан механизм перевода высокой температуры выхлопных газов в работу на главном рабочем органе. Для этого есть только одна реальная возможность – подача воды для превращения высокой температуры газов горения в давление получаемого пара.

5) Рабочий орган и вся кинематика двигателя должны быть устроены таким образом, чтобы как можно больший период цикла двигателя рабочий орган воспринимал давление рабочих газов, а плечо перевода силы этого давления все время было максимально возможным.

Литература

1. Меркулов М.В., Косьянов В. А., Головин С. В., Г.В. Черезов СИСТЕМА УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ПЕРЕДВИЖНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ



ПРИ БУРЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН Горный журнал. 2017. № 3. С. 70.

2. Меркулов М.В., Башкуров А.Ю. ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ Издательство: ОАО «Клепиковская типография» УДК 550.812(075.8) ББК 26.324я73

3. С.В. Головин, Меркулов М.В., В.А. Косьянов Горный журнал.2018.№11.С.51-55.DOI:10.17580/gzh.2018.11.09

ПЕРВИЧНЫЕ И ВТОРИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ В СИСТЕМЕ РЕЦИКЛИНГА: РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Хайкин М.М. (Санкт-Петербургский горный университет,
marcmix.spb@gmail.com),*

Плоткин Б.К. (СПб. Ассоциация содействия промышленности)

Аннотация

Рассмотрены первичные и вторичные материальные ресурсы в системе рециклинга, особое внимание уделено процессам образования вторичных материальных ресурсов, кругооборот-рециклингу материальных ресурсов и интеграции добывающей промышленности и потребления в системе рециклинга.

Обобщена практика использования исходных материальных ресурсов и образования отходов в процессах производства и потребления.

Ключевые слова: первичные и вторичные материальные ресурсы, кругооборот-рециклинг, интеграция добычи и потребления в системе рециклинга.

Цель – обоснование единства первичных и вторичных материальных ресурсов (ПМР и ВМР) как сырьевой базы жизнедеятельности в силу объективной ограниченности полезных ископаемых – недр.

Методы – обобщение практики использования исходных материальных ресурсов и образования отходов в процессах производства и потребления.

Результаты – необходимость и возможность достижения кругооборота - рециклинга материальных ресурсов в экономике и природе.

Выводы – рециклинг составная часть сырьевого комплекса при координации добывающей промышленности. Цены на первичное ископаемое сырье устанавливаются с учетом природной ренты так, чтобы было коммерчески выгодно использование вторичного сырья товаропроизводителями.

. С точки зрения экономической теории, доминирующее положение в экономике занимают производительные силы, в том числе, минерально-сырьевой комплекс. Отсюда возникает необходимость рационального использования материальных ресурсов.

В экономике материальные ресурсы как предметы труда подразделяются на следующие группы: сырье (сырые материалы); основные материалы; вспомогательные материалы; полуфабрикаты; комплектующие изделия; топливо (энергоносители).

Сырье (сырые материалы) – предметы труда, извлеченные из природного состояния и подвергшиеся минимальному технологическому воздействию, подлежат дальнейшей переработке. Основные материалы – предметы труда, получаемые в результате достаточно сложной технологической переработки и составляющие главную материальную субстанцию производимой продукции. Вспомогательные материалы – предметы труда, способствующие выполнению производственного процесса, т.е. потребляются средствами труда, либо присоединяются к сырью или основным материалам, либо создают необходимые условия для труда. Полуфабрикаты – продукция, подлежащая в качестве предмета труда дальнейшей обработке. Комплектующие изделия – изделия, представляющие собой готовую продукцию одних предприятий и предназначенные для установки в других более сложных изделиях, производимых на других предприятиях. Топливо (энергоносители) – горючие вещества, применяемые с целью получения при их сжигании тепловой или электрической энергии [1, с.145-149].

Перечисленные группы предметов труда в зависимости от отрасли, производства или вида изготавливаемой продукции принимают конкретную натурально-вещественную форму, а поэтому их следует рассматривать как первичные материальные ресурсы (ПМР).

Следует иметь в виду, что материальные ресурсы составляют порядка 50 – 70 % от стоимости производимой продукции. Благодаря научно-техническому прогрессу (НТП) доля живого труда постоянно сокращается, а доля овеществленного труда, т.е. материальных ресурсов, увеличивается.

Одним из важнейших источников сырьевых ресурсов являются недра Земли. Ископаемое сырье представляет собой в основном не возобновляемые ресурсы. Но после потребления их в качестве материалов в том или ином виде сохраняется материальная субстанция, что определяет потенциальную возможность дальнейшего использования. В данном случае речь идет об отходах производства.

Топливные ресурсы в процессе использования полностью теряют свою первоначальную материальную субстанцию, превращаясь в золу, шлак, летучие вещества. В целом отходы как производства, так и потребления образуют вторичные материальные ресурсы (ВМР).

Запасы минеральных ресурсов не безграничны. В настоящее время главным ограничением в освоении новых месторождений полезных ископаемых являются экологические требования – охрана природы и окружающей среды обитания.

Опыт многих стран мира показывает, что загрязнение окружающей среды идет более быстрыми темпами, чем прирост добычи и переработки минеральных ресурсов. Кроме того, удорожается производство сырья вследствие усложнения условий добычи, уменьшения содержания полезного вещества и дополнительных затрат на природо-охранные мероприятия [2].

Все это вместе взятое предопределяет необходимость освоения нового источника материальных ресурсов. Таким источником являются вторичные материальные ресурсы – ВМР.

Вторичные материальные ресурсы представляют собой остаточные продукты средств производства и предметов потребления, которые в процессе своего производственного и личного потребления утратили свою исходную полезность, но при этом сохранили свою материальную субстанцию, а поэтому могут вновь поступить в процесс производства как предметы труда.

Вторичные материальные ресурсы состоят из отходов производства и потребления. В процессе производства исходные материальные ресурсы (назовем их первичными – ПМР) в основной своей массе входят в готовый продукт и образуют так называемый «полезный» («чистый») расход, а остальная часть есть не что иное, как отходы производства.

Отходы производства подразделяются на возвратные и невозвратные. Возвратные отходы могут быть использованы в данном производстве на имеющемся оборудовании.

Невозвратные отходы не могут быть возвращены в данное производство для использования, но вполне могут быть использованы в другом производстве и, соответственно, по другой технологии. Деление отходов на возвратные и невозвратные является условным, поскольку комбинирование производства позволяет использовать все виды отходов – за счет комплексного использования сырья и материалов.

С развитием безотходных производств возрастает роль отходов потребления: производственного и личного. В данном случае под отходами производственного потребления понимаются в основном средства труда, отслужившие свой срок до физического или морального износа (машины, оборудование, станки, приборы и т.п.).

Отходы личного потребления есть не что иное, как бытовые отходы. Схема образования вторичных материальных ресурсов представлена на рисунке 1.

Современный уровень техники и технологии обеспечил необходимую и достаточную возможность использования в производстве всех видов отходов.



Рисунок 1. Схема образования вторичных материальных ресурсов

Всемерное использование всякого рода отходов определяет интенсификацию материалопотребления [3]. Такая интенсификация может быть достигнута максимально возможным кругооборотом материальных ресурсов - рециклингом (рисунок 2).



Обозначения: M_1 - масса первичных материальных ресурсов,

M_2 - масса вторичных материальных ресурсов.

Условие кругооборота материальных ресурсов:

$$\Delta = M_1 - M_2 = \min \rightarrow 0.$$

Рисунок 2. Кругооборот - рециклинг материальных ресурсов

Использование вторичных материальных ресурсов решает двуединую задачу: экологическую и экономическую. Для сохранения природы и охраны окружающей среды первичные материальные ресурсы как продукты добывающей промышленности лишь в минимальной мере должны вводиться в хозяйственный оборот, при этом основная роль в решении сырьевых проблем должна отводиться вторичным материальным ресурсам.

Использование вторичных материальных ресурсов в производстве определяется выгодой для товаропроизводителя. Применение отходов оказывается невыгодным, поскольку усложняются производственные процессы, увеличивается трудоемкость, а изготавливаемая продукция также зачастую оказывается недостаточного качества – в то время как первичные материальные ресурсы позволяют использовать автоматизированные производственные процессы. Отсюда задача – обеспечить конкурентоспособность ВМР в сравнении с ПМР по всей триаде: «издержки», «качество», «цена» [1, с.170-176].

В общей массе отходов преобладают отходы потребления, что обусловлено факторами современной жизнедеятельности человека и общества. Рециклинг не допускает сжигание отходов.

Цена как управляющее воздействие должна стимулировать использование в производстве материальных ресурсов, получаемых в результате рециклинга. Однако более действенными являются меры макроэкономического регулирования: налоговые льготы для товаропроизводителей, работающих на вторичных материальных ресурсах, а в цену сырья, включается экологическая составляющая в виде природной ренты.

Между добывающей промышленностью и товаропроизводителями (потребителями) должна быть установлена производственно-информационная интеграция для определения объемов и моментов времени поставок первичного сырья. (рисунок 3).

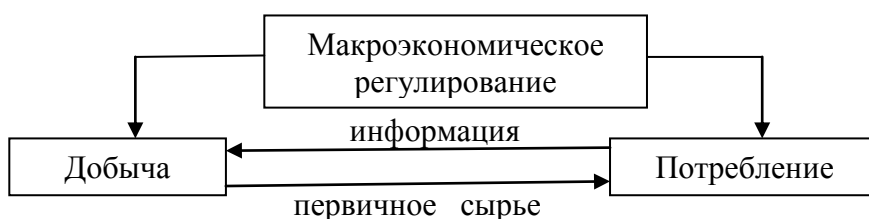


Рисунок 3. Интеграция добывающей промышленности и потребления в системе рециклинга

В современных условиях существенная часть материальных ресурсов должна производиться из ВМР в системе рециклинга и именно поэтому ВМР должны находиться в поле координации добывающей промышленности.

Представляется целесообразным в вузах горного профиля предусмотреть научно-учебное направление «Рециклинг».

Литература

Опубликованная

1. Плоткин Б.К., Гогин Д.Ю. Предпринимательский функционал логистики. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2014. – 325 с.;
2. Плоткин Б.К., Хайкин М.М. Формирование и развитие минерально-сырьевой логистики // Записки Горного института. Том 223, 2017. С.139-146;
3. Минерально-сырьевая логистика / ред. Хайкин М.М. – СПб.: Астрион, 2016.– 162 с.

ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ДОБЫЧНОГО КОМПЛЕКСА (ЭДК) ДЛЯ ДОБЫЧИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ГРЕМЯЧИНСКОГО МПИ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Хромов В.М. (Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт цветных и благородных металлов,
sem.antiquity@mail.ru)*

Аннотация

Целью статьи является - обоснование эксплуатационно-добычного комплекса (ЭДК) для добычи калийных солей в условиях Гремячинского МПИ на основе параметров экономической эффективности,

Задачи статьи:

В проведение анализа технических и эксплуатационных характеристик различных вариантов ЭДК;

В техническое обоснование выбранного варианта ЭДК;

В определение экономической эффективности выбранного варианта ЭДК.

Объект статьи- эксплуатационно-добычный комплекс калийных солей. Предмет статьи- комплекс по очистной выемке калийных солей

Гремяченского

ГОК-а. Результаты статьи:

В Оптимальный вариант ЭДК, выбранный на основе оптимизации основных параметров его экономической эффективности.

В Экономическая оценка выбранного варианта ЭДК по сравнению с аналогами.

Ключевые слова: добычной комплекс калийных солей, обоснование варианта добычного комплекса калийных солей, механизированная выемка калийных солей, очистная выемка калийных солей.

Калийные предприятия являются отраслью химической промышленности, занимающейся производством сельскохозяйственных удобрений. По способу добычи полезного ископаемого и технологиям производства, вышеупомянутые предприятия также являются горнодобывающими предприятиями, так как их главные производственные активы – рудники, а основное богатство – месторождения калийных и прочих солей.

Калийная отрасль является наиболее консолидированной отраслью для мирового рынка сырья, так как девять мировых лидеров по добыче калийной руды контролируют 90% выпуска калийных удобрений. Данная ситуация обоснована следующими причинами: месторождений калийных руд присутствуют всего лишь в 13 странах; значительные затраты на вскрытие, строительство инфраструктуры и эксплуатацию МПИ, что в свою очередь обуславливает долгий срок реализации на разработку для каждого МПИ.

Для промышленного развития ГОК-а по добыче калийной соли временные затраты составляют примерно пять-семь лет

Для прогнозирования развития калийной отрасли, на основании опроса 38 -ми специалистов в области калийного производства (ОАО «Уралкалий», ОАО «Галургия», горно-нефтяной факультет ПНИПУ, Горный институт УрО РАН и др.) составлена матрица состояния различных направлений функционирования калийных предприятий.

Из данной матрицы, одними из самых неразвитых на настоящий момент позициями для калийной промышленности являются: «оборудование рудника» (50%) и «технология добычи» (65%).

Добычу сильвинитовой руды на шахтном поле Гремячинского рудника предусматривается осуществлять механизированным способом с применением проходческо-очистных комбайнов с различными типами исполнительного органа.

Для добычи сильвинитового пласта 1 проектными решениями предусматривается применение комбайнов типа Урал-20Р (производства Копейского машиностроительного завода) с исполнительным органом сплошной выемки (планетарно-дисковый), а также применение комбайна типа JOY-12HM36 (производства JOY MINING MACHINERY) с исполнительным органом барабанного типа.

- данной статье предусматривается сравнение ведения очистной выемке шести вариантов эксплуатационно-добычного комплексов:

➤ Комбайн Урал 20 Р, бункер-перегрузатель БПС-25, самоходный вагон ВС-30.

2 Комбайн Урал 20 Р, бункер-перегрузатель БПС-25, два самоходных вагона ВС-30.

3 Комбайн Урал 20 Р, JOY 4FCT.

4 Комбайн JOY 12HM36, бункер-перегрузатель БПС-25, самоходный вагон ВС-30.

5 Комбайн JOY 12HM36, бункер-перегрузатель БПС-25, два самоходных вагона ВС-30.

6 Комбайн JOY 12HM36, JOY 4FCT.

Комбайны отличаются формой поперечного сечения выработки, которую они образуют при проходке. При проходке выработки комбайном Урал-20Р она имеет арочную форму поперечного сечения, при проходке комбайном JOY -12HM36 – выработка прямоугольного сечения.

4. соответствии с проектной шириной очистной камеры 6,0 м предусматривается применение на очистных работах комбайна Урал-20Р, имеющего ширину исполнительного органа 6,0 м (по почве выработки – 5,1 м), высоту 3,7 м и площадь поперечного сечения исполнительного органа $20,2 \text{ м}^2$.

Исполнительный орган комбайна JOY-12HM36 позволяет проходить выработку за один ход шириной 4,1 м, изменяемой высотой 2,1 -4,6 м и площадью поперечного сечения от $8,6$ до $19,0 \text{ м}^2$. Проходка очистных камер шириной 6,0 м будет осуществляться с наложением ходов данного комбайна по ширине (Рисунок 1).

Для обеспечения требуемого срока службы подготовительных выработок, их проходка предусматривается минимальной шириной (в один ход комбайна по ширине). Параметры подготовительных выработок предусматриваются следующие: ширина 6,0 м, высота 3,7 м и площадь поперечного сечения $20,2 \text{ м}^2$.

Горные выработки в ангидрит-доломитовых породах с пределом прочности на сжатие $\sigma_{сж} < 80 \text{ МПа}$ предусматривается проходить комбайновым способом, при прочности пород на сжатие $\sigma_{сж} > 80 \text{ МПа}$ выработки предусматривается проходить комбинированным или буровзрывным способом.

5. исключительно крепких ангидрит-доломитовых породах (с прочностью на одноосное сжатие $\sigma_{сж} > 120 \text{ МПа}$) разрушение массива предусматривается производить буровзрывным способом.

Все горно-капитальные выработки, проводимые по ангидрит-доломитовым и соляным породам, подлежат креплению. Выработки, проводимые по соляным породам, крепятся винтовыми анкерами. Выработки проходка которых предусмотрена по

ангидрит-доломитовым породам, крепятся анкерами, металлической сеткой и набрызг - бетонной крепью.

Крепление кровли выработок, при их проходке в соли, осуществляется установкой, размещенной на комбайне, или установкой для анкерного крепления MINE MASTER.

При проведении выработок в ангидрит-доломитовых породах величина отставания анкерной крепи с затяжкой металлической сеткой от забоя выработки не должна превышать 1,5 м.

Допустимая величина отставания набрызг-бетонной крепи от забоя выработки определяется технологическими возможностями оборудования и не должна превышать 30,0 м.

Сооружение набрызгбетонной крепи предусматривается с помощью торкрет - установки производства фирмы PAUS.

Технология добычи сильвинитовой руды эксплуатационно-добычными комплексами с различным составом горно-шахтного оборудования предусматривается следующая.

После подготовки запасов к выемке осуществляется проходка очистных камер путем зарубки комбайна в массив непосредственно с выемочного штрека (комбайн JOY 12HM36) или со стартовой выработки (комбайн Урал 20 Р).

При зарубке комбайна на очистные камеры направление его исполнительного органа предусматривается на выработанное пространство.

При средней мощности пласта около 10 м длина горловины камеры, проводимой из подготовительной выработки у кровли пласта, будет составлять около 95 м при среднем угле наклона почвы 60. При этом в горловине камеры груженный вагон всегда будет двигаться на подъем.

Для обеспечения максимальной производительности комбайнового комплекса и уменьшения объемов горно-подготовительных работ, проектной документацией длина очистной камеры принята равной от 200 до 300 м, она уточняется планом шахтного поля

По результатам расчета основных экономических параметров ЭДК следует, что при применении ЭДК составом из комбайна JOY и конвейерного поезда получается меньшая себестоимость добычи руды и меньший срок окупаемости комплекса, большая прибыль рудника, но более высокие капиталовложения в основные производственные фонды рудника по сравнению с другими вариантами ЭДК. В свою очередь при составе комплекса: Урал 20 Р и два самоходных вагона ВС 30 меньшие капиталовложения в основные производственные фонды рудника, но большая себестоимость добычи руды и больший срок окупаемости комплекса, меньше прибыль рудника по сравнению с вариантом комплекса комбайн JOY и конвейерный поезд. Результаты основных технико-экономических параметров эксплуатационно -добычных комплексов приведены в таблице 1.

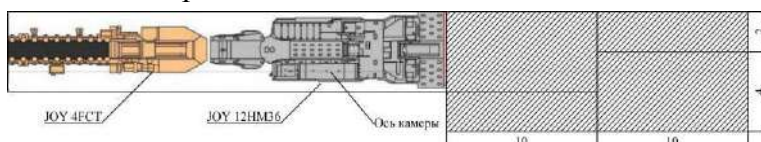


Рисунок 1. Технология ведения очистной выемки камеры комплексом с комбайном JOY 12HM36.

Таблица 1.

Наименование технико-экономического параметра	Единица измерения	Оптимальное значение	Значение величины для варианта ЭДК:					
			Урал-20Р, БПС-25, ВС-30	Урал-20Р, БПС-25 и 2 ВС-30	Урал-20Р, JOY-FCT	JOY-12НМ36, БПС-25, ВС-30	JOY-12НМ36, БПС-25 и 2 ВС-30	JOY-12НМ36, JOY-FCT
Явочная численность работников рудника;	чел;		579	652	342	435	444	167
Стоимость ЭДК: Одного комплекса;	тыс руб;		292 604	327 625	1 792 852	2 085 915	2 120 286	3 580 209
Всех комплексов;	тыс руб;		5 559 484	5 241 998	28 685 641	31 288\723	27 563 29	25 061 466
Затраты на оплату труда персонала;	тыс руб/год;		158 743	151 696	85 008	91 263	78 631	39 039
Амортизационные отчисления приходящиеся на все ЭДК одного варианта;	тыс руб/год;		1 101 026	1 030 901	1 911 203	1 779 267	1 630 523	1 258 256
Затраты на оплату электроэнергии;	тыс руб/год;		8 836 493	7 530 116	7 296 117	6 925 263	6 089 626	2 667 805
Затраты на расходные материалы;	тыс руб/год;		525 686	520 473	828 042	667 222	597 579	475 416
Сумарные затраты;	тыс руб/год;		12 765 217	11 376 454	12 263 639	11 606 284	10 539 626	6 583 785
Себестоимость добычи сальвинитовой руды;	руб*год/т;		1 748	1 558	1 680	1 590	1 443	902
Прибыль по межхозяйственному расчету между рудником и фабрикой;	тыс руб/год;		4 827 782	6 216 545	5 329 361	5 986 716	7 053 373	11 009 215
Капиталовложения в основные фонды рудника;	тыс руб;		64 049 733	63 732 248	87 175 891	89 778 973	86 053 979	83 551 716
Фондоёмкость;	тыс руб*год/т;		8,8	8,7	11,9	12,3	11,7	11,4
Коэффициент рентабельности;	%;		6,8	8,9	5,5	6,1	7,4	12
Срок окупаемости;	лет;		14,7	11,2	18,2	16,4	13,5	8,3
Фондовооруженность	тыс руб/чел		72 209	63 796	166 366	134 803	126 550	326 374

ТЭО ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ДОБЫЧНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Хромов В.М. (Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, sem.antiquity@mail.ru),
Басинский В.Г. (МГРИ, 170541@mail.ru), Лошакова А.С. (Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, aaleenkaa@mail.ru)*

Аннотация

Целью исследования является - обоснование эксплуатационно-добычного комплекса (ЭДК) для добычи калийных солей в условиях Гремячинского МПИ на основе параметров экономической эффективности.

Задачи исследования:

- 1) проведение анализа технических и эксплуатационных характеристик различных вариантов ЭДК;
- 2) техническое обоснование выбранного варианта ЭДК;
- 3) определение экономической эффективности выбранного варианта ЭДК.

Объект статьи- эксплуатационно-добычный комплекс калийных солей.

Предмет статьи- комплекс по очистной выемке калийных солей Гремячинского ГОК-а.

Результаты исследования:

- 1) Оптимальный вариант ЭДК, выбранный на основе оптимизации основных параметров его экономической эффективности.
- 2) Экономическая оценка выбранного варианта ЭДК по сравнению с аналогами.

Ключевые слова: добычной комплекс калийных солей, обоснование варианта добычного комплекса калийных солей, механизированная выемка калийных солей, очистная выемка калийных солей.

Добычу сильвинитовой руды на шахтном поле Гремячинского рудника предусматривается осуществлять механизированным способом с применением проходческо-очистных комбайнов с различными типами исполнительного органа.

Для добычи сильвинитового пласта 1 проектными решениями принято применение комбайнов типа Урал-20Р [2] (производства Копейского машиностроительного завода) с исполнительным органом сплошной выемки (планетарно-дисковый), а также применение комбайна типа JOY-12НМ36 [3] (производства JOY MINING MACHINERY) с исполнительным органом барабанного типа.

В данной работе производится сравнение шести вариантов эксплуатационно-добычных комплексов для ведения очистной выемки:

- 1) Комбайн Урал 20 Р, бункер-перегрузатель БПС-25 [4], самоходный вагон ВС-30 [5].
- 2) Комбайн Урал 20 Р, бункер-перегрузатель БПС-25, два самоходных вагона ВС-30.
- 3) Комбайн Урал 20 Р, конвейерный поезд JOY 4FCT [6].
- 4) Комбайн JOY 12НМ36, бункер-перегрузатель БПС-25, самоходный вагон ВС-30.

5) Комбайн JOY 12HM36, бункер-перегрузатель БПС-25, два самоходных вагона ВС-30.

6) Комбайн JOY 12HM36, конвейерный поезд JOY 4FCT.

При ведении очистной выемки комбайном Урал-20P поперечное сечение выработки имеет арочную форму, а комбайном JOY-12HM36 – выработка прямоугольного сечения.

В соответствии с проектной шириной очистной камеры 6,0 м предусматривается применение на очистных работах комбайна Урал-20P, имеющего ширину исполнительного органа 6,0 м (по почве выработки – 5,1 м), высоту 3,7 м и площадь поперечного сечения исполнительного органа 20,2 м².

Исполнительный орган комбайна JOY-12HM36 позволяет проходить выработку за один ход шириной 4,1 м, изменяемой высотой 2,1-4,6 м и площадью поперечного сечения от 8,6 до 19,0 м². Проходка очистных камер шириной 6,0 м будет осуществляться с наложением ходов данного комбайна по ширине (Рисунок 1).

Для обеспечения требуемого срока службы подготовительных выработок, их проходка производится в один ход комбайна с минимальной шириной по почве. Параметры подготовительных выработок следующие: ширина 6,0 м, высота 3,7 м и площадь поперечного сечения 20,2 м².

Горные выработки в ангидрит-доломитовых породах с пределом прочности на сжатие $\sigma_{сж} < 80$ МПа [1] предусматривается проходить комбайновым способом, при прочности пород на сжатие $\sigma_{сж} > 80$ МПа [1] - комбинированным или буровзрывным способом.

В исключительно крепких ангидрит-доломитовых породах с прочностью на одноосное сжатие $\sigma_{сж} > 120$ МПа [1] разрушение массива планируется производить буровзрывным способом.

Все горно-капитальные выработки, проводимые по ангидрит-доломитовым и соляным породам, подлежат креплению. Выработки, проводимые по соляным породам, крепятся винтовыми анкерами. Выработки, проходка которых предусмотрена по ангидрит-доломитовым породам, крепятся анкерами, металлической сеткой и набрызг-бетонной крепью.

Крепление кровли выработок, при их проходке в соли, осуществляется установкой, размещенной на комбайне, или установкой для анкерного крепления MINE MASTER.

При проведении выработок в ангидрит-доломитовых породах величина отставания анкерной крепи с затяжкой металлической сеткой от забоя выработки не должна превышать 1,5 м.

Допустимая величина отставания набрызг-бетонной крепи от забоя выработки определяется технологическими возможностями оборудования и не должна превышать 30,0 м.

Сооружение набрызгбетонной крепи будет осуществляться с помощью торкрет-установки производства фирмы PAUS.

После подготовки запасов к выемке осуществляется проходка очистных камер путем зарубки комбайна в массив непосредственно с выемочного штрека (комбайн JOY 12HM36) или со стартовой выработки (комбайн Урал 20 P).

При зарубке комбайна на очистные камеры направление его исполнительного органа ориентируется на выработанное пространство.

При средней мощности пласта около 10 м длина горловины камеры, проводимой из подготовительной выработки у кровли пласта, будет составлять около 95 м при среднем угле наклона почвы 6°. При этом в горловине камеры груженный вагон всегда будет двигаться на подъем.

Для обеспечения максимальной производительности комбайнового комплекса и уменьшения объемов горно-подготовительных работ, длина очистной камеры согласуется с планом шахтного поля и принимается в пределах от 200 до 300 м.

По результатам расчета основных экономических параметров ЭДК следует, что при применении ЭДК составом из комбайна JOY и конвейерного поезда получается меньшая себестоимость добычи руды и меньший срок окупаемости комплекса, большая прибыль рудника, но более высокие капиталовложения в основные производственные фонды рудника по сравнению с другими вариантами ЭДК. В свою очередь при составе комплекса: Урал 20 Р и два самоходных вагона ВС 30 меньшие капиталовложения в основные производственные фонды рудника, но большая себестоимость добычи руды и больший срок окупаемости комплекса, меньше прибыль рудника по сравнению с вариантом комплекса комбайн JOY и конвейерный поезд. Результаты основных технико-экономических параметров эксплуатационно -добычных комплексов приведены в таблице 1.



Рисунок 1. Технология ведения очистной выемки камеры комплексом с комбайном JOY 12NM36.

Данные таблицы № 1 позволяют осуществлять выбор оптимального состава добычного комплекса с учетом технической оснащенности и энерговооруженности рудника Гремячинского ГОК-а.

Таблица 1.

Наименование технико-экономического параметра	Единица измерения	Оптимальное значение	Значение величины для варианта ЭДК:					
			Урал-20Р, БПС-25, ВС-30	Урал-20Р, БПС-25 и 2 ВС-30	Урал-20Р, JOY-FCT	JOY-12NM36, БПС-25, ВС-30	JOY-12NM36, БПС-25 и 2 ВС-30	JOY-12NM36, JOY-FCT
Явочная численность работников рудника;	чел;		579	652	342	435	444	167
Стоимость ЭДК: Одного комплека;	тыс руб;		292 604	327 625	1 792 852	2 085 915	2 120 286	3 580 209
Всех комплексов;	тыс руб;		5 559 484	5 241 998	28 685 641	31 288\723	27 563 29	25 061 466
Затраты на оплату труда персонала;	тыс руб/год;		158 743	151 696	85 008	91 263	78 631	39 039
Амортизационные отчисления приходящиеся на все ЭДК одного варианта;	тыс руб/год;		1 101 026	1 030 901	1 911 203	1 779 267	1 630 523	1 258 256
Затраты на оплату электроэнергии;	тыс руб/год;		8 836 493	7 530 116	7 296 117	6 925 263	6 089 626	2 667 805
Затраты на расходные материалы;	тыс руб/год;		525 686	520 473	828 042	667 222	597 579	475 416
Сумарные затраты;	тыс руб/год;		12 765 217	11 376 454	12 263 639	11 606 284	10 539 626	6 583 785

Себестоимость добычи сильвинитовой руды;	руб*год/т;	1 748	1 558	1 680	1 590	1 443	902
Прибыль по межхозяйственному расчету между рудником и фабрикой;	тыс руб/год;	4 827 782	6 216 545	5 329 361	5 986 716	7 053 373	11 009 215
Капиталовложения в основные фонды рудника;	тыс руб;	64 049 733	63 732 248	87 175 891	89 778 973	86 053 979	83 551 716
Фондоемкость;	тыс руб*год/т;	8,8	8,7	11,9	12,3	11,7	11,4
Коэффициент рентабельности;	%;	6,8	8,9	5,5	6,1	7,4	12
Срок окупаемости;	лет;	14,7	11,2	18,2	16,4	13,5	8,3
Фондовооруженность	тыс руб/чел	72 209	63 796	166 366	134 803	126 550	326 374

Литература

1. Геологический отчет Гремячинского месторождения калийных солей, 2010- 161 с.
2. Руководство по эксплуатации Урал 20 Р. — ОАО "Копейский машиностроительный завод", 2006. — 280 с.
3. 12NM Series Continuous Miner Product Overview [Электронный ресурс]: Электрон. дан.— Режим доступа: <http://cdn.thomasnet.com/ccp/01230396/105842.pdf>. свободный – Загл. с экрана.
4. Паспорт БУНКЕР-ПЕРЕГРУЖАТЕЛЬ БПС 25. — ОАО "РУДГОРМАШ", 2006— 104 с.
5. Паспорт ВАГОН ШАХТНЫЙ САМОХОДНЫЙ ВС30. — ОАО "РУДГОРМАШ", 2006— 151 с.
6. Introduction of Continuous Haulage (4FCT) at the Clarence [Электронный ресурс]: Электрон. дан.— Режим доступа: <https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1976&context=coal> свободный – Загл. с экрана.

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ МЕХАНИЗМОВ И ОБОРУДОВАНИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ (СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГАЗОПРОВОДА)

Царёв Н.В. (МГРИ, nikolaitzarev@mail.ru), Михайлов Ю.В (МГРИ)

Аннотация

В настоящей статье проанализированы возможности и перспективы использования цифровой трансформации в нефтегазовой отрасли в больших зарубежных и отечественных компаниях, а также в малом бизнесе.

Ключевые слова: нефтегазовая отрасль, цифровая трансформация, строительство газопровода, информационные технологии.

Цифровизация отрасли - обеспечивает длительный период безотказной работы оборудования, сокращения простоев из-за незапланированных мероприятий (технического обслуживания и ремонтов), повышения операционной эффективности и обеспечения безопасности для сотрудников и общества.

В настоящее время нефтегазовая отрасль становится более оцифрованной – появляются различные системы, способствующие контролю за работой буровых установок, трубопроводов и прочих систем в режиме реального времени и без человеческого участия

Стоит отметить увеличивающуюся роль информационных технологий, которые во многом определяют функционирование тех или иных сегментов человеческой жизни. В XXI веке имеется множество инноваций в сфере информации: блокчейн (выстроенная по определенным правилам непрерывная последовательная цепочка блоков, содержащих информацию), криптовалюта, различные модели шифрования и многое другое, однако одним из самых важных нововведений является использование цифровизации в производственных процессах.

В целом цифровизация сейчас применяется в самых разнообразных сферах: экономика, медицина, ракетостроение, однако распространение получает его использование и в нефтегазовой отрасли, отчего тема исследования является весьма актуальной. Учитывая трудоемкость операций в нефтегазовом деле, использование новейшего оборудования поможет освободить многие области в этой сфере от ручного труда, так как машина будет решать поставленные перед ней задачи более успешно и быстрее, чем человек. Именно поэтому в данной работе будут показаны возможности и перспективы использования цифровой трансформации в нефтегазовой отрасли с обзором инициатив как зарубежных, так и российских компаний.

Например, обратимся к статистическим данным различных компаний этого сектора. В 2017 году появились данные, что американская компания DataCloud из Сиэтла, США разработала по заказу ExxonMobile (крупнейшей компании США в области нефтегазового сектора MinePortal, представляющий из себя облачную платформу для управления в реальном времени и анализа данных геонаук) сервис, который объединяет информацию разведочного бурения, блочные модели и контрольные меры в единую платформу, которая может помочь принимать более быстрые и эффективные решения по бурению и взрывным работам для повышения производительности и повышению параметра безопасности этих работ. С помощью сервиса планируется минимизировать время на принятие решения о бурении скважин на 20% (по данным (ExxonMobile)). Более того, это программное решение позволит нивелировать процент нерентабельных скважин и скважин, трудных для бурения, что благоприятно подействует на экологию [3]. Крупнейшая нефтегазовая компания в мире Sinorec также отмечает основополагающую роль искусственного интеллекта в

продвижении инноваций в нефтегазовой отрасли. Она имеет долгосрочный план по строительству 10 буровых установок для добычи нефти и газа с использованием систем искусственного интеллекта с целью снижения эксплуатационных расходов на 20% [4].

Российские компании в нефтегазовом секторе тоже внедряют инновации, связанные с использованием цифровизации. В частности, в октябре 2018 года генеральный директор Научно-технического центра компании ПАО «Газпром» рассказал, что в «Газпроме» имеется целый спектр программ, основанные на цифровизации. Одна из них помогает бурить скважины – предсказывает выход за пределы продуктивного пласта, чтобы работники успели изменить траекторию. Более того, системы цифровой трансформации используются и для ранних стадий разработки месторождений. Такие инновационные инструменты позволяют работать не только непосредственно на почве, производя бурение, но также и с цифровым двойником, чтобы моделирование, проектирование, строительство и эксплуатация нефтяных и газовых объектов производилась от начала и до конца с минимальными непредвиденными обстоятельствами. ПАО «Газпром» с помощью цифровой трансформации достигает оптимизации от 10-15% до 70-90%, уменьшая стоимость разработки скважины, так как именно с помощью искусственного интеллекта решается, как часто нужно бурить скважины, какого они должны быть типа, сколько должно быть кустов и так далее – искусственный интеллект позволяет принимать более эффективные технологические решения [1].

На примере малого бизнеса является компания специализирующаяся на строительстве газопровода в г. Москва «Газэнергострой». Данная компания специализируется на строительстве как нового, так и замене старого газопровода. В компании также появилась необходимость применения цифровизации в техники, в частности в сфере оборудования для сварки полиэтиленовых труб большого радиуса. Европейские стандарты указывают, что минимальный наружный диаметр для полиэтиленовых труб должен равняться их номинальному размеру. Для трубы диаметром 630 мм допускается отклонение максимального диаметра от номинального до 3,8 мм. При этом для трубы диаметром 110 мм максимально допустимое превышение размера должно составлять всего лишь 0,7мм. Чрезмерная овальность является источником большинства проблем при монтаже полиэтиленовых труб больших диаметров. **Решение проблемы – новая технология установки.**

Вывод: системы цифровизации оборудования – одна из инноваций, которая все шире внедряется в производственные циклы компаний нефтегазовой отрасли относительно недавно и имеет большие перспективы использования. В частности для контроля за работой скважины, буровой установки, будет использоваться цифровизация для нахождения пригодных мест для бурения и др., что повысит эффективность технологических процессов. В дальнейшем исследование может быть продолжено с более обширным изучением практик внедрения в работу компаний в нефтегазовой отрасли.

Литература

1. «Как искусственный интеллект ищет месторождения» [Электронный ресурс], -<https://www.gazprom-neft.ru/press-center/lib/1993667/>
2. AI in Oil & Gas Market Size [Электронный ресурс], - <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/ai-market-in-oil-and-gas>
3. Artificial Intelligence in Oil and Gas [Электронный ресурс], -<https://emerj.com/ai-sector-overviews/artificial-intelligence-in-oil-and-gas/>
4. How AI Can Help The Oil Industry [Электронный ресурс], - <https://medium.com/syncedreview/how-ai-can-help-the-oil-industry-b853dda86be6>

ПРОГРЕСС ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКИ (ВЗГЛЯД ИЗ ЯРОСЛАВЛЯ)

Цветков Л.Д. (независимый геоаналитик, jarnborg@mail.ru)

Аннотация

Рассматривается широкий спектр проблем с акцентом на три из них - делимость геологического вещества, Международный научный Мегапроект «Астероидное импактное событие», рифейский источник Даниловского нефтепроявления в Ярославской области.

Ключевые слова Размерность частиц, нанолиты, хаотиты, научный мегапроект, Даниловское нефтепроявление.

Всем известная шкала гранулометрической размерности от пелитовых частиц (размер менее 0,005 мм) до псефитов-валунов (размер более 100 мм) отражает последствия обработки геологического вещества ледниками, в водной или газовой среде. Однако, делимость геологического вещества не ограничивается данным диапазоном, хотя ее причины становятся иными. С определенной условностью, можно наметить диапазон «нанолитов» (размеры от 500 пикометров до 200 нанометров) и диапазон «хаотитов» (размеры от 0,1 до 2 000 м).

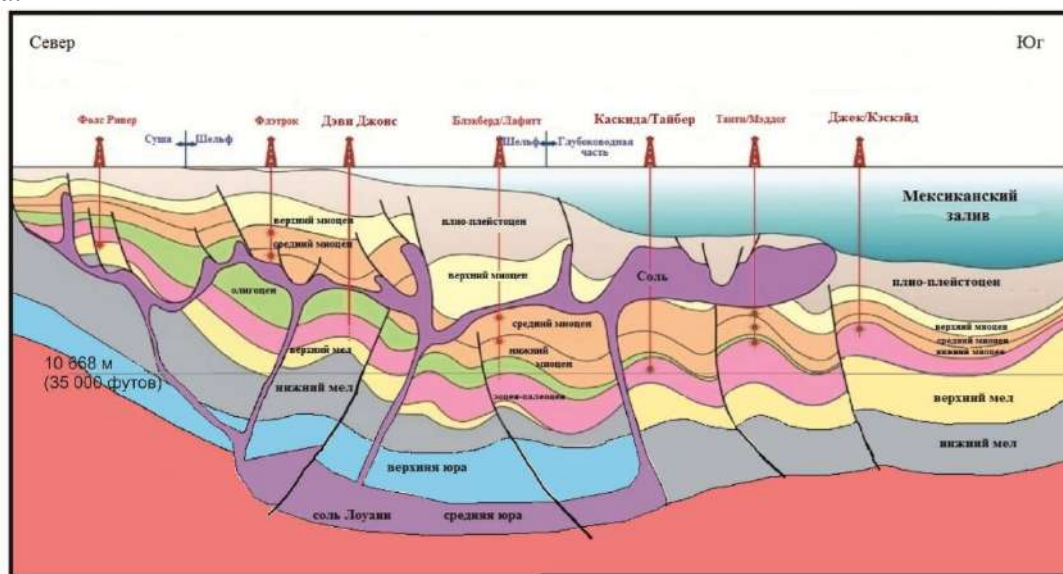
В реальных условиях переход от пелитов к нанолитам, характеризуется сменой разрушения в виде механического дробления на созидательный процесс роста кристаллитов минералов (кварца, полевых шпатов, кальцита, доломита, сульфидов и т. д) из растворов и при перекристаллизации минералов пелитовой размерности. В настоящее время возможно микроскопическое изучение верхней части диапазона нанолитов размером до 0,5-1,0 нанометра или $0,5-1,0 \times 10^{-9}$ м.

Переход от размерности псефитов-валунов к «хаотитам» характеризуется исчезновением округлой формы фрагментов пород и большим разнообразием генезиса (гравитационный, вулканический, протрузивный, тектонический, импактный и др.). Формирование зон «хаотитов» может охватывать геологическое пространство на десятки километров по вертикали и на сотни и тысячи километров по горизонтали (Рис. 1).

В середине 1980-х годов автору посчастливилось стать инициатором бурения научной Воротиловской скважины (5 374 м) примерно в 100 км севернее Нижнего Новгорода, в центре случившегося в ранней юре столкновения Земли с астероидом поперечником 2-4 км на скорости порядка 50 км/сек. Здесь Россия располагает не имеющим аналогов в мире геологическим заделом: глубокой скважиной с большим отбором керна, данными геологической съемки масштаба 1:50 000, профилем глубинного сейсмического зондирования, значительными объемами площадных геофизических исследований и структурного бурения, минералогическими исследованиями высокобарических минералов коэсита, стишовита, алмаза.

Учитывая реальную астероидную опасность для жителей Земли, детальное изучение последствий конкретного события в прошлом может представить большой интерес для международного сообщества. Предлагается обсудить международный Меганаучный проект под условным названием «Астероидное импактное событие». С использованием новейших научных технологий могут быть изучены давления в миллион и более атмосфер, температуры в тысячи градусов Цельсия, неведомые электромагнитные процессы, включающие кратковременную электрическую связь-«пробой» между ионосферой и железным ядром Земли, а также гипотетический импактный «лазер», специфические физические процессы, происходящие на скорости в несколько десятков километров в секунду, возможны открытия новых изотопов и

высокобарических минеральных ассоциаций, вплоть до проявлений металлического водорода.



По данным компании McMoran с дополнениями Л. Д. Цветкова

■ - соль ■ - фундамент □ - буровые скважины

Рисунок 1. Идеализированный структурный разрез северной части осадочного бассейна Мексиканского залива, показывающий положение стратиграфического горизонта соли (J2) и агрегата протрузивных тел солей в зоне физического разуплотнения Форша (N+Q), располагающегося на глубине от 7,5 до 8,2 км.

В районе единственного в Центральной России проявления нефти вблизи г. Данилова в Ярославской области было пробурено 12 скважин глубиной порядка 3 км (объем 36 814 пог. м). Получение притока нефти из ледниковых нижневендских отложений, свидетельствует в пользу ее миграционной природы. Поскольку бурение порядка 150 глубоких параметрических и поисковых скважин в Центральной России показало, что нефть в вендских и палеозойских отложениях отсутствует, остается единственный вывод – нефть мигрировала снизу, из более древних отложений Средне-Русского авлакогена.

В 200 км западнее Даниловского нефтепроявления слабовыраженный рифейский нефтегазоматеринский горизонт толщиной около 55 м был изучен в Северо-Молоковской параметрической скважине в Тверской области (Комарницкий и др., 1999; Цветков и др., 2001, 2015). В керне на глубине 3 077-3 084 м среднее содержание РОВ 0,39%, максимальное до 0,77-0,83 %. Зрелость битумов $R_o = 0,56\%$. Минимальная величина генерационного потенциала ($S_1 + S_2$) – 3,74 мг углеводородов на 1 г породы.

У нового поколения геологов и бизнесменов есть шанс открыть промышленную ярославскую нефть в рифейских нефтегазоматеринских сланцевых отложениях. По прогнозным данным, она может залежать в виде цепочки нефтяных месторождений вдоль южного борта Средне-Русского авлакогена в диапазоне глубин 4 250 – 5 000 м.

ГАЗОЩЕЛОЧНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПЛАСТОВУЮ СИСТЕМУ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ЗАЛЕЖИ

Шахвердиев А.Х. (МГРИ, ah_shah@mail.ru), Ренджун Цзян (GCC Group Corp., США, rjiang@gccgroupcorp.com), Панахов Г.М. (Институт Математики и Механики НАН Азербайджана, pan_vniineft@rambler.ru), Аббасов Э.М. (Институт Математики и Механики НАН Азербайджана, eldarab@gmail.com)*

Аннотация

В работе представлены результаты экспериментальных и промысловых исследований, посвященных поиску новых методов воздействия на нефтяную залежь газощелочными оторочками. Рассмотрены вопросы повышения эффективности вытеснения нефтей, содержащих в своем составе органические и гетероорганические соединения: высокомолекулярные смолы, асфальтены и органические соединений.

Показана возможность генерирования газожидкостных оторочек в процессе реакции щелочных агентов с углеводородами, содержащими активные кислотные компоненты. Предлагается технологическое решение по повышению нефтеотдачи пласта, основанное на эффекте выравнивания фронта вытеснения и повышения охвата слабодренированных участков пласта за счет формирования газожидкостной системы в пластовых условиях с учетом как условий вытеснения, так и емкостно-фильтрационных характеристик флюидонасыщенных коллекторов.

Ключевые слова: Диоксид углерода, вытеснение, повышение нефтеотдачи, щелочь, заводнение, неустойчивость, фронт вытеснения

Цель. В условиях прогрессирующего роста обводненности добываемой продукции, неоднородности коллекторов и высокой выработки запасов все большее значение приобретают методы увеличения нефтеотдачи пластов, основанные на управлении течением флюидов в микроканалах пористой среды [1 - 3, 6]. Одним из определяющих параметров, влияющими на структуру фронта вытеснения, являются соотношение вязкостей вытесняемой и вытесняющей жидкостей $M = \mu_1/\mu_2$ и значение капиллярного числа $C_a = \mu u/\sigma$ - безразмерного параметра подобия, характеризующего соотношение вязких и капиллярных сил.

Проявление нестационарных эффектов возможно и в сравнительно макрооднородных нефтенасыщенных пластах. В виду высоких значений вязкостной неустойчивости (соотношениях вязкости нефти и воды) имеют место локальные прорывы закачиваемой воды, что отражается на показателях безводной и текущей нефтеотдачи пласта. В практике нефтедобычи в качестве вытесняющих агентов широко используются водные растворы щелочей при воздействии на нефтяную залежь, находящейся на поздней стадии разработки [7 - 9]. При этом недостаточно внимания уделяется процессам взаимодействия щелочных растворов на основе гидрокарбоната натрия (Na_2HCO_3) с активными кислотными компонентами, содержащимися в высокосмолистых тяжелых нефтях. Содержание нафтеновых кислот в нефтях достигает нескольких процентов [5]. При контакте с щелочными флюидами нафтеновые кислоты образуют водорастворимые соли, являющимися поверхностно-активными веществами и снижающими поверхностное натяжение на границе раздела нефть-вода [4].

Рассматривая эффект снижения величины поверхностного натяжения на границе раздела жидкостей в пористой среде, следует отметить, что, процесс вовлечения имобильной нефти в общий поток вытесняемых флюидов зависит как от скорости

вытесняющего потока воды, так и от возможности уменьшения характерного капиллярного давления, имеющего место при движении менисков несмешивающихся

жидкостей вдоль стенок каналов порового коллектора. С увеличением давления поверхностное натяжение на границе раздела флюидов уменьшается, что объясняется с уменьшением свободной поверхностной энергии.

Методы исследований. Проведены исследования по определению межфазного натяжения (σ) растворов щелочей на границе с образцами нефти. На рис. 1 представлены изотермы поверхностного натяжения растворов каустической и кальцинированной соды. Зависимости величины поверхностного натяжения от типа и концентрации щелочей подтверждают, что оба исследуемых реагента существенно снижают поверхностное натяжение - с 0,8 до 0,0014 мН/м. Наибольшее снижение достигается при концентрации щелочей в пределах 0,5 - 2,0 мас.%. Далее имеет место различие в эффекте изменения величины σ , а именно, в случае использования раствора каустической соды NaOH, начиная с величины концентрации, равной 2,0 мас. % происходит практически десятикратное увеличение σ до значений 0,01 мН/м, тогда как при исследовании раствора Na_2CO_3 и при высоких значениях концентрации показатели поверхностного натяжения остаются стабильно низкими. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в случае, когда применение повышенных концентраций (2–4 мас.%) щелочных растворов оправдано с точки зрения изменения смачиваемости гидрофобизированных поверхностей пористой среды, использование в качестве щелочного агента раствора кальцинированной соды может рассматриваться в качестве наиболее эффективного агента воздействия.

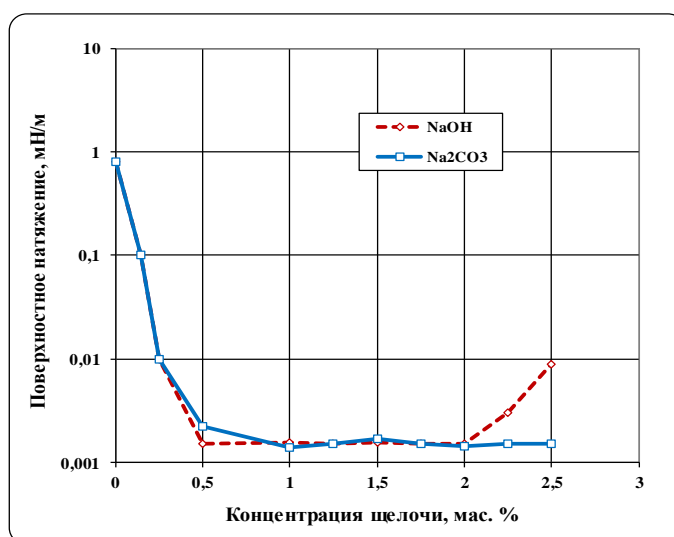


Рисунок 1 Изменение поверхностного натяжения на границе раздела фаз «нефть-раствор щелочи» в зависимости от концентрации NaOH и Na_2CO_3

Стабильно низкие показатели величины межфазного натяжения при использовании кальцинированной соды могут быть также объяснены с позиций химической реакции между раствором щелочи и нефтеновыми компонентами высокосмолистых нефтей. Дополнительный вклад в этот процесс вносит выделение в процессе реакции углекислого газа CO_2 .

Реакция нефтяных кислот с водным раствором кальцинированной соды сопровождается интенсивным газовыделением и формированием газожидкостной среды в условиях обширного контакта нефти и раствора щелочи в пористой среде. Наблюдаемый процесс инициирует генерацию в пласте так называемой псевдокипящей

газожидкостной системы в качестве вытесняющей оторочки, которая в свою очередь способствует повышению эффективности вытеснения асфальтеновых и высокосмолистых нефтей [4].

Для подтверждения выдвинутых предположений проведены лабораторные исследования на экспериментальной модели, имитирующей пористую среду продуктивного пласта. Пористая среда представляла собой двухслойную модель пласта с проницаемой перегородкой (с контактирующими однородными слоями с соотношением проницаемостей слоев 1:5). Исследовалась зависимость нефтенасыщенности от объема извлеченной из пористой среды жидкости – как результат, характер изменения нефтенасыщенности различен при использовании водного раствора NaOH и водного раствора Na₂CO₃. В случае вытеснения нефти водным раствором кальцинированной соды наблюдается значительно более интенсивное снижение нефтенасыщенности в образце, что свидетельствует о высокой степени отмыва нефтенасыщенного пропластка. Наблюдается также относительно высокий безводный коэффициент нефтеизвлечения. В случае низкого процентного содержания нафтеновых кислот в нефти в пористую среду может дополнительно закачиваться оторочка водного раствора соляной кислоты, стимулируя таким образом большее внутрислоевоое газовыделение диоксида углерода (CO₂) на границе контакта жидкостей.

Исследования послужили основой для промышленной реализации технологического решения по воздействию на пластовую систему с низким охватом нефтенасыщенных зон. Метод нашел применение в процессе технологической операции на группе скважин оффшорного месторождения Bohai Bay нефтяной компании CNOOC (КНР). Технология реализована при поддержке компании «New Horizon» на нагнетательной скважине C12. Промысловая операция включала в себя несколько последовательных этапов нагнетания щелочных оторочек для генерации газожидкостной системы в пластовых условиях. Анализ основных эксплуатационных показателей реагирующих скважин на участке внедрения технологии подтвердил положительную реакцию эксплуатационных скважин на газощелочное воздействие – по большинству эксплуатационных объектов имеет место как увеличение, так и стабилизация значений среднесуточного дебита нефти (рис. 2).

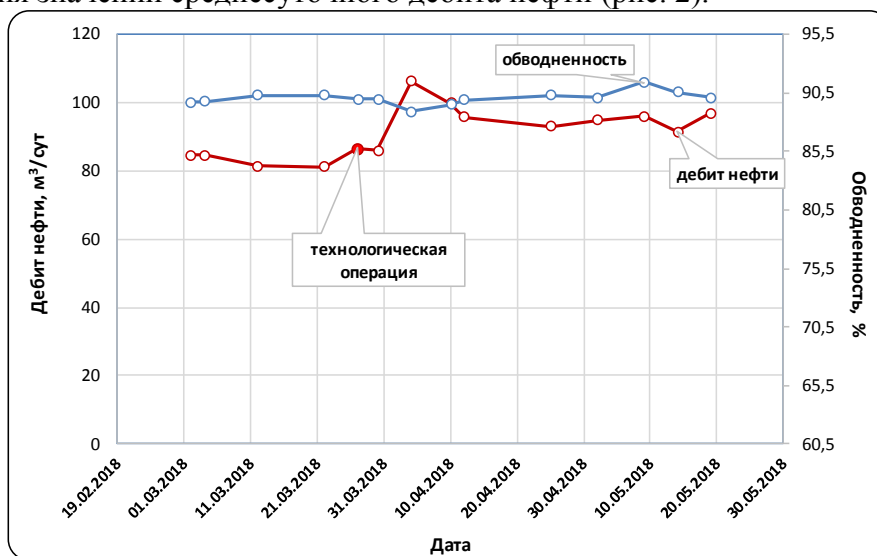


Рисунок 2 Динамика среднесуточного дебита нефти и обводненности по реагирующей скважине участка внедрения технологии

Результаты и выводы. Исследования позволили установить, что наряду с факторами снижения межфазного натяжения, эмульгирования нефти, изменения

смачиваемости породы значительную роль в процессах газощелочного заводнения играет взаимодействие закачиваемого щелочного агента с активными кислотными компонентами высокосмолистых и асфальтеновых нефтей.

Эффективный компонентный состав щелочных агентов выбирается с учетом исключения влияния фактора адсорбции на эффективность заводнения, что обеспечивается последовательной закачкой в пласт оторочек раствора со ступенчатым изменением концентрации.

Прирост добычи обеспечивается повышением нефтеотдачи залежи, в том числе увеличения охвата и качества вытеснения нефтенасыщенных пропластков за счет направленного воздействия на слабодренируемые зоны пласта газовыделяющими композициями.

Литература

1. Гиматудинов Ш.К. Физика нефтяного и газового пласта. - М.: Недра, 1971, 310 с.
2. Ентов В.М., Зазовский А.Ф. Гидродинамика процессов повышения нефтеотдачи. - М.: Недра, 1989. - 232 с.
3. Мандрик И.Э., Панахов Г.М., Шахвердиев А.Х. Научно-методические и технологические основы оптимизации процесса повышения нефтеотдачи пластов // Москва, изд-во «Нефтяное хозяйство», 2010. – 284 с.
4. Мирзаджанзаде А.Х., Панахов Г.М., Шахвердиев А.Х. др. Способ разработки нефтяной залежи // Патент Российской Федерации № 2125153. - М., 1999.
5. Мусаев Р.А., Джафарли С.З., Халилов Э.Г., Гашимов А.Ф. О возможности повышения эффективности щелочного заводнения пластов, содержащих неактивные нефти / Труды института проблем глубинных нефтегазовых месторождений // «Nafta-Press», Баку. – 1999. – 178 с.
6. Шахвердиев А.Х. Системная оптимизация процессов разработки нефтяных месторождений. – М.: Недра, 2004 – 452 с.
7. Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Renqi Jiang, Аббасов Э.М., Денисов А.В. Эффективность реогазохимической технологии ПНП на основе внутрипластовой генерации CO₂ (опыт применения на месторождениях КНР) // Вестник РАЕН, №4, 2012. - С. 73 – 81.
8. Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Аббасов Э.М., Денисов А.В. Способ разработки нефтяной залежи // Патент на изобретение Российской Федерации, RU 2534873. – 2014.
9. Tayfun Babadagli Evaluation of EOR methods for heavy-oil recovery in naturally fractured reservoirs // Journal of Petroleum Science and Engineering, 37 (2003) 25-37.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ГАРТМАНА-ШПРЕНГЕРА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ БЕЗОГНЕВОГО ПОДОГРЕВА ГАЗА НА ГРС

Шубин А.В. (СПГУ, shuand97@mail.ru),
Белоусов А.Е. (СПГУ, gagaqd@gmail.com), Дмитриева А.С. (СПГУ,
Alena_dmitrieva57@rambler.ru)*

Аннотация

В работе предлагается использование энергоразделяющего устройства на основе эффекта Гартмана-Шпренгера для осуществления безогневого подогрева газа на газораспределительных станциях. Смешение стратифицированных потоков в ЭУ обеспечивает повышение температуры основного потока газа, тем самым предотвращая создание условий, благоприятных для гидратообразования. Устройство работает за счёт перепада давления и энергии вращения вала, создаваемой детандер-генератором. Эффективность получения тепловой энергии резонансным способом подтверждена численным моделированием в программном продукте ANSYS FLUENT. Данная технология позволит частично или полностью исключить получение тепловой энергии на газораспределительных станциях путём сжигания газа.

Ключевые слова: природный газ, газопровод, энергосбережение, энергоразделение, эффект Гартмана-Шпренгера, редуцирование, газораспределительная станция, natural gas, gas pipeline, energy saving, energy separation, Hartmann-Sprenger effect, pressure reduction, gas distribution station.

При редуцировании вследствие эффекта Джоуля-Томпсона происходит существенное падение температуры природного газа, что может привести к образованию газогидратов, обмерзанию запорно-регулирующей арматуры, приборов и трубопроводов газораспределительных станций (ГРС). Традиционные способы борьбы с гидратообразованием имеют следующие особенности:

- подогрев за счёт сжигания части транспортируемого газа (0,08÷0,2 %). Надёжный и проверенный способ, однако приводящий к потерям газа сжиганием, необходимостью усложнения технологической цепочки на ГРС, установкой специальных дорогостоящих подогревателей, которые ухудшают экологическую обстановку продуктами сгорания;
- ввод антигидратных ингибиторов в поток газа. Эффективный способ, но требующий непрерывного ввода дорогостоящего ингибитора.

Применение энергоразделяющих устройств (ЭУ) позволит осуществлять подогрев газа путём утилизации энергии давления. Проанализировав существующие способы энергоразделения, выбран эффект Гартмана-Шпренгера, как наиболее эффективный в получении высоких температур. В основе эффекта лежит разогрев газа на дне заглушенной полости, за счёт возникновения в ней резонансных пульсаций под воздействием высокоскоростного потока газа на вход полости. На выходе получаются два потока: разогретый и охлаждённый [1]. При их последующем смешении возможно получение эффекта квазиизотермического редуцирования. Явления, при котором понижение давления с попутным смешением горячего и холодного потока происходит с обеспечением постоянства или повышения температуры газа на выходе из устройства.

Разработано устройство, работающее за счёт утилизации давления и детандер-генератора, который обеспечивает электроэнергией для собственных нужд ГРС, а также передаёт энергию вращения на устройство, для создания периодических пульсаций давления. Схема резонансного ЭУ представлена на рисунке 1.

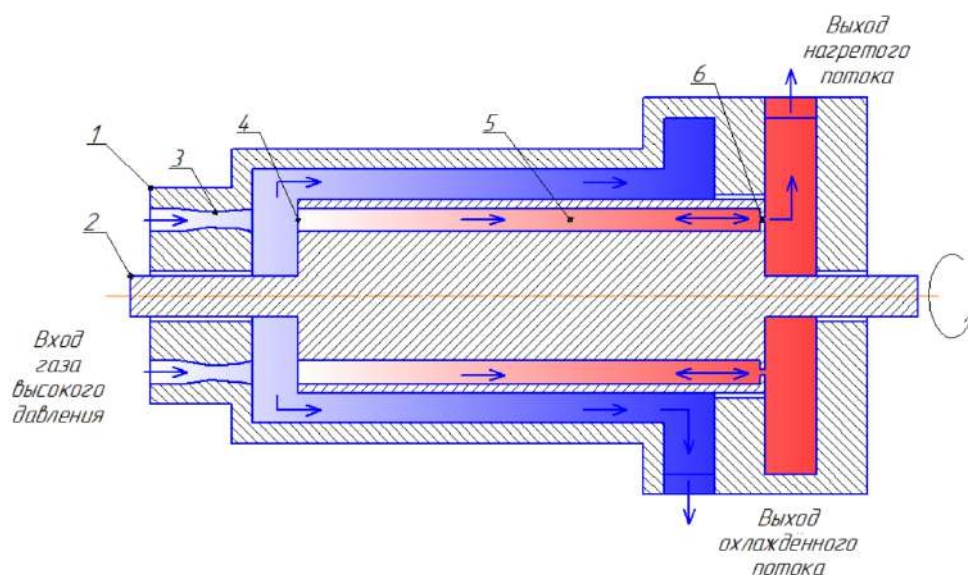


Рисунок 1. Разработанное резонансное ЭУ

Резонансное ЭУ состоит из стационарного корпуса 1 и вращающейся внутренней части 2, совмещённой с валом детандера. Красным и синим цветом обозначена степень разогрева и охлаждения газа соответственно. Сперва, в устройстве газ проходит сквозь отверстия, содержащие разгоняющие сопла Лавы 3. Затем, высокоскоростной поток воздействует на вход 4 в вращающиеся полузаглушенные полости 5, создавая в них резонанс пульсаций давления. Разогретый поток выходит через небольшие отверстия на дне полостей 6. Охлаждённый поток, не участвовавший в резонансе, выходит с другой стороны. Образовавшийся нагретый газ можно использовать для обогрева оборудования станции. После смешения потоков газ поступает в детандер.

Эффективность получения тепловой энергии резонансным способом подтверждена численным моделированием в программном продукте ANSYS FLUENT. Решение проводится на основе DES (Detached eddy simulation – метод отсоединенных вихрей) модели турбулентности с учетом свойств реального газа, описываемых уравнением Редлих-Квонга (Redlich-Kwong) [2].

Моделирование произведено для одной полузаглушенной полости в двумерной постановке. На входе задается температура 300 К и скорость, описываемая синусоидальным законом с частотой равной резонансной частоте в полостях, и изменяющаяся от 0 до 200 м/с. Анализ результатов моделирования показал, что смешение стратифицированных потоков позволит повысить температуру на выходе из устройства на 4-5 °С, затрачивая при этом только энергию давления.

Данная технология позволит частично или полностью исключить получение тепловой энергии на газораспределительных станциях путём сжигания газа.

Литература

1. Шпаковский Д.Д. Аэродинамический нагрев тупиковой полости в набегающем потоке: дис. ... канд. техн. наук. – Омск, 2002. – 180 с.
2. ANSYS 19.0. – Fluent Documentation. – Houston: Swanson Analysis Systems IP, Inc., 2019.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЦЕССА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ПРИ КУЧНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ ПУТЕМ ВСТРЯХИВАНИЯ ШТАБЕЛЯ КАМУФЛЕТНЫМИ ЗАРЯДАМИ

Боровков Ю.А., (МГРИ, email: bua_51@mail.ru); Якшибаев Т.М. (МГРИ аспирант
кафедры ГСФПП, email: temur19.01.1988.tm@list.ru*

Аннотация

В докладе рассматриваются параметры и действие камуфлетного взрыва цилиндрического скважинного заряда для рыхления рудного штабеля КВ с целью повышения процесса извлечения золота

Ключевые слова: радиус, трещинообразования, рудный штабель, взрыв, камуфлетный цилиндрический заряд ВВ, радиальное напряжение, массив горных пород, радиус скважинного заряда ВВ.

При длительном орошении рудного штабеля при кучном выщелачивании количество полезного компонента, переходящего в раствор со временем, уменьшается из-за фильтрации раствора по определенным трассам и смачивании определенной поверхности кусков. Поэтому для повышения процесса извлечения полезного компонента необходимо через определенное время производить встряхивание рудной массы штабеля. Одним из способов встряхивания рудной массы является взрывание камуфлетных зарядов. Но для этого необходимо исследовать основные параметры такого взрыва, воздействующего на уступы штабеля, к которым относится радиус зоны трещинообразования и энергетические характеристики взрывчатого вещества.

Для определения радиуса зон трещинообразования в рудном штабеле КВ, частично использовалась математическая модель действия камуфлетного взрыва цилиндрического скважинного заряда, разработанная авторами работ [1]. При этом будем считать, что радиус трещинообразования массива определяется действием взрыва камуфлетного цилиндрического заряда ВВ диаметром равной – d_0 .

Согласно законам теории упругости, радиус трещинообразования горного массива зависит от величины тангенциальных напряжений на растяжение, возникающих в горном массиве, которые определяется по эмпирической формуле.

$$\sigma_{рас} = \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_{сж}, \quad (1)$$

где, $\sigma_{сж}$ – радиальные напряжения на сжатие, МПа; μ - коэффициент Пуассона.

Радиальные напряжения на сжатие на фронте детонационной волны и скорость массового смещения массива горных пород связаны между собой следующей зависимостью,

$$\sigma_{сж} = U \cdot \frac{\rho \cdot C_p}{g} \quad (2)$$

где ρ C_p – акустическая жесткость массива горных пород, $1,5 \cdot 10^5 - 15 \cdot 10^5$ гс·см/см³·с; g – ускорение свободного падения, (9,81 м/с²).

Скорость массового смещения продуктивного пласта определяется по известной формуле акад. М.А. Садовского:

$$U = A \cdot \left(\frac{\sqrt{Q}}{R_{mp}} \right)^m, \quad (3)$$

где A – коэффициент, зависящий от условия взрывания, принимается 200-250; Q – масса заряда ВВ, кг; R_{mp} – расстояние от центра заряда до рассматриваемой точки, м; m – коэффициент поглощения энергии для камуфлетного цилиндрического заряда ВВ, $m=2$ [2].

Подставляя в уравнение (3) значения $Q = 2\pi R_0^3$, имеем (R_0 – радиус скважины),:

$$U = 3,54 \cdot \left(\frac{R_0}{R_{mp}} \right)^2, \quad (4)$$

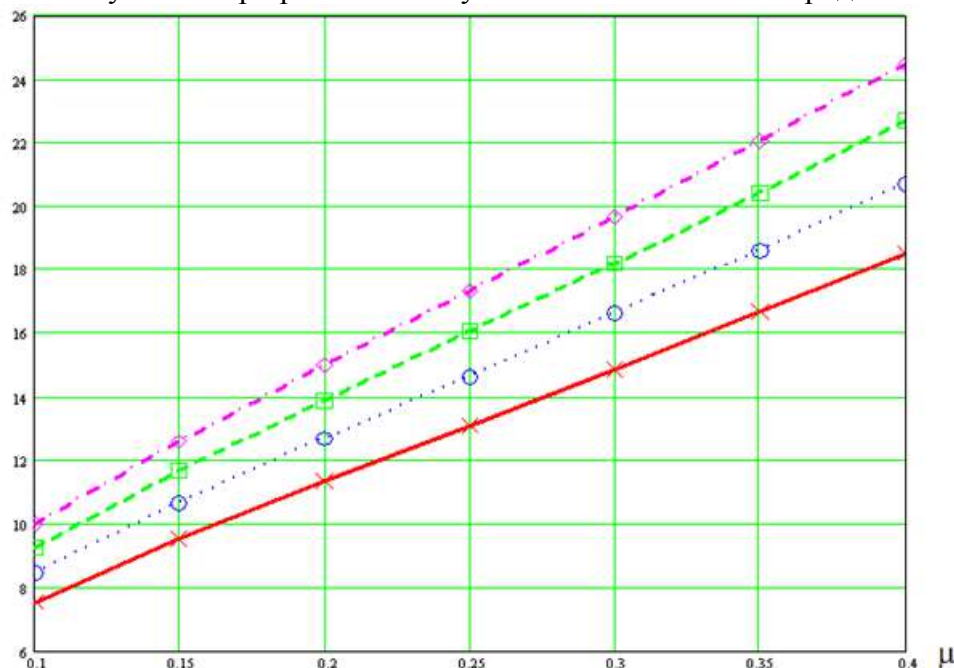
Решив уравнение (4) относительно R и поставив значения U , $\sigma_{сж}$, получим следующую эмпирическую формулу:

$$R_{mp} = R_0 \cdot \sqrt{\frac{3,54 \cdot A \cdot \rho C_p \cdot \mu}{\sigma_{рас} \cdot (1 - \mu)}}, \text{ м} \quad (5)$$

Максимальный радиус зон трещинообразования в глубине рудного штабеля окончательно определяется из условий $\sigma_{рас} = [\sigma_p]$ ($[\sigma_p]$ – предел прочности на одноосное растяжение):

$$R_{mp} = R_0 \cdot \sqrt{\frac{3,54 \cdot A \cdot \rho C_p \cdot \mu}{[\sigma_p] \cdot (1 - \mu)}}, \text{ м} \quad (6)$$

На рис. 1. показан график максимальной зависимости, радиуса зон трещинообразования горных пород в рудном штабеле КВ в зависимости от коэффициента Пуассона при различной акустической жесткости пород.

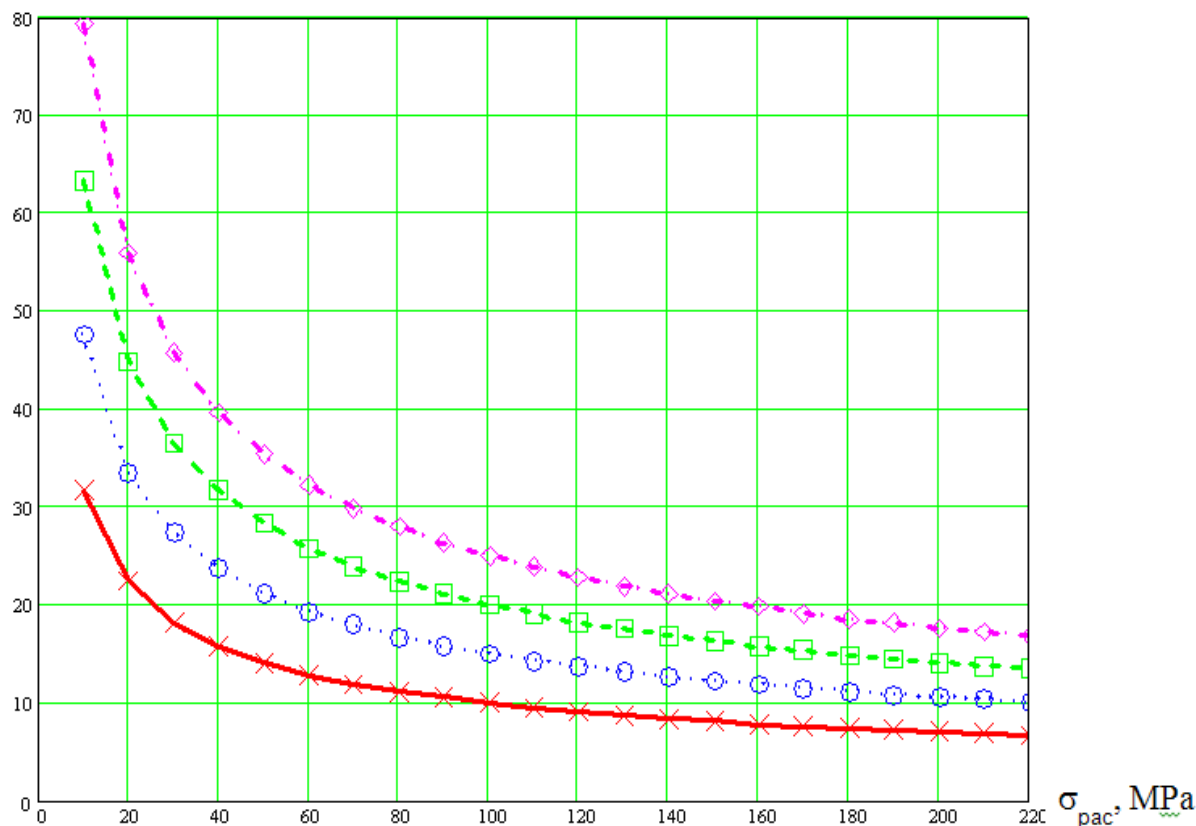


ρC_p , (x - $8,0 \cdot 10^9$; o - $10,0 \cdot 10^9$; □ - $12,0 \cdot 10^9$; ◇ - $14,0 \cdot 10^9$) Н·с/м²

Рисунок 1. Максимальный радиус зон трещинообразования горных пород, в рудном штабеле КВ в зависимости от коэффициента Пуассона при различной акустической жесткости пород

На рис. 2. показан график максимального радиуса трещинообразования горных пород, в рудном штабеле КВ в зависимости от их прочностных свойств на растяжения при различных радиусах скважинного заряда ВВ.

R, m



R_0 , (x - 0,05; \circ - 0,075; \square - 0,100; \diamond - 0,125) m

Рисунок 2. Максимальный радиус трещинообразования горных пород, в рудном штабеле КВ в зависимости от их прочностных свойств на растяжения при различных радиусах заряда ВВ

На рис. 3. показан график зависимости максимального радиуса зон трещинообразования горных пород, в рудном штабеле КВ в зависимости от радиуса заряда ВВ при различной его акустической жесткости.

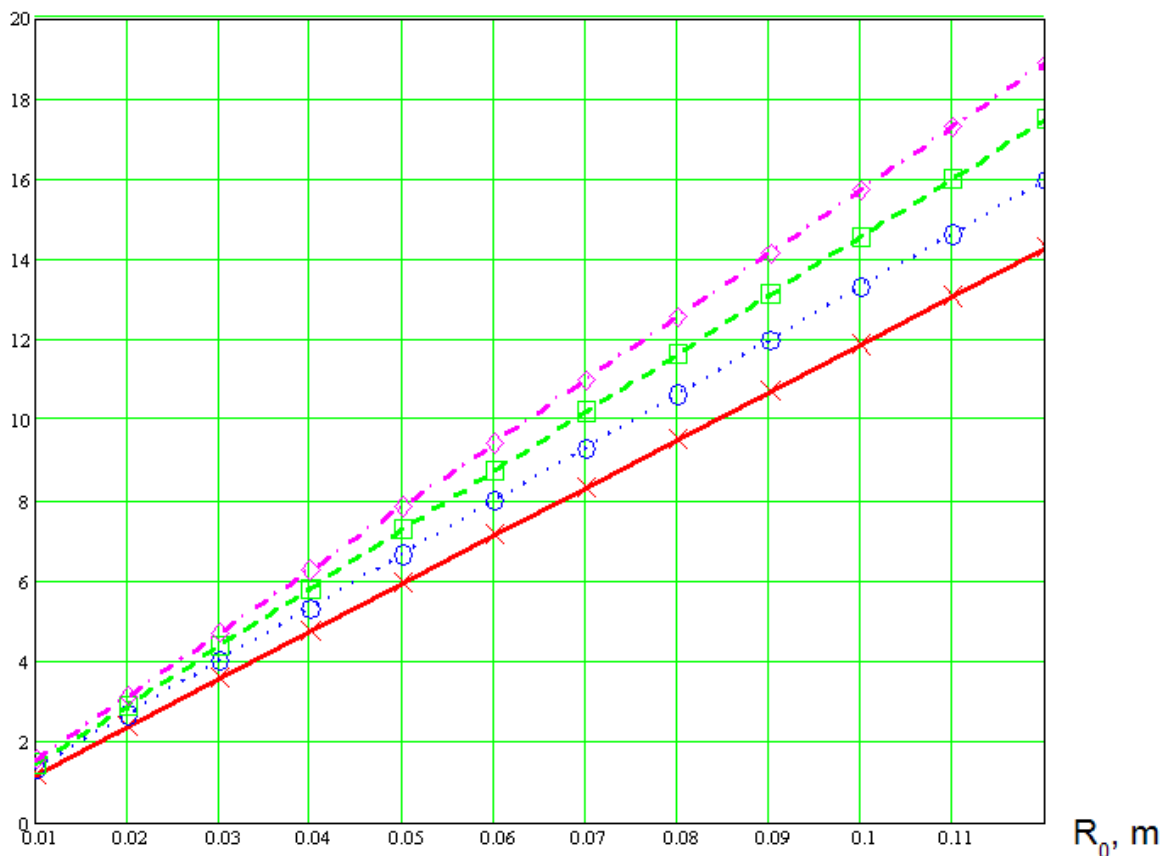
Таким образом, разработана математическая модель действия камуфлетного взрыва цилиндрического скважинного заряда, описывающая зоны трещинообразования в глубине массива горных пород рудного штабеля КВ.

Установлено, что при взрыве камуфлетного цилиндрического заряда, под воздействием ударной и отраженной волн напряжения от свободной поверхности уступа в глубине массива горных пород рудного штабеля КВ образуется зона трещинообразования массива. Определен радиус зоны трещинообразования, зависящий от радиуса камуфлетного заряда, коэффициента определяющего условия взрывания, акустической жесткости массива, коэффициента Пуассона и прочностных свойств горных пород рудного штабеля КВ на растяжение.

При выбранных параметрах камуфлетного способа рыхления штабеля кучного выщелачивания прогнозное повышение извлечения золота на карьере Мурунтау

(Узбекистан) по предварительным расчетам увеличится за первую неделю орошения рудной массы на 20-25%.

R, m



ρC_p , (x - $8,0 \cdot 10^9$; o - $10,0 \cdot 10^9$; □ - $12,0 \cdot 10^9$; ◇ - $14,0 \cdot 10^9$) Н·с/м²

Рисунок 3. Максимальный радиус зон трещинообразования горных пород, в рудном штабеле KB в зависимости от радиуса заряда BB при различной его акустической жесткости

Литература:

1. Жигур Л.Ю., Мезин А.И. Исследование механизма взрывного нагружения горных пород в зоне недозаряда в скважине. – В кн.: Взрывное дело, №86/43. М., Недра, 1984. –С. 221-225.
2. Мосниец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М., Недра, 1976.

ВОСТРЕБОВАННОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ГЛУБОКИХ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ В ЗФ ПАО «НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ».

*Гудков С.Л. ПАО «ГМК «Норильский Никель»», serzh.gudkov.75@inbox.ru,
Несмотряев В.И. МГРИ, vladimirnesmotryaev@mail.ru, Яшин В.П. МГРИ,
yashin49@bk.ru, Яшина В.И. МГРИ, yashina1950@bk.ru*

Аннотация

В работе рассматриваются вопросы необходимости поддержания баланса запасов руд (богатых, медистых и вкрапленных) для устойчивой работы ПАО «ГМК «Норильский Никель» и реализации комплексного инвестиционного проекта «Развитие рудника «Скалистый». Освещены особенности строительства самых глубоких в Евразии шахтных стволов глубиной более 2000 метров.

Ключевые слова: руда, рудник, месторождение, минерально-сырьевая база, комплексный инвестиционный проект, шахтный ствол, клеть, скип, грузоподъемность, срок окупаемости капиталовложений, плановая годовая производительность.

На территории Арктической зоны России действуют шесть крупных рудников ПАО «ГМК «Норильский Никель» (ГМК «Норникель»), разрабатывающих три месторождения на севере Красноярского края (Заполярный филиал) и четыре месторождения в Печенгском рудном районе Мурманской области «Кольской горно-металлургической компанией» (Кольская ГМК), созданной в 1998 году на базе старейших предприятий – комбинатов «Североникель» и «Печенганикель». Они объединены в единое горно-металлургическое производство по добыче сульфидных медно-никелевых руд и производству цветных металлов. Кольская ГМК выпускает: электролитный никель и медь, карбонильные никелевые порошки и дробь, кобальтовый концентрат, концентраты драгоценных металлов, серную кислоту и др. Продукция отличается высоким качеством и соответствует всем требованиям российских и международных стандартов. Ее доля в общих объемах выпуска продукции ГМК «Норникель» составляет: по никелю — 39 %; по меди — 15 %, по кобальту — 42 % (данные 2010 г.).

Заполярный филиал ГМК «Норникель», в соответствии с предоставленными лицензиями, обрабатывает запасы трех месторождений сульфидных медно-никелевых руд: Талнахское и Октябрьское, формирующие Талнахский рудный узел, а также Норильск-1. Талнахское месторождение эксплуатируется рудниками «Маяк», «Комсомольский» и «Скалистый». Октябрьское месторождение эксплуатируется рудниками «Комсомольский», «Октябрьский» и «Таймырский». На рудниках добываются богатые, медистые и вкрапленные руды. Месторождение Норильск-1 разрабатывается открытым рудником «Медвежий ручей» и подземным рудником «Заполярный». Для обеспечения работы этих рудников в Арктике выросли города Норильск, Дудинка, Мончегорск, Никель и др.

Ежегодно ГМК «Норникель» добывает 25 млн тонн руды, из которых извлекают никель, медь, кобальт, золото, серебро, платину, иридий, селен, палладий, рутений, осмий и теллур.

Объемы имеющейся минерально-сырьевой базы позволяют ГМК «Норникель» поддерживать достигнутый уровень добычи металлов в обозримой перспективе. В табл. 1 приведена доля арктических запасов и добычи ГМК «Норникель» по отношению к мировым (на 2016 г.).

Таблица 1.

Металлы	Доля в запасах (%)	Доля в добыче (%)
---------	--------------------	-------------------

Никель	10.15	12
Кобальт	3.3	5
Медь	0.48	2
Платина	18.931	11
Палладий	-	40

В последние несколько лет ГКМ «Норникель», судя по отчётам, публикуемым в прессе, зарабатывает более 8 млрд. долларов США (2016 г. – 8.26 млрд.). Причём 43% выручки даёт никелевая продукция, затем медь – 24%, палладий – 20% и платина – 12%. Отметим, что арктические рудники ГКМ «Норникель», так же производят ежегодно 4.5–5.0 т золота и около 100 т серебра. По итогам 2017 г. Норникель сократил объём производства никеля на 8% относительно 2016 г. до 217 тыс. тонн, но увеличил производство меди на 11% - до 401 тыс. тонн. Производство палладия за 2017 г. возросло на 6% до 2780 тыс. унций (86.5 т), платины – на 4% до 670 тыс. унций (21 т).

Для поддержания баланса запасов руды (доказанных и вероятных) и погашенных (добыча и потери) на комбинате в контуре залежей эксплуатируемых месторождений (Октябрьское, Талнахское, Норильск-1) постоянно осуществляется эксплуатационная разведка медно-никелевых руд. Для восполнения отработываемых запасов богатых и медистых руд на действующих рудниках в основном используются предполагаемые ресурсы на флангах эксплуатируемых месторождений. Перспективы развития горных работ связаны с пока нескрытыми залежами богатых руд, а также горизонтами медистых и вкрапленных руд, которые будут интенсивно вовлекаться в эксплуатацию для поддержания добычи металлов. Однако в перспективе по мере отработки текущих залежей богатой руды на Заполярном филиале ГКМ «Норникель», ожидается значительное падение объёмов производства никеля и металлов платиновой группы. С целью дозагрузки производственных мощностей горно-металлургического производственного комплекса ГКМ «Норникель» и сохранения объёмов производства никеля и металлов платиновой группы, возникнет необходимость дополнительного вовлечения больших объёмов добычи медистых и вкрапленных руд. В этом случае будет наблюдаться значительное падение операционной рентабельности ГКМ «Норникель» с одновременным ростом потребности в инвестиционных ресурсах (увеличение мощности рудников и обогатительного комплекса). Снижение технико-экономических показателей ГКМ «Норникель» может привести к уменьшению прибыли от реализуемой продукции и, как следствие, к снижению налоговых отчислений в бюджет Красноярского края.

В тоже время, прирост разведанных запасов богатых руд в поле рудника «Скалистый» связан с увеличением глубин их залегания более 1700 метров. В рудном поле "Скалистого" в двух месторождениях (Талнахское и Октябрьское) по утвержденным проектам числится на балансе порядка 60 млн тонн богатой руды. Это при существующей производственной мощности 2,1 млн тонн товарной богатой руды в год и постепенном наращивании до проектной мощности в 2,4 млн тонн в год позволяет уверенно оперировать показателями обеспеченности запасов на уровне 40–45 лет. На балансе рудника есть и более 20 млн тонн медистой руды, а также вкрапленная руда.

Для поддержания выбывающих и развития новых производственных мощностей минерально-сырьевой базы Компания приступила к реализации

комплексного инвестиционного проекта «Развитие рудника «Скалистый» [1]. Реализация комплексного проекта позволит ГМК «Норникель» увеличить объемы добычи богатых руд, что обеспечит сохранение объемов производства никеля и металлов платиновой группы. Но на реализацию проекта потребуются большие финансовые вложения, которые не каждый комбинат может осилить.

Потребность финансовых средств на реализацию комплексного инвестиционного проекта «Развитие рудника «Скалистый» в периоде с 2010 по 2025 гг. оценивается суммой порядка 134 млрд рублей.

Программой предусмотрено строительство двух глубоких шахтных стволов - вентиляционного ствола (ВС-10) и скипо-клетевого ствола (СКС-1) глубиной свыше 2000 метров, а также современного поверхностного комплекса.

Для реализации инвестиционного проекта был объявлен тендер на разработку проекта и строительство объектов комплекса под ключ. В международном тендере, который проводила ГМК «Норникель», фирма ThyssenSchachtbau обошла пять сильнейших конкурентов из России, Украины, Канады и ЮАР. По условиям контракта немецкие специалисты должны сдать под ключ весь комплекс объектов, куда входят: стволы с технологическими отходами, главная вентиляционная установка с кондиционированием воздуха, здание подъемных машин и другие объекты инфраструктуры. На первом этапе строительства фирмой привлекались только немецкие специалисты. Со временем, когда россияне овладели западными технологиями и оборудованием, процент иностранцев значительно снизился. Для строительства шахтного ствола немецкие специалисты применили традиционный буровзрывной способ проходки и параллельную схему сооружения ствола с использованием многоэтажного полка.

Стволы рудника вскроют самые глубокие и богатые залежи Октябрьского месторождения. Рудник «Скалистый» будет укомплектован самыми современными средствами автоматизации и необходимым количеством передовой горно-проходческой техники и по праву будет носить звание самого инновационного горного предприятия ГМК «Норникель».

Расчет финансовых средств выполнен на основании сводно-сметных расчетов с учетом сценарных условий развития Компании и графика добычи товарной руды с 2010 по 2030 гг. Срок окупаемости капиталовложений комплексного проекта «Развитие рудника «Скалистый» без учета дисконта – 99 месяцев, с учетом дисконта – 172 месяца.

Основной особенностью проекта является то, что строительство копра и подъемных установок ведется сразу на весь период проходки и дальнейшей эксплуатации. Такая схема называется одноэтапной и существенно отличается от ранее применявшейся в России при строительстве шахтных стволов двухэтапной, когда для проходки использовались временные здания и сооружения, а затем строились постоянные. Одноэтапная схема должна сократить сроки строительства на 1,5–2 года.

Для строительства шахтного ствола ВС-10 немецкие специалисты применили традиционный буровзрывной способ проходки и параллельную схему сооружения ствола с использованием многоэтажных «шагающих» механизированных полков [2,3]. Для проходки стволов используются семиэтажные проходческие полки – конструкции длиной 70 метров и весом 200 тонн. Рабочие, находящиеся на этих полках, параллельно ведут проходку и монтаж армировки ствола. А это большая экономия времени. Данная технология позволит вести строительство со скоростью до трех (шести) метров готового ствола в сутки. Параллельно с проходкой ствола ВС-10 сооружается еще один ствол глубиной более двух километров - скипо-клетевой ствол (СКС-1). Реализация этих грандиозных проектов позволит вскрыть запасы богатых руд

Талнахского и Октябрьского месторождений, и по расчетам специалистов, к 2022 году рудник «Скалистый» должен увеличить свою производственную мощность по добыче богатой руды с 1,1 млн. до 3,5 млн. тонн в год и станет лидером среди рудников минерально-сырьевого комплекса по выпуску товарной продукции.

11 сентября 2018 года ствол ВС-10 достиг проектной глубины 2056 метров [4]. Этот вентиляционный ствол предназначен для обеспечения воздухом и проветривания подземных горных выработок, находящихся в районе рудных залежей северного участка Талнахского месторождения. Кроме того, по стволу будет осуществляться доставка на поверхность породы, он также будет служить запасным выходом персонала в случае введения плана ликвидации аварии. На скипо-клетевом стволе №1 пройдена отметка 1800 метров при проектной глубине 2052 метра, которую планируется достичь в четвертом квартале 2019 года. Проходка СКС-1 ведется с применением машин компании OLKO MaschinentechникGmbH. В настоящее время на СКС-1 под руководством шеф-инженеров (SIEMAG, ELPRO) подрядчики приступили к монтажу клетевой и скиповой подъемных установок постоянного периода. Работы по монтажу металлоконструкций, которые доставляют поэлементно, на месте проводится их укрупнительная сборка и монтаж с помощью автокранов фирмы «Либхерр» грузоподъемностью до 160 тонн. Монтируемые агрегаты имеют весьма внушительные для норильской производственной площадки технические характеристики. В частности, у клетевой подъемной машины (тип "Коере") диаметр канатоведущего шкива составляет 6,5 метра. В клетки, которой оснастят ствол СКС-1, можно будет транспортировать грузы массой до 20 тонн либо до 80 человек персонала. Подъем и спуск будет производиться со скоростью до 12 метров в секунду. Мощность электродвигателя установки составляет более 2,2 МВт. Скиповая подъемная машина, которую параллельно установят на СКС-1, будет оснащена самым мощным на территории ГМК «Норникель» электродвигателем – 8,6 МВт. Диаметр ее барабана составляет 5,7 метра. Машина будет поднимать на-гора со скоростью до 14 метров в секунду специальные емкости – скипы собственным весом 23 тонны, объемом 11 кубических метров, загруженные добытой рудой с полезной нагрузкой 30 тонн. Плановая годовая производительность скиповой подъемной машины составляет до 1 млн 500 тыс. тонн, ее масса в сборе – около 500 тонн. При монтаже тяжеловесных частей, например 90-тонного вала, применяется инновационная для ГМК «Норникель» гидравлическая лифт-система фирмы КРАН грузоподъемностью до 360 тонн.

Сейчас Заполярный филиал перерабатывает в год более 17 млн тонн руды, а к 2028 году компания должна выйти на 24 млн тонн [5].

Литература

1. Инвестиционный проект «Развитие рудника «Скалистый» на 2010 – 2025 г.г.
2. Брюховецкий О.С., Рудаков В.М., Чабанюк М.Ю., Яшин В.П. Анализ отечественного и зарубежного опыта сооружения глубоких шахтных стволов. Сборник докладов XI Международной конференции «Новые идеи в науках о земле». Том. 2, стр. 10-12.
3. Брюховецкий О.С., Иляхин С.В., Карпиков А.П., Яшин В.П. Основы горного дела. Учебное пособие. 2016. 20.0 п.л. Издательство «Лань», г. С-Петербург.
4. На руднике "Скалистый" приступили к сборке подъемных установок на скипо- клетевом стволе № 1. ИА Таймырский Телеграф, 22.08.2018.
5. <http://www.vestifinance.ru/articles/97067>.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ УТИЛИЗАЦИИ БУРОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Апанасеко К. С. (МГРИ, hristina11@bk.ru)

Буровые сточные воды (БСВ) образуются при бурении скважин в результате частичного сброса отработанного бурового раствора, охлаждения штоков насосов, обмыва резьбовых соединений бурильных труб, очистки сеток вибросит, мойке продуктов промывки бурового и тампонажного инструмента и оборудования после использования тампонажных растворов, производственных площадок, а также воды, стекающие с территории буровой в результате выпадения атмосферных осадков.

Наибольший объем среди отходов бурения составляют БСВ. Это связано с тем, что строительство скважин сопровождается потреблением значительных объемов природной воды и образованием загрязненных стоков в виде БСВ. Суточная потребность буровой в технической воде колеблется в широких пределах от 25-30 до 100-120 м³ и зависит как от природно-климатических условий и геолого-технических особенностей проводки скважин, так и от организации системы водоснабжения.

Физико-химический состав их изменяется в широких пределах, как на разных буровых, так и в процессе бурения одной и той же скважины.

Выбор метода очистки БСВ зависит от степени дисперсности частиц, физико-химических свойств и концентрации примесей, а также требований, обусловленных направлением утилизации очищенной воды.

Представленным и наиболее доступным методом очистки является механический. Компактностью и простотой конструкции обладает гидроциклонный способ очистки. Однако этот метод обеспечивает отделение минеральных частиц диаметром более 15-20 мкм. Это приводит к тому, что фракция высокодисперсных и коллоидных веществ остается в сточной воде.

Наиболее универсальным для очистки БСВ от органических загрязнений является биологический метод. Он основан на способности микроорганизмов использовать разнообразные вещества, содержащиеся в сточных водах, в качестве источника питания в процессе их жизнедеятельности. Преимущества биологического метода очистки – возможность удалять из сточных вод разнообразные органические соединения, в том числе токсичные, простота конструкции аппаратуры, относительно невысокая эксплуатационная стоимость. К недостаткам следует отнести высокие капитальные затраты, необходимость строго соблюдения технологического режима очистки, токсичное действие на микроорганизмы некоторых органических соединений и необходимость разбавления сточных вод в случае высокой концентрации примесей.

При химических методах очистки БСВ используются различные реагенты. Реагенты, вступая в реакцию с загрязнителями, образуют новые безопасные для человека соединения, которые выпадают в нерастворимый осадок. Этот осадок, в дальнейшем, отделяется и выводится из воды. Главным преимуществом химического метода является высокая эффективность при больших объемах воды, а недостатком – использование химических реактивов.

Физико-химическая обработка изымает из сточной воды тонкодисперсные и растворенные неорганические вещества, разрушает трудно окисляемые и органические соединения.

Существует несколько способов физико-химической очистки, но коагуляция является наиболее эффективным из них. В основе метода лежит добавление в сточные воды активных коагулянтов: соли аммония, меди, железа. Вредные вещества выпадают

в осадок хлопьями, которые изымаются без особого труда. Метод имеет эффективность до 95%.

Вследствие высокой подвижности БСВ и их аккумулирующей способности к загрязняющим веществам являются самым опасным отходом при бурении, способным загрязнить обширные зоны гидро- и литосферы.

Можно сделать вывод о том, что методы очистки БСВ достаточно разнообразны, но их развитие не успевает за эволюцией загрязнителей, которые становятся все более разнообразными вслед стремительному развитию научно-технического прогресса.

Литература

1. Булатов А.И., Левшин В.А., Шеметов В.Ю. Методы и техника очистки и утилизации отходов бурения // Обзор. Инф. Сер. Борьба с коррозией и защита окружающей среды. М.: ВНИИОЭНГ, 1989.
2. Булатов А.И., Макаренко П.П., Шеметов В.Ю. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности. 1997.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИКАТИОННЫХ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ «КАТБУРР» НА АСТРАХАНСКОМ ГКМ

*Гайдаров А.М. (ООО «Газпром ВНИИГАЗ», a_gaydarov@vniigaz.gazprom.ru),
Хуббатова Ю.М. (ООО «Газпром ВНИИГАЗ», y_khubbatova@vniigaz.gazprom.ru)*

Аннотация

При бурении скважин на нефть и газ, наибольшие трудности и технологические осложнения во всем мире связаны с набуханием глин и неустойчивостью ствола скважины. Бурение набухающих глин сопровождается значительной наработкой, ухудшением свойств и технологических показателей раствора, увлажнением стенок скважин с последующим сужением ствола, желобообразованием, налипанием породы на бурильный инструмент с образованием сальников и т.п. Революционным прорывом в области промывочных жидкостей является разработка новейшей системы бурового раствора на водной основе с применением поликатионных полимеров. Впервые найдено решение технически сложной задачи, над которой работают во всех мировых компаниях, занимающихся бурением скважин: сочетание в буровом растворе высоких выносных, ингибирующих и крепящих свойств.

Ключевые слова : поликатионные буровые растворы, скважина, промывочная жидкость.

Вступление: В мировой практике и в России все традиционно используемые водные буровые растворы, представляют с собой глинистые суспензии или безглинистые системы, стабилизированные анионными и неионными полимерами. В качестве полимеров-стабилизаторов наибольшее применение нашли: водорастворимые эфиры целлюлозы (анионные и неионные), крахмал (неионный), акриловые реагенты (анионные), лигносульфонаты (анионные).

Многолетний накопленный мировой опыт бурения нефтяных и газовых скважин в различных горно-геологических условиях свидетельствует о существенных недостатках анионных и неионных буровых растворов. К основным недостаткам можно отнести низкие ингибирующие свойства и крепящую способность, многокомпонентность и сложность управления свойствами раствора в процессе бурения, обязательное регулирование pH среды, низкую устойчивость к температуре и агрессивным пластовым флюидам, биодеструкцию полимеров и др.

Совершенствовать традиционные системы буровых растворов известными химическими реагентами практически не представляется возможным, поскольку они исчерпали свой потенциал. Все указанные недостатки легко устраняются при использовании поликатионных сополимеров. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» занимается исследованием и разработкой стабильных термостойких буровых растворов с высокими ингибирующими и крепящими свойствами, стабилизированных поликатионными сополимерами. К настоящему времени уже разработано и запатентовано более 30 составов поликатионных буровых растворов типа «Катбурр». Несколько модификаций «Катбурр» прошли промысловые испытания на Астраханском ГКМ. На этом месторождении бурение ведется в сложных горно-геологических условиях, обусловленных чередованием набухающих и неустойчивых глинистых пород, значительных интервалов солевых отложений, наличием зон аномальных пластовых давлений, повышенных температур, большими глубинами залегания углеводородного сырья, агрессивными пластовыми флюидами и др. Результаты применения поликатионных систем на Астраханском ГКМ в надсолевом разрезе, свидетельствуют о высоких ингибирующих и крепящих свойствах раствора в сравнении со всеми ранее использованными традиционными системами. В

процессе бурения структурно -реологические и фильтрационные показатели поликатионных растворов типа «Катбурр» проявляют исключительную стабильность. Следует отметить, что на Астраханском ГКМ впервые , удалось полностью предотвратить наработку раствора. Использование поликатионных систем позволяет не меняя основного раствора проходить различные по свойствам и составам горные породы. В процессе бурения в солевых отложениях было выявлено, что солевая агрессия не ухудшает свойства раствора «Катбурр». В отличие от «Катбурр» традиционные анионные и неионные системы коагулируют при бурении галита, ангидритов и гипсов, что приводит к ухудшению технологических показателей.

Помимо стабильных технологических показателей раствора «Катбурр» необходимо отметить значительное снижение расхода химических реагентов и повышение технико-экономических показателей бурения, возможность неоднократного его применения на соседних скважинах.

Промысловые испытания «Катбурр» на скважинах Астраханского ГКМ выявили следующие преимущества: малокомпонентность системы (поликатионный сополимер одновременно является стабилизатором – понизителем фильтрации, разжижителем, бактерицидом и ингибитором набухания глин); стабильность и простота управления технологических показателей раствора в течение всего цикла строительства скважины; рН среды поликатионной системы не влияет на технологические показатели и свойства раствора (управление рН среды катионного раствора не производится); содержание и увеличение концентрации катионов кальция и магния оказывают улучшающее действие (осаждение катионов кальция и магния в катионном растворе не требуется); в поликатионных пресных системах с содержанием крахмала и биополимера, процессы биодеструкции не протекают (отпадает необходимость применения бактерицида); высокие ингибирующие свойства раствора обеспечивают предотвращение набухания и диспергирования глин (отсутствие наработки раствора); переход с пресной поликатионной системы на высокоминерализованный происходит без каких либо признаков коагуляции и ухудшения технологических показателей (не требуется дополнительных затрат по стабилизации); высокая устойчивость к температуре (показатель фильтрации в забойных условиях при температуре 110°С не более 5 см³/30 мин).

По результатам опытно-промышленного применения «Катбурр» на Астраханском ГКМ, принято решение о его дальнейшем использовании при строительстве всех скважин.

По своей эффективности при проходке глинистых и солевых отложений, а также при воздействии агрессивных факторов система поликатионных буровых растворов не имеет аналогов, как в российских, так и зарубежных компаниях при этом по технологическим показателям значительно превосходит все известные типы буровых растворов на водной основе.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУРОВОГО РАСТВОРА НА ВЕЛИЧИНУ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ПЛОТНОСТИ

Галишин Р.Н. (Санкт-Петербургский горный университет, galishin5@rambler.ru),
Леушева Е.Л. (Санкт-Петербургский горный университет,
leusheva.ekaterina@mail.ru)*

Аннотация

В работе рассмотрены и проанализированы различные факторы, которые влияют на величину эквивалентной циркуляционной плотности полимерных растворов при бурении горизонтальных участков ствола скважин. Исследование основывается на изучении реологических параметров полимерных растворов. Полученные результаты позволяют определить оптимальный состав бурового раствора, при использовании которого, величина эквивалентной циркуляционной плотности будет находиться в интервале, необходимом для предотвращения обрушения стенок скважины и поглощения бурового раствора. Для оперативного расчета величины эквивалентной циркуляционной плотности разработана математическая модель.

Ключевые слова: полимерный раствор, эквивалентная циркуляционная плотность, реологические параметры раствора, горизонтальные скважины.

В настоящее время одной из главных задач является минимизация расходов на строительство скважин и увеличения уровня добычи. Для достижения этих задач необходимо совершенствовать технологию строительства скважин.

Одной из главных проблем при бурении горизонтальных участков стволов скважины является их устойчивость. Давление, создаваемое циркулирующим буровым раствором на стенки скважины может оказаться слишком высоким, что может привести к поглощению раствора в результате гидроразрыва пород, либо оно может оказаться меньше необходимого, что приведет к обвалам стенок скважины. Для более точного определения степени воздействия бурового раствора на устойчивость стенок скважины необходимо определять величину эквивалентной циркуляционной плотности.

Для оперативного расчета и регулирования эквивалентной циркуляционной плотности бурового раствора необходимо знать его реологические параметры. Реологические свойства буровых растворов оказывают влияние практически на все процессы и показатели, связанные с бурением скважин, поэтому они относятся к числу важнейших. В частности, реологические свойства в значительной мере определяют степень очистки забоя скважины от шлама, транспортирующую способность потока промывочной жидкости, величину гидравлических сопротивлений во всех звеньях циркуляционной системы скважины и гидродинамического давления на ее стенки и забой в процессе бурения и др. (3).

Буровые растворы, используемые при бурении нефтяных и газовых скважин, демонстрируют неньютоновское поведение: как сдвиговое разжижение, так и сдвиговое затвердевание. Обычно полагают, что в таких растворах имеется предельное напряжение сдвига и присутствуют тиксотропные эффекты (2).

Реологические свойства, проявляемые жидкостями, определяются химическим составом и строением веществ, входящих в состав раствора, содержанием твердой фазы, а также скоростью сдвига, которая будет более высокой внутри труб и более низкой в кольцевом пространстве. Скорости сдвига раствора в бурительной колонне примерно соответствуют скоростям сдвига, преобладающим в ротационном вискозиметре при частотах вращения 300–600 мин⁻¹, а скорости сдвига раствора в

кольцевом пространстве – скоростям сдвига, преобладающим в ротационном вискозиметре при частотах вращения 6-100 мин⁻¹ (1).

Регулирование реологических параметров растворов может осуществляться двумя путями: изменением концентрации глинистой составляющей твердой фазы раствора или высокомолекулярными полимерными соединениями (4). Влияние различных полимеров и их концентраций на реологические параметры бурового раствора было изучено на ротационном вискозиметре (Рисунок). Исследования показали, что наиболее благоприятные реологические параметры имеют буровые растворы, содержащие в своем составе ксантановую камедь или полианионную целлюлозу. Добавление данных полимеров приводит к значительному снижению гидравлических сопротивлений при циркуляции в заколонном пространстве.



Рисунок Ротационный вискозиметр Rheotest RN 4.1.

Реологические свойства бурового раствора являются очень важными при бурении горизонтальных скважин. От них зависит не только качественная очистка скважины от выбуренной породы, но и величина эквивалентной циркуляционной плотности. Полученные зависимости показали, что, изменяя и подбирая оптимальные реагенты в необходимых концентрациях можно добиться снижения эквивалентной циркуляционной плотности на 10-15 %. Полученные зависимости позволяют оперативно определить эквивалентную циркуляционную плотность бурового раствора и изменить ее на необходимую величину, для предотвращения осложнений, на горизонтальном участке ствола скважины.

Литература

1. Грей Дж. Р., Дарли Г. С. Г. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей): пер. с англ. – М.: Недра, 1985. – 509 с.
2. Кирсанов Е. А., Матвеев В.Н. Неньютоновское течение дисперсных, полимерных и жидкокристаллических систем. М.: «Техносфера», 2016, 379 с.
3. Маковей Н. Гидравлика бурения. Пер. с рум. – М.: Недра, 1986, 536 с.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ВСТАВКИ STINGER В СОСТАВЕ PDC ДОЛОТА

Гаттарова М.Р. (Шлюмберже, Департамент породоразрушающего инструмента и бурового оборудования, mgattarova@inbox.ru)

Аннотация

При эксплуатации PDC долот часто возникает проблема разрушения горной породы в центральной части забоя, что связано с низкой линейной скоростью центральных резцов. Инженеры компании Schlumberger предлагают использовать центральную вставку Stinger, которая имеет уникальную коническую форму. Данная технология помогает решить проблему центральной части долота, а также способствует более стабильному поведению долота, положительно сказываясь на его управляемости. Использование вставки Stinger помогает увеличить МСП на 10-15%.

Ключевые слова

PDC долото, вставка Stinger, МСП, стоимость метра проходки

Основная задача бурового процесса – это сокращение времени бурения с целью сокращения расходов. Породоразрушающий инструмент играет немаловажную роль в данном процессе. Индустрия производства PDC долот развивается с каждым днем. В настоящее время все более эффективным становится применение различных высокотехнологичных 3D PDC резцов, форма которых отличается от цилиндрической формы стандартных резцов, что обуславливает различие в механизме разрушения горной породы.

В моей работе представлен анализ эффективности применения центральной конической вставки Stinger в составе PDC долота компании Smith Bits, а Schlumberger company. При использовании стандартного долота часто возникает проблема эффективности разрушения горной породы в центральной части забоя. Это происходит потому, что линейная скорость центральных резцов ниже, чем скорость резцов, удаленных от центра (Рис.1). Также немаловажен тот факт, что центральная часть режущей структуры подвержена наибольшей нагрузке (Рис.1). Под влиянием постоянно меняющихся условий бурения (нагрузка, частота вращения, типы пород) могут наблюдаться колебания крутящего момента. Это ведет к возникновению разрушительных вибраций на долото. Таким образом, целью разработки данной конической вставки Stinger (Рис.2) являлось повышение эффективности разрушения горной породы в центральной части забоя и создание более стабильного долота.

Чтобы решить вышеописанные проблемы инженеры компании Smith Bits, а Schlumberger company предлагают следующее: в зависимости от размера долота удалить некоторое количество центральных резцов, тем самым укорачивая лопасти, и в центр режущей структуры поместить конический элемент Stinger. Его механизм работы достаточно прост: в освобожденном пространстве во время бурения формируется микро-кern горной породы (Рис.3) и разрушается за счет действия точно приложенной нагрузки конической вставки. Также использование вставки Stinger помогает значительно уменьшить вибрации и повысить управляемость за счет повышения стабильности долота. Данная технология позволяет увеличить МСП в среднем на 10-15%.

Наглядной характеристикой оценки эффективности долота является показатель стоимости метра проходки (СРМ – cost per meter). Как известно, стоимость проходки равна сумме стоимости долота, аренды привода, содержания буровой в сутки, СПО, деленной на проходку:

$$CPM = \frac{(\text{Долото} + \text{Привод} + \text{Буровая установка} + \text{СПО}), \text{ тыс. \$}}{\text{Проходка, м}}$$

В моей работе приведен расчет стоимости метра проходки, а также успешные отработки данного типа долот.

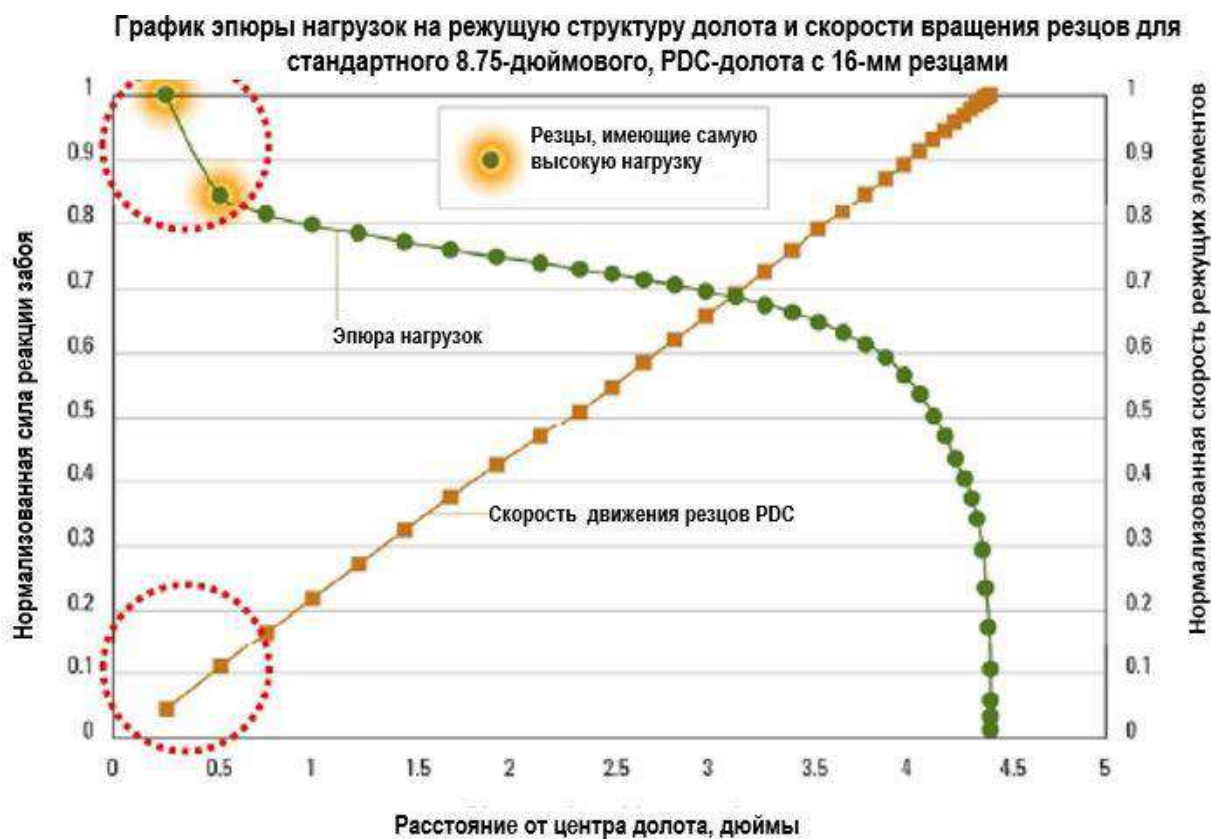


Рисунок 1. Зависимость нагрузки на резец и линейной скорости резца от расположения от центра



Рисунок 2. Коническая вставка Stinger



Рисунок 3. Образующийся микро-кern горной породы

Литература

1. Бессон А., Бер Б., Диллард С., Дрейк Э. Новый взгляд на режущие элементы буровых долот// Нефтегазовое Обозрение. – 2002. – №май. – С. 4-31.
2. Гумич Д., Писотский А., Рябов А., Шарафутдинов Р. «Кинопремьеры» Шлюмберже// Бурение и Нефть. – 2017. – №11. – С. 44-48.
3. Брутон Г., Крокит Р., Тейлер М., Денбайер Д., Форд Р. Технологии PDC долот в 21 веке// Нефтегазовое Обозрение. – 2014. – №март. – С. 48-57.
4. Смит Битс Компания Шлюмберже: Stinger Алмазная вставка конической формы – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.slb.ru/upload/iblock/8a0/broshyura-stinger-dlya-1.8.3.1.2.pdf> – свободный.

СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ БУРОВОГО СТАНКА

Григорьев М.И.* (МГРИ, mig-1.02@mail.ru),
Остапюк В.В. (МГРИ, ovv1947@yandex.ru)

Аннотация

Бурильная колонна является системой с распределенными параметрами и в ней возможно появление периодически возникающих крутильных автоколебаний, мешающих процессу бурения. Обнаружение момента возникновения автоколебаний позволяет предпринять меры для их ликвидации и сохранению оптимальной скорости проходки скважины. В качестве индикатора автоколебаний используется разработанный на кафедре механизации, автоматизации и энергетики МГРИ-РГГРУ электронный прибор, подключаемый к проводам соединяющим привод бурового станка с сетью, позволяющий по параметрам потребляемого тока определить момент возникновения крутильных автоколебаний в буровой колонне и изменить критические параметры режима бурения (скорость вращения электродвигателя, осевую нагрузку на буровой снаряд и др.).

Ключевые слова: статическая устойчивость, совместная характеристика электропривода, особые точки, статический и динамические режимы работы буровой колонны, бесконтактный дистанционный экспресс-анализ технического состояния асинхронных электродвигателей по параметрам потребляемого ими тока.

Изучение статической устойчивости бурового станка с помощью совместной характеристики позволяет определить, возможен ли в данных условиях длительный установившийся режим или неизбежные при эксплуатации малые изменения параметров, приведут к его нарушению и существенному снижению эффективности проходки скважин.

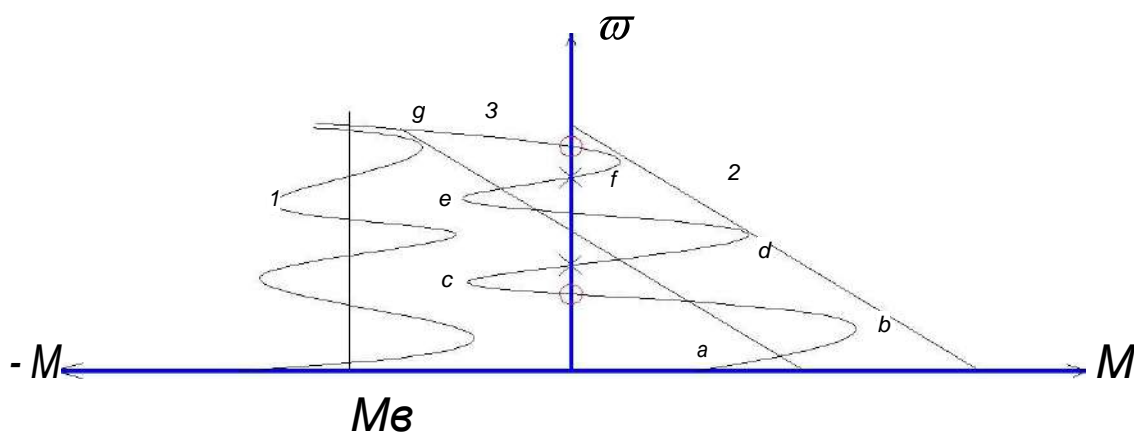


Рисунок 1. Механические характеристики: 1 - буровой колонны; 2 - электродвигателя; 3 - совместная характеристика.

Используя известные из теории колебаний критерии устойчивости [1], обозначим на совместной характеристике, приведенной на рисунке, точки устойчивой работы бурового станка - (○), а неустойчивые - (×). Наилучшие энергетические и технические эффекты при эксплуатации бурового станка достигаются при работе в устойчивых точках, а наихудшие - в неустойчивых.

При проходке скважины изменяется длина буровой колонны и положения устойчивых точек также постоянно меняются, что вызывает периодические

возникновения автоколебаний бурильной колонны и скорость проходки скважины существенно замедляется.

Экспериментальными исследованиями механической характеристики бурильной колонны проводившимися на горизонтальном стенде кафедры разведочного бурения на Сергиево-Посадском полигоне, подтверждено, что при изменении длины бурильной колонны момент сопротивления, создаваемый на валу электродвигателя, при неизменном моменте сопротивления на забойном конце колонны, периодически изменяется по величине (периодические изменения потребляемой мощности). Периодические изменения крутизны механической характеристики бурильной колонны уменьшают запас устойчивости системы, который необходимо периодически восполнять. Этого можно добиться с помощью изменения угловой скорости вращения бурильной колонны.

Для получения оперативной информации о появлении неустойчивости скорости вращения бурильной колонны, вызванной переходом в неустойчивый режим, предложено использовать прибор - Измеритель Скольжения МИГ-1.02, разработанный на кафедре Механизации, Автоматизации и Энергетики МГРИ-РГГРУ, который позволяет решить проблему негативного влияния автоколебаний в бурильной колонне и существенно увеличить скорость проходки скважин.

Вывод: Для предотвращения возможности появления крутильных колебаний в бурильной колонне, т.е. – для сохранения устойчивости бурового станка, необходимо одновременно с увеличением глубины скважины синхронно изменять положение особых точек путем изменения скорости вращения бурильной колонны, компенсируя смещение рабочей точки к границе устойчивой области.

Литература

1. Андронов А.А., Вит А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М Наука, 1965, 915с.

АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СКВАЖИНЫ

Дьяконова Д.В.* (МГРИ-РГГРУ, daryadknv@mail.ru),
Тунгусов С.А. (МГРИ-РГГРУ, tungusov_sa@mail.ru)

Аннотация

В докладе рассматриваются факторы, влияющие на расчет количества бурового раствора при строительстве скважин.

Ключевые слова: циркуляционная система, буровой раствор, строительство скважины.

Частицы шлама, образующиеся при бурении, удаляются из скважины посредством бурового раствора. Эффективность выноса указанных частиц с забоя и из ствола скважины, а также его очистка зависят от различных факторов, в том числе таких, как: размер, форма и плотность указанных частиц, скорость проходки, частота вращения буровой колонны, вязкость, плотность и скорость восходящего потока бурового раствора в кольцевом пространстве. Кроме того, различные параметры, связанные с непосредственной технологией производства, а также подбором необходимого оборудования также оказывают существенное влияние на расчет расхода промывочной жидкости и ее рабочих характеристик. Например, давление в стояке обуславливает выбор бурового насоса. Знание давления в необсаженных частях скважины помогает избежать гидравлического разрыва пласта или поглощения промывочной жидкости. Определение разности давления в трубах и кольцевом пространстве позволяет избежать возможного прочностного разрушения труб.

При расчете необходимого количества бурового раствора при строительстве скважин важно использовать гидравлические параметры.

В настоящее время в буровой практике становятся все популярней различные программные математические пакеты для гидравлического расчета, в частности, для определения распределения давления по стволу скважины. Такие программы помогают не только составить технологически безопасный проект на скважину, но и ускоряют промышленную работу по проходке скважин.

Гидравлический расчет циркуляционной системы в процессе бурения подразумевает под собой определение оптимального расхода промывочной жидкости и ее физических свойств (плотность, реологические параметры) для обеспечения выноса шлама, предотвращение нефтегазодопрооявлений и поглощений бурового раствора.

Количество бурового раствора, требуемое для бурения скважины в нормальных условиях, можно определить из выражения:

$$V_P = 2V_c + V_{o.c} + n_c^2 V_c, \quad (1)$$

где V_c – объем скважины заданной проектной глубины, м³;

2 – числовой коэффициент, учитывающий запас промывочной жидкости на буровой;

$V_{o.c}$ – объем очистной системы (объем желобной системы, очистных и приемных емкостей), принимаемый в зависимости от геологических условий и глубины скважины равным от 3 до 8, м³;

$n_c = 2 \div 3$ – частота смены промывочной жидкости (при бурении в глинистых и малопрочных породах промывочную жидкость можно заменять и чаще).

Объем бурового раствора для глубокого бурения скважины на нефть и газ:

$$V_{б.р} = V_1 + V_2 + V_3 + K_3 V_4, \quad (2)$$

где V_1 – объем приемных емкостей буровых насосов, $V_1 = 10 \div 40$, м³;

V_2 – объем циркуляционной желобной системы, $V_2=4\div 7$, м³;

V_3 – требуемый объем бурового раствора, необходимый для механического бурения, м³

$V_3=n_1L_1+n_2L_2+\dots+n_nL_n$;

V_4 – объем скважины, м³;

$K_3=2$ – коэффициент запаса;

L_1, L_2, \dots, L_n – длины интервалов одного диаметра, м;

n_1, n_2, \dots, n_n – нормы расхода бурового раствора на 1 м проходки, в зависимости от вида обсадной колонны, под которую ведется бурение.

Представляется целесообразным при дальнейших расчетах количества бурового раствора использовать расчеты с учетом моделей Гершеля-Балкли и Шведова-Бингама, а именно использовать расчеты уточненных коэффициентов при расчете коэффициента сопротивления, что в будущем позволит получить более точные характеристики потока буровых растворов, его наиболее оптимальную работу в скважине, а значит и максимальное снижение возможных осложнений при использовании буровых растворов [1].

При этом стоит отметить, что подобные расчеты лишь отчасти справедливы. В реальности расчет производится с учетом более широкого спектра параметров, которые в свою очередь входят в состав формул для расчета в виде неких коэффициентов. Задачей является оценка факторов, влияющих на обоснование количества бурового раствора при строительстве скважины. Стоит также отметить, что представленные на рынке программные продукты, как правило, имеют достаточно обширную базу данных, в которой содержатся сведения, полученные из практики уже реализованных ранее проектов. Такая информация зачастую оказывается даже более ценной при проведении расчетов необходимого количества буровых растворов. Задача специалиста заключается в оценке результатов расчетов, выполненных программой и произведенных по традиционной технологии.

Литература

1. «Руководство по буровым растворам для инженеров-технологов», подготовленное компанией M-I SWACO. Редакция 2.1. – MiSwaco, 2009. – 100 с.

ТОЧНОСТЬ ПРОВодКИ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ СТОЛКНОВЕНИЙ СТВОЛОВ СКВАЖИН

*Егоров Д.П. (СПбГУ, origenal13@mail.ru),
Тунгусов А.А. (МГРИ-РГГРУ, tungusov_aa@mail.ru),
Егоров П.П. (ООО «Ай Ди Эс Навигатор», erp_tver@mail.ru)*

Аннотация

В настоящей статье рассматривается проблема точности проводки скважин в условиях опасного сближения с сеткой скважин разрабатываемого месторождения, проводится обзор моделей и методов предотвращения столкновений скважин, анализ оценки результатов проводки скважины и погрешностей измерительных средств, используемых при бурении.

Ключевые слова: направленное бурение, предупреждение столкновений скважин, методы сканирования, погрешность измерения инклинометров, круг допуска.

Интенсификация мировой добычи нефти и газа в последние годы неизбежно привела к истощению запасов эксплуатируемых месторождений. Следовательно, для восполнения топливно-энергетического баланса необходимо бурение новых скважин для освоения месторождений, вновь вводимых в эксплуатацию, а также сооружение боковых стволов в существующем фонде скважин, дающее «вторую жизнь» старым месторождениям. С увеличением количества скважин на месторождениях существенно увеличивается риск столкновения ствола бурящейся скважины с уже существующими стволами скважин, что может привести к серьёзным авариям и осложнениям. Столкновение скважин влечёт за собой не только экономический ущерб, но и является настоящим бедствием для окружающей среды. При этом опасными, с точки зрения пересечения стволов, являются скважины как действующего (эксплуатационные, нагнетательные), так и бездействующего (консервированные, ликвидированные) фондов. Определённую опасность представляют пробуренные в середине прошлого века глубокие геологоразведочные скважины. Это связано не только низкой точностью измерительной аппаратуры (инклинометров) того времени, но и с тем, что по действующим на тот момент инструкциям и руководящим документам их консервация осуществлялась по упрощённой схеме. В качестве ликвидационного материала использовался глинистый раствор с установкой на устье глухой заглушки, без цементных мостов, без подъёма тампонажного материала до устья скважины. Под действием пластового давления и других физико-химических факторов в обсадных колоннах они начали, со временем, саморазрушаться [1].

Следствием научно-технического прогресса является постоянное усовершенствование скважинной измерительной аппаратуры. Например, для 80-х годов прошлого столетия средние погрешности измерений для инклинометров составляли: $\pm 0,5^\circ$ по зенитному углу и $\pm 5^\circ$ по азимуту; в настоящее время для большинства моделей инклинометров они составляют: $\pm 0,1^\circ$ по зенитному углу и $\pm 1^\circ$ по азимуту. Между тем, при составлении планов проводки скважин с учётом возможных столкновений со старыми скважинами, следует учитывать, что их траектории рассчитывались по замерам, выполненным старыми приборами с большими погрешностями измерений, с использованием менее совершенных алгоритмов (в настоящее время в качестве стандарта применяется алгоритм расчёта по минимальному радиусу кривизны). При этом выполнить контрольные замеры с помощью современных гироскопических инклинометров в старых ликвидированных скважинах и даже целых кустовых площадках не представляется возможным. Поэтому при проектировании новых стволов

скважин (с учетом расхождения в пространстве с другими скважинами) в качестве исходных данных приходится пользоваться существующими (возможно, неточными) замерами старых скважин.

Прогнозирование достоверности расположения ствола скважины является фундаментальным для безопасного и экономически эффективного проектирования скважин. Из-за того, что приборы, при помощи которых проводится инклинометрия, не являются абсолютно точными, в рассчитанной траектории ствола могут возникнуть ошибки. Расчет диапазонов достоверности для траектории ствола скважины основан на использовании моделей приборных ошибок и минимальном зазоре между стенкой ствола и инклинометрами. Оценки степени достоверности основываются на эмпирических методах, с использованием аналитических и статистических расчётов. В общем случае имеется три модели, пригодные для расчета позиционной достоверности ствола скважины: систематический эллипс (Systematic Ellipse) (также известный как Wolff & de Wardt); конус ошибки (Cone of Error); конус ошибки угла наклона ствола скважины [2].

В современных условиях размеры геологических целей уменьшаются, часто бурение производится в старых месторождениях в сетке уже пробуренных скважин. Поэтому комитет ISCWSA (промышленный руководящий комитет по точности замеров) пришёл к выводу, что простая модель WdW уже не способна отвечать столь строгим требованиям и обеспечивать необходимую точность. В настоящее время основной моделью является конус ошибки. Данная модель предполагает, что вокруг каждой точки замера существует сфера ошибок. Модель является эмпирической и основывается на сравнении показаний местоположения забоя скважины, полученных при помощи разных приборных измерений в полевых и испытательных наблюдениях. Размер сферы рассчитывается следующим образом:

Радиус сферы вокруг предыдущей точки замера + интервал измеренной глубины \times коэффициент ошибки прибора измерения / 1000.

В качестве начального значения ошибки принимается ошибка позиционирования скважины плюс радиус верхней части ствола скважины (TBR – Top Borehole Radius). Коэффициент ошибки прибора зависит от текущего зенитного угла и азимута, местоположения (широта и долгота) и типа прибора.

Скважина, которая разбуривается или в которой производятся замеры, называется опорной. В процессе анализа проверяется расстояние от опорной скважины до любого количества соседних скважин путём сканирования на участках, определенных интерполяционным интервалом. Это расстояние также известно как расхождение между центрами стволов скважин. Разные методы дают разные результаты при вычислении расстояний между скважинами, так как применяемые алгоритмы могут определять разные ближайшие точки. Наиболее известными являются следующие 4 метода: Наибольшее приближение в трехмерном пространстве (Closest Approach 3D); Подвижный цилиндр (Travelling Cylinder); Горизонтальная плоскость (Horizontal Plane); Подвижный цилиндр Север (High Side + Azimuth).

Метод Наибольшего приближение в трехмерном пространстве подразумевает на каждом интервале опорной скважины расчёт расстояния до ближайшей точки на соседней скважине. На глубине сканирования в опорной скважине строится расширяющаяся сфера. Расстояние считается минимальным, когда поверхность сферы касается соседней скважины. Это расстояние равно радиусу сферы. В связи с тем, что соседняя скважина направлена по касательной к нашей сфере, то линия наибольшего приближения всегда будет перпендикулярна соседней скважине.

Метод Подвижного цилиндра использует для сканирования плоскость, которая перпендикулярна опорной скважине и пересекает соседние скважины, которые к ней

приближаются на интервале интерполяции. Поверхность напоминает цилиндр, размер которого равен наибольшему радиусу сканирования. Метод Подвижного цилиндра вычисляет расстояние от опорной скважины до точек на стволах соседних скважин. Основным недостатком метода подвижного цилиндра является то, что он может не определить пересечение скважин под прямым углом, если интервал интерполяции задан слишком большой.

Подвижный цилиндр Север использует плоскость, подобную той, которая применяется в методе Подвижного цилиндра с тем различием, что к направлению ствола текущей скважины добавляется ориентация положения отклонителя опорной скважины относительно соседней. График Подвижного цилиндра представлен в данном случае относительно картографического севера, если опорная скважина характеризуется малыми углами наклона. Угол положения отклонителя для соседней скважины затем представляется как сумма угла верхней стороны текущей скважины и азимута текущей скважины. Данный метод исключает путаницу на графике подвижного цилиндра, которая вызвана большими изменениями угла положения отклонителя при отклонении траектории от вертикали (например, когда ствол опорной скважины проходит через вертикаль, возникшую в результате изменения положения отклонителя на 180^0).

Метод Горизонтальной плоскости использует горизонтальное расстояние от опорной до соседней скважины. Он похож на метод Подвижного цилиндра с тем исключением, что цилиндр расширяется горизонтально независимо от направления скважины. Этот метод не рекомендуется использовать для горизонтальных скважин, так как он может не определить возможное столкновение или определить его слишком поздно, если скважины будут приближаться друг к другу довольно быстро.

Сравнивая различные методы сканирования, несложно заметить, что наиболее важное различие методов состоит в определении разных точек наибольшего приближения. Именно по этой причине метод сканирования должен быть однозначно определён и согласован на уровне компании, чтобы все результаты расчёта антистолкновений могли сравниваться на одной основе. При сравнении методов сканирования необходимо учитывать преимущества и недостатки каждого метода.

Рассмотрим пример, который поясняет разницу между методами (рис. 1). Разными методами сканирования (для одной и той же точки на опорной скважине) найдены разные ближайшие точки на соседней скважине, то есть и разные расстояния.



Рисунок 1. Сравнение методов сканирования.

Чтобы учитывать недостоверность местоположения скважины при оценке риска столкновения, необходимо учитывать значения коэффициента расхождения. Коэффициент расхождения (SF) – это отношение межцентрового расстояния к сумме радиусов ошибок основной и соседней скважины (безразмерная величина) (рис. 2).

Формула для вычисления SF довольно проста: Расстояние между центрами / (Радиус ошибок опорной скважины + Радиус ошибок соседней скважины).



Рисунок 2. Определение коэффициента расхождения.

При $SF > 1$ эллипсы ошибок не пересекаются; при $SF = 1$ эллипсы ошибок соприкасаются; При $SF < 1$ эллипсы ошибок пересекаются. Непосредственная близость скважин определяется коэффициентом расхождения $SF \leq 2$. Скважина, у которой расстояние до устьев соседних скважин < 10 м или $1 < SF < 1,5$, считается скважиной высокого риска [3].

Один из показателей качества направленного бурения – попадание в заданный круг допуска, причем, чем меньше планируемая мишень, тем выше качественная оценка. Достижение этой цели напрямую связано с измерительными средствами, используемыми при бурении скважины для измерения её траектории. Наиболее существенна здесь основная техническая характеристика измерительного средства – его погрешность измерения. Поэтому размер мишени, куда должен попасть забой скважины и погрешность измерения траектории должны быть согласованы. Здесь существенным фактором является природа погрешности, то есть является ли она систематической ошибкой измерения, обусловлена конкретными (неслучайными) причинами и неизменна, либо ошибка имеет случайный характер, зависит от неконтролируемых причин и подчиняется статистическим закономерностям. Случайная составляющая погрешности при прочих одинаковых условиях кратно меньше влияет на размер области неопределенности забоя, чем систематическая составляющая. В технических характеристиках ЗТС не всегда указывают характер погрешности (случайная она или систематическая), ее пользователи для исключения рисков вынуждены рассчитывать результат по наихудшему варианту, фактически занижая технические характеристики телесистем и усложняя траекторию ствола скважины, что приводит к удорожанию бурения. Поэтому только нормирование отдельных составляющих погрешности – систематической и случайной – позволяет на том же самом оборудовании, не меняя технологию бурения обеспечить более высокое качество проводки траектории ствола скважины [4].

Литература

1. Солодовников А.Ю., Чистобаев А.И. Влияние нефтегазодобычи на социально-экологическую среду Обского Севера // Монография. СПб: ВВМ, 2011.
2. Руководство пользователя Compass, Landmark Graphics Corporation, 1999 – 2007.
3. Руководство по обеспечению безопасного расхождения скважин, IDS Group, 2017.
4. Ропяной А.Ю., Скобло В.З. Влияние погрешности измерения телеметрических навигационных систем на допуск траектории ствола скважины. / Вестник ассоциации буровых подрядчиков, №2, 2004.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ И РАБОТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ БУРОВЫХ УСТАНОВОК С ГИБРИДНОЙ СХемой ПОДКЛЮЧЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ

*Завацки С., Куликов В.В.
(kulikovvv@mgi-rggru.ru, МГРИ)*

Аннотация

Проанализированы результаты исследований работы гидравлических систем геологоразведочных буровых установок. Рассмотрена работа гидравлических дросселей с линейной характеристикой при разных схемах подключения. Приведена оценка преимуществ применения гибридной схемы механизма подачи. Выявлены зависимости гидравлических сопротивлений при внезапном расширении или сужении гидравлического потока.

Ключевые слова Механизмы подачи разведочных буровых установок; режимы течения рабочей жидкости; дроссели линейные и квадратичные; гибридная схема; комбинированная регулирующая аппаратура.

Механизм подачи буровой установки разведочного бурения дроссельной конструкции является наиболее отвечающим процессу эффективной углубки скважины. При параллельной схеме подключения дросселя при бурении скважин в горных породах невысоких категорий по буримости, режим течения рабочей жидкости гидропривода в дроссельной щели ламинарный или турбулентный доквадратический, а при разбуривании пород средних категорий по буримости и пород высоких категорий – турбулентный квадратический [1, 2, 4, 6]. При последовательной схеме подключения дросселя и параллельной напорного золотника, при бурении в горных породах невысоких категорий по буримости, режим течения рабочей жидкости гидропривода в дроссельной щели турбулентный квадратический, а в проходном отверстии напорного золотника – ламинарный или турбулентный доквадратический [1, 3, 5, 6]. В процессе разбуривания пород средних категорий по буримости и пород высоких категорий по буримости режим течения рабочей жидкости гидропривода в дроссельной щели ламинарный или турбулентный доквадратический, а в проходном отверстии напорного золотника турбулентный квадратический [1, 2, 3, 4, 5, 6].

С целью всеохватывающего регулирования при бурении при всех режимах работы, рекомендуется применять буровые установки с гибридной схемой подключения комбинированной аппаратуры. Данная схема позволит осуществлять углубку скважины при различных, но всегда корректных и подходящих режимах бурения. С помощью гибридной схемы подключения комбинированной регулирующей аппаратуры можно добиться оптимального режима бурения в разных по буримости горных породах, независимо от условий залегания последних, их трещиноватости, буримости, прочности, перемежаемости. В гибридной схеме объединены преимущества обоих существующих и применяющихся на практике схем (параллельной и последовательной) подключения регулирующей аппаратуры (дросселей) и устранены или сведены к минимуму их недостатки. Гибридная схема подключения комбинированной регулирующей аппаратуры является всережимной, универсальной и оптимальной с различных точек зрения:

- технической – в одной буровой установке совмещены обе схемы подключения регулирующей аппаратуры (параллельная и последовательная) и оба способа управления режимами бурения (при использовании линейного и квадратичного дросселя);

- эргонометрической – на одном пульте управления можно расположить все регулирующие органы регулирующей аппаратуры: рычаги, переключатели, вентили и т.д.;
- технологической – минимальная аварийность, повышение проходки на породоразрушающий инструмент за счёт оптимального выбора и управления режимами бурения, точность и плавность регулирования характеристик и т.д.;
- хронометрической – снижение затрат времени на проходку скважины за счёт увеличения углубки за один оборот, увеличения проходки на породоразрушающий инструмент, уменьшения времени вспомогательных и спускоподъёмных операций;
- экономической – повышение проходки на породоразрушающий инструмент путём подбора оптимальной схемы подключения регулирующей аппаратуры и оптимального способа управления режимами бурения, уменьшения затрат времени на бурение.[7-10, 11, 12] .

В ходе исследований режимов работы и конструкций линейных дросселей, были предложены и проработаны новые дроссели с линейными характеристиками, которые охватывают при применении не только линейные и доквадратичные режимы движения гидравлической жидкости через дроссельную щель при бурении, но и квадратичные. Предложено применение модифицированных канавочных и щелевых линейных дросселей, удовлетворяющих тем режимам бурения, при которых наблюдаются квадратичные закономерности течения гидравлической жидкости через дроссельную щель а, также, рассматривались собственно квадратичные дроссели (например клапанного типа). В результате предварительных исследований установлено, что можно упростить гибридную схему подключения комбинированной регулирующей аппаратуры, её работу усовершенствовать и довести до более прецизионной степени. Управление работой гидрофицированной буровой установки с гибридной схемой подключения комбинированной регулирующей аппаратуры с модифицированными линейными дросселями осуществляется без лишних переключений с линейного дросселя на квадратичный, является более оперативным и более точным. Сама гибридная схема с подключением комбинированной регулирующей аппаратуры становится в конструктивном плане более простой и менее громоздкой. Уменьшается количество конструктивных составляющих, меньше становится деталей, соединений и переключений и тем самым снижаются гидравлические сопротивления. Все это благотворно влияет на режимы течения гидравлической жидкости в магистрали буровой установки, тем самым способствуя ламинарному течению, без турбулентных возмущений потока, более точному управлению режимами бурения. Для наглядности, на рис. 1 представлена гидравлическая гибридная схема с комбинированной регулирующей аппаратурой, а на рис. 2 – усовершенствованная схема с модифицированными линейными дросселями.

Внедрение в гидравлические механизмы подачи буровых установок гибридной схемы подключения модифицированной регулирующей аппаратуры, где обеспечение всережимности достигается применением модифицированных линейных дросселей, полностью отвечает требованиям регулирования осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент и режимов бурения скважины во всём диапазоне изменения параметров проходки. Таким образом повысится эффективность бурения скважин и универсальность применяемых буровых установок.

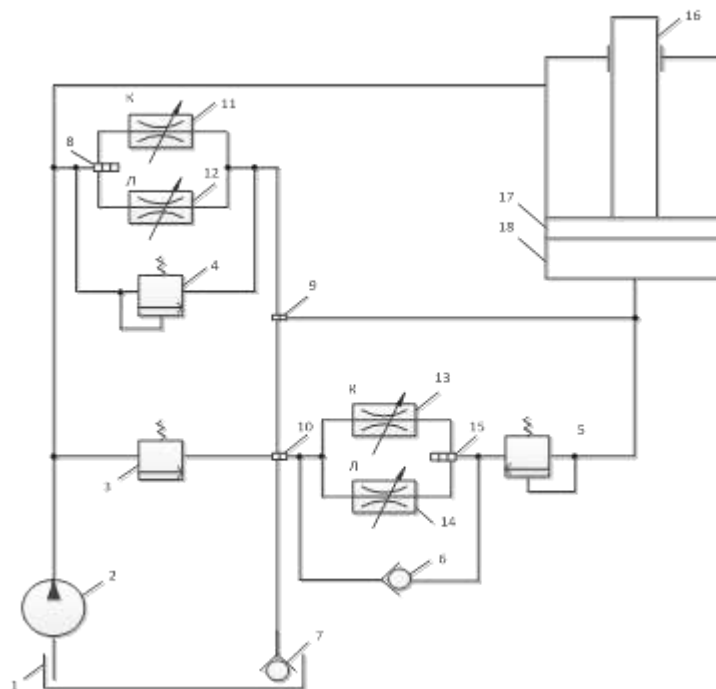


Рисунок 1. Гибридная схема подключения комбинированной регулирующей аппаратуры.

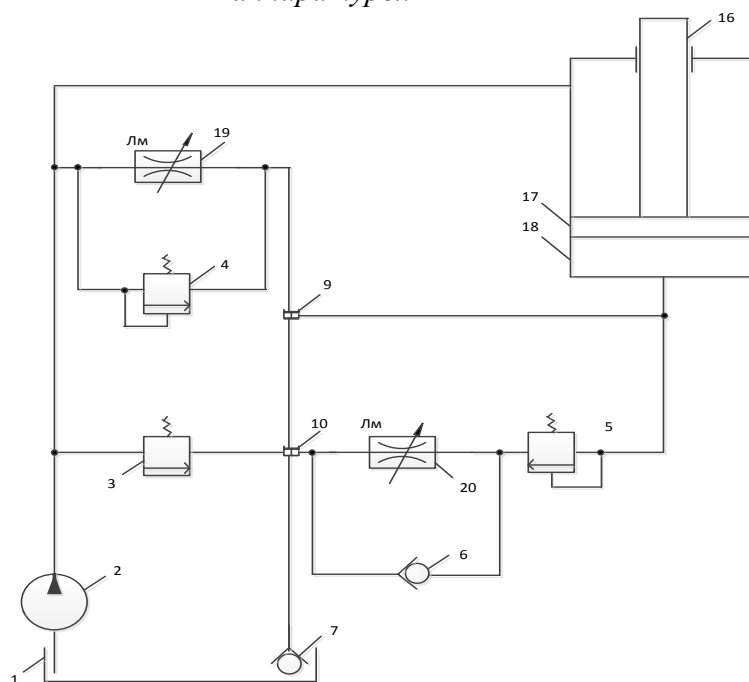


Рисунок 2. Гибридная схема подключения модифицированной регулирующей аппаратуры.

1 – гидробак; 2 – маслонасос; 3 – напорный золотник (дресселирующий клапан); 4,5 – предохранительный клапан; 6 – обратный клапан; 7 – подпорный клапан; 8,9,10,15 – переключатель; 11,13 – гидравлические дроссели квадратические; 12,14 – гидравлические дроссели линейные; 16 – шток поршня; 17 – поршень; 18 – цилиндр; 19,20 – модифицированные линейные дроссели.

Литература

1. Завацки С., Куликов В.В. Анализ основных характеристик и механика работы гидравлических механизмов подачи буровых установок // XII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Доклады, в 2 томах. Москва. МГРИ-РГГРУ. 2015. Т 2. С. 66 – 67.

2. Завацки С., Куликов В.В. Регулирование параметров режима бурения на гидрофицированных буровых установках // XII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Доклады. В 2-х томах. Москва. МГРИ-РГГРУ. 2015. Т 2. С. 134 – 135.

3. Завацки С., Куликов В.В. Аналитическое исследование взаимосвязи характеристики гидравлического механизма подачи буровой установки и технологических параметров режима бурения геолого-разведочной скважины. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2015. № 6. С. 67 – 93.

4. Завацки С., Куликов В.В. Механизмы подачи гидрофицированных буровых установок, применяемых при разработке и разведке месторождений полезных ископаемых, и регулирование параметров режима бурения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 7.

5. Завацки С., Куликов В.В. Механика работы гидравлических механизмов разведочных буровых установок и горных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 7.

6. Завацки С., Куликов В.В. Современные подходы в изучении режимов бурения гидрофицированных разведочных буровых установок и регулирования их параметров // II Международная научно-практическая конференция «Технологическая платформа «Твёрдые полезные ископаемые». Технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений». Сессия I. Комплексная добыча, переработка и использование минерального и техногенного сырья. Екатеринбург. ИГД УрО РАН. Сборник докладов. 2015. С. 71 – 80.

7. Завацки С., Куликов В.В. Гидравлические механизмы подачи разведочных буровых установок, механика работы и анализ основных характеристик параметров // II Международная научно-практическая конференция Технологическая платформа «Твёрдые полезные ископаемые». Технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений». Сессия I. Комплексная добыча, переработка и использование минерального и техногенного сырья. Екатеринбург. ИГД УрО РАН. Сборник докладов. 2015. С. 80 – 87.

8. Завацки С. Проблемы управления углубкой геолого-разведочных скважин // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2016. № 2. С. 86 – 88.

9. Завацки С., Куликов В.В. Управление гидравлическим механизмом подачи буровых установок при гибридной схеме подключения комбинированной регулирующей аппаратуры // Известия вузов. Геология и разведка. 2017. № 1. С. 55 – 59.

10. Завацки С., Куликов В.В. Гибридная схема подключения комбинированной регулирующей аппаратуры гидравлического механизма подачи буровых установок // XIII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле». Доклады. В 2-х томах. ФГБУ «ВНИГНИ», 2017. Т 1. С. 418 – 419.

11. Завацки С. Научные основы управления режимами бурения геологоразведочных скважин буровыми установками с модернизированным гидравлическим механизмом подачи // Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. 2017. 108 с.

12. Завацки С., Куликов В.В. Прецизионное управление режимами бурения // LAP LAMBERT Academic Publishing RU. 2017. 111 с.

О ВЫБОРЕ МАТЕРИАЛА ОБСАДНЫХ ТРУБ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

*Иванов А.Г. (AlekGeorIvanov@armz.ru АО «Атомредметзолото», Москва),
Солодов И.Н. (INSolodov@armz.ru, АО «Атомредметзолото», Москва)*

Аннотация

Приведены сведения по свойствам обсадных труб, изготавливаемых из полимеров. Показано, почему трубы из непластифицированного поливинилхлорида (НПВХ) более применимы для сооружения скважин подземного выщелачивания по сравнению с трубами из полиэтилена низкой плотности (ПНД).

Ключевые слова. Полимерные обсадные трубы, прочность труб, соединение труб, скважинное подземное выщелачивание.

В странах СНГ и России с 1970-х годов на объектах скважинного подземного выщелачивания (СПВ) в эксплуатационных скважинах в качестве обсадных труб традиционно использовались трубы из полиэтилена (ПНД). В последние годы рудники СПВ в Казахстане и Узбекистане начали переходить на трубы из поливинилхлорида (ПВХ). В США и Австралии трубы ПВХ применялись с самого начала применения метода СПВ для освоения гидрогенных месторождений урана. На российских рудниках данный материал был не применим из-за суровых климатических условий. Температура воздуха зимой опускается до -45°C . В последние годы качество, морозостойкость и ударопрочность труб из непластифицированного поливинилхлорида (НПВХ) значительно возросли благодаря применению различных модификаторов.

В настоящее время самыми распространенными материалами для изготовления обсадных труб, используемых для оборудования технологических скважин, являются непластифицированный поливинилхлорид (НПВХ, в ряде случаев с различными добавками модификаторов НПВХ-М) и полиэтилен низкого давления (ПНД, марка ПЭ100). Типоразмерные ряды труб из рассматриваемых материалов позволяют использовать их в скважинах различных конструкций. В частности, трубы ПНД ПЭ100 SDR6 110x18,3 взаимозаменяемы с трубами НПВХ-М-Р-90x8, трубы ПНД ПЭ100 SDR9 160x17,9 взаимозаменяемы с трубами НПВХ-М-Р-140x10 и т. д. Для определения оптимальных областей применения обсадных труб оценим физико-механические параметры материалов, из которых они изготовлены. Эти параметры, приведенные в таблице, приняты исходя из требований действующих нормативных документов (ГОСТ и ТУ). Для НПВХ приведены параметры материала с модификатором ударной прочности.

Таблица. Физико-механические характеристики материалов ПНД ПЭ100 и НПВХ.

Показатели	Значение	
	ПНД ПЭ100	НПВХ
Модуль упругости, МПа	не менее 800	не менее 2000
Плотность, г/см ³	не менее 0,945	не более 1,41
Удлинение при разрыве, %	350	50
Предел текучести при растяжении, МПа	не менее 20	не менее 50
Температурный коэффициент линейного расширения, м/м·град	0,0002	0,00006
Расчетное допускаемое напряжение для труб, МПа	не менее 50	не менее 100
Коэффициент запаса прочности Кз, заложенный в изделие	1,25 (ГОСТ Р 18599-2001 п.3.6)	2,0 (ГОСТ Р 51613-2000 п.3.6)

Вес 1 м взаимозаменяемых труб, предельное отклонение толщины стенки, овальность после экструзии	ПЭ100 SDR6 110x18,3 – 5,25 кг, +2,8 мм, 2,2 мм	НПВХ-90x8 – 3,051 кг, +0,6 мм, 2,5 мм
	ПЭ100 SDR9-160x17,9 – 7,97 кг, +2,7 мм, 3,2 мм	НПВХ-140x10 – 6,168 кг, +1,3 мм, 1,8 мм

Продолжительность процесса эксплуатации скважин влияет на прочность материала полимерных труб, которая снижается по сравнению с первоначальной. Например, при $T=+20^{\circ}\text{C}$ в течение 5 лет длительная прочность ПНД ПЭ100 снижается с 14 МПа до 10,5 МПа, а у НПВХ-U 250 с 48 МПа до 24 МПа. Т. о., через 5 лет эксплуатации длительная прочность НПВХ превышает начальную прочность ПНД практически в 2 раза, что определяет преимущество применения труб НПВХ при длительных режимах эксплуатации скважин.

Изменение температуры рабочих растворов, транспортируемых по эксплуатационным колоннам закачных скважин приводит к изменению длины колонн, причем это изменение тем больше, чем больше температурный коэффициент линейного расширения материала труб. Для сравнимых по геометрическим характеристикам труб имеем:

$$Pt(\text{ПЭ100 SDR6 110x18,3})/Pt(\text{НПВХ 90x8}) = 8,8$$

$$Pt(\text{ПЭ100 SDR9 160x17,9})/Pt(\text{НПВХ 140x10}) = 26$$

где: Pt – осевая нагрузка, возникающая в теле трубы при изменении температуры рабочих растворов, Н;

Таким образом, по показателю возникающих при изменении температуры рабочих растворов осевых нагрузок применение труб НПВХ является более предпочтительным.

Обеспечение герметичности соединений труб в течение всего периода эксплуатации – одна из главнейших задач. Максимальное избыточное внутриколонное давление для резьбовых соединений труб ПНД даже при применении различных герметизирующих смазок составляет, как показывает практика, не более 0,7 МПа. Материал НПВХ склеивается различными растворителями, при этом образуется равнопрочное с телом трубы соединение с гарантированной на весь период эксплуатации скважин герметичностью.

Немаловажным фактором при выборе труб для эксплуатационной колонны является их вес. Буровой бригаде комфортнее работать с более легкими обсадными трубами. И в этом предпочтение следует отдать трубам НПВХ.

Имеющийся на сегодняшний день опыт применения труб НПВХ показал, что соблюдение приведенных рекомендаций позволяет существенно сократить аварийность скважин при сооружении и эксплуатации технологических скважин. Из 51 скважины 2 скважины не приняты в работу из-за разрушения труб НПВХ (оба нарушения связаны с подъемом цементного раствора выше подошвы криолитозоны). Из 49 скважин, принятых в эксплуатацию, аварийных скважин с нарушениями целостности эксплуатационных колонн нет. Т.е. показатель аварийности составил менее 4%. Для скважин, оборудованных трубами ПНД, этот показатель достигает 15%.

Вывод: применение труб ПНД не всегда целесообразно из-за большого числа факторов, которые могут привести к аварийности скважин в процессе их эксплуатации; областью применения труб ПНД могут быть месторождения с глубиной залегания продуктивных горизонтов до 100м с мощным верхним водоупором из пластичных и склонных к набуханию глинистых пород; во всех остальных случаях допустимо применение только труб НПВХ, при необходимости, с модификатором для конкретных условий сооружения и эксплуатации скважин.

ВЫБОР ВИНТОВОГО ЗАБОЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ БУРЕНИЯ НАКЛОННОЙ СКВАЖИНЫ

Ишемгулова И.А. (iluzaishemgulova1996@gmail.com)

Характеристики ВЗД необходимы для выбора оптимальных параметров режима бурения и поддержания их в процессе долбления.

Главное назначение гидравлического забойного двигателя состоит в обеспечении эффективных параметров режима бурения и реализации проектного профиля скважины. Поэтому важнейшим показателем ГЗД является его энергетическая характеристика, под которой понимается совокупность зависимостей крутящего момента, частоты вращения, перепада давления, мощности и коэффициента полезного действия (КПД), характеризующих режим работы забойного двигателя.

В ходе выполнения данной работы исследованы методы выбора технических и энергетических параметров винтовых забойных двигателей, предназначенных для бурения наклонно-направленных скважин.

Изучены конструкции и характеристики винтовых забойных двигателей основных российских производителей. Рассмотрены методы и технические средства для бурения искривленных и стабилизированных участков наклонных скважин. Особое внимание уделено существующим методикам расчета компоновок низа бурильной колонны (КНБК), предназначенным для реализации проектного профиля наклонно-направленной скважины.

На основании имеющихся промышленных данных выполнен расчет профиля наклонно-направленной скважины, с участками набора и стабилизации зенитного угла. В результате обобщения выполненных исследований выбрана рациональная конструкция винтового забойного двигателя, отвечающая технико-технологическим требованиям проводки скважины по расчетному профилю и обеспечивающая реализацию эффективных параметров режима бурения.

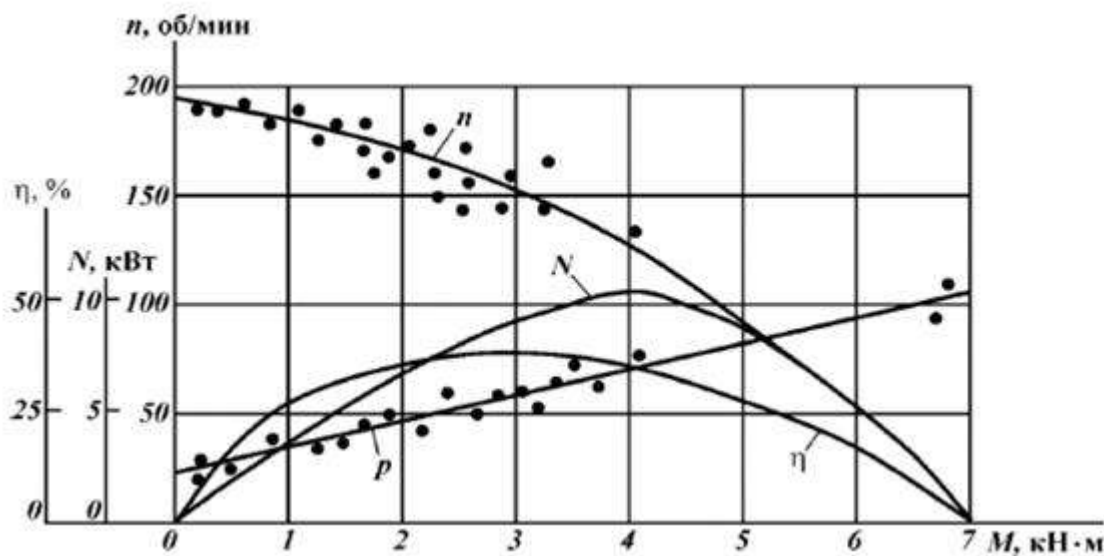


Рисунок 1. Различают четыре основных режима: холостой ($M = 0$); оптимальный (максимального КПД); экстремальный (максимальной мощности) и тормозной ($n = 0$).

В соответствии с исходными данными был рассчитан профиль проектной скважины, представленный на рисунке.

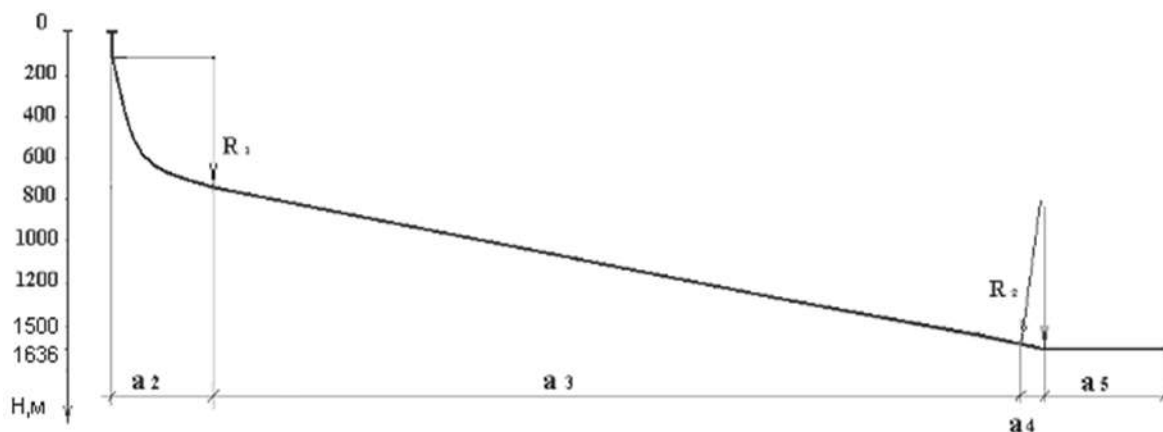


Рисунок 2. профиль проектной скважины

Для осуществления процесса бурения на этих участках необходимо подобрать двигатель, энергетические характеристики которого удовлетворяли бы условиям эффективной отработки долот и прохождения его в профиль скважины.

Нами был выбран ВЗД ДР-178М6/7.68, который необходимо проверить на соответствие требуемым режимным параметрам бурения и на вписываемость в профиль скважины.

Литература

1. Ю.В. Вадецкий. Бурение нефтяных и газовых скважин: Учебник для нач. проф. образования. 2003 г

2. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море 5/2003 г.

3. Бурение и нефть 4/2003 г.

4. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море 4/2002 г.

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИЗНАШИВАНИЕ РЕЗЦОВ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

*Као Чунг Куен *(МГРИ, kienruler@gmail.com),
Нгуен Тиен Хунг (Ханойский горно-геологический университет, rggru1@gmail.com)
Арсентьев Ю.А. (МГРИ, Arsentev1956@yandex.ru),
Назаров А.П. (МГРИ, al.naz@mail.ru).*

Аннотация

Представлен метод функционального анализа силовых факторов, влияющих на долговечность вооружения породоразрушающего инструмента. Данный метод рекомендуется применять для предварительного определения оптимального диапазона значений угла установки резцов, соответствующих минимальному изнашиванию как фронтальной, так и торцевой рабочих поверхностей резцов породоразрушающего инструмента. Результаты анализа используются на первоначальной стадии проектирования породоразрушающего инструмента.

Ключевые слова. Экспресс-метод, функциональный анализ, угол установки резцов, породоразрушающий инструмента, фронтальная и торцевая рабочие поверхности, интенсивность изнашивания.

Резцы породоразрушающего инструмента могут быть установлены по одной из трех существующих схем: с положительным углом, с нулевым углом и с отрицательным углом в зависимости от механических свойств горных пород.

Вопросы, связанные с оценкой влияния схемы установки резцов на интенсивность изнашивания резцов под действием сил трения в процессе бурения скважин, затрагивались в работах многих исследователей [1, 2, 3, 4]. Причиной тому служит заинтересованность в максимально длительном и эффективном использовании породоразрушающего инструмента в процессе бурения скважин.

В основе представляемого экспресс-метода лежит принцип Даламбера, определяющий математический аппарат кинестатики. С учетом указанного принципа динамически нагруженный резец породоразрушающего инструмента после приложения к нему сил инерции можно рассматривать, как объект, находящийся в равновесном состоянии, и следовательно, применять к нему все положения, связанные с этим состоянием, в частности, составлять взамен, уравнений движения, уравнения равновесия статики. В которых с целью подготовки рекомендаций, определяющих направления конструкторских работ, выявлять силовые факторы, влияющие на интенсивность изнашивания рабочих поверхностей резцов, и анализировать функции, описывающие характер их изменения в зависимости от схемы установки резцов.

Порядок применения экспресс-метода рассмотрим на примере функционального анализа силовых факторов, действующих на резец, установленный под положительным углом α , показанный на рисунке 1, что соответствует первой схеме, применяемой при бурении рыхлых и мягких горных пород.

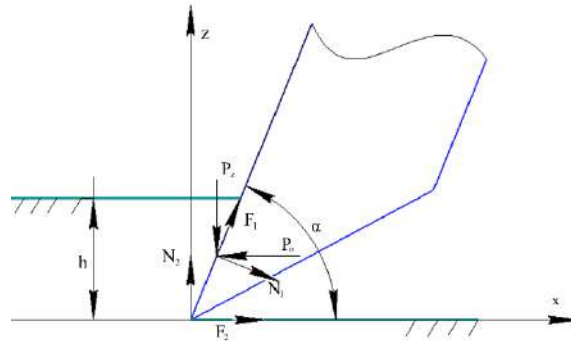


Рисунок 1. Схема действующих на резец сил.

Спроектировав все силы на координатные оси Oz и Ox , получаем уравнения равновесия в виде

$$\sum F_{kz} = -P_z + N_2 + F_1 \sin \alpha - N_1 \cos \alpha = 0 ; \quad (1)$$

$$\sum F_{kx} = -P_o + F_2 + F_1 \cos \alpha + N_1 \sin \alpha = 0 , \quad (2)$$

где: P_z – осевая нагрузка, Н; P_o – окружная сила на резец, Н; F_1 и F_2 – силы трения породы о фронтальную и торцевую поверхность резца, Н; N_1 и N_2 – нормальные реакции, Н; f_p и f_s – коэффициенты трения породы о фронтальную и торцевую поверхность резца; α – угол установки, град.

Решая уравнение (1) относительно осевой нагрузки P_z , имеем

$$P_z = N_2 + N_1 (f_p \sin \alpha - \cos \alpha). \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что величина функции $(f_p \sin \alpha - \cos \alpha) = [A]$, определяющая интенсивность изнашивания фронтальной поверхности резца, будет больше нуля при $\tan \alpha > \frac{1}{f_p}$; при $\tan \alpha < \frac{1}{f_p}$ – меньше нуля, а при $\tan \alpha = \frac{1}{f_p}$ данная функция $[A]$ будет равна нулю. Так для $f_p = 0,1; 0,2$ и $0,3$ значения угла установки резца α будут соответственно равны $\alpha_0 = 84,29^\circ; \alpha_0 = 78,69^\circ$ и $\alpha_0 = 73,28^\circ$.

Анализ функции $[A]$ показывает, что интенсивность изнашивания фронтальной поверхности резца о породу будет минимальна при $[A] \geq 0$, т. е. при $\alpha \geq \alpha_0 = 73^\circ \div 85^\circ$.

Результатом совместного решения уравнений (1) и (2) будет выражение, определяющее силу трения $F_2 = N_2 (f_s + 1)$, влияющую на интенсивность изнашивания торцевой поверхности резца, т.е.

$$N_2 (f_s + 1) = P_z + P_o - N_1 [C], \quad (4)$$

где: $[C] = (1 + f_p) \sin \alpha - (1 - f_p) \cos \alpha$.

Чтобы уменьшить силу трения F_2 , необходимо, чтобы функция $[C]$ стремилась к максимуму. Для этого исследуем функцию $[C]$ на экстремум, приравняв первую производную данной функции по углу α нулю. Откуда следует, что функция $[C]$ экстремума не имеет. Произведем расчет изменения функции $[C]$ в зависимости от угла установки α , присвоив α характерные значения $\alpha = 0^\circ; 30^\circ; 45^\circ; 60^\circ; 90^\circ$, а коэффициенту трения породы о фронтальную поверхность резца соответственно

$f_p = 0,1; 0,2$ и $0,3$. Результаты расчета приведем в виде графиков, показанных на рисунке 2.

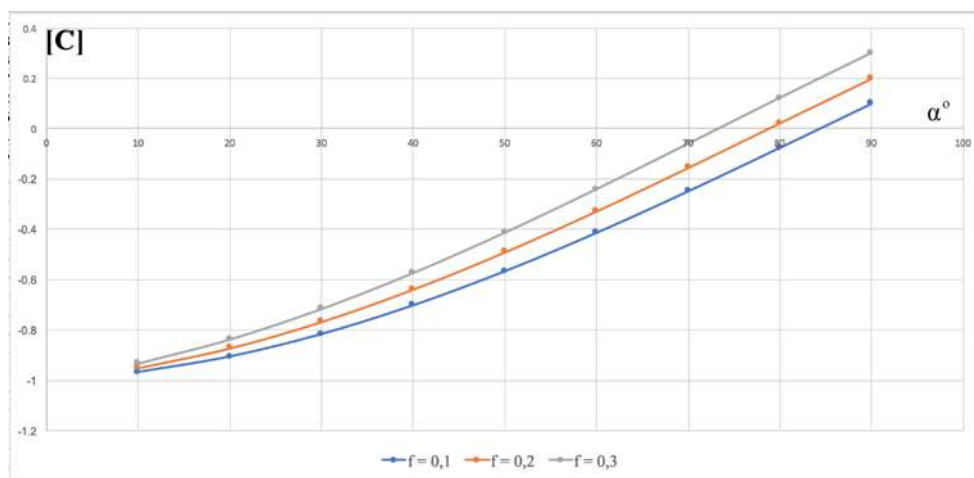


Рисунок 2. Графики изменения функции $[C]$ в зависимости от угла установки α резца.

Анализ функции $[C]$ показывает, что интенсивность изнашивания торцевой поверхности резца о породу будет минимальна при $[C] > 0$, т.е. когда угол установки резца α стремится к 90° .

Аналогично могут быть исследованы другие типовые схемы установки резцов породоразрушающего инструмента. Так результаты функционального анализа третьей схемы, с отрицательным углом установки резцов, применяемой при бурении скважин в перемежающихся по твердости горных породах с малым содержанием пород средней категории твердости, показывают, что минимальная интенсивность изнашивания фронтальной и торцевой рабочих поверхностей резца породоразрушающего инструмента происходит при $\alpha = 55^\circ \div 60^\circ$, что хорошо согласуется с результатами более глубоких исследований [1], посвященных вопросам долговечности и эффективности работы породоразрушающего инструмента.

Литература

1. Арсентьев Ю.А., Соловьев Н.В., Нгуен Тиен Хунг, Нгуен Тхе Винь. Теоретическое обоснование оптимального диапазона угла установки резцов долот PDC для бурения скважин в перемежающихся по твердости горных породах месторождения «Южный Дракон и ДойМой». Инженер-нефтяник. 2017. №2. С. 12-16.
2. Башкатов Д.Н. Обоснование угла установки резцов в долотах лопастного типа. Инженер-нефтяник. 2010. №3. с. 9-23.
3. Nguyen The Vinh, Nguyen Tien Hung. Determining the back rake angle of PDC cutters for drilling through heterogeneous rock at miocene and oligocene formations, Nam Rong - Doi Moi reservoir. University of Mining and Geology. 2017. Hanoi, С. 123-127.
4. Нескормных В.В., Борисов К.И. Аналитическое исследование процесса резания-скалывания горной породы долотом с резцами PDC. Известия Томского политехнического университета, №1. 2013. с. 191-195.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ, ЗАТРАЧИВАЕМОЙ НА РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ЛОПАСТНЫМ ДОЛОТОМ PDC

Козлов Н.С. * (МГРИ, nktkzlv@gmail.com)

Арсентьев Ю.А. (МГРИ, Arsentev1956@yandex.ru)

Нгуен Тиен Хунг (Ханойский Горно-геологический университет, rggru1@gmail.com)

Аннотация

Представлена методика определения мощности, затрачиваемой на разрушение горных пород лопастным долотом PDC с отрицательным углом установки резцов. Приведены результаты использования полученной формулы, в виде графиков, соответствующих реальным условиям работы лопастного долота PDC.

Ключевые слова. Долото PDC, отрицательный угол установки резцов, мощность, проектирование.

Лопастные долота PDC в мягких и рыхлых породах при оптимальных режимах бурения позволяют достичь высоких механических скоростей – до 40 м/ч и более.

Однако общим недостатком долот этого типа является быстрый износ их вооружения при бурении в перемежающихся по твердости породах с пропластками пород средней категории твердости.

Разработка рекомендаций по снижению износа вооружения лопастных долот в этих породах и расширение их области применения является основной задачей проектировщиков, создающих лопастные долота.

Как показали результаты аналитических и экспериментальных исследований, проведенных авторами работы [1], на эффективность применения долота PDC активно влияет величина угла установки α резцов, определяющая режим разрушения горной породы соответствующей категории твердости.

При этом в указанных условиях оптимальными значениями угла установки резцов оказались значения, лежащие в диапазоне 45° - 55° , при которых обеспечиваются минимальный износ торцевой поверхности резцов и высокая механическая скорость бурения, а процесс разрушения пород соответствует наиболее эффективному, с энергетической точки зрения, режиму – режиму резания-скалывания.

Однако, выбор оптимального значения угла установки резцов из рекомендуемого выше интервала должен обязательно выполняться с учетом величины мощности, затрачиваемой на разрушение горной породы, поскольку эта величина является одной из весомых слагаемых мощности, расходуемой на процесс бурения скважины.

Для вывода формулы, определяющей искомую величину, рассмотрим резец PDC, установленный под углом α . Известно, что в процессе бурения скважины на резец лопасти долота действуют силы, показанные на рисунке 1.

Из приведенной схемы следует, что окружная сила, приложенная к резцу, будет равна

$$P_{op} = F_2 - F_1 \cos \alpha + N_1 \sin \alpha. \quad (1)$$

С учетом того, что силы трения F_1 и F_2 соответственно равны $N_1 f$ и $N_2 f$, то имеем

$$P_{op} = N_2 f - N_1 f \cos \alpha + N_1 \sin \alpha. \quad (2)$$

При этом реакция N_2 может быть определена в виде

$$N_2 = P_p - N_1 \cos \alpha - N_1 \sin \alpha. \quad (3)$$

После подстановки результата (3) в выражение (2), получим

$$P_{op} = P_p f + N_1 (\sin \alpha - 2f \cos \alpha - f^2 \sin \alpha). \quad (4)$$

где: N_1 – сила сопротивления разрушению породы, Н; f – коэффициент трения.

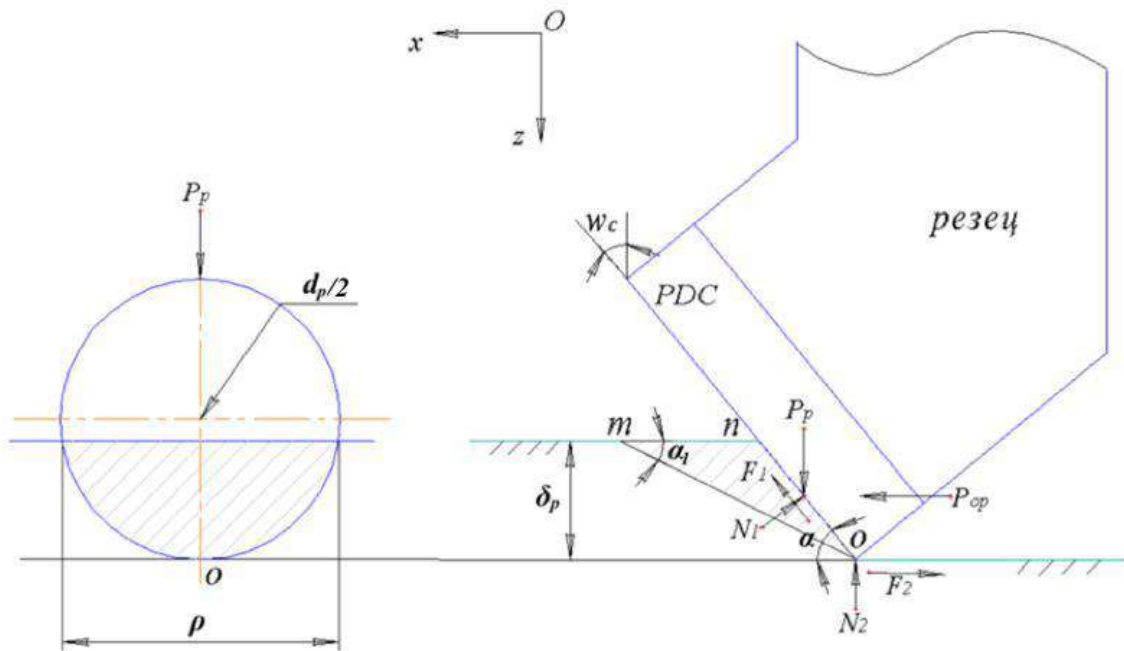


Рисунок 1. Система, действующих на резец сил.

При этом известно, что сила сопротивления разрушению породы N_1 можно найти по формуле [3,4]

$$N_1 = \sigma_{ск} A_{ск} (1 + tg \varphi), \quad (5)$$

где: $\sigma_{ск}$ – предел прочности горной породы на скалывание, МПа; $A_{ск}$ – площадь скалывания, m^2 .

Предполагая, что при отрицательном значении угла установки резца разрушение породы будет происходить за счет сдвига породы, заключенной в объеме призмы опп (рис. 1) в направлении усилия резания-скалывания P_{op} . Причем сдвиг будет происходить как по плоскости om , так и по боковым граням $опп$ призмы, где будут действовать скалывающие напряжения $\sigma_{ск}$.

Поэтому площадь скалывания будет равна сумме площади половины эллипса с полуосями $0,5r$ и om , а также двум площадям граней $опп$ призмы. Тогда с учетом высказанного предположения площадь скалывания $A_{ск}$ будет равна

$$A_{ск} = \frac{\pi \sqrt{d_p} \delta_p^{\frac{3}{2}} \sin \alpha + 2 \delta_p^2 \sin(\alpha - \alpha_1)}{2 \sin \alpha_1 \sin \alpha}, \quad (6)$$

где: α_1 – угол скалывания, град., $\alpha_1 = \frac{\pi - (\varphi + \theta_f - w_c)}{2}$; φ – угол внутреннего трения;

θ_f – эффективный угол трения между резцом и частично раздробленной породой, $\theta_f = 8^\circ \div 13^\circ$ [2]; w_c – передний угол резца, град.

После подстановки результата (6) в формулу (5) получим выражение, определяющее силу сопротивления разрушению породы N_1

$$N_1 = \sigma_{ск} (1 + tg \varphi) \frac{\pi \sqrt{d_p} \delta_p^{\frac{3}{2}} \sin \alpha + 2 \delta_p^2 \sin(\alpha - \alpha_1)}{2 \sin \alpha_1 \sin \alpha}. \quad (7)$$

Следует отметить, что выражение (7) включает параметр δ_p , который представляет собой глубину внедрения резца, определяемую по формуле [1]

$$\delta_p = \left(\frac{P_p}{2J\sigma_{см}(ctg\alpha + tg\alpha)(1 + tg\varphi)\sqrt{d_p}} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (8)$$

где: $J = (1 + f\sin 2\alpha)$; P_p – осевая сила на резец, Н; φ – угол внутреннего трения, град.; $\sigma_{см}$ – напряжение смятия, МПа; d_p – диаметр резца круговой формы, м.

С учетом выражения (7) и введением обозначения $K = (\sin\alpha - 2f\cos\alpha - f^2\sin\alpha)$ выражение (4) приобретает следующий вид

$$P_{op} = P_p f + \sigma_{ск}(1 + tg\varphi) \frac{\pi\sqrt{d_p}\delta_p^{\frac{3}{2}}\sin\alpha + 2\delta_p^2\sin(\alpha - \alpha_1)}{2\sin\alpha_1\sin\alpha} K. \quad (9)$$

Тогда окружная сила, действующая на долото будет равна

$$P_o = mi \left[P_p f + \sigma_{ск}(1 + tg\varphi) \frac{\pi\sqrt{d_p}\delta_p^{\frac{3}{2}}\sin\alpha + 2\delta_p^2\sin(\alpha - \alpha_1)}{2\sin\alpha_1\sin\alpha} K \right]. \quad (10)$$

Разделив эту силу на радиус долота $0,5D$, получим удельную окружную силу, действующую вдоль лопасти долота

$$P_{o.уд} = \frac{2P_o}{D}. \quad (11)$$

Поскольку элементарный крутящий момент $dM_{кр}$, действующий на элемент лопасти долота и удаленный от его оси на расстояние R_i , будет равен

$$dM_{кр} = P_{o.уд} R_i dR_i, \quad (12)$$

Тогда полный крутящий момент будет равен

$$M_{кр} = mP_{o.уд} \int_0^{\frac{D}{2}} R_i dR_i = mP_{o.уд} \frac{D^2}{8}. \quad (13)$$

А мощность, подводимая к долоту, будет соответственно равна

$$N_d = M_{кр}\omega = M_{кр} \frac{\pi n}{30}. \quad (14)$$

Или

$$N_d = \frac{\pi m^2 D n i}{120} \left[P_p f + \sigma_{ск}(1 + tg\varphi) \frac{\pi\sqrt{d_p}\delta_p^{\frac{3}{2}}\sin\alpha + 2\delta_p^2\sin(\alpha - \alpha_1)}{2\sin\alpha_1\sin\alpha} K \right]. \quad (15)$$

Согласно полученной формуле (15) построим график изменения мощности N_d , подводимой к долоту PDC в зависимости от угла установки резцов α и свойств горных пород (рис. 2). При этом в качестве исходных значений параметров, составляющих выражения (8) и (15), принимаем: $P_z = 105000$ Н; $D = 0,311$ м; $d_p = 0,025$ м; $\sigma_{см} = 4$ МПа; $\sigma_{ск} = 1$ МПа; $m = 5$; $n = 130 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$; $f = 0,1$.

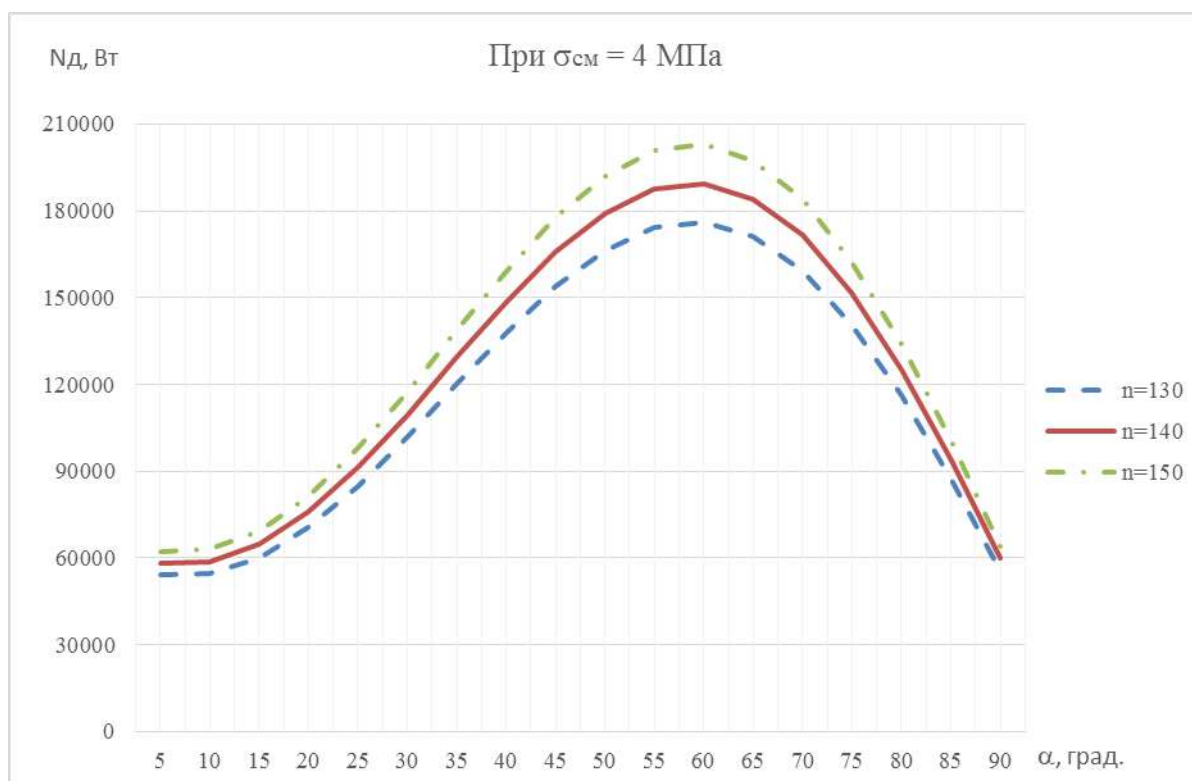


Рисунок 2. График изменения мощности N_d , затрачиваемой на разрушение горных пород, в зависимости от угла установки резцов.

Вывод: график, показанный на рисунке 2, отражает с достаточно высокой степенью точности, количественно и качественно, реальный характер изменения мощности, затрачиваемой на разрушение забоя скважины в зависимости от угла установки резцов и свойств горных пород.

Литература.

1. Арсентьев Ю.А., Соловьев Н.В., Нгуен Тиен Хунг, Нгуен Тхе Винь. Теоретическое обоснование оптимального диапазона установки резцов долот PDC для бурения в перемежающихся по твердости горных породах месторождения «Южный Дракон и Доймой» (СРВ). Инженер-нефтяник 2017. - №2. –С. 12 – 16.
2. Мори В., Фурментро Д. Механика горных пород применительно к проблемам разведки и добычи нефти. Перевод с французского и английского под ред. чл.-кор. РАН Н. М. Проскурякова. М.: Мир, 1994. – 195 с.
3. Нескоромных В.В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ. – Красноярск: СФУ, 2012. – 300 стр.
4. Нескоромных В.В., Борисов К.И. Аналитическое исследование процесса резания-скалывания горной породы долотом с резцами PDC. Известия Томского политехнического университета, №1. 2013. с. 191-195.

ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ТАМПОНАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ СЕРОВОДОРОДНОЙ АГРЕССИИ

*Мерненко Э.С. (ernestmernenko@gmail.com),
Повалихин А.С. (МГРИ)*

Аннотация

В связи с возможным дефицитом энергетических ресурсов, в следствие с истощением разведанных, перспективных и относительно дешевых для освоения запасов углеводородов. Всё больше становится нефтегазовых месторождений, которые требуют повышенных затрат на их разработку и освоение.

Рентабельное освоение сероводородсодержащие месторождения, является существенным источником увеличения объемов добычи газа, который в основном зависит от технологического прогресса, достигнутого в данной области.

Месторождения, разрабатываемые в сложных горно-геологических условиях строительства скважин (наличие в продукции кислых агрессивных компонентов, особенно сероводорода; высокие пластовые давления), требуют нового подхода к цементированию, который может сопровождаться осложнениями. Качество крепления скважин в таких условиях обеспечивает создание новых тампонажных растворов, стойких в коррозии, поэтому необходимо улучшать их технологических показателей.

Цель доклада – улучшение качества крепи скважин с сероводородсодержащей продукцией применением тампонажных составов с повышенной коррозионной стойкостью и защитными свойствами.

Объект исследования – цементный камень из тампонажных материалов, применяемых для строительства скважин.

Предмет исследования – процессы сероводородной коррозии цементного камня, его фазовый состав и основные технологические свойства.

Согласно цели данной работы исследования направлены на решение следующих основных задач:

1. Обоснование и разработка методологии проведения исследований
2. Определение реакционной способности цементного камня к взаимодействию с сероводородом
3. Оценка воздействия сероводородной среды на состояние цементного камня и обсадных колонн.
4. Установление ряда устойчивости тампонажных материалов к коррозии.
5. Разработка способов повышения сероводородостойкости.

Методы решения задач. С учетом результатов экспериментальных и промысловых исследований проведен анализ и обобщение промыслового материала и изложенных в технической литературе данных по проблеме повышения коррозионной стойкости цементного камня.

Ключевые слова

Коррозионная стойкость; тампонажные материалы; сероводородная среда; цементное кольцо; цементный камень; обсадная колонная; скважина

Являясь диффузионным барьером для проникновения пластовых флюидов, цементный камень препятствует контакту этих флюидов непосредственно с обсадными трубами. При агрессивных воздействиях сероводородной среды в цементном камне (рис. 1) протекают физико-химические реакции, влияющие на состояние обсадных колонн, защищенных цементным кольцом (рис. 2). Развивается коррозии их поверхности обсадных колонн. При нарушении герметичности крепи скважин в результате изменения структуры цементного камня и его разрушения, а также

коррозионного повреждения колонн возникают такие осложнения как: заколонные газопроявления, межпластовые перетоки.

С точки зрения экологической и промышленной безопасности эксплуатация сероводородсодержащих месторождений недопустима.

В процессе спуска и подъема, при цементировании нарушается целостность защитного слоя поэтому защитные покрытия поверхности обсадных труб не дают желаемого эффекта. Для защиты конструкции необходима разработка различных модификаций цементного камня, снижение интенсивность коррозионных процессов крепи скважин путем изменения свойств цементного кольца.

Для решения предполагается комплексный подход: повышение стойкости цементного камня в заколонном пространстве скважин к сероводороду, а также обеспечение им эффективной защиты обсадных колонн от поверхностной коррозии.

Необходимо развивать, также и в природных условиях, исследования агрессивных сероводородсодержащих сред и цементного камня. Создавать методики испытаний на коррозию в соответствии с термобарическими условиями скважин и концентрацией сероводорода в агрессивной среде.

Все эти усилия направлены на совершенствование строительства скважин с сероводородсодержащей продукцией, так как для строительства скважин в условиях воздействия агрессивных сероводородных сред научное обоснование и разработка способов повышения коррозионной стойкости тампонажных материалов имеет важное значение для развития всей нефтегазовой отрасли.

Помимо технико-экономической эффективности решение вышеуказанных вопросов имеют значение с позиции экологии, охраны недр и водных источников от загрязнения сероводородсодержащими флюидами.

Примеры поражения цементного камня сероводородом

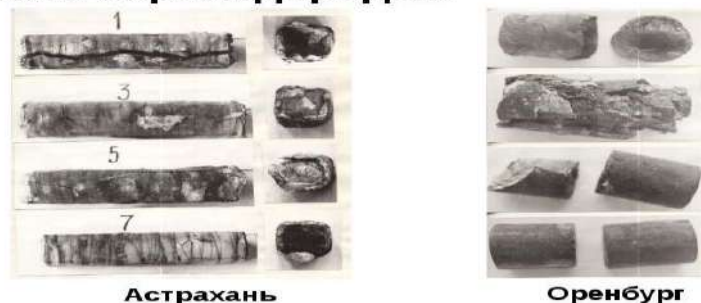


Рисунок 1. Примеры поражения цементного камня сероводородом

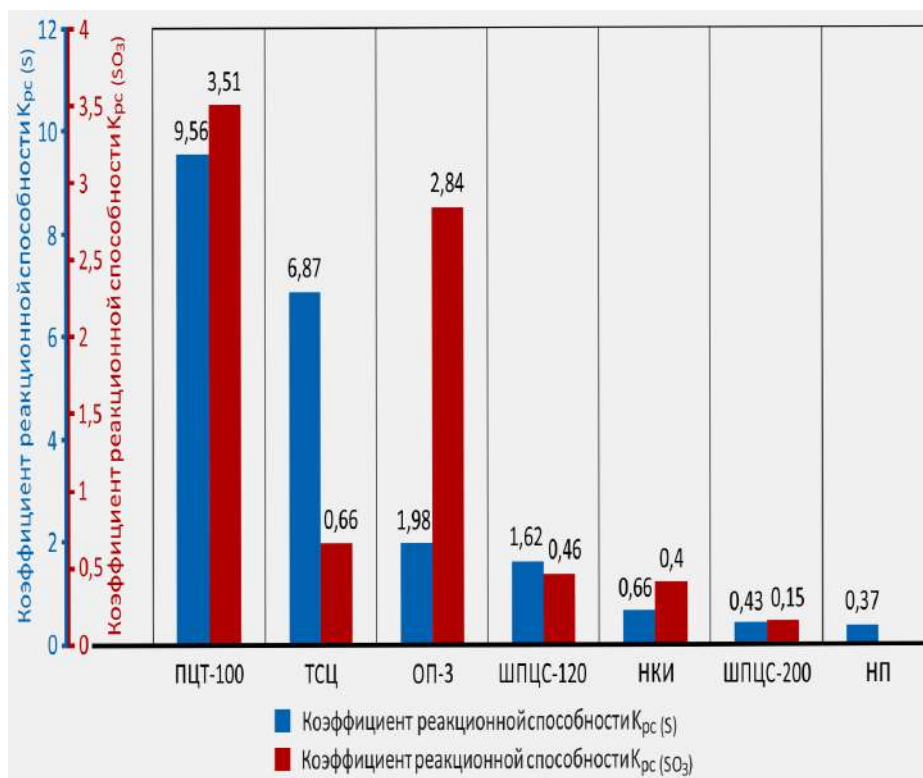


Рисунок 2. Реакционная способность цементного камня к взаимодействию с сероводородом

Литература

1. Бурение наклонных горизонтальных и многозабойных/ Повалихин А.С., Калинин А.Г., Бастриков С.Н., Солодкий К.М. Издательство: ЦентрЛитНефтеГаз, стр. 647.
2. Коррозия конструкционных материалах в агрессивных средах/ Батраков В.П., Справочник. М.: Гособорониздат, 1952. — 452 с.
3. Коррозия конструкционных материалов. Газы и неорганические кислоты: Справ. Изд.: В двух книгах. Кн.1. Газы и фреоны/ Батраков В.В., Батраков В.П., Пивоварова Л.Н., Соболев В.В., М.: Металлургия, 1990. — 344 с.
4. Коррозия конструкционных материалов. Газы и неорганические кислоты/ Батраков В.В., Батраков В.П., Пивоварова Л.Н., Соболев В.В.: Справ. Изд.: В двух книгах. Кн.2. Неорганические кислоты, М.: Металлургия, 1990. — 320 с.
5. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств / Воробьева Г.Я., Изд. 2-е пер. и доп. — М: Химия, 1975. — 816 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛИМЕРНОЙ ОБОЛОЧКИ МИКРОПУЗЫРЬКОВ НА СВОЙСТВА ОБЛЕГЧЕННЫХ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

*Соловьев Н.В. (МГРИ, nvs@mgri-rggru.ru),
Кудрявцева Д.К. (МГРИ, dkudryavtseva@inbox.ru),*

Аннотация

В работе приведён анализ экспериментальных данных и обоснование поведения пузырьков газа, вызывающего уменьшение их проницаемости в процессе фильтрования БРМП. Эти исследования позволили уточнить механизм изменения закупоривающей способности буровых растворов с микропузырьками воздуха при перебурировании трещинно-пористых пород. Так же представлено обоснование размера микропузырьков систем БРМП, определение структурно-механических параметров защитной оболочки водного раствора биополимеров и влияния на их изменение термобарических условий.

Ключевые слова: Буровой раствор, адсорбция, концентрация, полимер, микропузырек, монослой, поверхностное натяжение, давление, проницаемость, керн.

Компания «M-I Drilling Fluids LLC», «M-I-SWACO» занимаются разработкой составов и внедрения при бурении скважин систем буровых растворов с включением микропузырьков - афронов, защищенных двухслойной оболочкой поверхностно-активного вещества (ПАВ) и слоем водного раствора биополимера [2, 4, 5]. В ряде публикаций отмечается, что наличие этих слоев в структуре афронов позволяет защищать газовое ядро при избыточном внешнем давлении, возникающем за счёт гидростатического давления и давления, необходимого для продавливания таких пузырьков через пористую среду горных пород. Это препятствует сжатию пузырьков афронов и их схлопыванию с учетом прочностных и упругих свойств защитной трёхслойной оболочке. Такой механизм действия афронов в составе буровых растворов получил широкую известность в научно-технической корпоративной литературе. Однако отсутствует теоретические и экспериментальные данные, позволяющие оценить прочностные свойства трёхслойной оболочки и размеры пузырьков газа в зависимости от различных факторов, обеспечивающих их получение и существование при выполнении технологических процессов с использованием таких систем буровых растворов.

Нами совместно с сотрудниками института нефти и газа Вьетнама выполнены исследования по разработке и внедрению в производство буровых растворов с микропузырьками воздуха (БРМП) для устранения поглощений при бурении в горных породах продуктивных коллекторов с аномально низким пластовым давлением при коэффициенте аномальности 0,65 - 0,8 [3].

В качестве стабилизатора пузырьков воздуха в БРМП использовался биополимер Xantan Gum (Barazan D). Исследована пластическая вязкость таких растворов в зависимости от концентрации в растворе этого и других полимерных реагентов (фотографии при десятикратном увеличении БРМП при различных концентрациях представлены на рис.1).

Кроме того установлено, что при фильтрации БРМП пузырьки воздуха, защищенные оболочкой, состоящие из слоя биополимера Xantan Gum, стабилизированного двумя слоями макромолекул ПАВ, обеспечивают низкие значения показателя фильтрации – 5,5 - 6,1 см³ за 30 мин в образцах трещиноватого керна, отобранного в пределах продуктивного коллектора.



Рисунок 1. Фотографии под микроскопом БРМП различных концентраций ($C=0,3\%$; $0,4\%$; $0,6\%$ – слева на право)

По результатам этих исследований нами намечено дальнейшее исследование по установлению механизма формирования барьера из микропузырьков воздуха в трещинах и порах коллекторов с учетом физико-химических свойств защитной оболочки биополимера вокруг пузырьков воздуха. Необходимо так же исследовать параметры, влияющие на прочность исследуемого защитного слоя: концентрация биополимера в водном растворе, способ получения структуры микропузырьков, их размер, температура среды и другие факторы.

Нами выполнен комплекс исследований, посвященных экспериментальному обоснованию поведения пузырьков газа, вызывающего уменьшение их проницаемости в процессе фильтрования БРМП. Эти исследования позволили уточнить механизм изменения закупоривающей способности буровых растворов с микропузырьками воздуха при перебурировании трещинно-пористых пород.

В соответствии с принятыми закономерностями устойчивость таких систем обуславливается кинетическим, структурно-механическим и термодинамическим факторами. Так, если пузырек подвергается деформации – растяжению, сопровождающемуся увеличением площади поверхности и закономерному уменьшению пенообразователя на межфазной поверхности, это будет являться причиной повышения поверхностного натяжения на участке растяжения, что обусловит его стремление сжаться в большей степени, нежели нерастянутые участки этой поверхности. Кроме того, усиление структурно-механического фактора стабилизации раствора связаны с повышением вязкости межплёночной жидкости в структуре микропузырьков, стабилизированных вязкой жидкостью водного раствора биополимера [1]. Поэтому в задаче наших исследований входило исследование количественных характеристик определяющих свойства защитной оболочки биополимера и воздушных пузырьков в целом. С этой целью нами разработаны методика и технологическая схема с применением моделирования забойных условий фильтрации БРМП с использованием образцов кернов, отобранных в трещинно-пористых породах. Это позволило выполнить исследования по сравнительной оценке закупоривающей способности БРМП при различных значениях величин давления в образцах керновых проб при температуре 120°C . Установлено, растворы с микропузырьками воздуха обладают хорошей закупоривающей способностью трещин и пор в горных породах, о чем свидетельствовала стабилизация объёма фильтрата, проходящего через образцы керна. Кроме того установлено, что микропузырьки воздуха за счёт наличия защитной оболочки из водного раствора биополимера обладают достаточной эластичностью и прочностью, о чём свидетельствовало распределение таких микропузырьков в порах и трещинах горной породы и значительное снижение фильтрационного расхода на 60-70% бурового раствора.

Результаты этих исследований представлены на рис. 2.

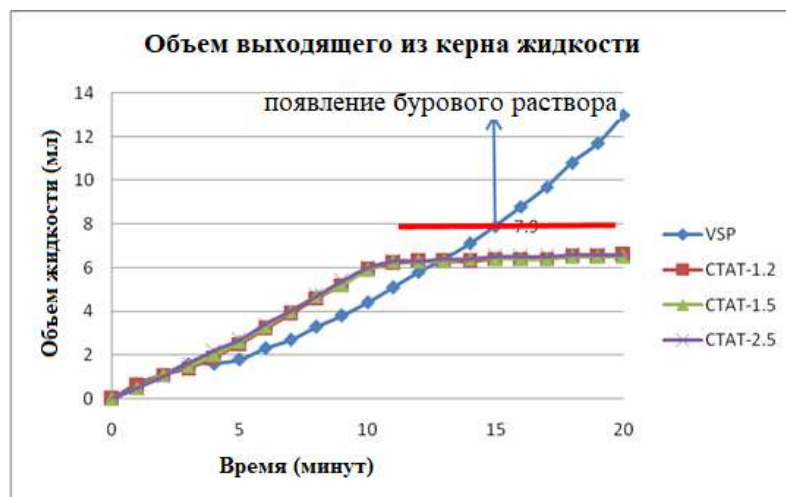


Рисунок 2. Изменение во времени объема жидкости, выходящей из ядра (при 10,8 МПа; 120°C)

Дальнейшие исследования были направлены на обоснование размера микропузырьков систем БРМП, определение структурно-механических параметров защитной оболочки водного раствора биополимеров и влияния на их изменение термобарических условий.

Исследовав толщину адсорбционного слоя (т.е. длину молекулы) при различных концентрациях, произведен расчет предельную емкость монослоя Γ_{∞} . Полученная зависимость в графическом виде представлен на рис. 3.

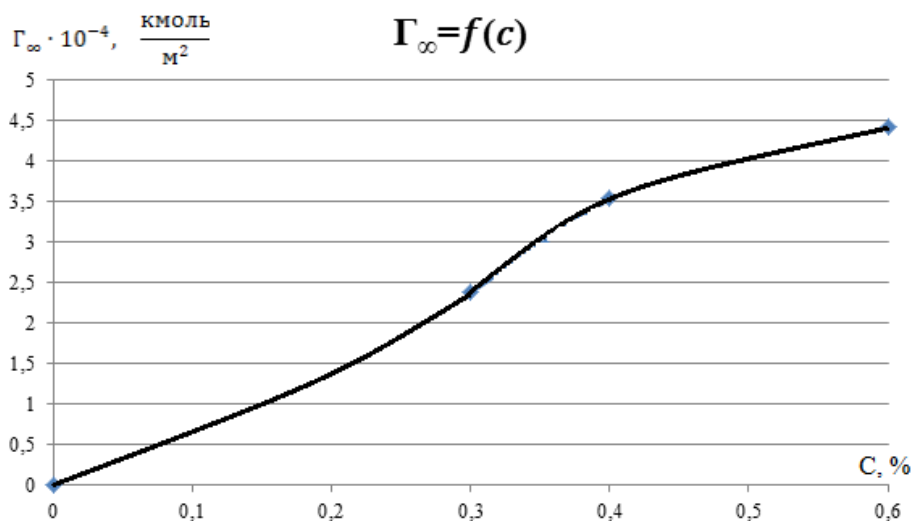


Рисунок 3. Зависимость величины предельной адсорбции от концентрации полимера

Решив систему уравнений Ленгмюра по методу наименьших квадратов находим константу адсорбционного равновесия K графическим методом из уравнения линейной регрессии и как следствие, воспользовавшись существующим уравнением Гиббса и методикой графического нахождения поверхностного натяжения $\sigma = f(C)$ с помощью

емкости монослоя – Γ определяем значение коэффициента поверхностного натяжения БРМП [1].

Для наглядного сравнения в представленной ниже таблице отображены значения коэффициентов поверхностного натяжения различных веществ:

Название вещества	Коэффициент поверхностного натяжения, Н/м
Эфир	0,0171
Бензин	0,021
Этиловый спирт	0,0223
Нефть	0,030
Мыльный раствор	0,040
БРМП (XC-Gum)	0,061
Ртуть	0,4650

В результате исследований, проведенных расчетным путем, выявлено, что пузырек, образованный полимером Xantam Gum, в составе БРМП имеет более прочную структурную оболочку, обусловленную высоким коэффициентом поверхностного натяжения в сравнении с другими органическими веществами, рассматриваемыми в данной работе. Рассчитана наиболее эффективная концентрация ксантана в БРМП ($C = 0,4 \%$), при ней мера способности вещества понижать поверхностное натяжение максимальная, соответственно оболочка пузырька при данной концентрации будет более устойчива к внешним факторам.

Литература

1. Амиян О.А., Амиян А.В. и др. Применение пенных систем в нефтегазодобыче// М. Недра. 1987. с. 27-35;
2. Aphron ICS system distribution. Houston: M-I Drilling Fluids LLC. 2001;
3. Куксов В.А., Меденцев С.В., Васильченко С.В. Новое поколение буровых растворов на основе афронов// Бурение и нефть. 08/2002. с. 54-55;
4. Куксов В.А., Меденцев С.В., Васильченко С.В. Решение проблем вскрытия истощенных пластов. Технология афронов// Бурение и нефть. 12/2002. с. 36-37;
5. Линд Ю.Б. Моделирование динамики многослойного газового пузырька в жидкости// ООО «Башгеопроект»;
6. Соловьев Н.В., Чыонг Ван Ты, Фам Куанг Хиеу, Та Куанг Минь, Кудрявцева Д.К. Обоснование систем буровых растворов для вскрытия истощенных продуктивных коллекторов месторождения нефти Белый Тигр (СРВ)// Научно-технический журнал. Инженер – нефтяник. 2018. № 3. с. 11 – 15.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗРАЙЗЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ СКВАЖИН НА ШЕЛЬФЕ

Муфтахова С.Т. (ООО «Газпром флот», muftakhova@gazpromflot.ru)

Аннотация

В соответствии с утвержденной Правительством Российской Федерации Энергетической стратегией до 2030 года, топливно-энергетический комплекс сохранит свое определяющее значение при решении важных стратегических задач развития страны.

По мере усложнения конструкций скважин, активного роста природоохранного сознания, компаниям-операторам приходится прилагать все большие усилия, для соответствия жестким нормам утилизации отходов при одновременном соблюдении требований к эффективности бурения. Негативным побочным эффектом бурения скважин с целью поиска, разведки и добычи углеводородов является накопление буровых отходов, образующихся в процессе бурения, и содержащих включения буровых растворов, нефтепродуктов и механических примесей, и, тем самым, представляющих опасность для окружающей среды.

Основной объем отходов составляет буровой шлам, извлекаемый из скважины на поверхность.

Оптимальным решением утилизации шлама стало применение системы безрайзерного удаления шлама (RMR).

Система RMR – новая ступень в существующей буровой практике, позволяющая решить одновременно несколько задач:

- удаление бурового шлама путем его подъема со дна моря на буровую установку с целью его последующего вывоза и утилизации на суше;
- подъем бурового раствора с выбуренной породой без применения райзера.

Оборудование RMR

Возвращая буровой раствор обратно на буровую установку, эта система не нарушает природного экологического баланса и дает возможность осуществлять контроль циркуляции жидкости в системе, позволяет использовать ингибированный, утяжеленный буровой раствор.

Оборудование системы RMR (рис. 1) включает в себя:

- 1) верхнее (палубное) оборудование:
 - лебедка и шлангокабель;
 - платформа для крепления шлангокабеля;
 - кабина управления;
 - электрогенератор для насоса (в случае, если источника питания буровой установки недостаточно);
- 2) подводное оборудование:
 - модуль всасывания (SMO), расположенный на колонной головке для перекачивания шлама и отработанного бурового раствора на поверхность. SMO спускается через буровую шахту платформы с помощью бурильных труб или направляющих канатов.
 - подводный насос (PMO), который перекачивает шлам и буровой раствор обратно на буровую установку, где шлам отделяется, а очищенный буровой раствор используется в циркуляции. PMO спускают через борт буровой на шлангокабеле с помощью выделенной лебедки, наращивая секции циркуляционной линии для бурового раствора по мере опускания.

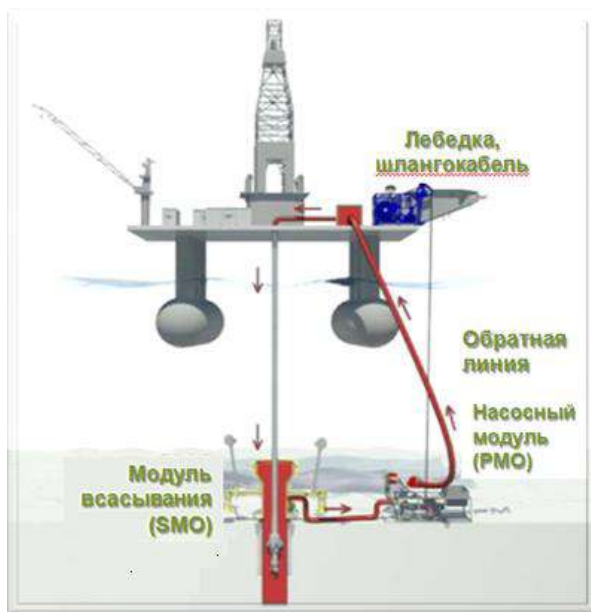


Рисунок 1. Оборудование системы RMR

Система используется совместно с дистанционно управляемым подводным манипулятором (ROV), который необходим для монтажа всасывающей линии насоса и кабеля управления с подводного насосного модуля РМО и подключения к модулю всасывания SMO.

Система RMR обеспечивает замкнутый цикл циркуляции бурового раствора до установки ПВО или морских водоотделяющих колонн.

Технологи управляют насосом, сохраняя скважину заполненной раствором во время бурения, СПО и цементирования.

Насос системы RMR откачивает буровой раствор с выбуренной породой по циркуляционной линии для бурового раствора от модуля всасывания (SMO), смотнированного к направлению 30" (762 мм), на буровую установку. Шлам подается в систему очистки, и после этого очищенный буровой раствор транспортируется в мерные емкости для последующей циркуляции, как при обычном бурении. Точное управление насосом RMR не допускает попадания бурового раствора и выбуренного шлама в морское пространство. В дальнейшем шлам транспортируется на берег с целью его дальнейшей утилизации, а буровой раствор используется повторно благодаря системе циркуляции RMR.

Мониторинг уровня раствора в модуле всасывания SMO осуществляется манометром и видеокамерой, установленными в системе RMR.

Операторы системы RMR запускают, останавливают и регулируют насос системы RMR так, чтобы не допустить переполнения всасывающего модуля SMO буровым раствором. Насос отличается высокой чувствительностью (уровень раствора можно контролировать в пределах нескольких сантиметров).

Технология системы RMR.

Параметры буровых растворов

Применение системы RMR позволяет использовать обработанный буровой раствор при бурении верхних интервалов скважины.

Значительную роль при определении параметров строительства скважины играют геологические осложнения, для предупреждения которых необходимо использовать определенные технологические мероприятия

Верхние интервалы скважин, как правило, представляются песчаными и глинистыми разупрочненными породами. Возможны такие осложнения, как: обвалы стенок скважин, поглощение бурового раствора, прихваты, кавернообразование, появление приповерхностного газа.

Мероприятия по предупреждению и ликвидации осложнений:

- **осыпи и обвалы стенок скважин** – промывка, проработка, использование ингибирующего, полимеркалиевого стабилизированного раствора.

Для бурения таких пород требуется достаточно вязкий глинистый раствор с умеренной водоотдачей. Такой раствор в отложениях неустойчивых песков формирует стабилизирующую эти породы фильтрационную корку. Разбуриваемые глины и суглинки частично переходят в раствор, вызывая повышение вязкости и СНС, которые легко снижаются до нужных значений разбавлением водой. Также, для снижения эффекта набухания глин и, соответственно, снижения прихватоопасности рекомендуется использование ингибирующего реагента - хлористого калия, сульфата калия или ингибитора глин Atren CI. Для регулирования жесткости и щелочности применяют кальцинированную соду. Для снижения водоотдачи применяется полимер КМЦ или ПАА.

- **поглощения** - снижение плотности раствора, струйная кольматация открытой части ствола, намыв наполнителей, закачивание изоляционных смесей, применение специальных перекрывающих устройств.

Поглощения обусловлены фильтрационными характеристиками пород и репрессией на пласты в процессе бурения, СПО и цементирования обсадных колонн.

Предварительная обработка бурового раствора реагентом Полицелл ЦФ перед вскрытием потенциально поглощающего пласта позволяет предотвратить возникновение поглощения и бурить в интервале предполагаемого поглощения без осложнений. Снизить опасность поглощений можно и за счет снижения фильтрации раствора и образования глинистой корки на стенках скважины.

- **прихватов (заклинок, сальникообразования)** – гидромониторная очистка забоя, использование ингибирующего, полимеркалиевого раствора.

- **кавернообразования** – поддержание плотности бурового раствора, ингибирование раствора.

- **проявление приповерхностного газа, что является относительно частым явлением при бурении на море** – применение системы безрайзерного удаления шлама, позволяющей предотвращать проявление или предупреждать о его возникновении на ранних стадиях.

Требования к оборудованию буровой установки при применении системы RMR

Система очистки при применении системы RMR.

Применение системы RMR вносит свои корректировки и требования в технические характеристики системы очистки бурового раствора, а именно:

- необходимость применения вибростол с ячейками большего размера в связи с выходом большого количества шлама на поверхность;

- необходимость увеличения производительности насоса буровой установки для обеспечения качественной очистки ствола скважины и обеспечения выноса на поверхность большого количества шлама.

Преимущества системы RMR:

1. Раннее обнаружение притока приповерхностного газа, оперативный контроль за давлением в скважине до установки райзера или противовыбросового оборудования. Визуальный мониторинг скважины в режиме реального времени.
2. Упрощение процесса предотвращения притока приповерхностных газов.
3. Высокая стабильность скважины. Уменьшение рисков размыва устья скважины и опорной плиты.
4. Повышение качества цементирования.
5. Контроль объема бурового раствора при бурении верхнего интервала скважины (своевременное обнаружение поглощений бурового раствора).
6. Экологичность системы RMR.
7. Экономические преимущества применения системы RMR.

Анализ отличий методов определения наличия газоносных пластов при бурении с системой RMR и без нее.

Бурение пилотного ствола осуществляется для подтверждения отсутствия приповерхностного газа. Газопроявляющий пласт обнаруживается, только после его разбуривания, прибором нейтронного каротажа и гамма-гамма плотностного каротажа, а наличие газа подтверждается дистанционно управляемым подводным манипулятором ROV, который контролирует появление пузырей только на устье скважины.

В то время как, при применении системы RMR наличие проницаемых зон и газа определяется в момент поступления газа в скважину увеличением частоты оборотов насоса системы RMR, а также сигнализацией системы. Шлам возвращается на буровую установку и анализируется геологами и сотрудниками, ведущими учёт данных о буровом растворе, что позволяет определить тип формации.

ВЫВОДЫ

Таким образом, система безрайзерного удаления шлама (RMR) – это новое высокотехнологичное решение, которое гарантирует бережное отношение к окружающей среде, сводится к минимуму риски бурения верхних интервалов ствола скважин.

ПРИМЕНЕНИЕ КАРБОРУНДА (ИСКУССТВЕННОГО МУАССОНИТА) ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Назаров А.П. *(МГРИ, alexpnazarov@yandex.ru)

Аннотация

Стоимость породоразрушающего инструмента является значительной долей общих затрат при бурении скважин. Долговечность породоразрушающего инструмента зависит в первую очередь от износостойкости его вооружения. В качестве материалов, применяемых для армирования бурового инструмента, применяются твердые сплавы и сверхтвердые материалы. Рассмотрена возможность для армирования породоразрушающего инструмента синтетическим сверхтвердым материалом «карборунд», имеющего твердость и износостойкость близкую к свойствам алмаза, но дешевле его на несколько порядков.

Ключевые слова: бурение скважин, породоразрушающий инструмент, горные породы, твердый сплав, сверхтвердые материалы, натуральные и искусственные алмазы, синтетические материалы.

Породоразрушающий инструмент при механическом вращательном и вращательно-ударном способе бурения скважин работает в сложнейших условиях [4]. Под действием динамических и статических нагрузок, крутящего момента, продольных, поперечных и крутильных колебаний породоразрушающий инструмент испытывает практически все виды напряжений, достигающих иногда предела текучести и прочности материала. Мощность, затрачиваемая на разрушение горной породы на забое, может достигать десятков киловатт. При этом, значительная часть механической энергии переходит в тепловую, в результате чего торец породоразрушающего инструмента может разогреваться до температур порядка 800÷1000°С. Воздействие промывочной жидкости с химическими реагентами и пластовых флюидов в условиях высокого давления (до 250 МПа) и температуры (до 250°С) приводит к активной коррозии инструмента. Значительная часть горных пород, встречающаяся при бурении скважин, имеет твердость большую, чем твердость стали, из которой изготовлен корпус породоразрушающего инструмента. При разрушении забоя скважины торец породоразрушающего инструмента подвергается активному абразивному износу.

Для эффективного на разрушения забоя скважины в процессе бурения торцевая часть породоразрушающего инструмента выполняется в виде композита, то есть вооружается (армируется) специальными материалами. Перечисленные выше факторы определяют требования к этим материалам:

- высокая прочность к действию различных нагрузок;
- твердость, заведомо превышающая твердость разрушаемой горной породы;
- возможность сохранения физико-механических свойства в широком диапазоне температур;
- высокая теплопроводность;
- высокая стойкость к химически агрессивным жидкостям;
- высокая стойкость к абразивному износу.

В настоящее время для армирования породоразрушающего инструмента применяются различные типы твердого сплава и сверхтвердые материалы [1].

Твердые сплавы – твердые и износостойкие композитные материалы, которые изготавливаются методом порошковой металлургии из материалов на основе карбидов вольфрама или титана, реже тантала, связанных кобальтовой или никелевой

металлической связкой, способные сохранять эти свойства при температурах до $900\div 1150^{\circ}\text{C}$. Твердость большей части изверженных пород не позволяет эффективно разрушать их породоразрушающим инструментом, армированным твердым сплавом. По этой причине область применения их ограничена 7÷8 категорией по буримости.

Сверхтвёрдые материалы – группа веществ, твёрдость и износоустойчивость которых превышает твёрдость и износоустойчивость твёрдых сплавов ($H_V > 40$ ГПа) [2]. В настоящее время широко применяются следующие сверхтвердые материалы: алмаз натуральный и искусственный, модификации нитрида бора и карбид кремния.

Алмаз – кристаллографическая разновидность углерода (C) – самый твердый минерал известный на Земле ($H_V = 90\div 100$ ГПа). Кубическая структура кристаллов алмаза объясняет его высокую твердость и износостойкость на истирание. Для алмаза также характерны самый высокий (по сравнению с другими известными материалами) модуль упругости и самый низкий коэффициент сжатия. Алмаз инертен по отношению к кислотам и щелочам. Главной отличительной чертой алмаза является наиболее высокая теплопроводность среди всех твердых тел: $900\div 2300$ Вт/(м·К). Благодаря этому при соответствующем охлаждении алмазами можно вести бурение с очень высокими окружными скоростями.

Недостатками натуральных алмазов для армирования буровых долот являются:

- высокая стоимость;
- хрупкость, из-за чего при ударе или при повышенной вибрации алмаз легко раскалывается по плоскостям спайности, параллельным граням октаэдра;
- невысокий предел прочности на изгиб, что ограничивает выступ алмазных зерен из торца инструмента и, соответственно, снижает углубку за оборот;
- температурная устойчивость не превышает $650\div 700^{\circ}\text{C}$;
- при повышении температуры выше 600°C алмаз растворяется в железе, что приводит к необходимости применять специальные материалы матрицы.

На основе синтетических алмазов разработаны и выпускаются сверхтвердые материалы (СТМ), наиболее известные из них баллас, карбонадо, славутич, СВ, эпитаксиальный СТМ и др. Общим для этих материалов является спекание под высоким давлением порошков натуральных и синтетических алмазов с твердым сплавом.

Синтетические поликристаллические алмазы (PDC – polycrystalline diamond cutter) более устойчивы к ударной нагрузке, чем природные алмазы, но подвержены более интенсивному абразивному износу. Основным недостатком поликристаллических алмазов является высокая энергоемкость процесса изготовления, стоимость оборудования и, соответственно, высокая стоимость резцов PDC.

К синтетическим сверхтвердым материалам, активно применяемых в современной технике, относятся модификации нитрида бора и карбида кремния. Модификации нитрида бора – бинарное соединение бора и азота (BN). Поликристаллы плотных модификаций нитрида бора превосходят по теплостойкости все материалы, применяемые для лезвийного инструмента. Наибольший интерес представляет кубическая (β -BN) модификация (эльбор), имеющая твердость близкую к твердости алмаза ($H_V = 90$ ГПа). Эльбор-Р в виде резцов небольшого размера (4-5 мм) применяется для оснащения породоразрушающего инструмента при бурении скважин в горных породах VI-VIII и частично IX категорий по буримости [3]. Недостатком пластин нитридов бора является высокая энергоемкость процесса изготовления, большая стоимость применяемого оборудования и, соответственно, высокая цена.

Карборунд (карбид кремния) – бинарное неорганическое химическое соединение кремния с углеродом. Химическая формула SiC. В природе встречается в виде чрезвычайно редкого минерала – муассанита.

Карборунд – тугоплавкий минерал, который по твердости уступает лишь алмазу и кубическому нитриду бора. Главные качества карборунда: стойкость к взаимодействию с большинством кислот; высокая термическая, химическая и радиационная устойчивость; низкий коэффициент теплового расширения; стойкость к фазовым переходам (из-за которых часто происходит разрушение монокристаллов у других веществ). Высокая твердость карборунда определяется его кристаллической решеткой, аналогичной кристаллической решетке алмаза. В таблице 1 приведены основные характеристики рассмотренных сверхтвердых материалов.

Таблица 1

Материал	Плотность, г/см ³	Твердость по шкале Мооса	Предел прочности на сжатие, МПа	Предел прочности на изгиб, МПа	Температурная устойчивость, градус
Алмаз	2,9÷3,55	10	950÷1000	210÷25	650÷700
Нитрид бора	3,45÷3,49	9,5	800÷900	–	1100÷1300
Карборунд	3,21	9,1	300÷320	350÷450	1200÷1300

Первоначально карбид кремния применялся как абразив и конструкционный материал высочайшей прочности. Сейчас он применяется в различных областях человеческой деятельности: в астрономии, автомобильной и металлургической промышленности, в электронике и электротехнике, в качестве элементов ядерного топлива и для изготовления ювелирных изделий.

Простейшим способом производства качественных монокристаллов карборунда является спекание кремнезема с углеродом (метод Ачесона) в графитовой электропечи при высокой температуре 1600÷2500°C. Стоимость карборунда нужной зернистости, полученного данным способом составляет на данный момент **88 руб/кг**. Большой интерес представляет способ получения поликристаллического карбида кремния получают путем восстановления двуокиси кремния углеродом в электрических печах при температуре 1800÷2300°C [5].

Выводы

1. Карборунд по своим физико-механическим свойствам может быть рекомендован для армирования породоразрушающего инструмента;
2. Карборунд имеет ряд преимуществ по сравнению с алмазами: высокую температурную устойчивость; отсутствие реакции с железом; высокий предел прочности на изгиб; стоимость на несколько порядков меньше, чем у алмазов;
3. Процесс получения карборунда значительно менее энергоемкий, чем для получения модификаций нитрида бора.

Литература:

1. Буровой портал drillings.ru
2. Википедия. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>;
3. Горшков Л.К. Совершенствование алмазного бурения на основе нормализации температурного фактора. – Ленинград: 1984.
4. Калинин А.Г., Левицкий А.З., Никитин Б.А. Технология бурения разведочных скважин на нефть и газ. – М.: Недра. 1998. – 437 с.;
5. Способ получения поликристаллического карбида кремния. Патента RU 2448041/

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ БУРОВЫХ ДОЛОТ В ОДНОШАРОШЕЧНОМ ИСПОЛНЕНИИ

*Тошов Ж.Б. (Ташкентский государственный технический университет
им. И. Каримова), Бронников И.Д., Нахангов Х.Н. (МГРИ)*

Аннотация

В тезисе рассматриваются вопросы оптимизации конструкций одношарошечных долот и энергетические критерии при статическом разрушения горных пород, которые являются объективными для оценки работоспособности буровых долот при бурении.

Ключевые слова: горная порода, разрушение горной породы, бурение, буровое долото, забой скважины, шарошка, удельная контактная работа, удельная объемная работа, кольцевой забой, .

Конструкции одношарошечных долот (ОД) имеют неоспоримые преимущества по технологии их изготовления, по облегченным условиям разрушения горной породы на забое скважины. Первое обусловлено наличием только одной опоры – с повышенным потенциалом ее запаса прочности, а второе – сферическими поверхностями забоя.

С другой стороны, чрезмерный опережающий износ зубков на вершинных венцах, значительная удаленность корпуса долота с промывочным каналом от поверхности забоя ограничивают, соответственно износостойкость и механическую скорость бурения [1].

Традиционные методы устранения этих недостатков в форме ступенчатости сферических шарошек путем подводки промывочной жидкости через цапфу пока только определили стратегию совершенствования одношарошечных долот.

Для оптимизации конструкций одношарошечных долот рассмотрим две задачи. Причем оптимизационные решения этих задач не зависят друг от друга, т.е. положительные эффекты от их решений будут складываться.

Поэтому обратимся к более конкретной задаче оптимизации процесса разрушения горной породы зубками одношарошечных долот, т.е. к оптимизации динамики вооружения одношарошечных долот на забое скважины.

На энергетическом уровне аналогами критериев оптимизации при решении таких задач в области породоразрушающих буровых инструментов могут являться удельная контактная и удельная объемная работы разрушения.

Математически они представляются следующим образом.

$$A_s = \frac{A_{об}}{S}, \quad (1)$$

где A_s - удельная контактная работа разрушения, Н/м ;

$A_{об}$ - общая работа, затраченная на деформацию и разрушение породы при вдавливании штампа, Н·м;

S - площадь плоского основания цилиндрического штампа, м².

$$A_v = \frac{A_{об}}{V}, \quad (2)$$

где A_v - удельная объемная работа разрушения, Н/м²;

V - объем деформированной породы, м³.

Удельная контактная и удельная объемная работы разрушения соответственно в формулах (1) и (2) являются объективными энергетическими критериями при статическом разрушении горной породы под штампом.

Поэтому они пригодны только для изучения физико-механических свойств горных пород.

Критерии в форме (1) и (2), будучи энергетическими критериями физико-механических свойств горных пород при их статическом разрушении, являлись объективными прототипами критериев оценки работоспособности буровых долот [2].

Для того, чтобы оценить эффективность бурового долота, не производя им бурение, т.е. оценить его экономическую эффективность необходимо знать заранее величины T_2 (время чистого бурения) и H (проходка на долото).

Абсолютные значения T_2 и H спрогнозировать невозможно.

Для построения же их относительных величин в виде расчетных формул необходимо исходить из следующих предпосылок.

1. Время механического бурения ограничивается износостойкостью вооружения (зубков) шарошек на забое скважины.

2. Интенсивность износа каждого зубка шарошки прямо пропорциональна пути контакта

3. Разрушение горной породы на кольцевом забое скважины будет тем интенсивнее, чем больше будет затрачена на этом кольцевом забое работа, совершаемая на путях контакта зубков соответствующих венцов.

4. Величины T_2 и H связаны формулой

$$H = V_m T_2, \quad (3)$$

где V_m - механическая скорость бурения, м/час.

С целью эффективного решения оптимизационных задач при проектировании новых и совершенствования существующих конструкций буровых долот необходимо иметь следующие их технологические критерии оценки работоспособности.

1. Относительную удельную контактную работу разрушения горной породы в форме

$$A'_j = \frac{i \cdot S_j \cdot F_j}{\Delta S_j}, \quad (4)$$

где S_j - пути контакта зубка единичной площади j -го условного венца при одноактовом входе в контакт с забоем скважины, м;

F_j - сила сопротивления движению зубков единичной площади j -го условного венца в контакте с породой на забое скважины, Н.

ΔS_j - контактная площадка вершины зубка j -го венца шарошки единичной длины и ширины, м².

2. Относительную удельную объемную работу разрушения горной породы в форме

$$A''_k = \frac{i \sum_{j=1}^n S_{j,k} \cdot F_j \cdot Z_j \cdot d_j}{V_k}, \quad (5)$$

где $S_{j,k}$ - путь контакта зубков единичной ширины j -го венца на k -ом кольцевом забое скважины, м;

Z_j - количество зубков на j -м венце, шт.;

d_j - количество единичной площади зубков j -го венца, шт.;

V_k - объем породы k -го кольцевого забоя скважины, приходящийся на разрушение зубками единичной ширины j -ых венцов, m^3 ;

Экономический критерий запишем в форме [3, 4].

$$C = \frac{C_1 \left(T_1 + \frac{1}{A'_{\max}} + T_3 \right) + C_3}{\frac{1}{A'_{\max}} \cdot A''_{\min}}. \quad (6)$$

Формула (6) записана с учетом следующих допущений:

1. Абразивная стойкость долота по вооружению T_2 обратно пропорциональна относительной удельной контактной работе разрушения A'_{\max} .

2. Механическая скорость бурения V_m ограничена минимальной величиной относительной удельной объемной работы разрушения A''_{\min} .

Сила сопротивления движению зубков шарошек в контакте с породой F принята постоянной в расчетах.

Заметим, что формула (6) здесь выведена с целью доказательства объективности технологических критериев в форме (4) и (5) и с целью доказательства возможности целенаправленного совершенствования схем размещения вооружения на одношарошечных долотах уже на стадии проектирования путем сравнительного анализа их для базовой и вновь создаваемой конструкции [5].

Как видно, аналитические структуры технологических критериев оценки работоспособности одношарошечных долот в форме (4) и (5) содержат параметры S_j , $S_{j,k}$, для вычисления которых необходимо было разработать специальную математическую модель.

Отметим здесь, что параметры S_j и $S_{j,k}$ отличаются тем, что S_j - это полный путь контакта зубка шарошки за один акт взаимодействия с поверхностью забоя скважины, а $S_{j,k}$ - часть этого пути, вычисленная для заданного кольцевого забоя скважины.

Для определения полного пути контакта зубка шарошки с породой надо решить двухпараметрические уравнения траекторий движения вершины зубка шарошки в форме

$$\left. \begin{aligned} x &= x(\Gamma, \varphi, \psi) \\ y &= y(\Gamma, \varphi, \psi) \\ z &= z(\Gamma, \varphi, \psi) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где Γ - совокупность геометрических параметров, а φ и ψ углы поворота, соответственно, долота и шарошки вокруг своих осей.

Свести двухпараметрические уравнения в форме (7) к однопараметрическим, т.е. найти

$$\left. \begin{aligned} x &= x(\Gamma, i, \psi) \\ y &= y(\Gamma, i, \psi) \\ z &= z(\Gamma, i, \psi) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Передаточное отношение шарошки i , определяющее сколько оборотов сделает шарошка вокруг своей оси за один оборот долота, можно определить экспериментально на соответствующем стенде или вычислить с помощью специальной методики, физическая сущность которой будет изложена ниже.

Составить формулу вычисления скорости движения вершинной точки зубка шарошки в форме функции от параметра ψ , т.е.

$$V(\psi) = \sqrt{\left(\frac{dx}{d\psi}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\psi}\right)^2 + \left(\frac{dz}{d\psi}\right)^2}. \quad (9)$$

Составить интеграл вычисления пути траектории зубки, приходящейся на контакт с поверхностью забоя скважины

$$S = 2 \int_{\psi_0}^{\psi_1} V(\psi) d\psi. \quad (10)$$

Разработать методику вычисления передаточного отношения шарошки, исходя из принципа наименьшего действия. Основоположителем же этого принципа был Мопертюи (1744 год) со следующей формулировкой: «Для действительного движения частицы интеграл от $v ds$, взятый по отрезку траектории между двумя какими-либо ее точками, есть минимум по сравнению с такими же интегралами, взятыми по отрезкам других кривых, проведенными между теми же точками» [6].

Интеграл $\int v ds$, где v – скорость частицы, Мопертюи назвал «действием», а сам принцип – принципом наименьшего действия.

$$\sum_{j=1}^{m-1} A_j = \sum_{j=m+1}^n A_j \quad (m < n), \quad (11)$$

где A_j – работы совершаемые зубками шарошек на j венцах шарошки за один оборот вокруг своей оси; m – номер венца чистого качения.

Разработать аналитические структуры объективных технологических критериев оценки работоспособности ОД в форме (4) и (5).

Литература

1. Бронников И.Д., Тошов Ж.Б., Нахангов Х.Н. Критерии оценки работоспособности одношарошечных буровых долот // Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». - 2016. – №2. - С. 24-27.
2. Стеглянов Б.Л. Теоретические основы создания эффективных породоразрушающих буровых инструментов нового поколения // Узбекский журнал нефти и газа. - Ташкент, 1999. - № 9. - С. 25-27.
3. Нахангов Х.Н. Критерии работоспособности вооружения одношарошечных долот // VII международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые – наукам о земле» / Доклады. - М., 2014. - С.299-300/
4. Тошов Ж.Б, Бронников И.Д., Нахангов Х.Н. Теоретические основы построение аналитической модели одношарошечного долота. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2017.-№6. Отдельные статьи (специальный выпуск 13). Пути повышения эффективности бурения геологоразведочных скважин – С. 3-5.
5. Бронников И.Д., Тошов Ж.Б., Нахангов Х.Н. Аналитическая модель взаимодействия зубков шарошечного долота с забоем скважины // Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». - 2017. – №2. -С. 16-19.
6. Стеглянов Б.Л. От Как?... к Почему?... //ГФНТИ /Аспекты динамики буровых долот и других физических моделей. Ташкент, 2001.- 68 с.

КОРРЕКЦИЯ ВЛИЯНИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ТРАЕКТОРИЮ НАКЛОННО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

Овезов Б.А. (МГРИ, batyr.ovezov@gmail.ru), Щербакова К.О. (МГРИ, ksenia.scherbakova4@gmail.ru), проф. Соловьев Н.В. (МГРИ, nvs@mgri-rggru.ru), проф. Повалихин А.С. (МГРИ, a_ovalikhin@rosneft.ru)

Аннотация

Геомагнитное поле Земли является неоднородной пространственной структурой и характеризуется широким спектром временных вариаций. Основная часть этого поля создается за счет источников, находящихся внутри Земли. Дополнительные источники магнитного поля располагаются в магнитосфере и ионосфере. Благодаря дополнительным источникам создается внешнее магнитное поле Земли. Вариации магнитного поля Земли наблюдаются на ее поверхности. Геомагнитное поле распространяется по всем оболочкам Земли: литосфере, гидросфере и атмосфере, оказывая влияние на геофизические, биофизические и технологические процессы. Зачастую магнитная навигация остается необходимым резервным, единственным возможным и технологически оправданным методом ориентирования объекта. Компас и данные магнитного склонения широко используются в авиации, геологии, при поиске углеводородов и бурении наклонно направленных скважин.

Ключевые слова: геомагнитные возмущения, наклонно направленное бурение, машинное обучение, Арктика.

Вступление: Как правило, глубины стандартных нефтяных и газовых скважин варьируются от 2 до 4 км по вертикали. Обычно разведочные скважины бурятся вертикальными, а эксплуатационные – наклонно направленными или горизонтальными. При заданном искривлении ствола забойные двигатели ориентируют в скважине по определенному азимуту, и бурение ведется в строго заданном направлении. При этом профиль наклонно-направленных эксплуатационных скважин включает начальный вертикальный участок, что обусловлено конструкцией технологического бурового и эксплуатационного оборудования. Затем постепенно набирается зенитный угол вплоть до 90° [4].

Наклонно направленное бурение обуславливается строгим контролем ориентации буровой колонны под поверхностью земли. Для измерения зенитного угла и географического азимута применяются телеметрические измерительные системы, основанные на магнитометрической технологии. Данная технология является более экономичной в сравнении с применением гироскопов, так как магнитные инклинометры достаточно стабильны к механическим воздействиям и могут использоваться в качестве забойных навигационных систем. Скважинный магнитометр входит в систему телеметрического контроля, которая носит название «Измерения в процессе бурения» (Measurements While Drilling, MWD), и широко используется при проведении буровых работ и строительстве скважин во всех географических зонах. Однако при геомагнитном сопровождении наклонно направленного бурения скважин в Арктическом регионе возникают проблемы, обусловленные строением магнитного поля Земли и воздействием на него факторов солнечной активности. В высоких широтах Земли часто возникают мощные спорадические возмущения геомагнитного поля, связанные с магнитосферными магнитными бурями [5].

Важной задачей обеспечения заданных параметров скважины является стабильное следование расчетному направлению бурения и коррекция отклонений и верификация магнитометрических данных MWD. Уменьшение погрешностей, связанных с магнитным полем Земли, достигается путем применения современных моделей главного магнитного поля, моделей локальных магнитных аномалий и аэромагнитной съемки. В высоких широтах необходимо помимо этого проводить измерения вариаций поля на поверхности Земли непосредственно в районе проведения работ и фильтрацию спорадических геомагнитных возмущений, создаваемых электрическими токами, текущими в ионизированных слоях верхней атмосферы (ионосфере) Земли. Во время магнитных бурь в полярной ионосфере развиваются струйные, вытянутые вдоль параллелей электрические токи мощностью до миллионов Ампер [1].

В связи с тем, что главное магнитное поле Земли представляет собой диполь, то в высоких широтах горизонтальная составляющая полного вектора напряженности поля сравнительно невелика. Даже во время магнитных бурь средней интенсивности амплитуда спорадических вариаций в Арктике составляет порядка 1000 нТл. При экстремальных магнитных бурях могут наблюдаться отклонения горизонтальной компоненты вектора геомагнитного поля в 5000 нТл и более. В результате возмущений возникает недопустимо большая погрешность определения географического направления в пространстве под поверхностью земли, которое основывается на данных непрерывных измерений магнитного поля компонентным скважинным магнитометром-инклинометром, расположенным в немагнитной капсуле на конце буровой колонны [5].

С помощью методов, применяемых для расчета фактического профиля ствола скважины [1], возможно проведение оценки влияния спорадических возмущений магнитного поля во время магнитной бури, на отклонения параметров траектории бурения наклонно-направленных скважин в условиях Арктики. Эти отклонения, если их не отфильтровывать с помощью параллельных измерений на геомагнитной обсерватории, могут приводить к недопустимо большим погрешностям скважинных инклинометрических измерений, с помощью которых осуществляется подземная навигация.

Для определения значений главного магнитного поля в любой заданной точке земного шара применяются статистические модели, ассимилирующие данные наземных обсерваторских и специальных магнитных спутниковых наблюдений. Большинство нефтегазовых компаний, в частности работающих в Северном море и других приарктических регионах, использует коммерческую модель Британской геологической службы BGGM (British Global Geomagnetic Model, Британская глобальная геомагнитная модель) [3], которая обновляется ежегодно.

Во время магнитных бурь и других магнитосферных возмущений, вызванных солнечной активностью, в высокоширотной ионосфере Земли развиваются электроджеты, локализованные в виде токовых струй, текущих вдоль широтных кругов $65-75^\circ$ в северном и в южном полушариях. Во время магнитных бурь в экваториальной плоскости на расстоянии нескольких земных радиусов в магнитосфере появляется кольцевой ток, вызванный инжекцией плазмы из хвоста магнитосферы. Электрические токи, протекающие в околоземном пространстве, создают внешнее магнитное поле Земли. Магнитный эффект околоземных электрических токов наблюдается на Земле в виде регулярных вариаций (суточных, сезонных) и спорадических флуктуаций на временных масштабах от секундных до многочасовых отклонений от спокойного уровня. В высоких широтах спорадические возмущения внешнего магнитного поля у поверхности Земли определяются главным образом ионосферными электроджетами, текущими вдоль широтных кругов в авроральной зоне. Таким образом, в данных

районах магнитометры фиксируют наиболее интенсивные отклонения в горизонтальной компоненте геомагнитного поля. Кроме того, быстро меняющееся внешнее магнитное поле возбуждает в поверхностных слоях Земли, обладающих собственной электрической проводимостью, теллурические токи. Магнитное поле этих токов также вносит дополнительную погрешность в определение направления на истинный север по магнитной стрелке [2].

В средних широтах скорость и амплитуда спорадических изменений величины магнитных элементов во время геомагнитных возмущений сравнительно невелики с высокими широтами. Поэтому основным источником погрешности MWD являются технологические помехи, а также локальные геологические структуры. В высоких широтах наземный магнитный эффект ионосферных авроральных электроджетов проявляет себя в наибольшей степени. Поэтому при наклонно направленном бурении глубоких скважин в Арктике проблема отслеживания, фильтрации спорадических возмущений и коррекции показаний скважинного инклинометра стоит достаточно остро.

На сегодняшний день в мировой практике для определения и коррекции показаний скважинных магнитометров используются данные параллельных измерений магнитных элементов на оснащенной современным оборудованием обсерватории, расположенной в радиусе не более 100 км от места бурения. Обсерваторские магнитометры определяют изменения магнитного поля с точностью, значительно превышающей точность скважинных инклинометров. Обсерваторские магнитограммы позволяют детектировать начало геомагнитной бури, определить величину спорадического отклонения магнитных элементов от спокойного уровня и дать информацию об оперативной коррекции показаний скважинного инклинометра для поддержания стабильности параметров бурения. В настоящее время рассматривается возможность создания первой высокоширотной обсерватории ИНТЕРМАГНЕТ в нефтегазоносном регионе Арктической зоны Российской Федерации [3].

Однако, отсутствие оснащенной обсерватории в требуемом радиусе от углеводородных месторождений не должно препятствовать разведке и останавливать дорогостоящий процесс бурения.

Заключение: Остро стоящая необходимость организации наблюдений за геомагнитным полем и корректной интерпретации результатов измерений обусловили развитие внедрения машинного обучения и искусственного интеллекта для своевременной и эффективной коррекции магнитных вариаций. Огромное количество новых приборов порождает большое количество данных. Проводить эффективный анализ данной информации весьма сложно. Человеческий мозг уже не в состоянии обрабатывать такое количество вводных данных, в связи с этим необходимо развивать технологии и методы работы с большим объемом данных. В ином случае возрастает риск пропуска важных зависимостей из-за человеческого фактора. Программное обеспечение с внедрением машинного обучения позволит подобрать нужную коррекцию, воздействовать на необходимый параметр, для получения необходимого результата. Главной привилегией внедрения машинного обучения в процесс наклонно-направленного бурения является не только возможность интерпретации большого объема данных в кратчайшие сроки, но и прогноз возможных магнитных вариаций, основываясь на априорные данные магнитных обсерваторий, характерных высокоширотному региону во время магнитных бурь. Программное обеспечение с использованием машинного обучения и искусственного интеллекта является решением актуальной проблемы в высоких широтах и регионах с дислокацией более 100 км от магнитных обсерваторий. Программное обеспечение послужит отечественным аналогом для программы импортозамещения по ряду параметров, а также предоставит

возможность адаптации новейших дополнительных функций важных для бурения в Арктическом регионе не имеющих аналогов.

Литература

1. Близнюков В.Ю., Повалихин А.С., Кейн С.А. Расчёт и корректирование траектории скважины при бурении 2014.
2. Гвишиани А.Д., Лукьянова Р.Ю. Геоинформатика и наблюдения магнитного поля Земли 2015.
3. Гвишиани А.Д., Лукьянова Р.Ю. Исследование геомагнитного поля и проблемы точности бурения наклонно направленных скважин в Арктическом регионе // Горный журнал 2015.
4. Повалихин А.С., Калинин А.Г., Бастриков С.Н., Солодкий К.М. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин // ЦентрЛитНефтеГаз, 2011.
5. Buchanan A., Finn C., Love J., Worthington W., Lawson F., et al. Geomagnetic Referencing – The Real-Time Compass for Directional Drilling // Oilfield Review Autumn 2013: 25. № 3. Shlumberger. P. 32–47.

КЕРН ПОВЫШЕННОЙ ИНФОРМАТИВНОСТИ

Овезов Б.А. (МГРИ, batyr.ovezov@gmail.ru), Щербакова К.О. (МГРИ, ksenia.scherbakova4@gmail.ru), проф. Повалихин А.С. (МГРИ, a_povalikhin@rosneft.ru)

Аннотация

Как всеобщее известно, керн горной породы является главным источником и основным носителем важной информации о свойствах горных пород. Он дает возможность визуального и непосредственного изучения пробуренных горных пород. Полученные результаты исследованного керна при его качественном отборе и оперативной обработке непосредственно у скважины могут обеспечить до 70-80 % от общего объема необходимой информации для геологоразведочных работ на нефть и газ, создавая тем самым информативную опору геолого-промысловой информации о недрах.

Ключевые слова: керн, информация, геологоразведка, бурение.

Вступление: Для получения высокой информативности керна до сегодняшнего дня было возможно лишь при его отборе на растворах с углеводородной основой (РУО). Бурение на РУО дороже, технологически сложнее, пожаро и экологически опаснее по сравнению с бурением на растворах с водной основой (РВО)[4,6].

Поиск возможных альтернативных способов отбора керна на РВО привел специалистов нефтегазовой отрасли к созданию усовершенствованных методик и технологий бурения с отбором изолированного керна. Изолированный керн исключает негативное влияние РВО, уменьшает до минимума его фильтрацию в керн и обеспечивает соответствие водонасыщенности керна пластовой Кво, что позволяет говорить о сопоставимости изолированного керна, отбираемого на РВО, керну, полученному из оценочных скважин на РУО [5].

Данный способ воплощен в серии керноотборных снарядов серии КИ обширного назначения с различными типоразмерами, которые обеспечивают отбор керна повышенной информативности, т.е. керна с сохраненной структурой и текстурой, с максимальной возможностью сохранения Кво и выносом на уровне 90% и более (из неконсолидированных пород не менее 75%) [1,3]. Увеличение информативности керна достигается также комплексом наукоемких технологий его экспресс-анализа и обработки после отбора непосредственно на скважине и соответствующими методиками его лабораторных исследований.

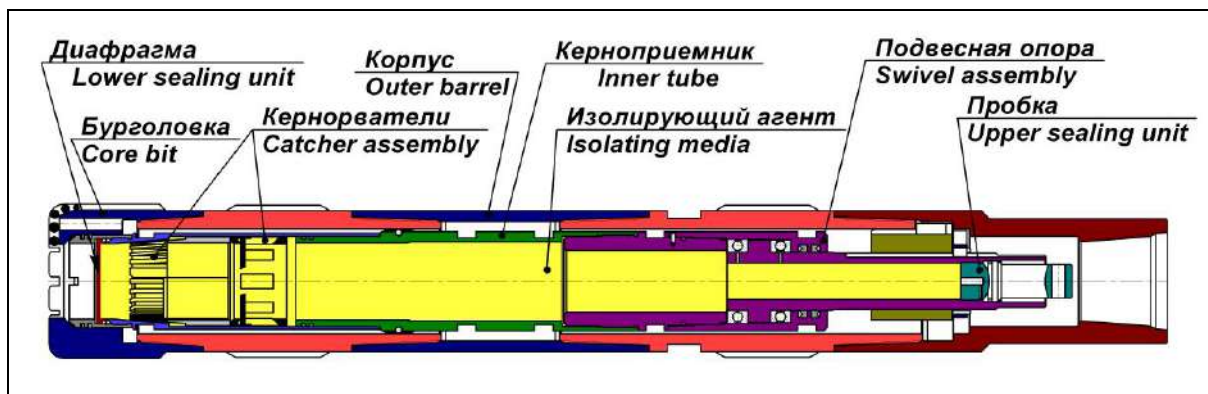


Рисунок 1: Керноотборник изолирующий (Low invasion core barrel)

В комплексе работ включены следующие этапы:

а) на скважине:

- отбор изолированного керна из скважины;
- обработка РВО индикаторами, контроль их фоновой концентрации;
- контроль проникновения фильтрата РВО в поровое пространство керна;
- макроописание керна, его препарирование, отбор и консервация образцов для петрофизических исследований;

б) в лабораторных условиях:

- стандартный комплекс лабораторных петрофизических исследований;
- комплекс дополнительных и специальных петрофизических исследований;
- обоснование петрофизического обеспечения геологической интерпретации ГИС применительно к объекту исследований;

- обоснование методик определения подсчетных параметров по данным ГИС;
- построение объемно-компонентной модели пород в исследуемом разрезе скважины.

Заключение: Отбор керна является весьма сложной с технологической точки зрения операцией, требующей больших финансовых и временных затрат. Однако получение более достоверной информации о продуктивных исследуемых пластах зачастую осложняется контактом керна с промывочной жидкостью при бурении и подъеме его на поверхность. Увы, это зачастую приводит к искажению очень важной характеристики керна, такой как остаточная водонасыщенность, которая в свою очередь используется для обоснования и подтверждения подсчетных параметров запасов нефти и газа. Кроме этого, «загрязнение» керна твердой фазой, содержащейся в буровом растворе, не предоставляет возможным в дальнейшем с высокой точностью оценить коллекторские свойства исследуемых образцов [2].

Подводя итог всему изложенному, возможно заключить, что в целом керноотборные изолирующие снаряды на данный момент времени позволяют получать удовлетворительные результаты керна, как с точки зрения представительности, так и с точки зрения информативности, но остались некоторые важные вопросы, которые требуют более детальной проработки. В качестве путей дальнейшего совершенствования снарядов можно выделить совершенствование кернорвателей для достижения стабильно высокого выноса керна в различных породах и улучшение керноприема для предупреждения заклинивания керна. Дополнительно необходимо повысить информативность керна за счет получения данных из ориентированного керна, что весьма актуально для перспективных месторождений с продуктивными пластами, представленными коллекторами с направленным распространением трещиноватости.

Литература

1. Попов В.В., Храмов А.Н. Новый метод ориентирования керна скважин в пространстве // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2007.
2. R.A.Nelson, L.C.Lenox, B.J.Ward. Oriented Core: Its Use, Error and Uncertainty.
3. Калинин А.Г., О.В. Ошкордин, В.М. Питерский В.М., Н.В. Соловьев. Разведочное бурение. М. Недра, 2000. 748 с.
4. Лиманов Е. Л., Страбыкин И. Н., Елизаров М. И. Направленное бурение разведочных скважин. М. Недра 1978. 223 с.
5. Морозов Ю. Т. Методика и техника отбора ориентированных кернов из скважин малого диаметра. – «Изв.ВУЗов. Геология и разведка», 1970 №3, с. 146-148.
6. Морозов Ю. Т. Бурение направленных и многоствольных скважин малого диаметра. Л. Лен. отд. «Недра», 1976, 215 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ КОРКИ

Петров А.А. (Санкт-Петербургский горный университет, nbdriller@yandex.ru),
Николаев Н.И. (Санкт-Петербургский горный университет, nikinik@mail.ru)*

Аннотация

В данной работе проведены исследования, связанные с разработкой технологических жидкостей для разрушения фильтрационной корки в открытом горизонтальном стволе

Исследования по разработке состава для удаления фильтрационной корки позволили подобрать компонентный состав разрушителя, который производит эффективное деструктурирующее воздействие. Разработанный брейкерный состав позволяет увеличить фильтрационные свойства используемого в исследованиях керамического диска в 4,5 раза.

Ключевые слова: первичное вскрытие пласта, биополимерные растворы, фильтрационная корка, проницаемость.

В процессе вскрытия продуктивного пласта в результате воздействия бурового раствора на его призабойную зону (ПЗП) ухудшение естественной проницаемости коллектора неизбежно. Образование же плотной фильтрационной корки (ФК) на поверхности ствола скважины минимизирует влияние раствора на коллектор.

В настоящее время при бурении большинства скважин широкое распространение получили биополимерные буровые растворы, в состав которых входит биополимер, выполняющий роль структурообразователя, крахмал – регулятор водоотдачи, кольматант – мел, способствующий формированию прочной непроницаемой корки. Но на стадии освоения, особенно в протяженных горизонтальных стволах, ФК выступает в качестве барьера, который приводит к снижению проницаемости породы, закупориванию скважинных фильтров и как следствие – к уменьшению продуктивности скважины.

К одной из операций при проведении работ на заключительной стадии строительства скважин (заканчивании скважин) относится технологический процесс удаления (или очистки) со стенок скважины и околоскважинного пространства сформированной фильтрационной корки для достижения максимальной продуктивности скважины [1]. Данное направление получило развитие в последнее десятилетие и развивается, в основном, зарубежными компаниями. Это обусловлено необходимостью проведения работ в призабойной зоне горизонтальных участков стволов скважин с уже установленными в них фильтрами. В этом случае необходимо учитывать нахождение в стволе скважины фильтра, который состоит из материалов, подвергающихся химическому воздействию композиций. То есть они не должны проявлять существенного влияния на фильтр и в то же время — быть эффективными в разрушении корки и кольматанта.

Выбор той или иной системы для разрушения фильтрационной корки напрямую зависит от условий на забое скважины, компонентного состава ФК и способа заканчивания (в том числе и состава жидкостей заканчивания). С точки зрения повышения производительности скважин оптимальная промысловая жидкость для вскрытия продуктивного пласта должна содержать только такие компоненты, которые легко растворяются и диспергируются при освоении скважины [2].

Химические брейкеры (разрушители, растворители) могут быть разделены на 4 основные группы:

- кислоты;
- оксиданты;
- энзимы;
- хелаты;

Так как формирование корки происходит в процессе фильтрации раствора для первичного вскрытия (РПВ) продуктивного пласта, то следует провести оценку компонентов, входящих в состав РПВ:

1. Сводообразующие материалы:

- карбонат кальция — растворители: кислоты, хелаты;

2. Загустители (полимеры):

- ксантан — растворители: окислители;

3. Реагенты для понижения фильтрации (полимеры):

- модифицированный крахмал — растворители: кислоты, окислители, энзимы.

4. Буровой шлам:

- глинистые частицы: трудноудаляемы. Лучше всего поддерживать их минимальную концентрацию в промывочной жидкости с помощью оборудования по удалению твердой фазы или разбавлением. Глинистые частицы могут быть растворены специальными «глинокислотными» системами, однако такие обработки, как правило, способны привести к повреждению оборудования заканчивания. Обработки растворами ПАВ могут улучшить удаление глинистой фазы, однако в некоторых типах оборудования заканчивания это способно привести к его закупорке.

Лабораторные исследования с целью разработки наиболее эффективного состава для разрушения фильтрационной корки были проведены в два этапа.

На первом этапе было исследовано и оценено действие трёх зарубежных деструкторов с целью анализа влияния различных по основе разрушителей на соответствующие критические компоненты фильтрационной корки и подбор наиболее оптимальных и эффективных составляющих разрабатываемого разрушителя. В задачи первого этапа входило:

1. Приготовление раствора, на котором происходит вскрытие продуктивного пласта.
2. Получение фильтрационной корки посредством фильтр-пресса НТ-НР (Fann) на бумажных дисках.
3. Выдерживание сформированных фильтрационных корок в брейкерной системе.
4. Оценка полученного результата

По истечению 24 часов корка извлекалась, и далее проводился экспресс-тест на наличие крахмала и карбоната кальция путем взаимодействия с 5% раствором йода и 10% раствором соляной кислоты соответственно. Изменение цвета йодного раствора на фиолетовый (синий) указывало на наличие в фильтрационной корке крахмала. Бурная реакция с соляной кислотой, в свою очередь, свидетельствовала о присутствии карбоната кальция.

Наиболее эффективным брейкером по деструкции ФК оказался состав на основе хелатных и энзимных соединений, что также подтверждает анализ литературных источников [3]. При применении данного брейкера наблюдается наиболее полное разрушение корки за установленный период. По результатам исследований, проведенных на первом этапе, были выбраны основные компоненты деструктора.

Цель второго этапа лабораторных испытаний – исследование проницаемости керамических дисков после обработки составом разрушителя для фиксации изменения их фильтрационно-емкостных свойств.

После подбора компонентного состава брейкера следовало оценить эффективность работы исследуемых составов с добавлением забойных условий (давления). За основу при проведении исследований была взята методика, предложенная компанией Varoid (Halliburton) [3]:

1. Измерить реологические параметры и плотность бурового раствора.
2. Сформировать фильтрационную корку на приборе НТ-НР (керамический диск 10 мкм, температура 22 °С, за 30 минут).
3. Разобрать фильтрационную ячейку и сфотографировать фильтрационную корку.
4. Заново собрать фильтрационную ячейку, поместив туда керамический диск с ранее сформированной фильтрационной коркой.
5. Залить в ячейку состав разрушителя и оставить на термостарение при 22 °С и давлении 110 psi на 24 часа.
7. По истечении 24 часов разобрать ячейку НТНР и сфотографировать диск с остатками фильтрационной корки (если имеются).
8. Определить наличие крахмала и карбоната кальция на диске.
9. Заново собрать ячейку (перевернув диск фильтрационной коркой вниз) и замерить время истечения 300 мл моторного масла при давлении 300 psi (или замерить объем фильтрата за 30 минут фильтрации).
10. Разобрать фильтрационную ячейку, извлечь диск-фильтр и определить наличие крахмала и карбоната кальция на диске посредством экспресс-тестов.

Второй этап исследований предполагал испытания зарубежных и разрабатываемого брейкеров под действием давления. Все испытания проводились на фильтр-прессе НТ-НР (Рис.1).



Рисунок 1. Фильтр-пресс НТ-НР с возможностью использования керамических дисков

Полученные результаты фильтрации моторного масла через керамический диск (после выдержки ФК в жидкости разрушителя) сравниваются с фильтрацией того же моторного масла через диск без ФК и диск, ФК которого не разрушалась. Сравнение

этих величин позволяет сделать вывод об эффективности действия брейкерной жидкости по восстановлению фильтрационных свойств диска.

По результатам испытаний был зафиксирован факт увеличения расхода моторного масла вследствие применения систем разрушения ФК. Расход изменяется в 8 – 14 раз при применении зарубежных систем разрушителей ФК и в 4,5 раза при применении разрабатываемого состава.

Литература

1. Ибрагимов Л.Х., Мищенко И.Т. Интенсификация добычи нефти. М., 1996.
2. Patel A. D. Reversible Invert Emulsion Drilling Fluids — A Quantum Leap in Technology. IADC/SPE 47772 Paper. 1998 IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology.
3. Brad Todd. Laboratory Device for Testing of Delayed-Breaker Solutions on Horizontal Wellbore Filter Cakes. SPE 68968, Brad Todd, Rob Murphy, Halliburton Energy Services, Inc.

ГОРИЗОНТАЛЬНО-НАПРАВЛЕННОЕ БУРЕНИЕ И ЕГО ПЕРСПЕКТИВЫ В РАЗВИТИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЯКУТИИ

*Петров В.Л. (Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,
fireredpv@gmail.com),*

*Тимофеев Н. Г. (Северо-Восточный федеральный университет имени
М.К. Аммосова, ng.timofeev@s-vfu.com)*

Аннотация

В данной обзорной работе были рассмотрена возможность решения методом горизонтально направленного бурения двух актуальных в Якутии проблем. Это ведение открытых траншейных работ в черте населенных пунктов и возведение моста через реку Лена.

Ключевые слова:

Горизонтально-направленное бурение, бестраншейный метод прокладки коммуникаций, тоннель

Технология горизонтально-направленного бурения является одним из перспективных направлений сооружения скважин в динамично развивающихся инфраструктурах городской среды.

Во всем мире при помощи бестраншейного метода активно прокладываются коммуникационные кабели, проводится монтаж и демонтаж различных трубопроводов (водоснабжения, нефтяных, газовых, отопительных), проводка канализационных систем, а также ремонт и замена инженерных труб.

Если во многих городах России использование этого метода уже стало обычной практикой, то в Якутске и во всей республике в целом, использование горизонтально-направленного бурения не получило значимого практического внедрения и применения.

Данная проблема актуальна, ведь Якутск – динамично развивающийся город, в нем сосредоточены строительства новых зданий и сооружений, продолжают строиться микрорайоны, прокладываются новые и заменяются старые трубопроводы, коммуникационные кабели. Все эти работы в подавляющем количестве осуществляются традиционным траншейным методом. Этот метод подразумевает собой полное вскрытие поверхности земли, дорожного покрытия, что чревато нарушением почвенного слоя окружающей среды и поднятием в городской воздух большого количества пыли. Но ситуация приобретает еще более негативный характер в случаях, когда местом работы становятся участки дорог (*рисунок 1*). В результате этого приходится вскрывать дорожное полотно, что приводит к временным трудностям передвижения транспортных средств, с последующей нагрузкой дорожного трафика и большим дополнительным финансовыми затратам в виде капитального ремонта участка дорог после завершения инженерных работ.

Исходя из этого, целесообразным и практичным будет использование бестраншейного метода прокладывания и сооружения инженерных коммуникаций.



Рисунок 1. Вскрытие дорожного полотна для замены устаревшего газопровода по улице Чайковского, г. Якутск

По сравнению с открытыми траншейными работами бестраншейный метод обладает следующими значительными преимуществами:

- требует меньше материальных ресурсов на проведение работ;
- ускоряет выполнение работ;
- обеспечивает высокую скорость выполнения монтажно-демонтажных работ;
- требуется минимальное количество рабочих;
- обеспечивает сохранность окружающей и городской среды;
- сокращает эксплуатационные расходы на контроль и ремонт трубопроводов в процессе эксплуатации;

- обеспечивает возможность строительства, ремонта и санации подземных коммуникаций: под реками, оврагами, лесными массивами; в специфических грунтах (скальные породы, плавуны); в условиях плотной жилищной застройки городов. [2]

В Якутске известно только одно предприятие, которое занимается бестраншейной прокладкой коммуникаций. Занимается этим делом ООО «Сахаэнергострой», впервые они использовали «метод прокола» в 2008 году на проспекте Ленина, на участке улиц от проспекта Ленина до Чепалова. А в 2011 году компания приобрела вторую установку для горизонтально-направленного бурения. Первая установка может пробурить до 100 метров под дорогой, диаметр – от 89 до 450 мм. Вторая установка – до 200 метров, диаметр от 89 до 700 мм. [3]

Сегодня потребность в данном виде работ возрастает. Сооружение новых дорог, дворовых территорий, инженерных коммуникаций в черте городов и микрорайонов требует использования современного метода – горизонтально-направленного бурения. К примеру, для развития 203 микрорайона г. Якутска планируется проложить километры канализационных труб без повреждений уплотненного грунта и дорожного покрытия прилегающих территорий.

При помощи горизонтально-направленного бурения также возможно решение одной из самых актуальных проблем Якутии – проблема сооружения моста через реку Лена.

Уже не один десяток лет в республике остро стоит проблема по возведению моста. Выдвигались научными и производственными сообществами различные прогрессивные идеи. В результате был выбран проект моста в районе населенного пункта Табага ГО Якутск, наземным планированием. Обусловлено это огромными финансовыми затратами, но самой главной проблемой являются геологические условия. Дело в том, что возможности строительной техники ограничены температурой окружающей среды минус 40 градусов, а в районе Табагинского створа она держится

ниже этой отметки на протяжении 54 дней в году. Кроме того, выполнение основных работ невозможно либо сильно затруднено в период ледостава и ледохода. Эти факторы обуславливают длительный срок строительства моста - 71 месяц. [4].

В качестве альтернативы мосту была предложена идея сооружения тоннеля.

О возможности прокладки тоннеля под Леной до 2008 года всерьез никто не говорил, все из-за отсутствия современных технологий, оборудования и опыта строительства сооружений в подобных условиях. Расчет делался только на варианты мостового перехода, причем, сразу прогнозировались серьезные трудности.

Следует обратить внимание на преимущества тоннеля, относительно моста:

1. Меньшая стоимость конструкции. Стоимость тоннеля и 11 км дорог была оценена в 79 млрд. рублей, против 160 млрд. рублей на возведение моста и 98,5 км дорог.

2. Меньшее время возведения. 59 месяцев против 71.

3. Устойчивость сооружения и конструкций.

4. Практически безвредное воздействие на реку и окружающую среду.

В данном случае для проходки тоннеля потребуются ТПМК (Тоннельно-проходческие механические комплексы), предназначенные для проходки тоннелей большого диаметра способом горизонтально-направленного бурения.

В мире особую известность получили щитовые ТПМК компаний Herrenknecht и Caterpillar (рисунок 2), которые массово используются для проходки тоннелей большим диаметром, до 19 метров. На основании разработок зарубежных специалистов и собственного опыта по проходке тоннелей щитовым способом, группой компаний "СК МОСТ" был разработан вариант по строительству двух тоннелей (автодорожного, диаметром 12,8 м, и железнодорожного, диаметром 9,4 м), в непосредственной близости от столицы Республика Саха (Якутия), в створе Нижний Бестях – Якутск [4].



Рисунок 2. Пуск ТПМК Herrenknecht 10690 на строительстве тоннельного комплекса трассы Адлер - Альпика-Сервис, 2010г.

Мировой опыт показывает, что проблемы сохранения многолетней мерзлоты при строительстве и эксплуатации тоннелей вполне решаемы. На Шпицбергене, Аляске и в Гренландии были использованы материалы, изолирующие мерзлые породы вокруг сооружения, и отработаны технологии, позволяющие поддерживать мерзлое состояние грунта во время проходки и эксплуатации. Аналогичный опыт есть и у отечественных строителей. Это, сооружение Кадарского и Нагорного тоннелей, каменно-набросной плотины и подземного здания Колымской ГЭС. [4].

Однако, применение горизонтально-направленного бурения в условиях вечной мерзлоты связано с высокой вероятностью возникновения осложнений, ведь любая неточность в процессе проходки может привести к растеплению мерзлых пород. Поэтому, приоритетом будет являться правильный выбор бурового раствора, качественного оборудования и опытного персонала.

Исходя из всего вышеперечисленного, массовое внедрение технологии горизонтально-направленного бурения в строительстве благоприятно скажется на развитии города Якутска и республики в целом. Несмотря на трудности реализации данной технологии и требования высококвалифицированных специалистов, прогрессивной техники и оборудования, представляется перспективным и современным решением значимых проблем сооружения инженерных коммуникаций (трубопроводов водоснабжения, канализации, и газоснабжения, теле- и оптокоммуникаций и др.) и альтернативным вариантом соединения правого и левого берегов реки Лена.

Литература

1. Бурмистров В.А. Горизонтально-направленное бурение. Опыт работы // Метро и тоннели № 6 2005г., С. 32-33
2. Морочковский В.В., Ромбро В.С. Горизонтально направленное бурение // Фотон-экспресс № 2 (42) 2005г., С. 32-33
3. Петров И. «Дело — труба: в Якутске научились прокладывать трубопровод, не ломая новые дороги» / News.Ykt.Ru: <http://news.ykt.ru/article/13038>
4. «Мост или тоннель соединит берега Лены в Саха (Якутии)» / PrimaMedia: <https://primamedia.ru/news/171002/?from=7>

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН С ПОДВОДНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ УСТЬЯ

Потапов А.В. (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
Potapov_Andrew@bk.ru)*

Оганов Г.С. (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)

Аннотация

К креплению морских скважин с подводным расположением устья должны предъявляться повышенные требования по долговечности и надежности. Проанализированы проектные и фактические данные по цементированию морских скважин. Выводы, приведенные в данной работе, могут способствовать улучшению качества цементирования.

Ключевые слова

Цементирование скважин, морское бурение, подводное расположение устья, модель движения цементного раствора.

На весь цикл эксплуатации морских скважин, который, как правило, составляет порядка 30 лет важными факторами являются качество и надежность крепления. Наличие толщи воды, расположение устья скважины на морском дне делают процесс цементирования специфичным и требуют особых подходов с учетом значительной стоимости строительства морских скважин, сложности осуществления ремонтных работ, уникальности применяемых технических средств.

В работе используются фактические данные по цементированию морских скважин с подводным расположением устья, пробуренных на месторождениях в Охотском и Карском морях Российской Федерации. При анализе проектных и фактических режимных параметров цементирования и результатов интерпретации геофизических исследований скважин по определению качества цементирования выявлены определенные условия и несоответствия.

Рассмотрены способы улучшения процесса цементирования [1,2,3].

Приведена модель движения цементного раствора в обсадной колонне.

По планам организаций Российской Федерации, в частности ПАО «Газпром», планируется продолжить бурение разведочных и эксплуатационных скважин с подводным расположением устья. Положения, приведенные в данной работе, будут способствовать улучшению качества цементирования. Дальнейшие работы могут быть направлены на исследования химических составов цементных растворов.

Литература

1. Булатов А.И., Савенок О.В. Заканчивание нефтяных и газовых скважин: учебник для вузов. – Краснодар: Просвещение-Юг. – 2010. – 539 с.
2. Лихушин А.М. Гидродинамические методы предупреждения осложнений при бурении и цементировании скважин в неустойчивых породах: дис. ... д-р. техн. наук : 25.00.15 / Лихушин Александр Михайлович. – Москва, 2012. – 314 с.
3. Ашрафьян М.О., Нижник А.Е. Об условиях движения технологических жидкостей при цементировании скважин// Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море №10 – 2008. – с. 32-33.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН СПВ В КРИОЛИТОЗОНЕ

Радин А.И. (МГРИ, radin.al@yandex.ru)

Аннотация

Добыча уранового сырья является одним из наиболее значимых условий устойчивого развития промышленности, обороноспособности и энергонезависимости Государства. В России государственным балансом учтены запасы 38 урановых месторождений. К перспективным регионам добычи урана относится и Витимский район (Сибирь) с разведанными запасами в 60 тыс. т при концентрации урана 0,054% в руде с сопутствующим скандием, редкоземельными элементами и лантаноидами. На территории этого района находится предприятие АО «Хиагда» (республика Бурятия) где промышленное производство урана начато с 2012 года и к 2015 году достигло уровня в 1000 тонн в год. Извлечение из недр руды осуществляется методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ), который является наиболее экологичным на современном уровне развития добычи твёрдых полезных ископаемых.

Ключевые слова: урановое сырьё, промышленность, месторождение, криолитозона, скважинное подземное выщелачивание (СПВ).

Вступление: К наиболее значимым особенностям разработки урановых месторождений методом СПВ находящихся в ведении АО «Хиагда» можно отнести следующие:

- резко континентальные климатические условия места ведения работ с температурой воздуха от $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ - зимой и до $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ – летом со среднегодовой температурой $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- наличие многолетней мерзлоты в геологическом разрезе мощностью от 65 до 95 м с температурой от -1°C до -3°C ;
- присутствие нескольких водоносных горизонтов, причём напор верхнего водоносного горизонта составляет от первых метров до 300 м;
- наличие поглощающих горизонтов;
- практически полное отсутствие поверхностных осадочных пород;
- простой скважин перед вводом в эксплуатацию.

Указанные особенности не позволяют использовать при сооружении скважин зумпфы для буровых растворов, выкопанные в поверхностном грунте; предъявляют повышенные требования к выбору очистного агента; материалу обсадных технологических колонн и технологии их спуска в скважину, к технологии и материалу затрубной гидроизоляции.

По данным мониторинга сооружённых и переданных Заказчику технологических скважин, выявлены следующие основные причины препятствующие их эксплуатации:

- нарушение герметичности обсадных колонн, приводящие к утечкам рабочих растворов и
- деформация обсадных колонн (сдавливание) не позволяющая располагать скважинный насос в откачных скважинах.

К примеру, такой вид нарушений в скважинах В 1.6.6; В 1.6.20; В 1.6.28; В 1.6.39; В 1.7.6; В 1.7.8; В 1.7.10; В 1.8.15 и Х 4.3.7 по результатам ГИС наблюдается на глубинах 21-67 м, что соответствует глубинам залегания многолетнемёрзлых горных пород.

Таким образом, к основной причине отмеченных нарушений обсадных колонн технологических скважин СПВ АО «Хиагда» можно отнести присутствие замёрзшей воды в затрубном пространстве, которое происходит вследствие следующих воздействий:

- от действия отрицательных температур многолетнемёрзлых горных пород в стенках скважин;
- от привнесения посредством рабочих растворов (электролитов) внутрь нагнетательной скважины отрицательных температур с поверхности в зимний период;
- от сезонного промерзания приповерхностных горных пород

Проблемами строительства скважин на месторождениях, в разрезе которых присутствуют многолетне мёрзлые горные породы, продолжают заниматься ведущие заинтересованные зарубежные компании и отечественные предприятия. Однако, несмотря на более чем полувековой опыт, проблема повышения долговечности крепи скважин в криолитозоне остается актуальной.

Для предупреждения смятия крепи скважин в интервале залегания мерзлых горных пород предложены различные технические решения, но вследствие их значительной трудоемкости и низкой надежности они практически не применяются.

Материал гидроизоляции должен быть устойчив к слабоотрицательным скважинным температурам, сохранять подвижность в процессе заполнения затрубного пространства, образовывать неподвижную структуру в состоянии покоя, не подвергаться усадке после загустевания, иметь хорошие адгезионные свойства с поверхностями материала обсадки, обладать доступностью и невысокой стоимостью, быть совместимым с используемым оборудованием.

Выбор материала гидроизоляции во многом определяет способ доставки его в затрубное пространство. Доставку можно осуществлять следующими способами:

- Вариант 1 - сверху – через устье скважины наливом;
- Вариант 2 – сверху с помощью бурового снаряда, спущенного в затрубное пространство по традиционной схеме сооружения;
- Вариант 3 - снизу – с помощью специального устройства - внутриколонного съёмного узла цементирования с наружным клапаном из эластичного материала и бурового снаряда спущенного внутрь обсадной колонны

Заключение: На основании сделанного анализа разработаны рекомендации по оптимизации конструкции скважин с учётом выявленных особенностей.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ПРИХВАТОВ БУРИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

Рогов Е.А. (Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ», E_Rogov@vniigaz.gazprom.ru)

Аннотация

В процессе строительства наклонно-направленных скважин и скважин с горизонтальным окончанием ствола одним из распространенных видов аварий является прихват бурильного инструмента. Количество наклонно-направленных скважин с отклонением от вертикали, при бурении которых необходимо использование буровых растворов с улучшенными смазывающими свойствами постоянно увеличивается. Поэтому, применение смазывающих композиций с повышенными антиприхватными свойствами, обеспечивающих безаварийное бурение скважин до проектной глубины является актуальной проблемой при строительстве скважин.

Ключевые слова скважина, прихват бурильного инструмента, буровой раствор, смазывающая добавка.

Одним из профилактических способов предупреждения распространенного вида аварий – прихвата бурильного инструмента в результате является снижение коэффициента трения в стволе скважины за счет повышения смазывающей способности бурового раствора.

Смазывающая способность буровых растворов на водной основе повышается при добавлении к ним смазочных добавок или композиций, к числу которых можно отнести: нефть, серебристый графит, смесь дизельного топлива и окисленного петролатума (СМАД-1), синтетические жирные кислоты (СЖК), эмультал, легкие таловые масла (ЛТМ), рыбожировые смазки (РЖС), различные поверхностно-активные вещества (ПАВ), натриевые соли жирных карбоновых кислот и неионогенных ПАВ (СПРИНТ) и др. [1 – 5]. На основании обобщения проведенных исследований на рисунке 1 представлены смазывающие добавки отечественных производителей и рациональное содержание их в буровом растворе для снижения коэффициента трения.

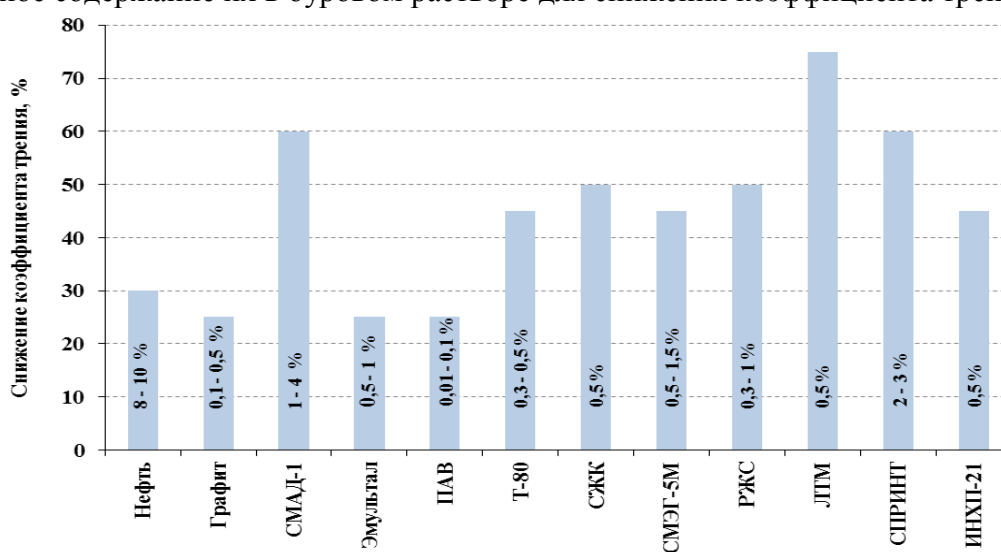


Рисунок 1. Смазывающие добавки для снижения коэффициента трения.

Для повышения смазывающей способности буровых растворов на водной основе желательно использовать композиции с улучшенными поверхностно-активными

свойствами, которые обеспечивают не только устойчивый смазывающий эффект на границах пар трения «металл – глинистая корка» но и улучшать отделение горной породы долотом, снижать трение бурильного инструмента о стенки скважины. Снижение липкости поверхностных участков комков породы и образование смазывающих прослоек между отдельными частицами породы при их контакте является весьма эффективной мерой борьбы по предупреждению прихвата бурильного инструмента.

С целью предупреждения прихватов бурильного инструмента и повышения смазывающей способности буровых растворов на водной основе в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» разработаны смазывающие композиции, содержащие отработанные моторные масла и полые микросферы. В качестве нефтяных масел могут быть использованы индустриальные масла типа ВИ-4, И-5А (ГОСТ 20799-88), компрессорные типа ХА, АУ (ГОСТ 5546-68), авиационные типа МС-20 (ГОСТ 21743-76), дизельные типа ЗСМ, МТЗ-10п (ГОСТ 2577-83), включая отработанные аналоги (ГОСТ 21046-86).

В качестве полых микросфер могут быть использованы алюмосиликатные микросферы АСМ плотностью от 200 до 400 кг/м³, образующимися при сжигании каменного угля по ТУ 21-22-37-94, сыпучие стеклянные белые высокопрочные микросферы диаметром 10-250 мкм, изготавливаемые из натриевоборосиликатного стекла по ТУ 6-48-108-94 типа МС группа А₁, А₂ и В₁, В₂ с плотностью 240-400 кг/м³ и прочностью на гидростатическое сжатие, соответственно, 6, 11 и 10, 15 МПа, микросферы, изготавливаемые по ТУ 6-48-91-92 марки МСВП МСВП А9, группы 3, 4 и 5, соответственно, с плотностью 270-310, 280-320 и 370-420 кг/м³ и прочностью на гидростатическое сжатие 8, 11 и 15 МПа, а также по ТУ 5951-171-05786904-2003 марки МСВП-80 и МСВПА₉-80, МСВП-120 и МСВПА_д-120, МСВП-150 и МСВПА₉ 150 с плотностью, соответственно, 260-310, 280-320, 350-410 кг/м³ и прочностью на гидростатическое сжатие 8, 12 и 15 МПа, а также стеклянные полые микросферы, выпускаемые фирмой 3М Scotchlite™ по европейскому сертификату ISO 9002, марки К37 и К46 с плотностью, соответственно, 340-400, 430-490 кг/м³ и прочностью на гидростатическое сжатие 21 и 42 МПа, а также S38, S38HS, S60/10000 с плотностью, соответственно, 350-410, 350-410, 570-630 кг/м³ и прочностью на гидростатическое сжатие 28, 38,5 и 69 МПа, HGS2000-HGS18000 с плотностью в интервале от 290 до 570 кг/м³ и прочностью на гидростатическое сжатие от 14 до 126 МПа.

Литература

1. Буровые растворы с улучшенными смазочными свойствами. Яров А.Н., Жидовцев Н.А., Гильман К.М., Кендис М.Ш. – М.: Недра, 1975. 143 с.
2. Мойса Ю.Н., Фролова Н.В., Бармотин К.С., Железнякова Е.А. Выбор смазочных добавок для бурения скважин // Бурение и нефть. 2008. № 3. С. 14-16.
3. Махоро В.А., Каменщиков Ф.А. Новые смазочные добавки для буровых растворов // Бурение и нефть. № 2. 2003. С. 15-17.
4. Пеньков А.И., Вахрушев Л.П. Повышение эффективности действия смазочных добавок для буровых растворов // Нефтяное хозяйство. 2000. № 5. С. 33-35.
5. Багиров А.Б., Беляева Ю.А., Ноздря В.И., Парфенова М.С., Романов В.С. Эффективные смазочные добавки производства АО «НПО «Полицелл» для бурения в сложных геологических условиях // Нефть. Газ. Новации. 2017. № 6. С. 66-69.

ТЕПЛОВОЙ СНАРЯД ДЛЯ БУРЕНИЯ ПЛАВЛЕНИЕМ С ОДНОВРЕМЕННЫМ РАСШИРЕНИЕМ ЛЕДОВЫХ СКВАЖИН

*Сербин Д.В. (Санкт-Петербургский горный университет, danil.serbin11@yandex.ru),
Васильев Н.И. (Санкт-Петербургский горный университет, vasilev_ni@spmi.ru),
Дмитриев А.Н. (Санкт-Петербургский горный университет, a2807970@mail.ru),
Большунов А.В. (Санкт-Петербургский горный университет, av_bol@spmi.ru).*

Аннотация

В статье представлено краткое описание технологии экологически безопасного вскрытия подледникового озера Восток (Антарктида) и технические средства для ее реализации. В частности, рассмотрен тепловой буровой снаряд для бурения плавления с одновременным или последующим расширением ледовых скважин, его основные узлы и принцип работы устройства.

Ключевые слова: Антарктида, подледниковое озеро Восток, скважина 5Г, бурение льда, лед, плавление льда, бурение плавление

Разработанная технология экологически безопасного вскрытия подледникового озера с использованием скважины 5Г включает доставку буферной жидкости на необходимый уровень, увеличение диаметра скважины в месте контакта с озером до 300-400 мм на высоту до 10 метров. Доставка буферной кремнийорганической жидкости обеспечит более высокую экологическую безопасность, так как предотвратит образование эмульсии (керосин-вода) в момент вскрытия озера. Доставка кремнийорганической жидкости на забой (глубина около 3750 м) будет осуществляться специально разработанным техническим средством. Расширение ствола скважины до необходимого диаметра предполагается с применением механического и теплового расширителей. На глубине от 10 метров до 1 метра от места контакта скважины с озером будет применен механический расширитель, для которого необходимо бурение пилот-скважины. Тепловым снарядом (расширителем) будет пробурен последний метр между скважиной и озером с одновременным расширением скважины за счет создания вихревого потока циркуляционной жидкости (расплавленной воды) с постоянным ее подогревом. Расширение нижнего участка скважины создаст условия для контролируемого подъема озерной воды на высоту до 10 метров, что позволит существенно снизить колебания уровня воды в скважине при проведении спускоподъемных операций и исключит загрязнение озера при проведении работ и примерзание к стенкам скважины доставочного снаряда с модулем, оснащенным научно-исследовательской аппаратурой, а также предупредит образование эмульсии во время подъема снаряда [1, 2, 3].

Разрабатываемые технические средства для вскрытия подледникового озера должны отличаться высокой надежностью и безотказностью всех механизмов, что достигается за счет использования проверенных, вновь спроектированных и испытанных узлов бурового снаряда.

Анализ существующих термобуровых снарядов и тепловых расширителей показал, что ни один из них не удовлетворяет заданным требованиям. Специфика вскрытия подледникового озера определила необходимость разработки принципиально новой конструкции термобурового снаряда.

Тепловой снаряд для вскрытия подледниковых озер бурением плавлением с одновременным или последующим расширением скважин состоит из пяти отсеков: кабельного замка, электрического отсека, насосного отсека, циркуляционного отсека и рабочего органа. Рабочий орган включает в себя тепловую коронку, тепловые элементы

и пенетратор, с выполненными в нем коллектором и тангенциальных каналов. В тепловом снаряде используется буровая коронка от термобурового снаряда ТБЗС-132. Собирается снаряд на трубах колонкового набора бурового снаряда КЭМС, насосом осуществляется циркуляция талой воды в забойной зоне. Модель сконструирована так, что талая вода, проходя через центральные трубы, подогревается и подается в пенетратор с нагревательными элементами, в котором выполнены сквозные тангенциальные направленные к периметру каналы, создающие выходящими струями нагретой жидкости вихревой поток вокруг оси скважины. Тепловой снаряд объединяет технологические процессы углубки скважины и увеличения ее диаметра [4].

Тепловой снаряд для бурения плавлением с одновременным или последующим расширением скважин (рисунок 1) содержит кабельный замок 1 для крепления его на грузонесущем кабеле 2, цилиндрический корпус 3, имеющий в своём основании заборные горизонтальные окна 4, размещённый в его полости для прокачки теплоносителя насос 5 с центральной двойной трубой 6 и закреплёнными на ней нагревательными элементами 7, формирующего забой рабочего органа 8 и нагревательные элементы 9. В корпусе пенетратора (рисунок 2) выполнен коллектор 10, соединённый с подводящей двойной трубой 6, причём в верхней части коллектора по периметру расположены тангенциальные каналы 11 малого диаметра (4 - 5 мм) для подвода теплоносителя 12 тангенциально к стенкам скважины 13.

Наличие коллектора 10 и выполненные в нем тангенциальные каналы 11 способствуют созданию регулируемого вихревого потока 14 и подачи нагретой жидкости к стенкам скважины 13.

Тепловой снаряд работает следующим образом. После постановки снаряда на забой подается напряжение на нагреватели 9 рабочего органа при выключенном насосе 5, происходит контактное плавление льда. Когда талая вода в процессе углубки снаряда перекроит заборные отверстия 4 над верхним торцом рабочего органа, включается насос 5 и нагреватели 7 центральной водоподъемной трубы 6. Вода, после подъема в зазоре двойной центральной трубы 6, подается насосом 5 во внутреннюю центральную трубу 6, из которой попадает в коллектор 10 и выходит в затрубное пространство через тангенциальные каналы 11. При циркуляции происходит постоянный нагрев теплоносителя. Ориентация именно тангенциальных каналов обеспечивает закручивание потока воды вокруг оси скважины по типу «сегнерова кольца», что приводит к равномерному воздействию и распространению гидродинамических и тепловых потоков в призабойной зоне.

При выключенном насосе 5 устройством можно производить только бурение скважины без ее расширения. При стационарном размещении теплового снаряда на заданной глубине можно производить образование локальной полости (каверны) минимальной по высоте и максимальной по простираанию.

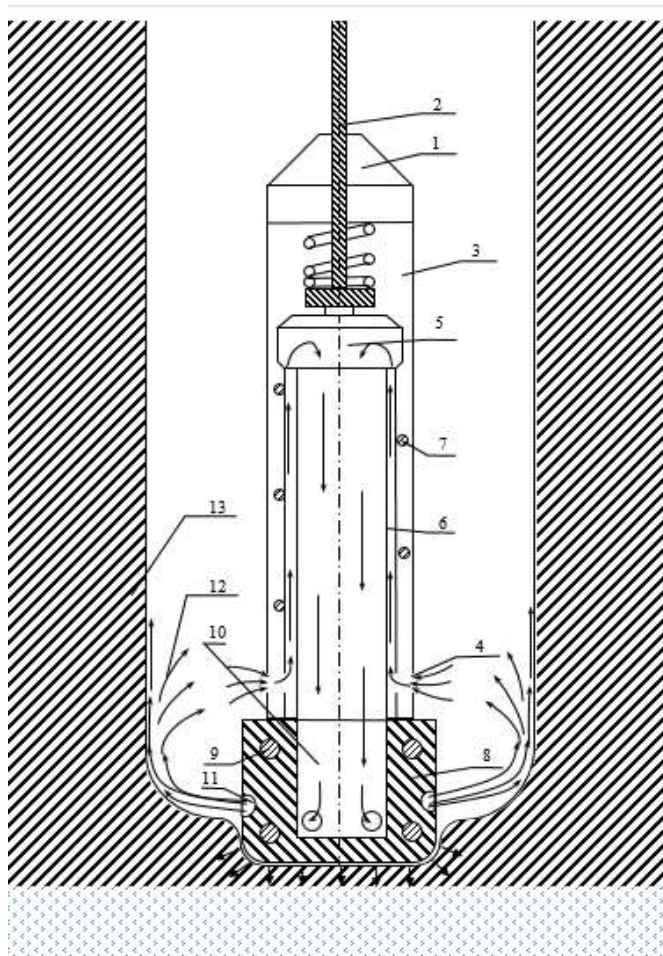


Рисунок 1. Схема теплового снаряда для бурения плавлением с одновременным расширением

Устройство способно одновременно со стабильной проходкой скважины производить расширение её сечения, а также вести образование локальных полостей, надёжно в работе, имеет низкое энергопотребление и простую конструкцию. При его использовании достигается снижение энергоёмкости процесса бурения, вследствие более равномерного распределения потоков по площади, как забоя, так и стенок скважины, а также призабойная циркуляция теплоносителя. Создание вихревого потока теплоносителя позволит образовать гладкие стенки скважины постоянного диаметра. Эти преимущества повышают общую технологическую культуру данного процесса.

Объём выплавляемой каверны является функцией температуры ледника, мощности нагревателей и производительности насоса. При известных значениях названных параметров объём каверны определяется по разности температур выходящего и входящего теплоносителя. Температура выходящего потока не меняется во времени, а температура входящего теплоносителя зависит от объёма каверны и определяется аналитически. Производительность насоса влияет на время плавления, форму и объём каверны, поскольку от интенсивности циркуляции теплоносителя в снаряде зависит его температура. Поэтому во внимание принимается не температура входящего потока, а разность температур.

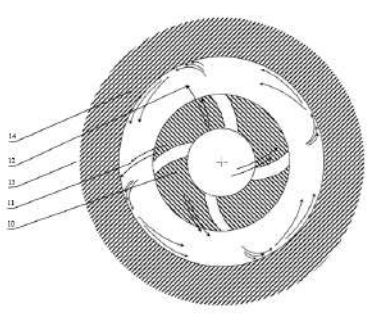


Рисунок 2. Пенетратор в разрезе

Литература

- 1 Wright A., Siegert M.J. The identification and physiographical setting of Antarctic subglacial lakes: An update based on recent geophysical data, in Antarctic Subglacial Aquatic Environments // Proc. of the Chapman Confer. on the Exploration and Study of Antarctic Subglacial Aquatic Environments. 2011. AGU, Washington, D.C., P. 9–26.
2. Васильев Н.И., Большунов А.В., Дмитриев А.Н., Подоляк А.В., Сербин Д.В. Спускоподъемное устройство с полиспастной системой для исследования подледникового озера «Восток» // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. - №9 (51). – с. 137-140
3. Алехина И.А., Васильев Н.И., Липенков В.Я. Проблемы защиты окружающей среды и экологического мониторинга в проектах изучения подледниковых озер Антарктиды // Лед и Снег. – 2012. - №4 (120). – с. 104-114
4. Антарктика. Геоморфологический атлас. СПб.: Изд-во «Карта», 2011. 255 с.
5. Большунов А.В., Васильев Н.И., Дмитриев А.Н., Сербин Д.В., Подоляк А.В. Особенности технологии экологически безопасного вскрытия озера «Восток» в Антарктиде и технические средства для ее реализации // Материалы Международной научно – практической конференции «Бурение в осложненных условиях» - «ЛЕМА» - 2017. – с.13-14

ПРОБЛЕМЫ ОРИЕНТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ-ОТКЛОНИТЕЛЕЙ ПРИ НАПРАВЛЕННОМ ИСКРИВЛЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

Судоплатова А.А. (МГРИ, a-sudoplatova@mail.ru), Назаров А.П. (МГРИ, alexpnazarov@yandex.ru)

Аннотация

В работе рассмотрены основные проблемы, возникающие при ориентировании двигателя-отклонителя в процессе направленного искривления геологоразведочных скважин. Рассмотрены основные нагрузки, действующие на колонну бурильных труб в процессе направленного искривления этим типом отклонителя. Целью данной работы является оценка действия этих деформаций и, как следствие, повышение точности проведения геологоразведочных скважин по проектной трассе с использованием двигателей-отклонителей.

Ключевые слова: геологоразведочные работы, бурение наклонно направленных и многозабойных скважин, отклонители на базе забойных двигателей, ориентирование отклонителей, деформация колонны бурильных труб.

По мере сгущения разведочной сети на месторождениях, находящихся на стадии эксплуатационной разведки, при бурении наклонно направленных и многозабойных скважин возникают повышенные требования к точности проведения скважины по проектной трассе. Одним из основных способов этого процесса, особенно при бурении многозабойных скважин, является направленное искривление ствола скважины.

В качестве отклонителей для направленного искривления геологоразведочных скважин применяются отклонители разового действия [2] (съёмные и стационарные клинья), бесклиновые скользящие отклонители непрерывного действия [1, 3] и отклонители на базе забойных двигателей [3, 4] (двигатели-отклонители). Основной операцией при направленном искривлении ствола скважины является ориентация отклонителя на забое. Современные технические средства позволяют произвести эту операцию с достаточно высокой точностью. Для отклонителей разового действия и бесклиновых отклонителей скользящего типа этого вполне достаточно. Фиксация отклонителей в стволе скважины позволяет искривлять ее в заданном направлении. Однако область применения этих отклонителей ограничена как низкой производительностью бурения криволинейного интервала, так и областью применения в устойчивых, не кавернозных породах.

Двигатели-отклонители позволяют бурить интервалы направленного искривления практически с той же скоростью, что и остальные интервалы скважины, не в такой степени зависят от устойчивости стенок скважины. Недостатком отклонителей этого типа является то, что ориентация отклонителя производится при отсутствии работы забойного двигателя до постановки породоразрушающего инструмента на забой. При постановке работающего двигателя-отклонителя на забой скважины под действием различных нагрузок, действующих на колонну бурильных труб, происходит ее деформация. Целью данной работы является оценка действия этих деформаций и, как следствие, повышение точности проведения геологоразведочных скважин по проектной трассе.

Рассмотрим основные силы, действующие на колонну бурильных труб, при забурировании участка искривления скважины двигателем-отклонителем. К ним относятся: реактивный момент, действующий на корпус двигателя-отклонителя при разрушения забоя; осевая нагрузка, создаваемая механизмом подачи бурового станка; реакция забоя; вес колонны бурильной колонны; крутящий момент; сила трения между

колонной бурильных труб и стенками скважины; центробежные силы; реакция стенок скважины.

Под действием этих нагрузок колонна бурильных труб испытывает два различных типа деформации:

- закручивание под действием вращающего момента;
- потеря устойчивости и пространственная деформация в стесненных условиях ствола скважины под действием всех вышеперечисленных сил.

Расчетная величина угла закручивания колонны бурильных труб постоянного сечения определяется по формуле [4]:

$$\varphi_{\text{зак}} = 57,3 \frac{(M_p - M_{\text{тр}})L}{G \cdot I} \quad (1)$$

где $\varphi_{\text{зак}}$ – угол закручивания колонны бурильных труб, градус; M_p – реактивный момент забойного двигателя, кНм; $M_{\text{тр}}$ – момент трения колонны бурильных труб о стенки скважины, кНм; L – длина колонны бурильных труб, м; G – модуль сдвига материала бурильных труб, кН/м²; I – полярный момент инерции сечения бурильных труб, м⁴.

Момент сил трения колонны бурильных труб о стенки скважины может быть определен по формуле:

$$M_{\text{тр}} = \mu L \frac{d_n}{2} q \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

где μ – коэффициент трения покоя; d_n – диаметр бурильных труб, м; q – вес одного метра бурильных труб, кН/м; α – зенитный угол скважины, градусу

Под действием комплекса основных сил колонны бурильных труб в стесненных условиях ствола скважины теряет устойчивость, ее ось приобретает форму винтовой линии с шагом [5]:

$$l = \pi \frac{-(M_p + \mu F) + \sqrt{(M_p + \mu F)^2 + 4EIP}}{P} \quad (3)$$

где P – реакция забоя, кН; μ – коэффициент трения покоя; F – сила трения колонны бурильных труб о стенки скважины, кН.

Основным недостатком этих формул является то, что в них входит величина коэффициента трения покоя материала труб о стенки скважины (μ). В результате работы породоразрушающего инструмента на забое скважины в нижней части колонны бурильных труб возникает вибрация. Под действием вибрации за счет «эффекта проскока» коэффициент трения может снижаться вплоть до нулевой величины.

Для решения проблемы контроля пространственного положения двигателя-отклонителя в процессе направленного искривления геологоразведочных скважин необходимо рассмотреть возможность применения малогабаритных телеметрических систем диаметром 57÷73 мм.

Литература

1. Зиненко В.П. Направленное бурение. – М.: Недра, 1990. – 151 с.;
2. Сулакшин С.С. Направленное бурение. – М.: Недра, 1988. – 270 с.;
3. Нескоромных В.В. Направленное бурение и основы кернометрии. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 336 с.;
4. Повалихин А.С., Калинин А.Г., Бастриков С.Н., Солодкий К.М. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин. – М.: ЦентЛитНефтеГаз. – 2011. – 647 с.;
5. Арсентьев Ю.А., Назаров А.П. Методика расчета деформации пространственно-изогнутой колонны бурильных труб под действием основных нагрузок. Материалы XII Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле», М., МГРИ-РГГРУ, 5-7 апреля 2015 г. Том 2., с. 26-27.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СЕРОВОДОРОДА

Сырчина А.С., Овчинников П.В. (МГРИ, cshx@mail.ru)

Аннотация

Проанализирована существующая классификация методов нейтрализации агрессивного влияния сероводорода на цементный камень при бурении нефтяных и газовых скважин.

Ключевые слова: сероводород, коррозия, ингибиторы коррозии.

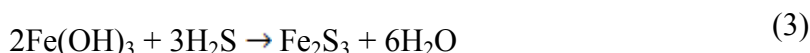
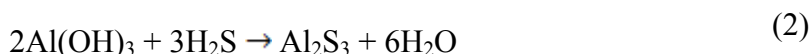
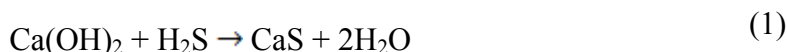
Сероводород представляет собой газ, не имеющий цвета, обладающий сладковатым вкусом и ярко-выраженным запахом. Чаще всего сероводород, встречающийся на нефтегазовых месторождениях имеет биогенную или реликтовую природу, основной причиной наличия этого газа является наличие сульфатвосстанавливающих бактерий. На территории Российской Федерации сероводород на углеводородных месторождениях встречается в таких регионах как: Астраханская, Оренбургская и Самарские области, в Пермском крае, республик Татарстан, Башкортостан и Удмуртия.

Увеличение темпов добычи газа и газоконденсата зависит, по мимо прочего, от разработки месторождений залегающих в сложных горно-геологических условиях, среди которых выделяют и сероводород. Таких месторождений на территории Российской Федерации открыто 162. [3, 4].

Сероводород поступает в скважину в результате поступления в пласт подошвенных вод, насыщенным растворенным в них газом, кроме того, сероводород может поступать в скважину и в форме газа. Это вещество обладает уникальной способностью растворяться не только в воде, но и в органической жидкости. Поэтому сероводород способен образовывать вредные соединения, образующие вредные соединения с технологическими жидкостями, являясь причиной возникающих осложнений в процессе бурения. [1].

Агрессивное влияние сероводорода можно снизить, вводя различные ингибиторы, так, например, на основе опытных данных было установлено, что различные методы ввода ингибиторов позволили сократить скорость коррозии в 5 – 10 раз. [3] В частности, на месторождении Франклин (Техас, США), при вводе ингибитора коррозии в интервале 3480 – 3680 м при пластовом давлении в 40 МПа, ингибиторы позволили сократить разрушительное влияние сероводорода на стальные трубы и фонтанное оборудование до 1 мм/год, до ввода ингибитора этот показатель был 6-10 мм/год.

Для нейтрализации сероводорода применяют гидроксиды металлов, например, таких как $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, тогда уравнения нейтрализации будут выглядеть следующим образом:



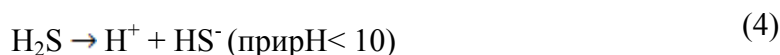
Сульфиды металлов, образовавшиеся в результате химической реакции, выпадают в осадок в виду их малой растворимости. Однако в дальнейшем, вступая в

реакцию с кислородом, который есть в окружающем пространстве сульфиды способны окисляться, образуя сульфатную составляющую.

В результате теоретических и экспериментальных исследований Кравцовым В.М., Агзамовым Ф.А., Мавлютовым М.Р. было установлено, что стойкость тампонажных смесей зависит от таких критериев, как:

1. Вид воздействия сероводорода на цементный камень;
2. Фазовый состав продуктов твердения;
3. Структуры порового пространства;
4. Влажности среды.

Сероводород, растворенный в воде диссоциирует по-разному, все зависит от уровня рН, так при уровне рН < 6 – он находится в молекулярном виде, с увеличением уровня рН начинает диссоциировать следующим образом:



Такой уровень рН присущ поровой жидкости, находящейся в тампонажном камне. Сероводород, проникая внутрь цементного камня, вступает в химическую реакцию с гидроксидом кальция, который растворен в нем. Однако, с ростом уровня рН > 12, сероводород вступает в реакцию с гидроксидом кальция с образованием осадка – сульфида кальция.

Выводы и рекомендации:

Результатом таких химических процессов является то, что поровая жидкость, вступая в реакцию со щелочью, приводит к нарушению термодинамического равновесия между жидкими и твердой фазами цементного камня. Что, следовательно, приводит к разрушению твердой фазы, состоящей из кристаллического гидроксида кальция, гидроалюминатами, гидросиликатами и гидроферритом кальция. Дальнейшие исследования будут направлены на выявление эмпирических зависимостей влияния сероводорода на структуру и свойства цементного камня в различных термобарических условиях.

Литература

1. Глущенко В.Н., Силин М.А., Пташко О.А., Денисова А.В. Нефтепромысловая химия: Осложнения в системе пласт-скважина-УППН: Учебное пособие /– М.: МАКС Пресс, 2008. – 328 с.
2. Городнов В.Д. Физико-химические методы предупреждения осложнений в бурении. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1984, 229 с.
3. Перейма А.А., Петраков Ю.И. Повышение надежности крепи скважин в условиях сероводородной агрессии: Обз. инф. – М.: ООО «Газпром экспо», 2010. – 84 с.
4. Перейма А.А., Осадчая И.Л. Повышение коррозионной стойкости цементного камня в сероводородных средах обработкой тампонажного раствора комплексом химических реагентов. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и море, 8/2012, с. 33 – 36.

РАСЧЕТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ НА РАЗНЫХ УЧАСТКАХ СТВОЛА СКВАЖИНЫ

Тунгусов С.А.* (МГРИ, tungusov_sa@mail.ru)

Аннотация

В докладе рассматривается моделирование процесса движения промывочной жидкости по стволу скважины при переносе шламом.

Ключевые слова: ствол скважины, скорость потока жидкости, вынос шлама.

К очистке забоя и ствола скважины от частиц шлама всегда предъявляются высокие требования, эти требования тем выше, чем сложнее геолого-технические условия. Существует огромное число рецептов буровых растворов, все они призваны в большинстве своем решать задачу очистки ствола скважины и транспортирования выбуренной породы на устье скважины. Стоит отметить, что повышать эффективность очистки скважины возможно не только изменением физических (реологических) свойств буровых растворов, а также возможно изменить сам характер движения потока промывочной жидкости и ее взаимодействия с частицей шлама. С целью отыскания возможно более оптимального характера движения потока промывочной жидкости, рассмотрим этот процесс более подробно.

Процесс удаления частиц шлама при бурении следует рассматривать как движение потока с малой концентрацией твердой фазы, когда применима теория переноса одиночных частиц. Под определением «малая концентрация» подразумевают такое насыщение потока частицами, которое практически не влияет ни на гидравлическое сопротивление, ни на кинематические характеристики потока. Кроме этого, при такой концентрации взаимодействие частиц в потоке друг с другом ничтожно мало, и каждую частицу можно рассматривать как одиночную.

Механизм переноса твердых частиц потоком промывочной жидкости, не смотря на многочисленные попытки, так и не имеет должного математического описания. Существующие теоретические решения не дают оснований использовать их в инженерных расчетах при турбулентном режиме течения потока промывочной жидкости, особенно в скважинах со сложным профилем.

Результатов экспериментальных исследований гидротранспорта частиц потоком пока недостаточно для оптимального решения задач удаления частиц как с забоя, особенно из-под торца породоразрушающего инструмента, так и по стволу скважины. Для повышения эффективности процесса промывки скважин применяют различные способы, обеспечивающие перенос частиц шлама, однако для оптимизации технологии промывки необходимо как аналитическое обоснование движения частиц шлама в потоке жидкости, так и результаты экспериментальных исследований. Решение задачи, позволяющей найти оптимальный расход промывочной жидкости, достаточный для переноса выбуренных частиц, заключается в определении скорости витания (скорости свободного падения частиц в спокойной жидкости) и критической скорости (скорости взвешивания и последующего переноса частиц) [2].

Критическую скорость для горизонтального участка ствола скважины аналитически определяют следующим образом [1]:

$$v_{кр} = k_1 \cdot \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \cdot g \cdot D}, \quad (1)$$

где: $k_1 = 1,0 \div 1,5$ – значения опытной константы;
 ρ_1 – плотность бурового раствора, кг/м^3 ;
 ρ_2 , – плотность частицы шлама, кг/м^3 ;
 g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;
 D – условный диаметр потока, в котором движется частица шлама, м.

Под критической скоростью потока промывочной жидкости в вертикальном участке ствола скважины понимается такая минимальная скорость, при которой частицы шлама еще перемещаются по всему сечению потока и не происходит обратного движения частиц в пристеночной области потока. При этой скорости имеют место наименьшие гидравлические сопротивления. Для ствола скважины с углом наклона менее 60° с достаточной для практики точностью режим транспортирования частиц шлама можно считать так же, как и для горизонтальных участков, а свыше 60° – как для вертикальных участков ствола скважины.

Скорость свободного падения частиц шлама v , м/с, можно найти из формулы [1]:

$$v = \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho_1 \cdot g \cdot d}{\rho_1 \cdot 6 \cdot \psi}}, \quad (2)$$

где: d – средневзвешенный размер частиц, м;
 ψ – коэффициент сопротивления.

Скорость стесненного падения частицы шлама v_c , м/с, размером менее 2 мм, (такой размер можно считать типичным для шлама, получаемого в процессе бурения разными породоразрушающими инструментами), [3] определяют по формуле [1]:

$$v_c = v \cdot (1 - s)^n, \quad (3)$$

где: s – концентрация загрязнений в моющей жидкости;
 $n = 5 \cdot (1 - 0,2 \cdot \lg \text{Re})$.

Критическую скорость $v_{кр.в}$, м/с, потока жидкости в вертикальном участке ствола, с учетом формул (2) и (3), можно найти, используя следующее выражение [1]:

$$v_{кр.в} = v_c + k_2 \cdot \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1} \cdot g \cdot s \cdot D}, \quad (4)$$

где $k_2 = 2,5 \div 3,5$ – граничные значения опытной константы.

Литература

1. Смолдырев А.Е. Гидравлический и пневматический транспорт в металлургии и горном деле. М., 1967. 367 с.
2. Соловьев Б.В. Очистка судовых систем от технологических загрязнений. Л., 1977. 75 с.
3. Балаба В.И. обеспечение экологической безопасности строительства скважин на море. Бурение и нефть. - 2004. - № 1. - с. 18-21.

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН ДЛЯ РАЗВЕДКЕ И ДОБЫЧЕ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ШЕЛЬФЕ ЛИВАНА

*Хотайт Р.И. *(МГРИ, khotait@mail.ru),
Назаров А.П. (МГРИ, alexpnazarov@yandex.ru)*

Аннотация

Сложные инженерно-геологические условия залегания пластового сырья, недостаток достоверных данных о термобарических условиях разреза обуславливают возможность геологических осложнений при освоении месторождений углеводородов на шельфе Ливана. Современные программы производственного мониторинга при разведке и разработке месторождений нефти и газа на Средиземном море позволяют в определенной степени уменьшать негативные последствия сооружения скважин на морскую природную среду и прибрежные территории.

Ключевые слова: Левантский бассейн, шельф, Ливан, месторождения нефти и газа, бурение скважин, мониторинг геодинамических процессов.

Регион Ближнего Востока является важнейшим источником добычи нефти и газа в мире. Государствами Ближнего Востока, обладающими основными газовыми ресурсами, являются Иран (1183 трлн. куб. м газа, или 18% мировых запасов), Катар (858,1 трлн. куб. м, или 13% мировых запасов), Алжир (159,1 трлн. куб. м, или 2,4% мировых резервов) [1]. Баланс запасов Государств Ближнего Востока стал меняться после обнаружения значительных запасов газа на средиземноморском шельфе Израиля, Египта и Кипра.

Эксперты, занятые в нефтегазовой отрасли склонны предполагать, что недра под огромной территорией, которую занимают Греция, Турция, Сирия, Ливан, Израиль и Египет, может оказаться гигантским тайником, заполненным нефтяными и газовыми залежами. Совокупность месторождений углеводородов на шельфе Восточного Средиземноморья получила название Левантского нефтегазоносного бассейна. В 2010 г. геологическая служба США предварительно оценивала запасы этой нефтегазовой области, простирающейся от Египта на юге до Турции на севере, в 3,45 трлн. куб. м газа и в 1,7 млрд. баррелей нефти. Не исключено, что потенциал региона значительно выше – 6,42 трлн. куб. м газа и 3,8 млрд. баррелей нефти.

Предположительно около 20% этих залежей находятся на шельфе Ливана [4]. Предварительная оценка запасов природного газа Ливана составляет 850 млрд. куб. м. Запасы нефти на шельфе Ливана оцениваются в 660 миллионов баррелей [5,6].

Морские газовые месторождения, обнаруженные соседями по шельфу, вселяют уверенность в подтверждении запасов углеводородов в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) Ливана (рисунок 1). В 2009–2010 гг. на территории шельфа Израиля были открыты месторождения Тамар и Левиафан, ресурсы которого оцениваются почти в 1000 млрд. куб. м. В 2011 г. американская компания Noble Energy чуть западнее Левиафана и уже в водах Кипра обнаружила месторождение Афродита с оценочными запасами порядка 170 млрд. куб. м. Самым крупным месторождением в регионе пока остается египетский Zohr (850 млрд. куб. м газа), найденный Eni в 2015 г. В феврале 2018 г. компании Eni и Total сообщили об обнаружении на кипрском шельфе еще одного потенциально большого месторождения Calypso 1. Запасы месторождения пока не подсчитаны, но понятно, что Calypso 1 - перспективное газовое месторождение,



Рисунок 1. Открытые месторождения в Левантийском бассейне

Все это хорошие новости для Ливана не только из-за его географической близости, а потому что все указанные выше открытия были сделаны в рамках Левантийского бассейна – геологической структуры, на которую простирается и ливанская исключительная экономическая зона.

Данные о запасах крупнейших месторождений газа, открытых в Левантийском бассейне приведены в таблице 1.

Таблица 1

п/п	Наименование месторождения	Местоположение	Страна разработчик	Запасы
1	Тамар	ИЭЗ Израиля	Израиль	300 млрд. м ³
2	Левиафан			620 млрд. м ³
3	Афродита	ИЭЗ Кипра	США	170 млрд. м ³
4	Zohr	ИЭЗ Египта	Италия	850 млрд. м ³
5	Calypso 1	ИЭЗ Кипра	Франция, Италия	?

История разведочных работ на шельфе Ливана небогата. В 1970 г. впервые была проведена морская сейсморазведка. Однако каких-либо положительных результатов получено не было. Разведочные работы возобновились в 1993 г., была проведена разведка морского участка на севере страны. В 2000-х правительство заключило контракты на разведку с рядом компаний, в том числе американской Spectrum и норвежской Petroleum Geo-Services.

В декабре 2012 г. было создано Ливанское управление по нефти (Lebanese Petroleum Administration) [5]. Его функция состояла в разработке правил регулирования нефтегазовой отрасли, формата международных торгов и ведении переговоров с международными компаниями. В 2012 г. на торги планировали выставить 10 морских лицензионных блоков исключительной экономической зоны Ливана (рисунок 2).

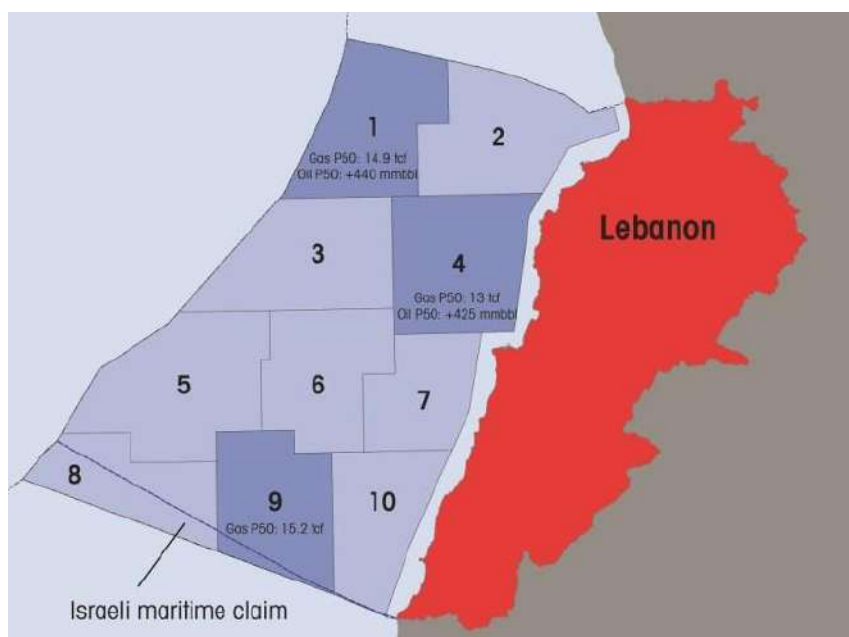


Рисунок 2. Лицензионные блоки исключительной экономической зоны Ливана

К весне 2013 г. 46 компаний удачно прошли предквалификацию, среди них были такие гиганты как Роснефть, Chevron, TOTAL, ExxonMobil, Eni, Shell, Statoil. В мае 2013 г. торги должны были начаться, однако на этом все остановилось. С тех пор тендеры откладывали пять раз.

В 2018 г. консорциум в составе компаний «Новатэк» (Россия), Total (Франция) и Eni (Италия) подписали с правительством Ливана соглашения о разведке и добыче углеводородов в на 4-м и 9-м шельфовых блоках в восточной части Средиземного моря. Блок 4 находится на мелководье и считается перспективным на газ, а Блок 9 южнее, в этом районе наиболее целесообразно вести поиски нефти. На каждом из этих блоков компании пробурят по 5 разведочных скважин в попытке найти запасы нефти и газа. В 2019 г будет пробурено 2 скважины - по 1 на каждом из блоков.

Разработка месторождений шельфа Ливана представляет на сегодняшний день первоочередную задачу, требует гарантий безопасности экосистем Левантийского бассейна. Основные глубины залегания продуктивных пластов составляют от 2500 до 6000 м, что требует подбора разумной и экономически обоснованной технологии бурения и эксплуатации месторождений нефти и газа на лицензионных участках.

Факторы, негативно влияющие на экологическую систему, как суши, так и шельфа Ливана, можно условно разделить на природные и техногенные.

Факторы, инициирующие природно-техногенные геодинамические процессы – это наступление Средиземного моря на сушу, вызывающее поднятие грунтовых вод, что может дать толчок к процессам внезапной разгрузки пластовых очагов напряжений в сторону поверхности с амплитудами интенсивностью до 7 баллов [1].

К техногенным факторам, негативно влияющим на экологическую систему Ливана, можно отнести процессы сопровождающие бурение разведочных и эксплуатационных скважин, добычу углеводородного сырья, мероприятия по повышению нефтеотдачи пласта.

В результате действия техногенных процессов могут произойти: аварийный выброс флюидов; оседание земной поверхности над разрабатываемыми месторождениями; землетрясения, связанных с нарушением природного напряженного состояния массива горных пород; наведенная сейсмичность, связанная с работой забойного оборудования; прорывы нефтепроводов.

Оседания земной поверхности в результате интенсивного отбора флюидов могут вызывать деформацию наземных сооружений, подземных хранилищ газа, повреждение герметичности и обсадных колонн, разрыв водоупоров продуктивных пластов и нефте- и газопроводов.

Во всем Левандийском бассейне по результатам наблюдений интенсивных деформаций земной поверхности пока не выявлено, и лишь на локальных участках наибольшего падения пластового давления отмечена величина оседания до 4-20 мм [1].

Контроль за процессами, сопровождающими разведку и разработку месторождений нефти и газа шельфа Ливана, приобретает первоочередное значение [3]. В Ливане планируется организовать многофункциональный мониторинг природных и техногенных геодинамических процессов на специальном геодинамическом полигоне. Наблюдения будут вестись с помощью глубинных реперов для регистрации горизонтальных подвижек земной поверхности и грунтовых реперов для определения вертикальных подвижек. Для повторных наблюдений имеются комплекты спутниковых GPS приемников, точных цифровых нивелиров и гравиметров.

Для контроля экологической обстановки в процессе эксплуатации месторождений углеводородов будет производиться сейсмический мониторинг на основе оптоволоконных технологий OPTOSEIS™. Сейсмический мониторинг сводится к тому, что на месторождении периодически будет проводиться сейсмическая съемка 3D, по результатам которой можно проследить за движением водонефтяного контакта и степенью обводненности и выработанности различных частей залежи. Сигнал 4D может представлять собой любое изменение сейсмической записи по сравнению с предыдущей сейсмической съемкой 3D. Эффект основан на том, что замещение нефти водой меняет отражающие способности толщи, что сказывается прежде всего на амплитудах отраженных волн.

Разработанные нефтяной Программы производственного мониторинга при разработке месторождений на Средиземном море, позволяют в определенной степени уменьшать последствия нефтегазодобычи на морскую природную среду и прибрежные территории.

Литература

1. Wainer D., Benmeleh Y. Israel-Egypt 15 billion gas deal boosts energy hub prospects // URL:<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-02-19/noble-delek-sign-15-billion-deal-to-export-israel-gas-to-egypt>

2. Мельников Н. Н. Техногенные геодинамические процессы при освоении нефтегазовых месторождений шельфа Баренцева моря /П. И. Мельников, А. И. Калашник, Н. А. Калашник // Вестник Московского государственного технического университета. - 2009. - Т. 12, № 4. - С. 601-608.

3. Мурзагалиев Д. М. Сейсмо-геодинамические условия разработки нефтегазовых месторождений на Средиземноморском шельфе/ Д. М. Мурзагалиев //Геология, география, глобальная энергия. - 2011 -№4.-С. 32-38.

4. Road map for Lebanon first offshore licensing round // URL: <http://www.lpa.gov.lb/road%20map.php>

5. Sarkis N. Petrole et gaz au Liban: les potentialities, les chances et les risques // URL: <https://www.lorientlejour.com/>

6. Джамус А. Д. Углеводородные ресурсы в бассейне Ливана // Молодой ученый. — 2017. — №22. — С. 213-217. — URL <https://moluch.ru/archive/156/44186/> (дата обращения: 14.02.2019).

НОВОЕ В МЕТОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЯХ ПО ВЫБОРУ ДОЛОТ PDC С УСИЛЕННЫМ АНТИВИБРАЦИОННЫМ ВООРУЖЕНИЕМ

Чулкова В.В. (ООО «Газпром флот», Chulkovavv@gmail.com)

Аннотация

Приведены основные причины и виды износа долот. Подробно описаны основные и второстепенные современные конструктивные решения по усилению вооружения. Обоснована актуальность новых научно методических решений по выбору долот PDC с усиленным антивибрационным вооружением. Изложены методические и технологические решения по выбору долот PDC, основанные на дифференцированном подходе.

Ключевые слова

Долото, PDC, периферийные резцы, износ, методические решения, усиленное вооружение, вибрации.

ООО «Газпром флот» - 100 % дочернее предприятие ПАО «Газпром», создано в 1994 году с целью осуществления единой политики в области проведения геологоразведочных работ и освоения газовых и нефтяных месторождений на континентальном шельфе Российской Федерации [1].

В июле 2019 года компании исполняется 25 лет.

Объемы бурения на шельфе растут, поэтому поиск новых технологий бурения скважин является актуальным направлением исследований. Современный научно-технический прогресс предъявляет все более высокие требования к конструктивной надежности долот PDC (Polycrystalline Diamond Compact). Долото PDC представлено на рисунке 1. Одна из приоритетных задач – поиск технологических конструктивных решений для обеспечения эффективной работы долот PDC в средних по твердости и твердых горных породах, т.к. в данных условиях происходит интенсивный износ периферийного вооружения.

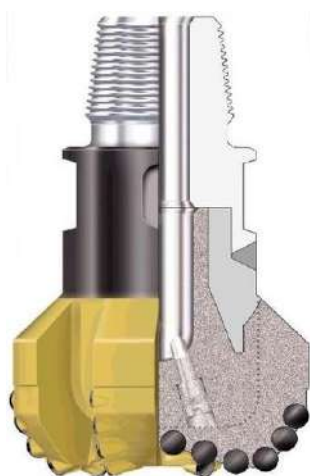


Рисунок 1. Долото PDC

Основной причиной такого износа большинство исследователей и производителей долот PDC считают повышенный уровень вибраций при разбуривании средних по твердости и твердых горных пород.

Применение шарошечных долот также сопровождается износом периферийного ряда. Износ обычно представлен скруглением, поломкой, сколами периферийного вооружения [2, с. 199-200, 204, 210-211]. Например, при бурении скважин в Восточной Сибири показатель износа внешнего ряда вооружения по линейной шкале IADC (International Association of Drilling Contractors) составляет 7 (износ близок к полному) и 8 (полный износ) [3, с. 73]. Указанный износ часто становится причиной аварий, связанных с оставлением элементов и частей шарошечного долота в скважине.

Относительно низкая проходка и высокая стоимость долот PDC снижают технико-экономические показатели бурения и не обеспечивают рентабельность их применения.

ООО «Газпром флот» обладает успешным опытом применения долот, оснащенных поликристаллическими алмазными резами. Компанией построено 60 скважин и накоплен огромный опыт их применения на шельфе Арктики, Дальнего Востока и Балтийского моря.

Конструктивными особенностями применяемых ООО «Газпром флот» долот PDC являются двухрядное расположение вооружения, оснащение термостойкими резами и антивибрационными вставками.

Долото PDC имеет ресурс до 300 ч, при этом одно и то же долото может применяться неоднократно в различных технико-технологических и горно-геологических условиях. В этой связи повышение достоверности выводов о состоянии долота приобретает особую актуальность при его дискретном характере работы.

Описание износа долота выполняется по международной системе IADC. Данный подход является среднеинтегральным, и это обстоятельство создает широкий простор для субъективного суждения о работоспособности долота.

В случае наличия значительного износа отдельных элементов вооружения в результате работы долота в экстремальных условиях воздействия вибраций, усреднение степени износа по интегральному показателю может привести к снижению надежности выводов о его состоянии. Разработанная методика выбора долот PDC с усиленным антивибрационным вооружением основана на дифференцированном подходе [4].

Резец PDC включает в себя два элемента: алмазный слой PCD (PolyCrystalline Diamond) и подложку из карбида вольфрама. С целью повышения достоверности выводов о состоянии долота, по внутреннему и периферийному ряду, предлагается осуществлять комплексную оценку износа реза PDC на основании дифференцированного подхода.

Литература

1. О компании ООО «Газпром флот» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://flot.gazprom.ru>.
2. Кершенбаум, В.Я. Международный транслятор-справочник Буровой породоразрушающий инструмент. / В.Я. Кершенбаум, А.В. Торгашева, А.Г. Мессер. — М. : Нац. инст. нефти и газа, 2003. — 1 т. — 199-200, 204, 210-211 с.
3. Сираев, Р.У.: Анализ эффективности применения долот PDC на нефтегазопроисловых скважинах в пределах непского свода. // ВЕСТНИК ИРГТУ. — 2013. — № 5 (76). — 73 с.
4. Чулкова, В.В. Разработка методических и технологических решений по выбору долот PDC с усиленным антивибрационным вооружением: диссертация кандидата технических наук: 25.00.15: защищена 28.09.17 — М., 2017.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИК ОЦЕНКИ ИНГИБИРУЮЩИХ СВОЙСТВ РЕАГЕНТОВ И БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Шидиев З.М., Соловьев Н.В (МГРИ)

Одной из основных проблем, возникающих при бурении скважин в сложных геологических условиях, является неустойчивость стенок скважин. Под неустойчивостью будем понимать неконтролируемое разрушение ствола скважины. В некоторых случаях неустойчивость ствола возникает не сразу и позволяет пройти данный интервал бурения без существенных осложнений с возможностью установить и зацементировать обсадные колонны. Но во многих случаях необходимо использование различных мер по предупреждению осыпания и обваливания стенок скважин, такие как: слежение за фильтратоотдачей бурового раствора и при необходимости использование реагентов, снижающих данный показатель; использование реагентов-ингибиторов, снижающих гидратацию и диспергирование глинистых пород; правильная организация работ.

Неустойчивость ствола скважины может проявляться по-разному: мягкие пластичные породы выдавливаются в ствол скважины, твердые хрупкие породы разрушаются под действием нагрузок. В частности, аргиллиты осыпаются и обваливаются (последнее происходит наиболее часто). Все это приводит к увеличению поперечного размера ствола, образованию пробок из обвалившейся породы и заполнению отдельных интервалов ствола породой во время спуско-подъемных операции. Эти осложнения сильно влияют на продолжительность и стоимость бурения, они могут вызвать прихват бурильной колонны и необходимость зарезания в скважине нового бокового ствола.

Многочисленные случаи проявления неустойчивости глинистых пород, свидетельствуют об отсутствии однозначных, способов и решений по их предупреждению. Бурение скважин в таких условиях сопровождается осложнениями, преодоление которых требует больших затрат времени и в некоторых случаях приводит к прекращению углубления.

Неустойчивость ствола скважины является серьезным осложнением, характер которого зависит от условий в разбуриваемой формации. Поэтому тип бурового раствора, обеспечивающий максимальную устойчивость ствола, для каждой площади свой. Ни один раствор не может быть одинаково эффективен на всех площадях. Многие исследователи пытались положить в основу выбора бурового раствора классификацию глинистых сланцев, по признаку минерального состава и структуры. При таком подходе трудность состояла в том, что свойства глинистых сланцев определяются слишком большим числом переменных факторов, чтобы их можно было подразделить на отдельные простые категории. Кроме того, на устойчивость ствола влияют и другие факторы, такие как тектонические напряжения, поровые давления, характер залегания глинистой толщи и степень ее уплотненности.

Первым шагом при выборе композиции бурового раствора, призванной свести к минимуму осложнения в стволе скважины, является сбор максимально возможного объема информации о геологии, истории развития напряжений в породах и т.д. По каротажным диаграммам, снятым в ближайших скважинах, следует определить градиенты температур и поровых давлений, а также содержание воды в глинистых сланцах в пластовых условиях. Должны быть отобраны и исследованы в лабораторных условиях образцы глинистых сланцев, вызывающих осложнения. Лучше всего исследования проводить с использованием хорошо сохраненного кернового материала, но если такие керны отсутствуют, то можно обратиться к буровому шламу.

Вряд ли необходимо говорить о том, что ни один из буровых растворов не поможет сохранить устойчивость ствола, если не обеспечить поддержания заданных свойств раствора. Именно поэтому так важно проводить частые проверки свойств бурового раствора и на их основе - его исправительные обработки. При бурении с использованием полимерных буровых растворов очень важно, чтобы концентрация полимера поддерживалась на требуемом уровне. Снижение концентрации полимера вследствие адсорбции на частицах бурового шлама происходит очень быстро, особенно при высоких скоростях бурения. По мере снижения концентрации полимера увеличивается скорость диспергирования шлама, что еще больше увеличивает скорость адсорбции полимера. Адсорбция полимера продолжается до тех пор, пока концентрация полимера не приблизится к нулю, что ведет к серьезной дестабилизации ствола скважины

Для предупреждения описанных осложнений, аргиллиты или неустойчивые глины необходимо исследовать, а также правильно подобрать для исследованных аргиллитов буровой раствор, который снизит вероятность появления осложнений.

Прежде, чем обсудить методы исследования, необходимо описать стадии взаимодействия аргиллитов и буровых растворов в строящейся скважине.

1 стадия - Начальное состояние аргиллитов в массиве пород. Глинистые минералы в сланцах лишь частично гидратированны.

2 стадия - Набухание аргиллитов. Во время бурения аргиллитов вода и ионы реагентов, растворенные в воде, могут свободно диффундировать в породу. Эта стадия, которая длится от 1 до 24 часов, приводит к тому, что ствол скважины сужается, что вызывает осложнения, такие как: потеря циркуляции и затяжки буровых инструментов.

3 стадия – обваливание ствола. Вследствие того, что, глинистые минералы со временем все больше адсорбируют воду, сольватные оболочки увеличиваются, следовательно, напряженное состояние породы растет, до тех пор, пока порода не начинает обваливаться в скважину. Образуются каверны, что ведет к осложнениям.

4 стадия – диспергирование глинистых частиц в буровой раствор. После обваливания аргиллитов в скважину, каждая обвалившаяся частичка продолжает дальше диспергировать в буровой раствор, тем самым появляется не желательная твердая фаза, которая затрудняет процесс бурения.

Литература

1. Балаба В.И. «Разработка минеральных буровых растворов для проводки скважины в глинистых отложениях», диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

2. Войтенко В.С. «Прогнозирование, предупреждение и использование неустойчивости стволов скважин при бурении на подсолевые отложения», диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

3. Городнов В.Д. Исследование глин и новые рецептуры глинистых растворов. – М.: Недра, 1975.

4. Соловьев Н.В., Чан Суан Дао, Арсентьев Ю.А., Нгуен Тиен Хунг, Курбанов Х.Н. «Исследование ингибирующего действия полимерного раствора «KGAC-plus» для бурения в глинодержащих горных породах месторождения Южный Дракон и Доймой (СРВ).» - Инженер-нефтяник, - 2018 - №2.

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ МОРСКИЕ ПЛАТФОРМЫ

Щербакова К.О. (МГРИ, ksenia.scherbakova4@gmail.ru), Овезов Б.А. (МГРИ, batyr.ovezov@gmail.ru), проф. Соловьев Н.В. (МГРИ, nvs@mgri-rggru.ru)

Аннотация

Всем широко известно о двух основных проблемах нефтегазовой отрасли – это сжигание попутного газа и выброс углекислого газа в атмосферу. Попутный газ, по причине экономической нерентабельности его транспортировки на сушу или использованию на буровой, сжигается на факелах. Сжигание попутного газа ведет к выбросу большого объема углекислого газа. Выбросы углекислого газа загрязняют окружающую среду и отрицательно влияют на глобальное потепление. Это больше не теории, а реальность! Происходит таяние льдов, уровень Мирового Океана постоянно растет, образуются озоновые дыры и идут окисные дожди. Выбросы углекислого газа влияют на все живое, в том числе и на человека [6]. Массивные выбросы углекислого газа в атмосферу сподвигают мировое сообщество к развитию Возобновляемых Источников Энергии (ВИЭ). Впервые в истории, во время Парижской Климатической Конференции в 2015 году, 195 стран согласились на том, что необходимо уменьшать выбросы углекислого газа [1].

Ключевые слова: энергия, возобновляемые источники, морские платформы, попутный газ, углекислый газ, глобальное потепление.

Вступление: Открытый источник Global Carbon Atlas приводит сведения о загрязнении атмосферы, где ежегодно в атмосферу выбрасывается 249 млн тон углекислого газа с горящих факелов на морских платформах [1,2].

Основываясь на Цели Устойчивого Развития ООН не сложно предугадать скорое будущее для нефтегазовых компаний. Мир будет приветствовать компании с проактивным видением на выбросы углекислого газа путем внедрения новых методов для улучшения старых процессов. Уменьшение выбросов углекислого газа будет обязательством для всех компаний [3]. Даже сейчас, мировые нефтегазовые гиганты начали вкладывать инвестиции в ВИЭ для уменьшения выбросов углекислого газа и негативного влияния на окружающую среду. Энергетическая революция тоже не является вымыслом. Она произойдет. Поэтому, внедрение альтернативных технологий сейчас является перспективой на будущее для нефтегазовых компаний [1].

Необходим новый подход к актуальной проблеме. Помимо негативного влияния на окружающую среду, факелы несут существенные экономические потери. Представьте, что лишь по приблизительным данным Российская Федерация в год на факелах сжигает приблизительно треть объема газа, транспортируемого в Европу [4]. Подобная нерациональная трата средств и полезного сырья требует пересмотра старых процессов и технологий. С учетом того, что запасы истощаются, а крупные месторождения уже практически не встречаются, нефтегазовые компании должны задуматься над данной проблемой.

Альтернативным решением столь актуальной проблемы может выступить утилизация попутного газа. Переработка и сжижение природного газа хорошо освоена на суше вблизи наземных буровых [5]. Для морских буровых проблема стоит столь же остро. Но новый подход и нестандартное решение может послужить эффективным решением. Решением предлагается замкнутая система, которая ликвидирует выбросы углекислого газа до 0% и генерирует жидкий газ из попутного, превращая отходы в ресурсы с интеграцией в систему альтернативной энергии волны.

Метод: Рассматриваемая система состоит из пяти основных процессов. В первом процессе происходит разделение химических элементов попутного газа на метан, пропан, бутан, пентан, гексан и этан. Часть полученного метана заменяет дизель в генераторах. Сжиженный природный газ, как пропан, бутан, пентан и гексан могут транспортироваться в контейнерах на сушу. Поток этана, который обычно рассматривается как отходы, может быть использован в качестве топлива для питания самой системы.

Второй процесс носит название HENG, где происходит обогащение метана до 30% водородом. Данная технология позволяет сократить выработку углекислого газа до 18% [7].

В третьем процессе происходит генерация альтернативной энергии посредством колебания морской волны, где кинетическая энергия преобразуется в электрическую.

Электрическая энергия проходит через четвертый процесс - электролиз. Высокотемпературный электролиз разделяет нагретую воду на водород и кислород.

В заключительном процессе – метанизации все процессы замыкаются в систему с нулевым выбросом углекислого газа путем использования углекислого газа, выделяемого электрогенераторами и водорода, полученного в процессе электролиза. Таким образом, генерируется синтетический метан.

Избыточное количество сгенерированной энергии (метан) возможно использовать для создания майнинговых ферм для генерации биткойнов, либо использовать технологию синтеза гидрата газа в форме кубиков льда для безопасности хранения и транспортировки. Системой работы всех станций в море возможно управлять дистанционно с помощью мобильного НМИ разместив центр управления процессом в штаб-квартире, и предоставляя полный контроль управления руководству и инженерной команде.

Заключение: В результате, экологически безопасные морские платформы путем выработки сжиженного нефтяного газа из попутного газа с 0% выбросом углекислого газа, создают новые возможности для бизнеса в период энергетического перехода и декарбонизации. Возможно охватывать 6 стратегических целей устойчивого развития, предоставляя возможность улучшить наш экологический след и помочь внести вклад в достижение целей в области устойчивого развития ООН. Данное решение поможет зародить изменения благодаря интеграции процессов, что будет способствовать развитию экономики.

Литература

1. Андрианов В.СУГ: у каждого своя правда // Нефтегазовая вертикаль.2014. № 3.
2. Коржубаев А., Ламорт Д., Эдер Л. Негасимое пламя ПНГ // Нефть России. 2012. № 7.
3. Кутепова Е. ПНГ закон не писан // Нефть России. 2012.№ 7.
4. ПНГ - законотворческий избыток при методическом дефиците // Нефтегазовая вертикаль. 2009. № 25-26.
5. Пуртов П., Аджиев А., Мегедь А. Лучший путь для попутного газа // Нефть России. 2014. № 1-2.
6. Фрейман Л.А., Корба О.И. Попутный нефтяной газ: цифры и факты // Вестник химической промышленности. 2012. № 5.
7. www.topclimat.ru/news/field/brittany_make_hydrogen_enriched_natural_gas.html

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Щербакова К.О. (МГРИ, ksenia.scherbakova4@gmail.ru), Овезов Б.А. (МГРИ, batyr.ovezov@gmail.ru), проф. Соловьев Н.В. (МГРИ, nvs@mgri-rggru.ru)

Аннотация

Для того, чтобы сделать что-либо, в основном, нам нужно как минимум два компонента. Это энергия и сырье. В настоящее время мы используем ископаемое топливо в обоих процессах, и это неустойчиво. Что касается энергии, возобновляемые источники энергии могут заменить ископаемое топливо, но они являются промежуточными. Солнце не всегда светит, а ветер не всегда дует. Что касается сырья, сельскохозяйственные ресурсы могут заменить некоторые этапы, но они серьезно подрывают продовольственную безопасность и биоразнообразие. Итак, у нас есть две проблемы. Чтобы преодолеть энергетический вызов, нам нужен способ хранения энергии. Чтобы решить проблему с сырьем, нам нужно найти углеродистое сырье с неограниченной доступностью и масштабируемостью. Мы считаем, что возможным решением является CO₂. Наше решение сочетает в себе лучшее из двух дисциплин. Это химия и биология. Химия очень хорошо активирует CO₂ до простых компонентов. В нашем случае мы получаем электричество из возобновляемых источников энергии и электрохимическим путем храним его в CO₂, получая высокоэнергетический промежуточный формиат. С другой стороны, биология хороша в том, чтобы взять промежуточный продукт, такой как формиат, и с высокой эффективностью преобразовать его в то, что нам нужно в жизни. Как например топливо, пластик или даже еда.

Ключевые слова: энергия, сырье, ископаемое топливо, возобновляемые источники энергии, химия, биология, высокоэнергетический промежуточный формиат.

Вступление: Метаболическая инженерия и синтетическая биология, две области, которые имеют очень сильное влияние со стороны биологии. Если мы задумаемся о биологии окружающего нас мира, то мы увидим много красоты и разнообразия. Однако если мы посмотрим глубже мы увидим, что все на самом деле состоит из ряда отдельных клеток, и даже внутри этих клеток мы просматриваем еще более мелкие структуры. И когда мы смотрим на структуры, мы осознаем, что суть заключаемся в ДНК. И именно это является отличительной чертой синтетической биологии [1,3].

Понятие о синтетической биологии определяется по-разному, и на самом деле интересно задуматься о некоторых из них. В одной из моих любимых статей «Химические и инженерные новости» было определение, сфокусированное на использовании ненатуральных синтетических молекул с возможностью использования этих молекул для получения функций. За несколько лет, прошедших с момента появления этого определения, действительно синтетическая биология изменилась, и работа, которая ведется в области синтетической биологии, стала намного шире. Определения, которые используются сегодня - это проектирование и конструирование новых биологических частей, устройств и систем. Таким образом, один из способов синтетической биологии - это реорганизация существующих, естественных биологических систем для целей хранения и производства, что представляет собой инженерное дело [2,5,8].

Материалы и методы: В рамках развития следующего этапа проекта "Экологически безопасные морские платформы", мы планируем использовать

синтетическую биологию в инженерных целях. Некоторые инженерные принципы, которые мы рассматриваем - это дизайн и моделирование. Под дизайном мы подразумеваем определенные функции. Моделирование в нашем случае является математикой. Это означает, что мы можем составить уравнение, которое фактически поддержит наш дизайн. Итак, ключевой технологией в синтетической биологии для всего этого является синтез ДНК. И синтез ДНК заключается в том, чтобы исключить биологию из этого процесса [11].

Вот пример того, как это работает; Если мы рассмотрим биологию и ДНК, в естественной системе, где последовательность А, G, С и Т цепочек нуклеотидов, как их называют, связаны друг с другом, дают нам интересующую нас функцию. В этом случае, мы можем изучить биологическую систему, а затем выяснить, что это за последовательность, которая дает нам необходимую функцию, или функцию, которую мы стремимся разработать в новой системе. Затем мы можем перейти к компьютеру, сохранить эту информацию в цифровом виде и пройти процесс проектирования, где возможно указать собственную последовательность А, G, С и Т. Таким образом нет необходимости возвращаться к биологическому источнику, а воспользоваться синтезом ДНК, признавая последовательности А, G, С и Т как просто химические вещества, и эти химические вещества могут быть синтезированы без биологии [2,10].

Как инженеры, мы часто хотим думать о том, как мы на самом деле решаем проблемы, будь то в области энергетики или химического сырья (рис.1). Здесь происходит слияние между принципами метаболической инженерии и синтетической биологии.



Рисунок 1. Методы

Суть метаболической инженерии заключается в эффективном внедрении биологии в химию; то есть из биологических систем возможно получить широкий спектр химических молекул. Иногда биология может сделать определенные молекулы более эффективными, используя биологические средства, в отличие от химии [6].

Цель нашего проекта по электрохимическому восстановлению и метаболической инженерии заключается в том, чтобы заставить организмы получать высокоэнергетический формиат CO_2 , обогащенный электричеством, и производить топливо и химические вещества. А лучше, в инженерном плане, означает делать больше, быстрее и эффективнее [5].

Результаты: Работа, которая проводится в нашем университете, направлена на расширение возможностей биологии в химии. Мы осознаем последствия проблемы выбросов CO_2 в атмосферу. А также, мы понимаем роль энергии, которая нам нужна каждый день. Мы полагаем, что нужно брать электроэнергию из возобновляемых источников и хранить ее электрохимическим путем в CO_2 , образуя высокоэнергетический промежуточный формиат. Биология, с другой стороны, берет промежуточный продукт, такой как формиат, и с высокой эффективностью превращает его в то, что нам нужно в жизни (рис.2).

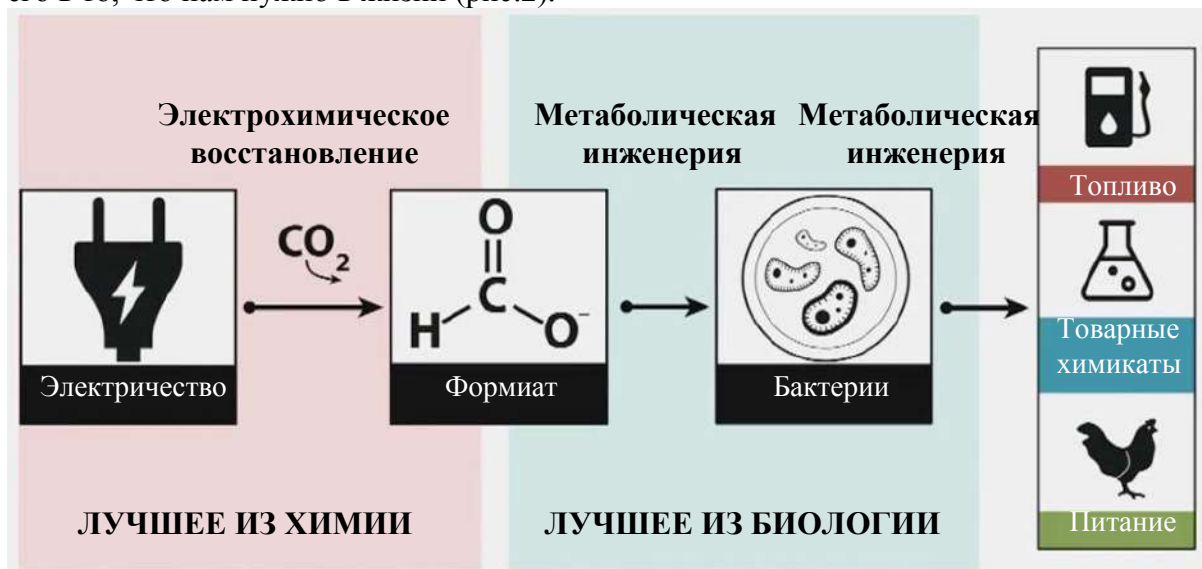


Рисунок 2. Полный процесс

Сегодня большая часть нефтехимических продуктов поступает из сырой нефти [4,7]. У нас было много дискуссий в команде об интеграции одного дополнительного процесса, где в этом случае будет добавочный компонент, например, глюкоза или другие сахара. Они могут поступать из биомассы [3].

Ниже мультипликационное представление на примере бактерии *E.coli* (рис.3), где проиллюстрированы расширенные биологические возможности химии для создания различных продуктов.

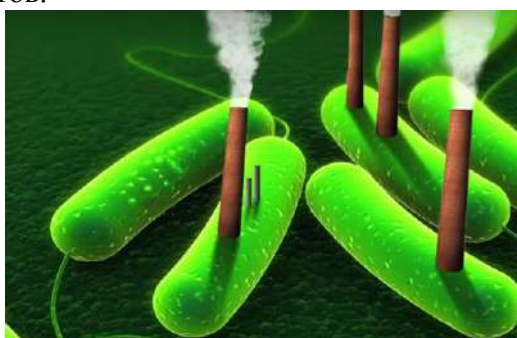


Рисунок 3. Мультипликационное представление процесса

Заключение: Синтетическая биология является весьма разнообразной областью, состоящая из разных направлений. Она полезна в работе специалистов широкого спектра специальностей от метаболической инженерии, нефтяной инженерии и до инженерной биологии и многих других, заинтересованных в использовании ДНК и связи функций для решения актуальных мировых проблем человечества. Решение проблем, над которыми мы работаем, связаны с окружающей средой и энергетикой. Целью является фактическое использование возможностей биологии для разработки решений некоторых из наших наиболее насущных глобальных проблем.

Литература

1. Создание биобезопасности для синтетической биологии. Микробиология 2013. Райт, Оливер, Гай-Барт Стэн и Том Эллис.
2. Неопределенность и экологическое обучение. Глобальные изменения в окружающей среде 1992. Винн и Брайан.
3. Цена успеха. Science 2008. Вайт, Н.Ж.
4. Инженерные молекулярные схемы с использованием синтетической биологии в клетках млекопитающих. Ежегодный обзор химической и биомолекулярной инженерии, 2012 год. Виланд, Маркус и Мартин Фуссенеггер.
5. Программирование клеток с помощью мультиплексной инженерии генома и ускоренной эволюции. Nature 2009. Ван, Харрис Г., Фаррен Дж Айзекс, Питер А. Карр, Захари З. ВС, Джордж Хи, Крэйг Р. Лес и Джордж Чёрч.
6. Жизнь за синтетической клеткой. Природа 2010.
7. Обещание и опасности синтетической биологии. Журнал технологии и общества 2006. Такер, Джонатан Б. и Раймонд А. Зилинскас.
8. Процессы и результаты в синтетической биологии. Нью-Йорк: Спрингер 2009. Той, Джойс.
9. Синтетическая биология протоклеток: от размножения к вычислению. Философские труды Королевского общества 2007. Соле, Рикард В., Андреа Мунтяну, Карлос Родригес-Казо и Хавьер Макиа.
10. Водоросли генной инженерии для биотоплива: ключевая роль для экологов. BioScience 2012. Сноу, Эллисон А. и Вэл Х. Смит.
11. Эволюция, экология и инженерный организм. Геномная биология 2009. Скеркер, Джеффри М., Джулиус Б. Лакс и Адам П. Аркин.
12. Промышленное и экологическое применение. Вайнхайм (Германия): Wiley-Blackwell. Шмидт, Маркус (ред.). 2012.

ЗНАЧЕНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ЗЕМЛИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ БАЗ ДАННЫХ В ГЕОЛОГИИ

Бузов В.М. (МГРИ, prostokot1@inbox.ru)*

Аннотация

В последнее время во все сферы жизни активно проникают компьютерные технологии, а правительством Российской Федерации даже объявлен курс на «цифровизацию» или построение «цифровой России». Одной из сторон этой деятельности является создание систем геопространственных данных. В докладе рассматривается значение формы и размеров Земли для представления данных геологии как геопространственных данных.

Ключевые слова: геопространственные данные, геология, глобальные навигационные спутниковые системы.

Геопространственные данные – это любые данные об объектах на Земле, под Землей или над Землей, привязанные к их местоположению (координатам). Данные геологии являются геопространственными данными по своей природе, поскольку все данные о геологических структурах наносятся на карты и, таким образом, привязываются к точному местоположению этих структур.

Для обозначения формы земной поверхности применяют специальный термин – фигура Земли [1]. Модели фигуры Земли используются в геофизике и геодезии как отсчетные поверхности (или поверхности относимости), относительно которых проводятся высокоточные измерения координат и гравитационного поля.

Вопрос о форме и размерах Земли занимал умы естественных ученых исследователей в течении многих столетий. Интерес к этому вопросу был связан с развитием торговых отношений и колонизацией дальних земель. Передовые учёные Древней Греции считали Землю шаром и проводили измерения радиуса Земли с погрешностью в несколько сотен километров. Определением радиуса Земли и её формой занимались такие учёные как Синеллиус, Пикар, Буге, Годен, Лакондамин, Клеро, Мопертюи, Камюз, Цельсий, Ньютон, Гюйгенс, Пуанкаре, Лаплас, Лежандр, Стокс, Вихерт, Дарвин, Клеро. Огромный вклад в развитие теории фигуры Земли внесли российские учёные: М.С. Молоденский и его последователи – советские ученые Л.П. Пеллинен, В.В. Бровар, М.Ю. Нейман и другие. Советские геодезисты Ф.М. Красовский и А.А. Изотов построили референц-эллипсоид, который наилучшим образом аппроксимировал территорию СССР. Совет Министров в 1946 году постановил считать параметры этого эллипсоида обязательными для использования в практике геодезических, топографических и других работ в СССР [2].

На сегодняшний день для определения формы и размеров Земли используются результаты астрономических и геодезических измерений. Ранее для них использовались классические астрономические, наземные геодезические и гравиметрические измерения. С началом космической эры стали активно проводиться спутниковые измерения. Альтиметрические космические исследования позволили проводить прямые измерения топографии водной глади поверхности океанов с погрешностью в нескольких сантиметрах. По результатам измерений таких спутниковых миссий как GRACE (рис. 1), в научно-исследовательском центре наук о Земле имени Гельмгольца в Потсдаме (Германия) был построен геоид, поверхность которого используется как следующее приближение после эллипсоида к реальной фигуре Земли (рис. 2). Учёные назвали эту фигуру «потсдамская картошка» [3].



Рисунок 1. Аппараты космической гравиметрической миссии GRACE (слева) и альтиметрической миссии Jason (справа)[4,5].

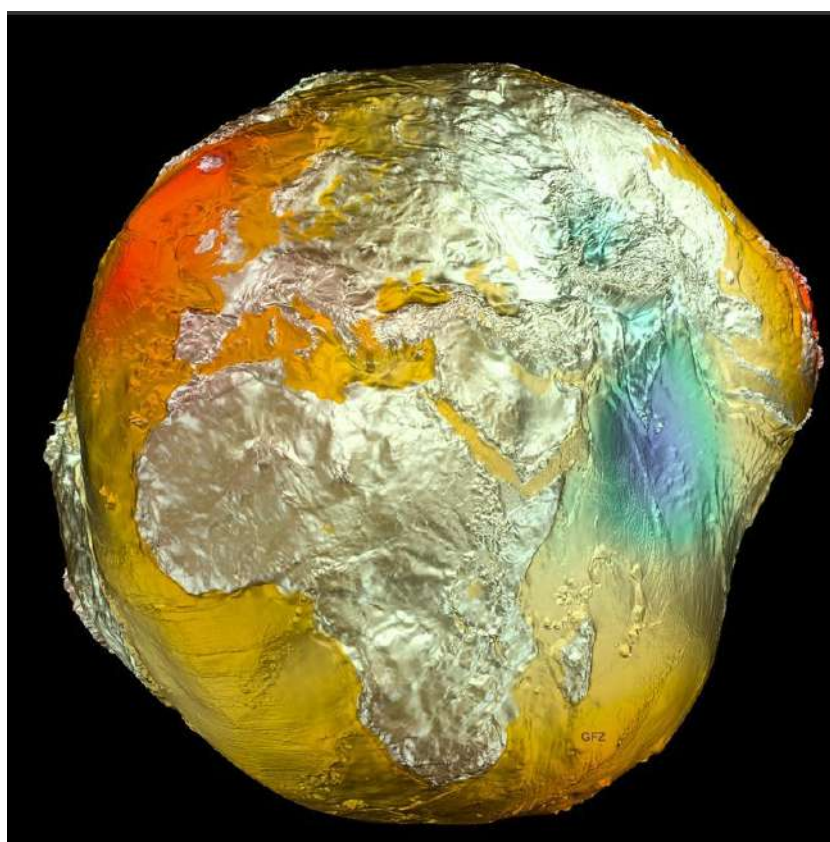


Рисунок 2. Форма геоида, полученная по результатам обработки данных спутниковых космических миссий в научно-исследовательском центре наук о Земле имени Гельмгольца в Потсдаме (Германия) [5].

По измерениям приёмников глобальных навигационных спутниковых систем GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, BEIDOU определяют координаты и высоты, но при этом необходимо знать к какой отсчётной поверхности, аппроксимирующей форму Земли они относятся. Оказывается, что измерения системы GPS в качестве отсчётной поверхности или «поверхности относимости» используется эллипсоид WGS-84.

Измерения с помощью российской глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС относятся к эллипсоиду системы ПЗ90.11.

Поскольку отсчётные эллипсоиды и системы координат у различных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) немного разные, то и

результаты определений координат у них несколько различаются. Для пересчёта определяющих местоположение координат из системы координат одной ГНСС в систему координат другой ГНСС (например, из WGS-84 в GP90.11) необходимо использовать формулы перехода, опубликованные в ГОСТ 32453–2017 [6].

В заключении можно сделать следующие выводы:

1) основное практическое значение имеют общеземные эллипсоиды ГНСС и референц-эллипсоиды картографических систем и соответствующие системы координат, а также форма геоида («потсдамская картошка»). Связь между координатами различных систем установлена ГОСТ 32453–2017 [6];

2) для уточнения имеющихся моделей фигуры Земли и построения новых используют измерения средств космической геодезии, а также наземной и космической гравиметрии;

3) с использованием средств ГНСС и тахеометров можно привязать данные геологии к координатам, определяющих местоположение геологических структур, что позволит эффективно решать задачу о создании баз геопространственных геологических данных.

Литература

1. Пантелеев В.Л. Теория фигуры Земли // Курс лекций. – 2000.– МГУ им. М.В.Ломоносова. Физический факультет. – Москва.
2. Горшков Г.П., Якушева А.Ф., Общая геология – М.: Изд-во МГУ, 1973.
3. <https://www.gfz-potsdam.de/en/media-and-communication/infothek/mediathek/images/geoid-the-potsdam-gravity-potato/>.
4. <https://www.jpl.nasa.gov/events/lectures/images/2017/GRACE-FO-dec678x370.jpg>.
5. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/37/Jason-3_2015_illustration.jpg.
6. ГОСТ 32453–2017. Глобальная навигационная спутниковая система, Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек.

КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

*Дьяконов В.В. *(МГРИ, mdf@rudn.ru), Верчеба А.А. (МГРИ, aa_ver@mail.ru),
Наравас А.К. (МГРИ, gazon91@list.ru)*

Аннотация

Проанализированы геологические аспекты возможности использования дистанционных методов геологического исследования недр Земли из космоса. Рассмотрены основные направления применения космических съемок. Обоснована целесообразность и необходимость организации подготовки кадров по космическим методам исследования недр и дистанционному зондированию

Ключевые слова: геологическое изучение недр, методы дистанционного зондирования Земли, образовательные траектории космической геологии

Космическая информация является важным компонентом геологического изучения недр и эффективно используется при составлении геологических карт, карт размещения полезных ископаемых, металлогенических и минерагенических карт, являющихся основой рационального недропользования [1,2,3,4]. Новые данные, полученные от искусственных спутников Земли стали применяться при прогнозировании и поиске месторождений полезных ископаемых, включая многие стратегические виды. Космические технологии успешно используют систему глобальной навигации (ГЛОНАС) для мониторинга состояния природной среды и предсказания опасных геологических процессов (вулканизма, землетрясений, селей и др.).

При геологическом изучении недр использование данных космических съёмок стало обязательным для создания Государственных геологических карт нового поколения. На основе интерпретации материалов дистанционного космического зондирования создаются дистанционные основы геологических карт, входящих в комплекты Госгеолкарты-1000/3 и Госгеолкарты-200/2.

Одним из вызовов геологии будущего является выполнение уникальных исследований в области тематической обработки многоспектральных космических снимков совместно с геохимическими и геофизическими данными для поисков районов распространения полезных ископаемых. Новые возможности открываются при геологических прогнозных и минерагенических исследованиях районов Циркумполярной области и континентального шельфа.

На ближайшую перспективу для создания поискового задела на твёрдые полезные ископаемые необходимо совершенствование цифровых технологий использования дистанционного зондирования Земли, в том числе спектральных и радиолокационных систем. В качестве ключевых направлений исследований, нуждающихся в оперативном решении с использованием космических методов зондирования Земли можно отметить следующие:

- выполнение уникальных исследований в области тематической обработки многоспектральных космических снимков совместно с геохимическими и геофизическими данными для поисков полезных ископаемых;
- создание методических рекомендаций по использованию материалов космических съемок при прогнозных исследованиях на стратегические виды полезных ископаемых и углеводородное сырьё;
- интерпретацию многоспектральных космических снимков совместно с геофизическими и геохимическими данными с целью локализации площадей поисков полезных ископаемых;

- разработку цифровых технологий мониторинга окружающей среды на основе оперативных съемок из космоса.

В этих направлениях уже многое сделано, особенно в области совершенствования методов дистанционного зондирования Земли на базе современного программного обеспечения.

Динамичное развитие методов дистанционного космического зондирования Земли требует вариативности в подготовке квалифицированных кадров, обладающих уникальными компетенциями в области природопользования и недропользования.

Современное содержание высшего образования по профилю «Исследования природных ресурсов методами дистанционного зондирования» не обеспечивает качественную подготовку специалистов в области применения дистанционных методов при геологическом изучении недр. Для того чтобы подготовить квалифицированного специалиста в этой области нужно, кроме общей подготовки по данным дистанционного зондирования, дать фундаментальную геологическую подготовку. В этом случае можно получить компетентного специалиста по дистанционным методам геологического изучения недр. Правильным решением была бы подготовка специалистов в рамках направления магистратуры «Геология» на базе геологического или геофизического специального образования. Для этого разработана программа подготовки компетентных специалистов в области геологии и поиске полезных ископаемых, обладающих знаниями, навыками и умением в сборе, обработке больших массивов данных и предоставлении результатов. Реализация программы обеспечит формирование исследователей в области инновационных методов дистанционного зондирования поверхности Земли, на базе современного компьютерного программного обеспечения: Micromine, Surpac, Arc Gis др., создания 3D геологических моделей месторождений, геоморфологических форм поверхности и геологических структур.

Ожидаемыми результатами внедрения такой образовательной траектории будет создание моделей рудных и нефтегазоносных провинций на основе дешифрирования спектрально-радиолокационных космических снимков, их комплексирования с данными структурно-геохимического картирования.

Выполнение программы и обеспечивающих её научно-технических разработок потребует привлечения организаций-партнёров, к которым относятся АО «Росгеология»; Роснедра, АО «Российские космические системы», «Научный центр оперативного мониторинга Земли», ФГБУ «ИМГРЭ» и другие заинтересованные организации.

Литература

1. Аэрокосмические методы геологических исследований / Под ред. А. В. Перцова. – СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2000. — 316 с. (МПР России, ФГУНПП «Аэрогеология», ГУП «НИИКАМ»).
2. Гиперспектральное дистанционное зондирование в геологическом картировании / Под науч. ред. докт. техн. наук, проф. Г. Г. Райкунова. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. — 136 с.
3. Корчуганова Н. И. «Аэрокосмические методы в геологии». — М.: Геокарт:ГЕОС, 2006. — 244 с.
4. Методы дистанционного зондирования Земли при решении природоресурсных задач. Справочник / Главные редакторы: А. Ф. Морозов, А. В. Перцов. — СПб. Изд-во ВСЕГЕИ. 2004. — 132 с.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ПРОГНОЗА СОДЕРЖАНИЙ ОКИСЛОВ В БОКСИТАХ ГВИНЕИ

Марков В.Е. (РУДН, markov-ve@rudn.ru), Котельников А.Е. (РУДН, kotelnikov-ae@rudn.ru), Карелина Е.В. (РУДН, karelina-ev@rudn.ru), Тупе Л. (Geoprospects LTD, lucien201187@gmail.com), Котельникова Е.М. (РУДН, kotelnikova-em@rudn.ru), Дьяконов В.В. (МГРИ, mdf.rudn@mail.ru), Колмакова Д.А. (РУДН)*

Аннотация

Поиск высококачественных бокситов при минимальных затратах на поисково-оценочные работы представляет собой весьма актуальный вопрос. Качество бокситов оценивается не только содержанием Al_2O_3 , но и наличием основных примесей (Fe_2O_3 и SiO_2), снижающих качество руды для алюминиевой промышленности. Одним из широко используемым методом исследования территории является анализ и интерпретация данных космических снимков. В тезисах кратко приведена проведенная авторами оценка результатов, полученных с помощью стандартных методов обработки космических снимков для территории бокситоносной провинции Боке-Гаваль (Гвинея).

Ключевые слова: Гвинея, бокситы, ДЗЗ, геохимия, оценка качества бокситов, прогнозирование

Целью исследований является оценка возможности использования многоспектральных космических снимков открытого доступа для предварительной оценки качества бокситов и оптимизации поисково-оценочных работ на территории бокситоносной провинции Боке-Гаваль, расположенной в Гвинее.

Основная задача исследования представляет собой обработку многоспектральных космических снимков различными методами в среде ESRI ArcGIS.

Для решения поставленной задачи были использованы многоспектральные космические снимки Terra Aster, Landsat-7, Sentinel-2, размещенные в открытом доступе, а также данные по опробованию поисковых скважин (содержание Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , SiO_2).

Исследование данных выполнялись методами обработки космических снимков, встроенными в геоинформационную систему ESRI ArcGIS.

Метод главных компонент [1]. Первым шагом было синтезирование космических снимков. Затем был применен метод главных компонент, создавший серию растров, которые представляют значения отдельных компонент. Полученные фототоны (от черного до белого) были сопоставлены с геологической информацией. Визуально была установлена связь бокситов высокого качества с определенным темным фототонном. Следующим шагом стала классификация с обучением, которая требует выделения эталонных участков - сигнатур. Для выделения сигнатур, характеризующих качество бокситов (т.е. включающих не только содержание Al, но также Si и Fe), был проведен кластерный анализ (методом К-средних). Были выделены 3 кластера (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3). Затем области сгущения точек, принадлежащих одному и тому же кластеру, использовались в качестве сигнатур. Далее была осуществлена оценка степени достоверности выделения классов с помощью инструмента вероятность классов (Class Probability). Затем была проведена классификации по методу максимального подобия для набора каналов (Maximum Likelihood Classification), в результате которой был создан классифицированный растр. Сопоставление полученного растра на данную территорию с результатами опробования пробуренных скважин показало, что процент сходимости составляет 66,1 %.

Метод сегментации и классификации (создание индексных изображений)

[2]. Индексное изображение - это отображение цветом значений ячеек растра. Существует довольно большое кол-во предопределённых индексов. Был выбран индекс по компоненту Al_2O_3 . Несмотря на достаточную хорошую информативность по компоненту Al_2O_3 этот метод обработки изображения имеет низкую эффективность (во всяком случае для исследуемой территории) для целей для поисков бокситов с оценкой содержания примесей Fe_2O_3 и SiO_2 .

Пространственная статистика, **метод наименьших квадратов (множественная регрессия)** [3]. Для проведения исследования было выделено два участка – эталонный и контрольный, по которым имеются данные опробования скважин. По эталонному участку были построены карты распределения содержаний Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 интерполяцией средних содержаний по скважинам; создана сеть точек 30×30 м, соответствующая среднему разрешению используемых космических снимков; для всех точек получены содержания оксидов, а также значения яркости каждого канала используемых снимков. По этим данным были рассчитаны коэффициенты множественной корреляции (R) и детерминации (R^2) между зависимыми переменными (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2) и независимыми (предикторами) – спектральными яркостями каналов космических снимков. Хорошей зависимостью характеризуются пары TiO_2 – Aster, SiO_2 - Aster и SiO_2 – Sentinel2. У Al_2O_3 и Fe_2O_3 коэффициенты корреляции низкие, что исключает их использование для прогнозирования содержаний. Выбрана пара SiO_2 – Aster из-за низких не влияющих на качество руд содержаний TiO_2 , в то время как содержание SiO_2 учитывается при подсчёте запасов (бокситы с содержанием $SiO_2 > 10\%$ исключаются из подсчёта). Расчёт коэффициентов уравнения множественной регрессии проводился по эталонному участку, после чего полученное уравнение использовалось для прогнозирования содержания SiO_2 на эталонном и на контрольном участках. Анализ карт показал, что для эталонного участка прогноз областей с содержанием $SiO_2 > 10\%$ можно считать удовлетворительным, несмотря на появление «ложных» областей. Использование метода для поисково-оценочных и разведочных работ возможно, но в качестве грубой оперативной оценки качества бокситов по содержанию Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 .

Литература

1. Обзор группы инструментов Многомерность (Multivariate) [Электронный ресурс] / Справочник по инструментам геообработки – URL: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-multivariate-tools.htm> (дата обращения: 02.08.2018).
2. Обзор группы инструментов Сегментация и классификация (An overview of the Segmentation and Classification toolset) [Электронный ресурс] / Справочник по инструментам геообработки – URL: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-segmentation-and-classification-tools.htm> (дата обращения: 02.08.2018).
3. Обзор группы инструментов Моделирование пространственных отношений (Modeling Spatial Relationships) [Электронный ресурс] / Справочник по инструментам геообработки – URL: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/an-overview-of-the-modeling-spatial-relationships-toolset.htm> (дата обращения: 02.08.2018).

ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ПРЕСНЫХ ВОД В ИРАНЕ

Наравас А.К. (МГРИ, Москва, Россия, gazon91@list.ru)

Аннотация

Проведено прогнозирование подземной пресной воды в Иране, пользуясь способом дистанционного поиска месторождений (ДПМ) [1]. Изучены площадь солончаковой пустыни Дещте-Лут и район проектируемой ТЭС 25 МВт в Раште.

Ключевые слова: подземная пресная вода, прогнозирование, ТЭС.

На территории современного Ирана почти повсеместно наблюдается дефицит пресной воды. Однако в связи с плановым строительством серии ТЭС эта проблема становится уже и технологической. Поэтому существует государственный заказ на пресную подземную воду. Работа выполнена по просьбе госп. Моисея Хосрави от Давар Энерджи Инжиниринг Ко (Иран) с применением опробованного способа ДПМ. Ожидаемая точность способа по опыту составляет более 80%.

Способ ДПМ связан с базовым биолокационным эффектом, основанный на экстрасенсорном восприятии через идеомоторную реакцию тела человека. Так, на первом этапе оператор визуально знакомится с планом местности или картой района. Затем он представляет искомое полезное ископаемое и формулирует себе задачу. Заранее отработывает идеомоторный акт по адекватности психической реакции на конкретное полезное ископаемое. В зависимости от поставленной задачи оператор предварительно графически обозначает параллельные линии-направления «маршрутов» на графической основе.

Вначале определяются контуры и площадь аномальной зоны искомой воды. После чего, внутри аномальной зоны отмечается место максимума. Это и будет искомый объект. Далее, как обычно, определяются остальные параметры: глубина H , минерализация M , пьезометрический уровень ПУ (давление на кровлю) и максимальный расход Q . Причём, чем мельче масштаб графической основы, тем крупнее определяется объект.

Предварительная дистанционная оценка ресурсов подземной пресной воды на территории Ирана способом ДПМ показала следующее. Так, для принципиальной отработки способа ДПМ выбрана безводная с поверхности солончаковая пустыня Дещте-Лут, расположенная на Иранском нагорье с абсолютной высотой 700 – 1 000 м (табл. 1). Эта случайная площадь использована как яркий пример дистанционного прогноза пресной воды в Иране.

Таблица 1.

Предварительная оценка подземных пресных вод на территории Ирана
в пустыне Дещте-Лут

№ точки	Глубина H , м	Минерализация M , г/л	Пьезометрический уровень ПУ, м	Максимальный расход Q , куб.м/час
1	60	0,50	- 50	11 000
2	110	0,55	- 75	4 000
3	145	0,60	- 115	3 000
4	35	0,35	- 25	9 000
5	45	0,40	- 28	15 000
6	135	0,55	- 75	11 000

В результате изучения охваченной площади пустыни по шести наблюдаемым максимальным точкам воды (глубинным источникам), привязанным к трещинным структурам, сумма расходов ожидается около 53 000 куб.м/час, или 1 272 000 куб.м/сут. Глубина обводнения колеблется от 35 м (т. 4) до 145 м (т. 3) от поверхности. Источники воды возобновляемые, имеют глубинную природу происхождения. Минерализация воды варьирует от 0,35 г/л (т. 4) до 0,60 г/л (т. 3). В целом ожидается хорошее качество подземной пресной воды. Давление на кровлю водоносного горизонта, которое показано пьезометрическим уровнем ПУ говорит о слабонапорном режиме вод в этом районе.

Таким образом, в целом, обобщая этот пример, можно говорить о том, что на территории даже пустынь Ирана ожидается благоприятная геологическая ситуация в отношении ресурсов подземной пресной воды. При этом остаётся вероятность открытия мелких источников воды, используя крупномасштабные карты.

В районе будущей ТЭС 25 МВт в «Индустриальном парке» Сепид-Руд в Раште также проведена дистанционная поисковая работа на подземную пресную воду. Оценка ресурсов подземной пресной воды показала следующее. Предварительно по космоснимку установлены восемь глубинных источников пресной воды, которые в плане расположены кулисообразно, а генеральная ориентация вытянутости аномальных полей воды северо-восточная. Это связано, с особенностями блокового строения земной коры на данной территории. В табл. 2 приведены результаты наиболее близких к проектной ТЭС четырех источников глубинной и восполняемой воды (1, 2, 3, 4).

Глубина обводнения колеблется от 165 м (т. 3) до 230 м (т. 3) от поверхности. Минерализация воды варьирует от 0,45 г/л (т. 3) до 0,75 г/л (т. 4). В целом ожидается хорошее качество пресной воды. Количество воды в источнике 2 непосредственно около ТЭС достигает 13 500 куб.м/ч, или 324 000 куб.м/сутки, что достаточно для работы ТЭС. Давление на кровлю водоносного горизонта (ПУ) в целом слабонапорное.

Таблица 2.

Предварительная оценка подземных пресных вод на территории Ирана
около проектной ТЭС 25 МВт

№ точки	Глубина Н, м	Минерализация М, г/л	Пьезометрический уровень ПУ, м	Максимальный расход Q, куб.м/час
1	220	0,65	- 170	9 000
2	210	0,65	- 140	13 500
3	165	0,45	- 155	6 000
4	230	0,75	- 100	4 500

Обсуждение результатов.

1.Обобщая приведенные примеры, следует вывод, что на территории Ирана, в том числе на прилегающей к проектируемой ТЭС 25 МВт ожидается благоприятный прогноз в отношении ресурсов подземной пресной воды, локализованных в трещинных структурах.

2.Отмеченные подземные воды имеют глубинный восполняемый характер. Ожидаемые расходы воды возрастают с ростом глубины.

Литература

1.Наравас А.К. Дистанционный поиск месторождений. М., Изд-во Ким Л.А., 2019, 120 с.

ДИСТАНЦИОННЫЙ ПОИСК ПОДЗЕМНОЙ ПРЕСНОЙ ВОДЫ НА ПРИМЕРЕ ВОРОНЕЖСКОГО ОПЫТА

¹Наравас А.К., ²Чумаков Ю.Ф., ²Ширали С.А.

¹МГРИ, Москва, Россия, gazon91@list.ru

²ООО «СЭС», Москва, Россия

Аннотация

На примере Бобровской разведочной скважины в Воронежской области показан весь комплекс работ, проведённый способом дистанционного поиска месторождений (ДПМ) по поиску подземной пресной воды [1]: от изучения космоснимков в Москве, до бурения и опробования воды на месте и затем в лаборатории.

Ключевые слова: подземная пресная вода, дистанционный поиск, скважина.

Мы оказались востребованы в г. Боброве в связи с проблемой качества подаваемой воды в город. Вода для жителей поднимается из поймы р. Битюг Центральным водозаборным узлом (ЦВЗУ). Заметим, что перед нами были проведены дорогостоящие многолетние работы по поиску пресной подземной воды в Бобровском районе, которые привели к отрицательному результату.

Способ ДПМ связан с базовым биолокационным эффектом, основанный на экстрасенсорном восприятии через идеомоторную реакцию тела человека.

Работы проводились по договоренности с администрацией Бобровского района Воронежской области. Место расположения скважины определено в г. Москве способом ДПМ. Исходя из практической целесообразности, изучалась площадка вблизи ЦВЗУ г. Боброва. В условиях отсутствия детальной изученности района, пользуясь космоснимком, был установлен крупный линеамент в виде обводнённой разрывной трещины в протерозойском фундаменте территории, перекрытый неоген-четвертичным чехлом. Затем в пределах этого линеамента также дистанционно была определена максимально обводнённая точка, которая послужила местом заложения разведочной скважины «Бобров42». Приведенный материал зафиксирован в протоколах. При этом дистанционно были определены следующие прогнозные параметры подземного водотока, с вероятностью более 80%:

- глубина до фундамента и уровня воды 116 м;
- минерализация не выше 0,40 г/л;
- пьезометрический уровень – не глубже -90 м от поверхности;
- максимальный расход (водоотдача) около 5 000 куб.м/сутки.
- предположена кровля известняков на глубине 40 м (с учетом насыпи 43 м).

По результатам первого дистанционного этапа работы составлена «Записка Исполнителя» от 01.02.2018 с приложениями в составе «рекомендаций по бурению» и «геологической колонки» по будущей скважине.

В соответствии с «Регламентом ДПМ» состоялась первая поездка в г. Бобров в период 15.01 – 17.01.18 в район заложения скважины «Бобров42». В результате: на месте биолокацией подтверждены основные предполагаемые параметры источника воды; установлены точные координаты устья разведочной скважины при помощи GPS-навигатора и проведено подписание «Договора о сотрудничестве...» от 16.01.2018г. с администрацией района. К бурению скважины была привлечена буровая компания из г. Воронежа.

В Москве до выезда (и бурения) способом ДПМ была построена прогнозная литологическая колонка и составлен проект скважины, где было «установлено», что примерно на 40 м закончится рыхлый слой неоген-четвертичных отложений и начнутся плотные известняки верхнего девона. Кроме того, по разрезу детально были

предположены литотипы рыхлых отложений, так и отдельные карстовые полости и окремнённые линзы в известняках.

Особо отметим, что всё это достаточно хорошо подтвердилось во время бурения, как кровля и подошва известняков, так и начало древнего фундамента. Перед началом бурения было важно предварительно определить границу рыхлых отложений и известняков, поскольку это решало положение трубной обсадки песков. Что соответственно определяло и технико-экономическую часть проекта. Прорабатывался вариант привлечения сейсмоки геофизиками, но в итоге отказались.

Во время бурения скважины проводился регулярный авторский надзор. Хронологически отметим самое важное. Так, 13.02– 20.02.2018 – уже на месте при помощи биолокации уточнили окончательно положение устья буровой скважины и было начато бурение; в результате подтверждена граница кровли известняков на 43 м; соответственно проведено шнековое бурение и обсадка металлической трубой 168 мм для перекрытия рыхлых отложений.

По ходу бурения: 21 февраля при бурении подтверждён карст в известняках на глубине 70 м в виде пустотного провала на 10 м; 23 февраля остановка на 85 м из-за предполагаемых твердых кремней; 03 марта очередная остановка на глубине 100 м из-за подтвержденной мощной линзы кремней, образовавшейся, по-видимому, на месте коагуляции кремнезёма на эвапоритах и морских известняках.

После остановки бурения и прекращения подачи промывочной воды установился мощный самоизлив при начальном дебите около 5 куб.м/сутки, который к 19 марта снизился до 630 л/сутки. При этом трубный оголовок скважины оказался примерно на 7 м выше уровня воды местной р. Битюг.

В период 15.03 – 20.03.18. проведен отбор пробы воды из самоизлива во время очередной остановки бурения, для анализа в Москве. В результате нами подтверждены в основном результаты анализа воды самоизлива СЭС г. Боброва.

Далее: 24 марта – достигнута глубина 122 м, при скорости бурения шарошкой по кремням 2 – 3 м в сутки; кремневый состав выбуренных пород подтвержден по составу выносимого бурового шлама; 31 марта окончание бурения, забой установлен на глубине 130 м от верха насыпи в болоте.

Затем, в период 01.04 – 03.04.18 нами предварительно проведена прокачка скважины насосом в течение 5 часов и определение дебита скважины при участии главного инженера ООО «ВОДОКАНАЛ». Использован скважинный насос «Tesla» мощностью 2,2 кВт. Дебит определен при помощи штатного водяного расходомера в количестве 2,16 куб.м/час при выходном отверстии 2/3 дюйма и максимальной возможности насоса. При этом, проведен отбор проб воды для оперативного на месте и лабораторного определений качества воды из скважины «Бобров42».

Обсуждение результатов.

1. Установлены вначале дистанционно, а затем фактически водонесущий разлом в фундаменте, перспективное место для заложения скважины, прогнозируемые параметры подземного источника воды:

- наличие пресной воды в выделенной геологической структуре на ожидаемой глубине;
- дебит определен по максимальной производительности насоса;
- пьезометрический уровень оказался выше прогнозного с самоизливом, что говорит о больших запасах воды в недрах и высокой упругости источника;

2. По результатам оперативного на месте и лабораторного определений качества воды установлено, что вода соответствует нормам СанПин 2.1.4.1074-01. Более того, минерализация оказалась лучше: 0,164 г/л против 0,400 г/л ожидаемых.

По приезду в Москву проба воды сдана на анализ в лабораторию «Независимого испытательного центра». Проба воды исследовалась согласно требованиям СанПин. Результаты все положительные (табл.).

Таблица
Оптимальный анализ воды (рег.№ 7068) из скважины «Бобров42» от 02.04.2018

Показатель	Полученное Значение	Нормативное Значение	Единица Измерения	Нормативный Документ
рН	8	6,0 – 9,0	Ед. рН	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97
Мутность	0,4	2,6	ЕФМ	ГОСТ 3351-74
Цветность	0,6	20	Градусы	ГОСТ 3351-74
Запах	0	2	Баллы	ГОСТ 3351-74
Железо общее Fe	0,16	0,3	мг/л	ЦВ 3.19.08-2008
Марганец Mn ²⁺	0,05	0,1	мг/л	ЦВ 3.19.08-2008
Гидрокарбонат HCO ³⁻	55	Не норм	мг/л	ГОСТ 31957-2012
Сульфат SO ₄ ²⁻	78	500	мг/л	ПНД Ф 14.1:2:3:4.132-98

Кроме того, нами на месте биолокацией отмечен уход забоя скважины на юго-восток на 3 м относительно устья, при регламентируемом 1 м, несмотря на проходку скважины с помощью 10-метрового кондуктора, что привело к отводу ствола скважины от ожидаемого трещинного коллектора. Это означает, что при вертикальном попадании скважины в полость водоносной трещины, параметры скважины были бы еще лучше.

В целом мы считаем, что со своей геологической задачей по дистанционному поиску пресной подземной воды используя способ ДПМ полностью справились, а сам способ великолепно себя подтвердил в прогнозном плане.

Литература

1. Наравас А.К. Дистанционный поиск месторождений. М., Изд-во Ким Л.А., 2019, 120 с.

ДИСТАНЦИОННЫЕ ДАННЫЕ В ИЗУЧЕНИИ СОВРЕМЕННОГО ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Пижанкова Е.И. (МГУ им. М.В.Ломоносова, геологический ф-т,
rijankova@yandex.ru,*

*Гаврилов А.В. (МГУ им. М.В.Ломоносова, геологический ф-т,
gavrilov37@bk.ru*

Аннотация

Рассматривается осадконакопление с образованием островов на мелководьях морей Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского. Они формируются на месте островов-реликтов ледового комплекса позднего неоплейстоцена. Показано, что новообразование островов является следствием гидродинамических, ледовых и мерзлотных процессов в условиях современного потепления климата и сокращения ледовитости арктических морей.

Ключевые слова: космоснимки Landsat, острова, ледовый комплекс, гидродинамические, мерзлотные и ледовые процессы, мелководья, стамухи.

Цель работы – выявить и объяснить современное осадконакопление с образованием островов на мелководьях, сформировавшихся на месте разрушенных термоабразией и термоденудацией в течение XVI-XX вв. островов-реликтов ледового комплекса позднего неоплейстоцена.

Методы. Исследования проводились путем формирования и использования базы разновременных космоснимков съемочной системы Landsat за 1973-2018 гг. на акваторию и побережье морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, анализа исторических данных по освоению Арктики, топографических карт масштаба 1:200 000. Синтез каналов, наиболее информативных для наблюдения за распределением взвесей в воде, а также совмещение разновременных снимков осуществлялись с помощью программного пакета ScanEx Image Processor, а измерение отступания и наращивания берегов материка и островов - в ГИС-среде MapInfo Professional. Данные о динамике ледовитости и климата были получены в результате анализа электронных архивов ААНИИ [<http://www.aari.nw.ru/projects/ЕСМО/>], ВНИИГМИ-МЦД [<http://aisori.meteo.ru/ClimateR>] и материалов Второго оценочного доклада МГЭИК, 2015.

Результаты исследования. В холодную эпоху позднего неоплейстоцена на осушенном шельфе морей Лаптевых и Восточно-Сибирского происходило накопление ледового комплекса (ЛК). Его 30-50 метровая толща была насыщена мощными повторно-жильными льдами, а объемная льдистость составляла 70-95 %. Начиная с рубежа неоплейстоцена и голоцена процессы термокарста, термоэрозии, термоабразии и термоденудации в ходе трансгрессии моря разрушили равнину, сложенную ЛК. К XVI веку ледовый комплекс сохранился только на отдельных островах, приуроченных к положительным морфоструктурам. Некоторые из наиболее известных существовали до XVIII-XIX (о. Дионида, Земля Санникова) - середины XX века (о-ва Васильевский, Семеновский, Фигурина) [1].

С конца XX – начала XXI вв. на мелководьях на месте указанных островов стало наблюдаться осадконакопление. Осенью 2013 г. на Васильевской банке, образовавшейся на месте разрушенного в 1936 г. одноименного острова, был зафиксирован остров, названный - Яя [2]. Анализ разновременных космоснимков показал, что в 2007 г. этот остров уже существовал. Недавно стали обозначаться на

топографических картах о. Затопляемый в 60 км к востоку от дельты р. Лены, острова Неизвестные у юго-восточного ограничения Земли Бунге, остров Осушной к западу от островов Аэросъемки и Самолета близ дельты Лены. Все они, а также острова Песчаный, Наносный сформировались на месте островов-реликтов ЛК, размытых в XVII-XX века и реконструированных в работе [1]. Так, остров Наносный возник на месте острова Фигурина, острова Песчаный, Осушной, Затопляемый - на месте безымянных песчаных банок [1].

Многие острова имеют кольцевую форму напоподобие атоллов. В морях Лаптевых и Восточно-Сибирском это о-ва Песчаный, Наносный, Аэросъемки, Самолета. Еще больше их в высокоширотной северо-восточной части Карского моря. Помимо лагуны, опоясываемой голоценовой или современной косой, на них часто существуют водоемы лагунного генезиса

По нашему мнению в образовании островов задействованы гидродинамические, ледовые и мерзлотные процессы. Усиление роли **гидродинамических процессов** тесно связано с потеплением и увеличением безледного периода. В арктических морях современное потепление усиливается обратными связями. Особую роль играет деградация морских льдов, существенно уменьшающая альбедо. По данным Росгидромета по сравнению с 1965—1975 гг. в Восточно-Сибирском море ледовитость сократилась на 31 %, а продолжительность ледового периода - на 40 суток. Среднегодовая температура придонной воды и донных отложений на изобатах от 2 до 10 м повысилась до положительных значений (+0,2...+0,3°C, [5]). Перечисленное определяет увеличение длины разгона волн, вероятности возникновения экстремальных штормовых нагонов, ускоряет разрушение льдистых берегов [3], стимулирует оттаивание донных отложений. Это существенно увеличивает объем талых осадков, способных к перемещению и аккумуляции.

Ледовые процессы. При сильных прижимных ветрах под напором дрейфующих льдов создаются валы большой протяженности, передвигающиеся вверх склону, срезая и увлекая за собой донные осадки. Высота таких бульдозерных надвигов, достигающих часто берега, доходит до 10 м и более. Считается, что они играют главенствующую роль в образовании барьерных островов вдоль побережья Аляски [6]. При отрицательных температурах воды создаются условия для захоронения и консервации поверхностных льдов. Одним из таких видов льдов являются стамухи – торосистые льды, попавшие на мелководья, часто смерзающиеся с донными осадками. В поперечнике они составляют от десятков-сотен метров до многих километров, в высоту - от 3 до 20 м. При образовании стамух торосы выплывают дно на десятки метров и могут частично погребаться [4]. Погребенные льды облекаются осадками. Под действием бульдозерных надвигов в сочетании с гидродинамическими процессами на положительных морфоструктурах подобные образования могут превращаться в острова. Погребенный лед в потепления вытравивает, в середине острова образуется лагуна. Подобные кольцевые острова широко распространены в высоких широтах арктических морей.

Мерзлотные процессы. Промерзание играет ключевую роль в процессе осадконакопления в интервале изобат, отвечающих зоне припая (интервал изобат от 2,5-2 до 0 м), и формировании островов. Здесь донные отложения смерзаются с сезонным морским льдом, через который они выхолаживаются зимой и промерзают. Низкие среднегодовые температуры на глубинах, близких к урезу, и в надводном положении (-10...-12°C) являются гарантией их долговременного существования.

Интервал глубин от 2 до 7-10 м также играет важную роль. В условиях современного потепления придонная вода здесь имеет положительные температуры даже в высоких широтах. Они обуславливают существование свободно перемещаемых

волнением талых и сезонно оттаивающих осадков. Этот интервал глубин в пределах подводных возвышенностей является основным поставщиком терригенного материала для наращивания высот их вершин и формирования островов. Ниже глубин -7..-10 м формируются отрицательные среднеголетние температуры придонной воды и донных пород.

В предохранении новообразованных островов от размыва большую роль играют не только мерзлое состояние пород, но и бары вокруг островов и ежегодно формирующиеся на них припай и стамухи, гасящие волнение со стороны моря.

Выводы.

1. На банках и мелководьях морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, размываемых в течение многих веков, в начале XXI столетия фиксируется осадконакопление с образованием островов.

2. В образовании островов задействованы гидродинамические, ледовые и мерзлотные процессы. Первые из них особенно усилились в современное потепление. Активизация сезонного и многолетнего оттаивания донных отложений, отступление берегов под действием термоабразии и термоденудации продуцирует большое количество талых и оттаивающих осадков, способных к перемещению и аккумуляции.

3. В подготовке условий для образования островов большое значение имеет бульдозерное перемещение льдами донных осадков к вершинам положительных морфоструктур. В образовании островов кольцевой формы предполагается участие погребяемых остатков стамух.

4. Промерзание играет ключевую роль в процессе осадконакопления в интервале изобат, отвечающих зоне припая (интервал изобат от 2,5-2 до 0 м). В предохранении новообразованных островов от размыва большую роль играют не только мерзлое состояние пород, но и бары вокруг островов. Защитная роль последних обеспечивается грядами стамух, которые гасят волнение со стороны моря.

Литература.

1. Гаврилов А.В., Романовский Н.Н., Хуббертен Х.-В., Романовский В.Е. Распространение островов – реликтов ледового комплекса – на Восточно-Сибирском арктическом шельфе // Криосфера Земли, 2003, т. VII, №1, с. 18-32.
2. Гуков А.Ю. Возрождение острова Васильевского. Природа. 2014, № 5. С.70-73.
3. Пижанкова Е.И. Современные изменения климата высоких широт и их влияние на динамику берегов района пролива Дмитрия Лаптева // Криосфера Земли, 2016, Том XX, №1, с. 51-64.
4. Хименков А.Н., Брушков А.В. Океанический криолитогенез. М., Наука, 2003, 336 с.
5. Dmitrenko I.A, Kirillov S.A., Bruno Tremblay L. et al. Recent changes in shelf hydrography in the Siberian Arctic: Potential for subsea permafrost instability // Journal of geophysical research, vol. 116, C10027, doi:10.1029/2011JC007218, 2011
6. Reimnitz E., Barnes P.W., Harper J.R. A review of beach nourishment from ice transport of shoreface materials, Beafort Sea, Alaska // J. Coastal Res., 1990, v. 6 (2), p. 439-470.

КОСМОСТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ГОРАХ ЮЖНЫЙ НУРАТАУ (ЗАПАДНЫЙ УЗБЕКИСТАН)

*Пирназаров М.М. (ГП «Институт минеральных ресурсов», info@gpniimr.uz)
Ганиев И.Н., Умаров А.З. (НУУз,), Ахмедов К.А. (ГП «Геолинформцентр»)*

Аннотация

С использованием комплекса полевых поисковых и специализированных металлогенических, рудно-формационных, геолого-структурных, геофизических методов, с приоритетом на дешифровочные, полевые заверочные и геохимические опробовательские работы сформулированы основные геологические атрибуты позиций, благоприятных для размещения золотого оруденения и составлены космоструктурная модель западного окончания Южно-Нуратинских гор.

Ключевые слова: Золото, космоструктура, линеаменты, цифровые космические снимки, дешифрирование, прогнозирование.

Одним из актуальных задач геологической науки Узбекистана в настоящее время является пересмотр под единым углом зрения особенности геологического строения и истории развития Западного Тянь-Шаня. При этом необходимо обеспечить исключительный «изолированность» в научных работах, комплексный - «геономический» подход. Как яркий пример допущенных ранее нежелательной «автономности» в исследованиях называется «недоучет данных результатов космической геологии, которые внесли и могут внести существенные коррективы в такие вопросы, как залегание рудоносных толщ под чехлом мезозоя-кайнозоя, их внутреннее строение, особенности распространения» [1]. Этим справедливым предостережением подчеркивается актуальность космоструктурных работ и еще во многом нераскрытые их возможности в решении различных геологических задач. Среди последних, важное место принадлежит прогнозным работам в закрытых территориях, где продуктивные на эндогенное оруденение домезозойские породы на современной эрозионной поверхности практически не обнажаются.

Характерным представителем описанных территорий в Узбекистане являются Южно-Нуратинские горы. Их золотоносность было известно ещё с древнейших времен, а на редкометаллоносность было обращено внимание после открытия в 1927 году молибденового, а впоследствии с 1934 года шеелитового Лянгарского месторождения. Повышению рудного потенциала территории на раннем этапе служили среднемасштабные геолого-съёмочные работы, завершившиеся с установлением большинства из известных в настоящее время проявлений золота, олова, вольфрама, бериллия и др. Благодаря этим работам Южно-Нуратинские горы являются одними из наиболее перспективных на золото регионов Узбекистана, характеризующихся высокой удельной золотопродуктивностью, превышающей 30 кг/км^2 [2].

Здесь традиционно на космофотоструктурные исследования линеаментов, дугообразных, концентрических и др. фотоаномалий, интегрированных с природными объектами на поверхности Земли обращается приоритетное внимание. Для этого были разработаны методологические, теоретические и практические подходы, учитывающие всё разнообразие имеющих материалов (дистанционных, геологических, техногенных, природных и др.) и позволяющие выработать единую стратегию обработки космофотоснимков, с целью извлечения полезной для расшифровки геологического строения и прогнозирования месторождений информации. По результатам этих работ современный облик западной части Южно-Нуратинских гор и прилегающих территорий воспринимается как отражение суммарного итога проявления процессов

доальпийских, альпийских и новейших тектонических движений, продолжающихся в слабой форме и в настоящее время. Складчатые сооружения, возникшие в процессе проявления вышеотмеченных этапов тектогенеза, четко проявлены в рельефе, в конкретных геотектонических позициях и границах каждого горного сооружения. Подобные участки земной поверхности маркируются границами различных ландшафтных зон, где природные факторы, позволяющие фиксировать на космофотоснимках вещественно-структурные фотосведения, выражены своеобразно и довольно существенно отличаются друг от друга.

На их основе выбраны наиболее информативные критерии и отдешифрованы фотоструктурные объекты, ряд линейных, дугообразных и концентрических структур. Результаты исследований сопоставлялись с материалами геологии, геофизики, контрольного дешифрирования и ранее составленными космофотоструктурными схемами. В результате разбраковки были отобраны наиболее достоверные единицы, представляющие поисковое значение. Среди них важное место занимает Западно-Нуратинская концентрическая структура центрального типа (ЗНЦСТ) которая на исследуемой площади в масштабе 1:200000 представлена в виде отдельных сегментов (юго-западного и северо-западного) с многозональным строением. В металлогеническом отношении огромный интерес представляют ее южные секторы, обрамляющие складчатые сооружения палеозойского фундамента и образующие Каратаускую ветвь Южно-Нуратинского хребта. В ее пределах расположены Алтынгазканское, Сармичское и Биранское рудные поля, а также другие объекты западного окончания Южно-Нуратинских гор. В их размещении немаловажное значение имеют и линейные структуры, особенно в позициях пересечения с различными частями концентрических структур.

Специальные методы обработки матриц современных цифровых космических снимков по рассматриваемой территории проводились с целью «просеивания» не имеющих прямого отношения предметам локального прогноза, второстепенных видов информации (растительность, влажность и др.), содержащихся в изображении поверхности. Используемые при этом методы АСР, ITS, «Индекс-IV», «Жирша», «Собея» и др. позволили создать стандартные цветовые композиции изображений. Они характеризуются высокой информативностью при целевой интерпретации благоприятных для размещения оруденения позиций в геологических образованиях, прогнозировании их поведения под чехлом молодых отложений, а также идентификации самостоятельных глубинных вещественно-структурных элементов геотектоники, названных «геоблоками структурных неоднородностей» [3].

Использование комплекса полевых поисковых и специализированных металлогенических, рудно-формационных, геолого-структурных и геохимических методов, с приоритетом на дешифровочные, полевые заверочные и геохимические опробовательские работы, позволили расшифровать основные признаки благоприятных для размещения золотого оруденения позиций и составить космоструктурную модель западного окончания Южно-Нуратинских гор масштаба 1:50000.

Литература

1. Далимов Т.Н., Ганиев И.Н. Эволюция и типы магматизма Западного Тянь-Шаня. - Ташкент: Университет, 2010. – 226с.
2. Пирназаров М.М. Состояние, размещение и предпосылки развития минерально-сырьевой базы золота Республики Узбекистан // Геология и минеральные ресурсы. - 2007. - № 5. - С. 81-89.
3. Эргашев Ш.Э., Аvezов А.Р. Усовершенствование методики дистанционных зондирований и пути повышения информативности аэрокосмофотоматериалов в условиях Узбекистана // Geologiya va mineral resurslar. - 2002. - № 2. - С. 10-17.

ЛИНЕАМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ КАК ДИСТАНЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Шагарова Л.В.* (igg_gis-dzz@mail.ru),

Канафин К.М. (km_kanat_2008@mail.ru), Муратова М.М. (igg_gis-dzz@mail.ru)

НАО «КазНИТУ имени К.И. Сатпаева» ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина»

Аннотация

С развитием космических систем материалы спутниковых съемок стали активно применяться в различных областях научных исследований. В данной статье речь идет о комплексном линеаментном анализе данных дистанционного зондирования Земли при гидрогеологических исследованиях Северного Прикаспия. В процессе гидрогеологического и линеаментного анализа с учетом параметров водоносности и водонасыщенности скорректированы границы известных водообильных зон и спрогнозированы дополнительные зоны перспективных площадей для поиска месторождений подземных вод.

Ключевые слова: линеаменты, гидрогеология, линеаментный анализ, дистанционное зондирование Земли.

Подземные воды Северного Прикаспия отличаются большим разнообразием размещения, производительности, гидродинамических и гидрохимических особенностей и условий формирования. Они обусловлены главным образом структурным и гипсометрическим положением водоносных отложений, их литологическим составом и степенью гидрогеологической закрытости. Сведения о гидрогеологических условиях по глубоким горизонтам ограничены (рисунок 1) и пополняются только за счет материалов, полученных в процессе поиска нефтегазоносных месторождений. В этой связи новые материалы доступны в основном в районах прибортовых частей впадины, где более доступна глубина залегания водоносных образований и меньше мощность водовмещающих отложений. В условиях различной степени информированности о глубинном строении объекта исследований в настоящее время всё большее применение находит отраслевое дешифрирование космоснимков.



Рисунок 1. Картограмма гидрогеологической изученности территории Северного Прикаспия

В геодинамических структурах протекающие физико-химические процессы приводят к изменению физических свойств горных пород, что способствует появлению аномалий физических полей. Некоторые объекты, выделяемые по данным ДЗЗ, являются результатом взаимодействия электромагнитных волн с аномалиями электромагнитного, магнитного, теплового, гравитационного полей. Наиболее чувствительным к флуктуациям флюидодинамических процессов является геотермическое поле. Эти аномалии по-разному отражаются в каналах оптических снимков в зависимости от их спектрального диапазона. Дистанционное изучение эндогенного геотермодинамического поля осуществляется по космоснимкам инфракрасного диапазона.

Все объекты и явления характеризуются теплоотдачей в окружающую среду, что отражается на интенсивности уходящего длинноволнового излучения, регистрируемого сенсорами космических аппаратов. Особое внимание уделяется тепловой инфракрасной съемке. ИК область спектра условно делится на 4 диапазона: ближний (0.76 - 3.0 мкм); средний (3 - 6 мкм); дальний (6 - 15 мкм) и очень далекий (> 15 мкм). Формирование изображений в ближнем инфракрасном диапазоне происходит в основном за счет отраженного солнечного излучения. Излучение в очень далекой части инфракрасного спектра практически полностью поглощается атмосферой. Наибольший интерес представляют данные ДЗЗ в среднем и дальнем диапазонах ИК области спектра. В указанных диапазонах распространяется собственное излучение объектов земной поверхности, при этом интенсивность ИК излучения обусловлена их тепловым состоянием. Большинство КА оснащены сенсорами, регистрирующими сигнал в средней (SWIR) и дальней (TIR) частях ИК области спектра.

Тепловые снимки, являющиеся информационной основой для изучения эндогенного геотермодинамического поля, требуют экспертной интерпретации, так как протяженные аномалии характеризуют различные структурные элементы. Протяженные относительно отрицательные аномалии соответствуют областям с пониженными значениями физических свойств пород разреза. Протяженные относительно положительные аномалии характеризуют области с повышенными значениями физических свойств пород разреза. Для теплового поля это зоны залегания пород с высокими теплофизическими свойствами, либо зоны разгрузки эндогенного тепла, для рельефа положительные формы обусловлены хребтами, грядями. Протяженные аномалии высоких градиентов характеризуют зоны возможного размещения тектонических нарушений, либо сочленения областей с резкой сменой физических свойств.

Линеаментный анализ отражает эти аномалии в виде прямолинейно организованных линейных сегментов с учетом масштаба данных. Линеаменты могут указывать на перспективные водоносные зоны, а также погребенные долины и эрозионные врезы, что актуально для территории Северного Прикаспия.

Учитывая вышеизложенное, необходимо проводить комплексный линеаментный анализ, который включает обработку данных SWIR-диапазонов (коротковолновый инфракрасный канал) и TIR-диапазонов (тепловой инфракрасный), а также цифровой модели SRTM, так как в рельефе линеаменты выражаются закономерно ориентированными зонами, образованными прямолинейными границами или спрямленными участками текстуры изображения.

Для обработки данных использовался алгоритм LINE, реализованный в программном обеспечении Geomatica в процедуре Lineament Extraction, позволяющий выделить протяженные аномалии. Этот численный метод построения линеаментов учитывает как постепенные, так и внезапные изменения градиента вдоль линеамента, а также незначительные изменения направлений. Инструмент LINE извлекает линейные

функции из изображения и записывает полилинии в векторный слой. Пороговые параметры, которые задаются для обработки:

- Радиус фильтра. Определяет размер ядра Гаусса в пикселях, используемого в качестве фильтра во время обнаружения границ. Чем больше значение, тем детальнее результаты.

- Градиентный порог. Линейные элементы определяются изменением интенсивности изображения, измеряемым градиентом.

- Пороговое значение длины. Определяет минимальную длину кривой в пикселях, которая рассматривается как линеамент.

- Пороговое значение угловой разности. Определяет максимальный угол в градусах между векторами для их объединения.

- Пороговое значение для формирования полилинии. Определяет допуск в пикселях для объединения прямолинейных штрихов к изогнутому линеаменту. Более низкое значение приводит к появлению большого количества коротких сегментов линии; высокое значение коэффициента обеспечивает шумоподавление, что выражается более длинными прямыми линеаментами.

- Пороговое значение расстояния связывания. Определяет максимальное расстояние в пикселях между двумя векторами для их связи.

Варьирование значений указанных шести параметров отражается на результате автоматического извлечения линеаментов, требует экспериментального задания и анализа при экстраполяции линейной функции.

Геометризация линеаментов включает:

- построение штрихов и формирование из них линеаментов численным методом;
- геометризацию линеаментов на топографической основе;
- дешифрирование элементов на снимках;
- статистическую обработку количественных данных.

Построение линеаментов территории Северного Прикаспия выполнено по доступным космическим снимкам Landsat-8/OLI, Terra/MODIS и Sentinel-2/MSI:

- SWIR-диапазон Landsat-8 (коротковолновый инфракрасный, канал 7);
- TIR-диапазон TERRA/MODIS (тепловой инфракрасный, каналы 31, 32);
- SWIR-диапазон Sentinel-2 (канал 12).

Тематической обработке космической информации предшествовал ряд дополнительных преобразований. Так, с целью повышения информативности данных ДЗЗ, проведена их атмосферная коррекция на основе сопоставления спектральных профилей однозначно интерпретируемых объектов с данными спектральных библиотек. Такой особый метод атмосферной коррекции реализован в ПО Geomatica. Для неширокополосных космоснимков с целью анализа и дешифрирования гидрогеологических условий по всей исследуемой территории создано единое композитное изображение. Так, ортофотомозаика Landsat-8 территории Северного Прикаспия состоит из 10 стандартных сцен нарезки по системе WRS-2.

Все выделенные аномалии разделены на две группы: линейные, интерпретируемые как возможные эрозионные врезы или погребенные долины, и площадные, отражающие блоковые структуры. Для площадных структур проведен анализ характеристик пространственного распределения пикселей изображения.

При линеаментном анализе использован также показатель линейной плотности линеаментов. Линейная плотность рассчитывается как суммарная протяженность всех линеаментов в квадрате сетки. Повышенные значения линейной плотности линеаментов рассматривался в качестве определителя транзита подземных вод и показателя общей тектонической раздробленности территории.

Ориентация линеаментов определяется роз-диаграммой, отображающей

направление частоты и длины линеаментов на исследуемой территории. Азимут против часовой стрелки от горизонтальной оси (0°) представляет собой направление; радиус от начала координат соответствует частоте и длине линеаментов.

Таким образом, на основе данных ДЗЗ выделены протяжённые аномалии рельефа и теплового поля, предположительно обусловленные погребёнными речными долинами. Сеть выделенных аномалий имеет в основном юго-восточное и юго-западное направление в сторону Каспийского моря, аномалии юго-восточного направления имеют заметно более высокие значения амплитуд. Результаты анализа рельефа и теплового поля сопоставлены с имеющимися фактическими данными по водопунктам. Комплексный линеаментный анализ территории Северного Прикаспия применен для изучения гидрогеологических условий региона, прогнозного выделения перспективных водоносных зон (рисунок 2).

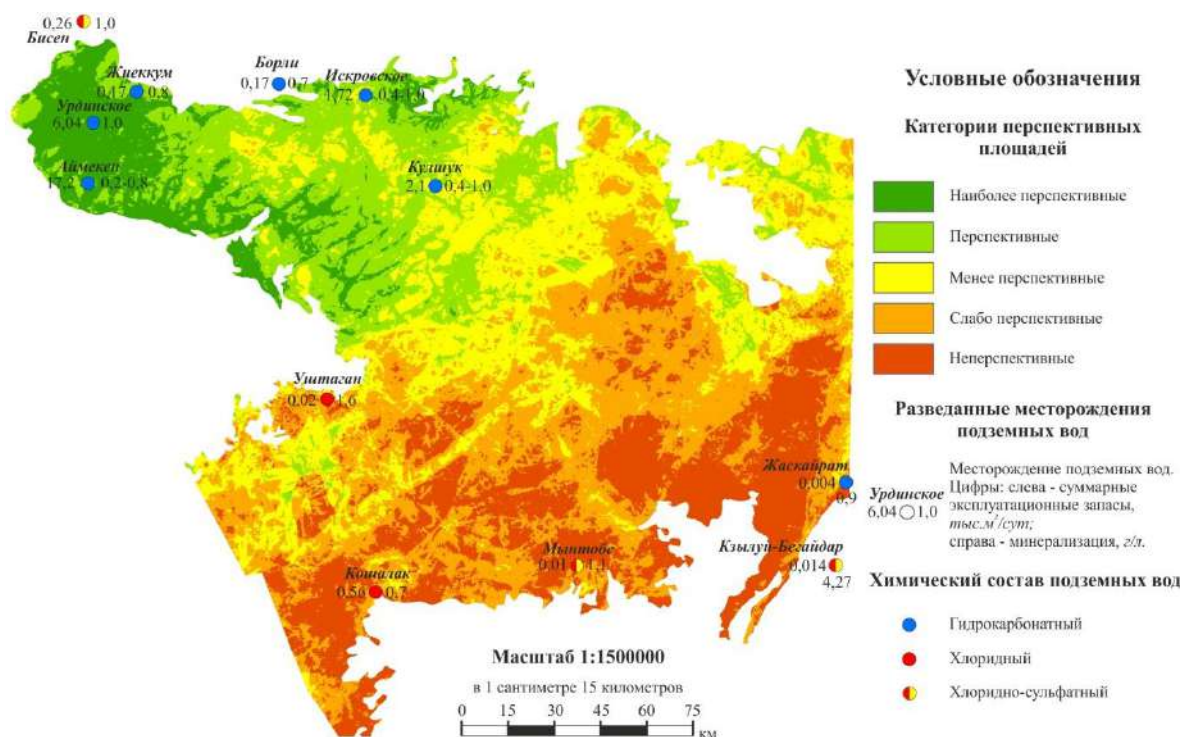


Рисунок 2. Карта перспективных площадей для поиска месторождений подземных вод

Детальное изучение категорий перспективных площадей, выделенных с применением дистанционного метода, требует привлечения наземных гидрогеологических и геофизических исследований.

Литература

1. Копылов И.С. Поиски и картирование водообильных зон при проведении гидрогеологических работ с применением линеаментно-геодинамического анализа. Научный журнал КубГАУ, №93(09). 2013.

2. Шагарова Л. В., Муртазин Е.Ж. Об основных этапах обработки оптико-электронных данных ДЗЗ для построения линеаментов с целью решения гидрогеологических задач // Доклады XIII Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле», 5-7 апреля 2017г. Т.2. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2017. – С.230-231.

3. Casas A., Cortes Angel L., Maestro A., Soriano M., Riaguas A., Bernal J. A program for lineament length and density analysis / Computers and Geosciences, Vol. 26, No. 9/10, 2000. – P. 1011-1022.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДЕШИФРИРОВАНИИ.

Широков Д.Н. (Российский университет дружбы народов, den_545@mail.ru)*

Карелина Е.В. (Российский университет дружбы народов, elkarelina@mail.ru)

Марков В.Е. (Российский университет дружбы народов, vemarkov@yandex.ru)

Шендрикова С.Г. (Российский университет дружбы народов,

svetlana.shendrikova.94@mail.ru)

Аннотация

В данной работе рассматриваются возможности применения компьютерных технологий в дешифрировании космических снимков для целей картографирования территорий на примере северной части Приуральяского района Ямало-Ненецкого автономного округа.

Ключевые слова космический снимок, компьютерные технологии, ГИС-технологии, ArcGIS, дешифрирование, карта.

В наши дни компьютеризация и цифровизация применяются во всех сферах деятельности человека. Геологическая отрасль не является исключением и активно использует компьютерные и цифровые технологии.

Развитие науки и техники позволило получать высококачественные снимки с космических спутников, благодаря которым стало возможным проводить качественное дешифрирование и картировать труднодоступные районы, районы с неблагоприятными климатическими условиями.

Одним из таких районов является Приуральяский район Ямало-Ненецкого автономного округа, точнее его северная часть. Большое количество рек, заливов, болот и озер, близкое расположение холодного Карского моря, наличие многолетней мерзлоты – все это определяет климат исследуемого региона. Для данной местности характерна длительная зима (до 8 месяцев) и короткое лето, сильные ветра и небольшой снежный покров.

В таких условиях время на проведение картирования местности сильно ограничено, а сам процесс довольно затруднителен и опасен. При таких обстоятельствах применение компьютерных методов картографирования будет надежным способом для достижения качественного результата поставленной цели.

В XXI веке обработка данных космических снимков проводится благодаря развитию ГИС-технологий и программ обработки данных дистанционного зондирования (ДЗ).

Благодаря широкому разнообразию параметров снимков разных спутников: различное пространственное разрешение снимка, зоны спектра, размер кадра, - стало возможным подобрать снимок, соответствующий поставленной задаче. Для данной работы были выбраны снимки Landsat TM.

Обработка ДЗ в последнее время все более тесно интегрируется с ГИС. ГИС-пакет ArcGIS содержит широкий спектр функций для работы с растровыми данными, что обеспечивает возможность обработки ДЗ и использования аналитических функций ГИС. В то же время ГИС-пакет ArcGIS обладает развитыми функциями картографической визуализации пространственных данных[2].

Визуальный сопоставительный анализ нескольких зональных снимков на экране малоэффективен, поэтому разработаны и применяются разнообразные преобразования, преследующие две цели: сжать информацию, т.е. получить одно изображение вместо нескольких, и улучшить визуальное восприятие снимка. В ArcGIS для синтезирования

цветного изображения предназначен инструмент «Объединить каналы» группы инструментов «Растр». [4].

В нашем случае путем объединения 1-го (голубой), 2-го (зелёный), 3-го (красный), 4-го (ближний инфракрасный), 5-го (инфракрасный), 6-го (тепловой, пониженное усиление low gain) и 7-го (инфракрасный специальный) каналов, мы получили 7-канальный синтезированный растр. Монитор компьютера может отобразить только 3 канала. По умолчанию отображаются 1-ый, 2-ой и 3-ий каналы, которые соответствуют оттенкам синего, зелёного и красного цветов.

Для дальнейшего дешифрирования снимка необходимо приведение растра, используемых для классификации к единому масштабу, так как размах значений (разность между максимальным и минимальным) различен у каждого канала. Чтобы избежать подавляющего влияния на классификацию каналов с большим размахом, прежде, чем использовать автоматическую классификацию (дешифрирование), необходимо сделать одинаковым размах значений всех каналов, которые будут участвовать в классификации.

В ArcGIS для выполнения этой задачи предназначен инструмент «Калькулятор растра» группы инструментов «Алгебра карт» класса Spatial Analyst.

Далее мы переходим к автоматическому дешифрированию снимка. Автоматическое дешифрирование в ArcGis может проводится в двух режимах – неконтролируемом и с использованием эталонов, которые называются сигнатурами. Сигнатуры можно создать автоматически или вручную.

В нашей работе мы использовали дешифрирование с использованием сигнатур созданных вручную.

Для создания сигнатур нам необходимо создать в ArcCatalog новый шейп-файл полигональной геометрии, загрузить созданный файл в проект, начать редактирование и записать в него полигоны «эталонных участков», используя для идентификации поле ID таблицы атрибутов. Эталон может быть представлен несколькими участками (но должен иметь одно и то же значение в поле ID таблицы атрибутов т.е. номер класса).

При создании эталонов используются разные сочетания видимых каналов. С помощью инструмента «Создать сигнатуры» группы инструментов «Многомерность» необходимо запустить процедуру создания сигнатур.

Для оценки степени различия сигнатур была применена древовидная схема объединения классов, на которой видно, что созданные сигнатуры образуют три группы, достаточно хорошо различимые между собой.

Оценка степени достоверности выделения классов проводилась помощью инструмента «вероятность классов» группы инструментов «многомерность».

Затем была использована классификация по методу максимального правдоподобия и применен инструмент «фильтр большинства».

Сопоставив полученное изображение с геологической картой изучаемой территории (рис.1) нам удалось выделить преобладающее сходство геологических границ, что позволяет сделать вывод о положительном применении компьютерных технологий в дешифрировании и использовании космических снимков для построения карт различного характера. Также анализирую полученную карту с геологической (рис.1) выделяются и расхождения в геологических границах, которые показывают необходимость дополнительных мероприятий по уточнению границ в данных частях.

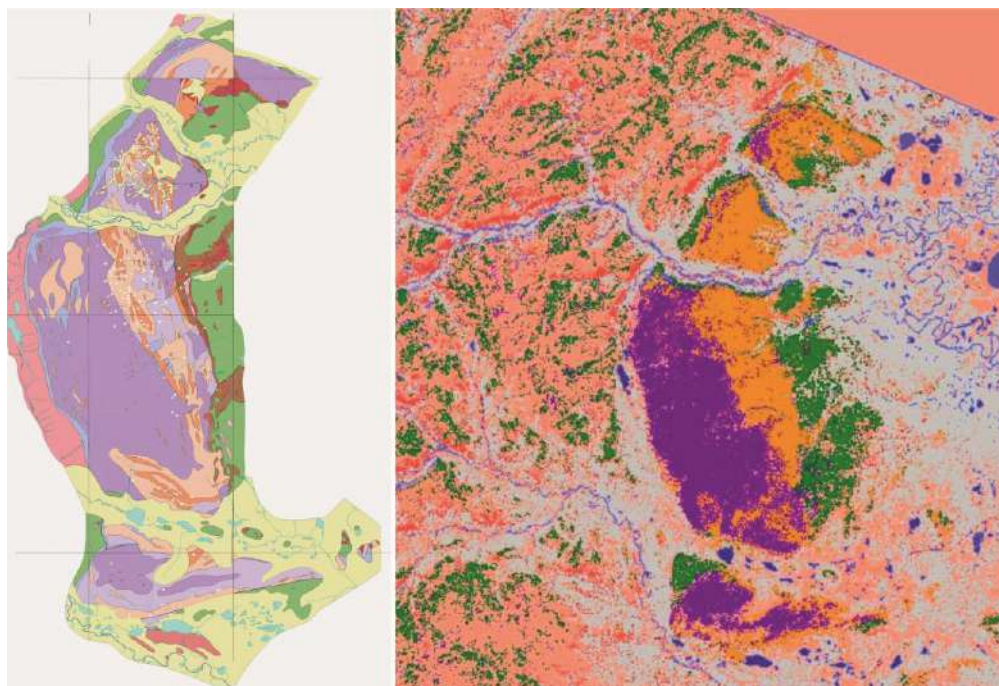


Рисунок 1. Сопоставление полученной карты с геологической картой изучаемой территории

Литература

1. Варфоломеев А. Ф., Коваленко Е. А., Манухов В. Ф. ГИС-технологии при изучении и оценке взаимосвязи пространственного распространения почвенного покрова и рельефа // Геодезия и картография. – 2013. – № 7. – С. 47–53. 7
2. Ивлиева Н. Г., Росяйкина Е. А. Обработка данных дистанционного зондирования Земли в ГИС-пакете ArcGIS [Электронный ресурс] // Огарев-online. Раздел "Науки о Земле". – 2015. – № 4.
3. Князева Г. Н., Манухов В. Ф., Щевелева Г. М. Информационно-компетентностное сопровождение образовательного процесса в акмеологическом аспекте // Интеграция образования. – 2015. – Т. 19, № 2. – С. 73–80.
4. Лабутина И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: учеб. пособие для студентов вузов. – М.: АспектПресс, 2004. – 184 с.

ОЦЕНКА ОПЦИОНОВ. МОДЕЛИ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ ОПЦИОНОВ.

Абдуллаев О.Р. (ПАО «Совкомбанк», МГРИ, e-mail: cven@mail.ru)

Поляков В.М. (МГРИ, e-mail: texnoles@mail.ru)

Аннотация

В статье систематизированы основные модели определения цены опционов. На данный момент опцион – самый сложный финансовый инструмент, используемый на биржевом и на внебиржевом рынках, дающий серьезное преимущество для трейдера из-за возможности получения неограниченного дохода при лимитированном риске, применения более эффективных схем хеджирования и осуществления торговли волатильностью.

Ключевые слова: опцион, метод Монте-Карло, модель Хестона, модель Кокса – Рубинштейна, модель Блэка – Шоулза.

Финансовый рынок характеризуется нестабильностью и высокой степенью риска, и неопределенностью. Инвестирование в первичные активы (акции, АДР или паи инвестиционных фондов) сопряжено с неконтролируемым риском и неопределенностью в получении результатов инвестиций. Эта неопределенность и риск порождаются наличием случайных и неконтролируемых факторов характеризующий экономическую среду, в данном случае рынок ценных бумаг [1, 2]. В мировой финансовой практике одним из способов уменьшения риска и неопределенности является использование различных деривативов и структурных продуктов, в том числе опционов. Следует различать две ситуации приобретения опционов. Первая это тогда, когда опцион приобретается с целью дальнейшей покупки активов для долговременного хранения. В этой ситуации опцион позволяет консолидировать необходимые для выкупа средства, снизить издержки в случае ошибочности намерения приобрести актив. В этой ситуации есть неопределенность будущей ценности активов, после их выкупа. Другая ситуация возникает при использовании опционов для целей хеджирования и спекуляций. Здесь все происходит в короткие периоды времени, неопределенность экономической обстановки уменьшается, операции покупки-перепродажа опционов происходят многократно, при колеблющихся на них ценах. В этой ситуации на первую позицию выходит риск убытков от случайного колебания цены опционов, и не верных действий с ними. Эту ситуацию мы рассмотрим более подробно.

В большинстве случаев на рынке обращаются одиночные опционные контракты, либо стандартные опционные стратегии: колл/пут., и другие опционные стратегии [6]. С помощью таких стратегий не всегда могут быть реализованы инвестиционные цели и требования инвестора, содержащие сложные (нелинейные) целевые показатели доходности и/или ограничения по риску и стоимости [5]. По этой причине исследования в области более гибких систем инвестирования в фондовый рынок с оптимальным соотношением доходности, риска и стоимостью опционного продукта являются актуальными.

Как производный финансовый инструмент опцион должен обладать двумя составляющими [3]:

- право владельца использовать или не использовать опционы по собственному усмотрению;
- наличие согласованной цены.

При определении рыночной стоимости опциона необходимо учитывать следующие три фактора:

1. Цена базисного актива, или стоимостная оценка актива, – значение цены, рассчитываемое на основании одного или нескольких показателей, или условия, которые базируются на соответствующих параметрах другого финансового инструмента, который будет являться базовым. В качестве базового актива по срочному договору могут выступать: ценные бумаги; биржевые товары; валюта; процентные ставки; уровень инфляции и др.

2. Время до истечения срока действия опциона влияет на величину премии за риск, так как при одной и той же цене поставки базового актива, указанной в контракте, премия за риск тем выше, чем дальше до истечения срока действия опциона.

3. Процентная ставка по опциону зависит от степени изменчивости инструмента – чем больше волатильность актива, тем выше неопределенность в предсказании будущей цены, а значит, и премия за риск, которую должен получить продавец опциона.

Для вычисления стоимости опциона постулируются свойства стохастического (случайного) процесса, моделирующего поведение цены базового актива, лежащего в основе опционного контракта. Параметры такой модели оцениваются на основании исторических данных.

Одним из важнейших статистических параметров, влияющих на величину премии, является волатильность цены базового актива. Чем она больше, тем выше случайность в предсказании будущей цены, и, следовательно, больше премия за риск, которую должен получить продавец опциона.

Второй важный параметр, также непосредственно связанный с неопределённостью, — это время до истечения опциона. Чем дальше до этой даты, тем выше премия (при одной и той же цене поставки базового актива, оговоренной в опционном контракте).

В основе всех математических моделей по расчёту цены опциона, лежит идея эффективного рынка - гипотеза, согласно которой вся существенная информация немедленно и в полной мере отражается на рыночной курсовой стоимости ценных бумаг. Наиболее популярные опционные модели ценообразования приведены в работе [5]:

Модели со стохастической волатильностью:

1. *Имитационное моделирование (метод Монте-Карло)* [4] - метод наиболее полно характеризует всю гамму случайностей, с которой может столкнуться реальный инвестиционный проект, и через задаваемые изначально ограничения позволяет учитывать всю доступную проектному аналитику информацию. Иными словами, это статистический метод, основанный на вероятностном распределении и большом числе повторяющихся экспериментов. Суть данного метода заключается в построении модели, состоящей из случайных величин, над которыми проводится серия экспериментов с целью выявления влияния исходных данных на зависящие от них величины.

Недостатком данного подхода, состоит в том, что он предполагает многократное вычисление случайных величин цены опциона. Таким образом, каждый раз формула для вычисления стоимости опциона будет давать разные приближенные значения, которые могут представлять из себя далеко от реальных.

2. *Модель Хестона* [7] - модель предполагает, что S_t , цена актива, определяется стохастическим процессом:

$$dS_t = \mu_t dt + \sqrt{v_t} S_t dW_t^S,$$

где v_t мгновенная дисперсия, задаваемая процессом CIR:

$$dv_t = k(\theta - v_t)dt + \xi \sqrt{v_t} dW_t^v,$$

где dW_t^S , dW_t^V - винеровские процессы (то есть случайные блуждания) с корреляцией ρ , или, эквивалентно с ковариацией ρdt ;

μ - частота возвращения актива;

θ - длинная дисперсия или длинное среднее дисперсии цены; при стремлении t к бесконечности, ожидаемое значение v_t стремится к θ ;

k - частота, с которой v_t возвращается к θ ;

ξ - волатильность волатильности, т.е. она определяет дисперсию v_t .

Таким образом, в модели Хестона базовый актив следует эволюционному процессу рынка. При использовании данной модели в большей степени, чем в предыдущей, учитывается важная характеристика рынка его волатильность. Следовательно, модель Хестона обеспечивает универсальную структуру моделирования, которая может учитывать многие специфические характеристики, которые обычно наблюдаются в поведении финансовых активов.

Модели стохастической волатильности рассматривают одну из наиболее ограничительных гипотез модели Блэка – Шоулза, а именно предположение, что волатильность остается постоянной в течение срока действия опциона.

Модель с постоянной волатильностью:

3. *Модель Блэка – Шоулза* [6] – наиболее широко используемая модель для расчета стоимости опциона. Наилучший выбор для европейских опционов на ценные бумаги, индексов или долговых обязательств правительств. Данная модель определяет теоретическую цену на европейские опционы, допускает, что если базовый актив торгуется на рынке, то цена опциона устанавливается самим рынком.

Цена европейского опциона на покупку (calloption):

$$C(S, t) = SN(d_1) - Ke^{-r(T-t)}N(d_2),$$

где:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) - \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T-t}$$

Цена европейского опциона на продажу (putoption):

$$P(S, t) = Ke^{-r(T-t)}N(d_2) - SN(d_1)$$

где,

$C(S, t)$ - текущая стоимость опциона call в момент t до истечения срока опциона;

S - текущая цена базисной акции;

$N(x)$ - вероятность того, что отклонение будет меньше в условиях стандартного нормального распределения;

K - цена исполнения опциона;

r - безрисковая процентная ставка;

$(T - t)$ - время до истечения срока опциона (период опциона);

σ - волатильность (квадратный корень из дисперсии) базисной акции.

Ключевым элементом модели ценообразования опционов Блэка - Шоулза является ожидаемая волатильность базового актива. При колебании актива цена на него возрастает или понижается, что прямо пропорционально влияет на стоимость опциона, тогда, если известна стоимость опциона, определяется уровень волатильности, ожидаемый рынком.

Данная модель получила широкое распространение на практике, так как может использоваться для оценки производных финансовых инструментов, включая варранты, конвертируемые ценные бумаги, а также для оценки собственного капитала финансово зависимых фирм.

Модель Блэка - Шоулза используется при принятии инвестиционных решений прежде всего для поиска недооцененных опционов, чтобы их продать, или переоцененных, чтобы их купить; для хеджирования портфеля с целью понижения риска при низкой волатильности; для оценки рыночных предпосылок будущей волатильности акции. Трейдеры используют данную модель для сравнения текущих значений цен с теоретическими.

Эмпирические исследования показывают, что модель Блэка-Шоулза очень предсказуема, что означает, что она генерирует цены опционов, которые очень близки к фактической цене, по которой опционы торгуются. Она также имеет тенденцию искажать цены опционов, которые включают акции с высокими дивидендами. Некоторые допущения модели также делают ее менее чем на 100% точной. Во-первых, модель предполагает, что безрисковая ставка и волатильность акций являются постоянными. Во-вторых, предполагается, что цены на акции являются постоянными и что крупные изменения. В-третьих, модель предполагает, что акция не выплачивает дивиденды до истечения срока ее действия. В-четвертых, модель подходит для прогнозирования цен опционов на длительный период, в то время как, брокерские сделки, в основном, сосредоточены на короткий период.

Однако, несмотря на все эти допущения, модель Блэка-Шоулза представляет собой важный вклад в эффективность опционов и фондовых рынков, и она по-прежнему является одним из наиболее широко используемых финансовых инструментов. Помимо предоставления надежного способа определения цены опционов, он помогает инвесторам понять, насколько чувствительна цена опциона к изменениям цены акций. Это, в свою очередь, помогает инвесторам максимизировать эффективность своих портфелей, предоставляя им возможность рассчитывать коэффициенты хеджирования и более эффективно осуществлять страхование портфеля.

Для того чтобы воспользоваться моделью Блэка-Шоулза при оценке ценообразований опционов на короткий период, необходимо учесть вышеперечисленные допущения. На данный момент, предлагается программный продукт, в котором брокеру при небольших затратах во времени может дать оценку рассматриваемого опциона.

Литература

1. Агаларов З.С., Поляков В.М. Многокритериальность в задачах планирования инвестиций //Контроллинг. 2017. № 4. С.16-23.
2. Агаларов З.С., Поляков В.М. Современные требования к математическому моделированию инвестиций //Микроэкономика.2015. № 2. С. 6-9.
3. Твардовский В.В. 2007. Цикл лекций «Торговля на срочном рынке».
4. http://www.sproducts.ru/Downloads/2009.04_Monte_Carlo_Options_Valuation_1.pdf
5. Nau R.F., Smith J.E. Valuing Risky Projects: Option Pricing Theory and Decision Analysis // Management Science. – 1995. – Vol. 41, № 5 (May).
6. Бруслова Н. 2004. Оценка инвестиционных проектов методом реальных опционов. Финансовый директор. (7)
7. <https://www.hoadley.net/options/bs.htm>

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК ВЗРЫВА

Бондаренко В.М. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, bonvladimir@yandex.ru), Шавьер Л.де Ж.А (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, lucia.xavier@mail.ru),*

Аннотация

Предложена модель механизма образования кимберлитовых трубок взрыва в виде всплывающего газового пузыря (лидера), образовавшегося в астеносфере, и следующей за ним магмой. Приводится экспериментальное и расчетное обоснование этой гипотезы.

Ключевые слова: газовый пузырь, всплытие, число Архимеда, выталкивающая сила, вязкость вещества.

Известные в настоящее время модели алмазоносных кимберлитовых трубок включают описание вмещающих и перекрывающих пород, особенностей состава пород трубки, ксеногенного материала, индикаторных минералов и алмазов (Харькив А.Д. и др., 1998). Но в этих моделях не обсуждаются механизмы подготовки и реализации процесса кимберлитового магматизма. Понимание именно этого механизма позволит прогнозировать новые кимберлитовые поля.

В связи с указанным целью работы – создание и обоснование модели механизма образования кимберлитовых трубок взрыва.

Модель образования трубок взрыва включает две фазы. Первая из них моделирует создание цилиндрического канала в земной коре, вторая – транспортировку кимберлитовой магмы к земной поверхности.

Основным элементом первой фазы предложенного механизма образования трубок взрыва является «всплывание» в литосфере образовавшегося в астеносфере газового пузыря. Конечно, трудно представить, что газовой пузырь может беспрепятственно пройти земную кору толщиной 40 км. Но физическое моделирование подтверждает реальность этой гипотезы.

Физическое моделирование выполнила сама Природа. Уникальные фотографии прохождения воздушных пузырьков через лед озера Байкала сделал фотографом А. Прутенским (рис. 1). Видно, что в толще льда воздушные пузырьки проделали цилиндрические каналы.

Подобие механизмов всплытия газовых пузырей во льду и земной коре было оценено по числу Архимеда, которое является критерием подобия двух гидродинамических явлений:

$$Ar = \frac{gr^3(\rho_f - \rho_s)}{v^2 \rho_f} = \frac{gr^3}{\mu^2 / \rho_f} (\rho_f - \rho_s), \quad (1)$$

где g – ускорение силы тяжести, м.с^{-2} ; r – радиус газового пузыря в форме сферы, м ; $v = \mu/\rho$ – кинематическая вязкость вещества, $\text{м}^2.\text{с}^{-1}$; μ – динамическая вязкость, Па.с ; ρ_f – плотность вещества, в котором всплывает сфера плотностью ρ_s , кг.м^{-3} . Ar – безразмерная величина.

Число Архимеда для льда вязкостью $\mu = 10^{14}$ Па.с и плотностью $\rho_f = 0,9 \cdot 10^3$ кг.м⁻³, в котором всплывает сфера радиусом $r = 10^{-3}$ м, и плотностью водяного пара, заполняющего сферу при температуре $T = 15^\circ\text{C}$ $\rho_s = 12,8 \cdot 10^{-3}$ кг.м⁻³, при этом разница $\rho_f - \rho_s$ по математическому порядку величины составляет $0,9 \cdot 10^3$, будет равно



Рисунок.1. В марте на Байкале появляется аэрированный лед, или лед, насыщенный пузырьками воздуха. Нагреваемый солнечным теплом, воздух поднимается к поверхности, пробивая в толще абсолютно прозрачного льда тонкие каналы – иголки (фотография А. Прутенского, Россия). Вид с ребра льдинки.

$$Ar_{\text{льда}} = \frac{10 \cdot 10^{-9} \cdot 0,9 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 10^3}{10^{28}} = 8,0 \cdot 10^{-29}$$

Число Архимеда для земной коры вязкостью $\mu = 10^{21}$ Па.с и плотностью $\rho_s = 2,7 \cdot 10^3$ кг.м³, в которой всплывает сфера радиусом $r = 10^2$ м и плотностью водяного пара, заполняющего сферу при температуре $T = 1500^\circ\text{C}$ $\rho_c = 2,1 \cdot 10^3$ кг.м⁻³, разностью $\rho_f - \rho_s = 6 \cdot 10^2$ кг.м⁻³, будет равно

$$Ar_{\text{з.к.}} = \frac{10 \cdot 10^6 \cdot 2,7 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^2}{10^{42}} = 1,6 \cdot 10^{-29}$$

Равенство чисел Архимеда по порядку математической величины означает, что механизмы всплытия сферы, заполненной водяным паром, одинаковы во льду и земной коре.

Но возникает вопрос, куда же перемещается вещество, ранее заполняющее полый цилиндр, появившейся после ``всплытья`` газового пузыря. Во всех гипотезах, описывающих в настоящее время образование трубок взрыва, предполагается, что порода из трубки была выброшена в атмосферу мощнейшим взрывом, возникшем в астеносфере, по аналогии с вулканическим извержением.

В предлагаемом механизме предполагается, что при «всплытии» газовый пузырь «раздвигает» породы земной коры подобно тому, как гвоздь или пуля проходят через деревянную доску, не оставляя опилок. Это предположение находит подтверждение в конфигурации гравитационного поля, которое создаётся кимберлитовыми трубками взрыва. Локальные, небольшой амплитуды максимумы на кривых Δg приурочены к краям цилиндрических диатрем, т.е. к местам уплотнения вмещающих пород, возникших в процессе их раздвижения «всплывающим» газовым пузырем.

На стадии неразвитого кипения астеносферы возникают газовые пузыри малого диаметра и, соответственно, образуются трубки взрыва диаметром до 100 м.

На стадии развитого кипения радиус газовых пузырей должен уменьшаться за счет повышения температуры, но одновременно с повышением температуры происходит резкое возрастание парообразования. Этот процесс приводит к увеличению размеров газовых пузырей и, соответственно, диаметра трубок до 100 – 200 м.

Стадия пленочного кипения астеносферы возникает во время дальнейшего повышения температуры. Прорыв паровой плёнки осуществляется газовыми пузырями большого радиуса и, следовательно, обладающих значительно большей величиной силы всплытия (архимедовой силой), что приводит к образованию трубок взрыва максимально большого диаметра (около 1000 м).

Предположений механизм позволяет понять появление трубок взрыва разного диаметра в любой алмазоносной провинции.

После формирования газового пузыря в кипящем веществе астеносферы он может всплыть, если приобретет выталкивающую архимедову силу F_a , равную сумме сил сопротивления F_{Σ} , создаваемых давлением F_p и вязким сопротивлением F_{μ} . Если принять (Теркот Д. и др., 1985):

$$F_{\Sigma} = 6 \pi \mu r U, F_a = (\rho_f - \rho_s) g (4/3) \pi r^3,$$

где U – скорость всплытия газового пузыря (другие обозначения см для формулы (1)), то равенство этих сил для указанных выше физических параметров земной коры наступает при значениях U по порядку величины 10^{15} м.с⁻¹ либо при $r \geq 10^4$ м. Оба предела являются нереальными: первый предполагает время всплытия газового пузыря большее, чем абсолютный возраст Земли, а второй – наличие кимберлитовых трубок взрыва такого радиуса, которые не были обнаружены ни в одной из девяти стран, ни в одном алмазоносном поле.

Основным физическим параметром, который увеличивает силу сопротивления вещества движению в нем газового пузыря, является коэффициент вязкости. В начальный и последующие моменты всплытия возникают биения газового пузыря, порождающие мощные упругие волны, приводящие к появлению «тарелок» откола – конусообразного микроразрушения пород на границах пластов пород с различными сейсмическими свойствами, что понижает их вязкость. Этот эффект был обнаружен при идентификации подземных ядерных взрывов и в настоящее время получил подтверждение в работе (Ходня М.С., 2019). Анализ образцов керна из скважин, пробурённых вблизи известных кимберлитовых трубок в Якутской алмазоносной провинции, показал наличие флюидоразрывных и взрывных образований во вмещающих породах.

Действием этого же эффекта объясняется разуплотнение пород вблизи земной поверхности, выбросом их лопнувшим газовым пузырем и образование кратерной части трубки.

Вслед за лидером (газовым пузырем), образующим вакуум, поднимается магма. Предельное время остывания магма определяется соотношением

$$t = r^2/\chi,$$

где κ – температуропроводность вмещающих пород, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.

Для $r = 100$ м и $\kappa = 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ получаем предельное $t = 10^7 \text{ с} \sim 0,3$ года ~ 4 месяца. Этому времени соответствует скорость движения магмы (и газового пузыря) в земной коре $U = 4 \cdot 10^4 / 10^7 \text{ с} \sim 14,4 \text{ м} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Таким образом, предложенная динамическая модель объясняет:

- появление цилиндрического канала в земной коре как итог всплытия газового пузыря, подтверждённое экспериментальными данными и расчетами;
- образование кратерной части кимберлитовых трубок в результате формирования тарелки откола сейсмическими волнами, генерируемыми всплывающим газовым пузырем;
- заполнение цилиндрической пустоты кимберлитовой магмой за время, ограниченное температуропроводностью вмещающих пород.

Литература:

1. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Изд. Недра.
2. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. М.: Изд. Мир. 1985. 731 с.
3. Ходня М.С. Флюидоразрывные карбонатные образования Накынского алмазоносного поля Якутии как признаки кимберлитоконтролирующих структур. Автореф. дис. М.2019. 23 с.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА СГ-ЧД ПРИ ПОИСКАХ ЖИЛЬНЫХ ТЕЛ НА ТЕРРИТОРИИ ДЕТРИНСКОЙ ПЛОЩАДИ (МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ)

Вагин Н.В. (МГРИ, fox-niks@yandex.ru)

Аннотация

Электроразведку применяют для решения практически всех задач, при которых используются геофизические методы. При электропрофилировании на участках со сложным геоэлектрическим разрезом (например, в областях развития карста, в пределах сложно построенных рудных полей и т.п.) условия заземления питающих электродов могут оказать существенное влияние на форму графика кажущегося удельного электрического сопротивления ρ_k и сильно исказить его. Для уменьшения искажающего влияния неоднородной среды вблизи заземлений применяют модификацию электропрофилирования с неподвижными питающими электродами - съемку срединных градиентов (СГ). При этой модификации профилирования токовые электроды A , B - неподвижны, а приемные электроды M , N перемещают вдоль профилей, параллельных линии AB . Совокупность этих профилей образует «планшет» (рис.1).

Ключевые слова. Съёмка срединных градиентов; частотная дисперсия; электропрофилирование.

Профили наблюдений располагались в средней трети от длины питающей линии AB и были ориентированы вкрест простирания основных потенциально рудолокализирующих структур. Основными целями исследований являлись: локализация и прослеживание структур, определение параметров и морфологии предполагаемых штокверковых зон, отдельных мощных жильково-жильных тел. В пределах участка развития наиболее интенсивных вторичных ореолов рассеяния золота на площади $1600 \text{ м} \times 700 \text{ м}$ было проведено электропрофилирование методом СГ-ЧД. По результатам интерпретации геофизических данных выделены области и зоны высокого удельного электрического сопротивления ($2500\text{--}6000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) общей протяженностью более 1600 м , имеющие сложное строение. Оно обусловлено наличием локальных линейных аномалий сопротивления ($4000\text{--}8000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), которые на заверенных участках пространственно совпадают с жилообразными телами потенциально рудоносных метасоматитов, прослеживаемых по этому признаку до $300\text{--}500 \text{ м}$ (рис. 2). Юго-западный фланг участка геофизических работ характеризуется отрицательными значениями коэффициента частотной дисперсии (Кчд), который отождествляется с ореолом слабо- ($-0,25$ усл. ед.) и интенсивно- ($-0,25 - -0,5$ усл. ед.) сульфидизированных пород.

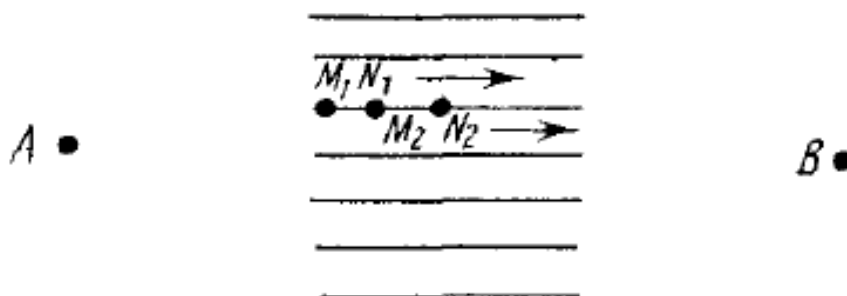


Рисунок 1. Установка с фиксированными питающими заземлениями (СГ)

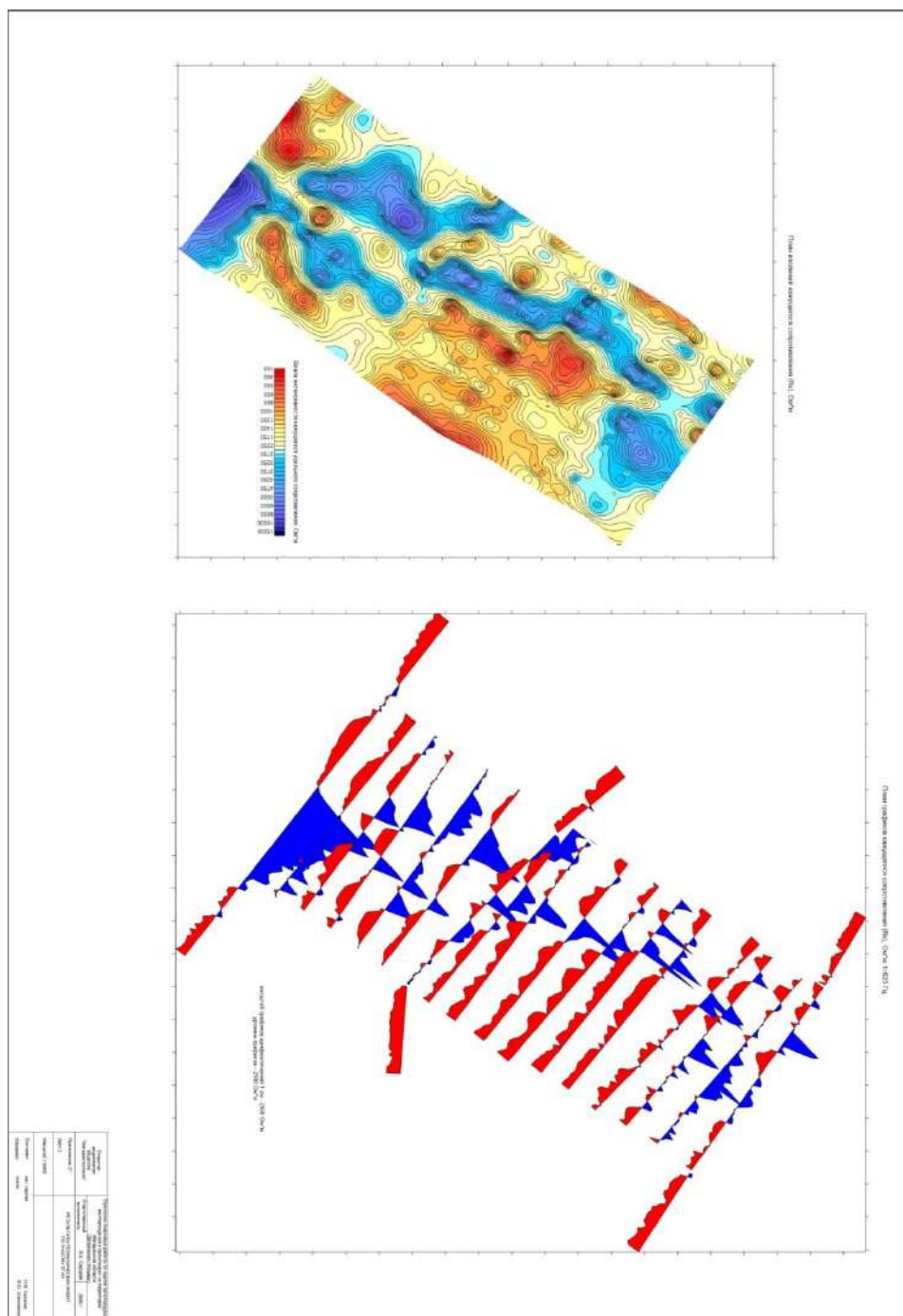


Рисунок 2. Карта графиков и изолиний по методу СГ-ЧД

Литература

1. Якубовский Ю.В., Ляхов Л.Л. Электроразведка. Издание третье, переработанное и дополненное. М., «Недра», 1974, -376 с.
2. Якубовский Ю.В., И.В. Ренард Электроразведка. Издание третье, переработанное и дополненное. М., «Недра», 1991 - 359 с.
3. Блох И.М. Электропрофилирование методом сопротивлений. - М.: Госгеолтехиздат, 1962. - 240 с.
4. Хмелевский В.К., Шевнин В.А. Электроразведка методом сопротивлений: учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1994.-160с.: ил. ISBN 5-211-03303-5.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОРУДНОГО УЧАСТКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУКАРИ В ГГИС MICROMINE

*Шарафелдин Х. Э. (МГРИ. hanisharfeldin@gmail.com),
Верчеба А.А (МГРИ. aa_ver@mail.ru)*

Аннотация

Минерально-сырьевая база золота Египта базируется на ресурсном потенциале месторождения Сукари, относящегося к золото-кварц-малосульфидной рудной формации.

По результатам моделирования геологической структуры месторождения в ГГИС “Micromine” и распределения золоторудной минерализации нами установлено штокверково-жильное строение рудных залежей. Рудные залежи представляют собой кварцевые жилы, прожилки и тектонические брекчии в позднеколлизийных гранитоидах. Содержание золота в жилах и прожилковых зонах варьирует в широких пределах и достигает нескольких сотен грамм на тонну. Построенная в ГГИС модель позволяет уточнить перспективы освоения глубоких горизонтов месторождения.

Ключевые слова Минерально-сырьевая база, Восточная пустыня Египта позднеколлизийные гранитоиды, золото-кварц-малосульфидный тип руды, 3 D моделирование, ГГИС «Micromine»

Первым этапом моделирования месторождения является обработка первичных данных и создание базы данных. Для моделирования геологического строения данного месторождения были использованы три файла:

- устья скважин (файл содержит в себе наименование каждой скважины, координаты устья (X, Y, Z), глубину);
- опробования скважин (файл представлен параметрами интервалов, то есть содержит в себе отметки начала и конца интервала опробования, наименования скважины, к которой относится данная информация, а также содержание полезного компонента (Au г/т);
- файл инклинометрии, содержит информацию об инклинометрии скважины (азимут и угол наклона), а также глубины замера с указанием номера скважины.

Файл устьев скважин содержит 165 записей, что соответствует 165 скважинам. Изначально координаты скважин были представлены в UTM координатах, что потребовало преобразования их в прямоугольные координаты для работы с ними в программе. Преобразование производилось посредством использования функционала ГГИС Micromine [3].

Файл опробования содержит 81234 записи, которые соответствуют такому же количеству интервалов опробования. Опробование выполнялось метровыми пробами, соответственно, практически все интервалы имеют длину один метр. Содержание золота изменяется от 0 до 241 г/т, среднее содержание составляет 0,2 г/т, в то время как медиана всего лишь 0,015 г/т. Такое низкое значение медианы обусловлено тем, что скважины были опробованы на протяжении всей глубины с включением в опробование вмещающих пород. Описательная статистика по полю содержания приведена на рисунке 1. После проверки и исправления всех ошибок была сформирована база данных.

По полученным контурам была выстроена каркасная модель рудного тела. Каркасная модель построена способом триангуляции (рис.2). Высота (Z) каркасной модели составляет 25 метров, а объем всех рудных тел 2638736 м³.

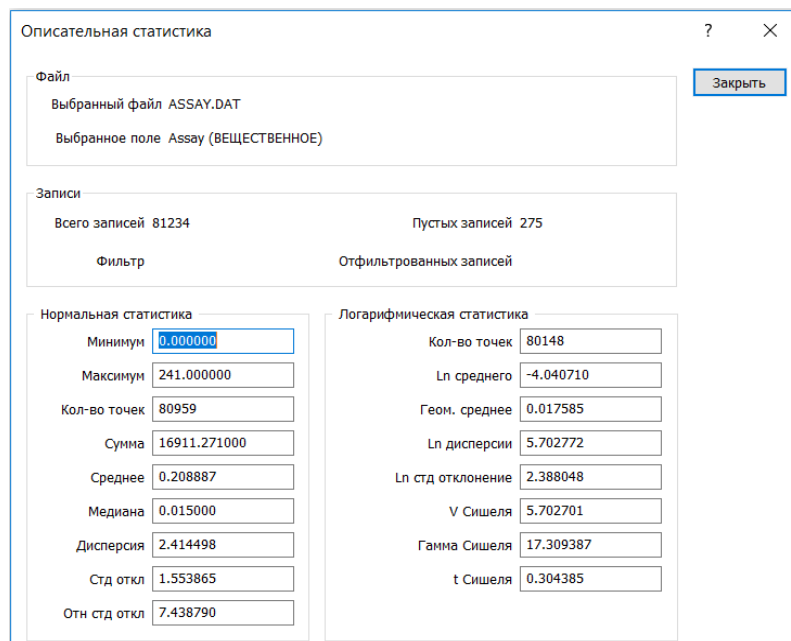


Рисунок 1. Статистика по полю содержания золота

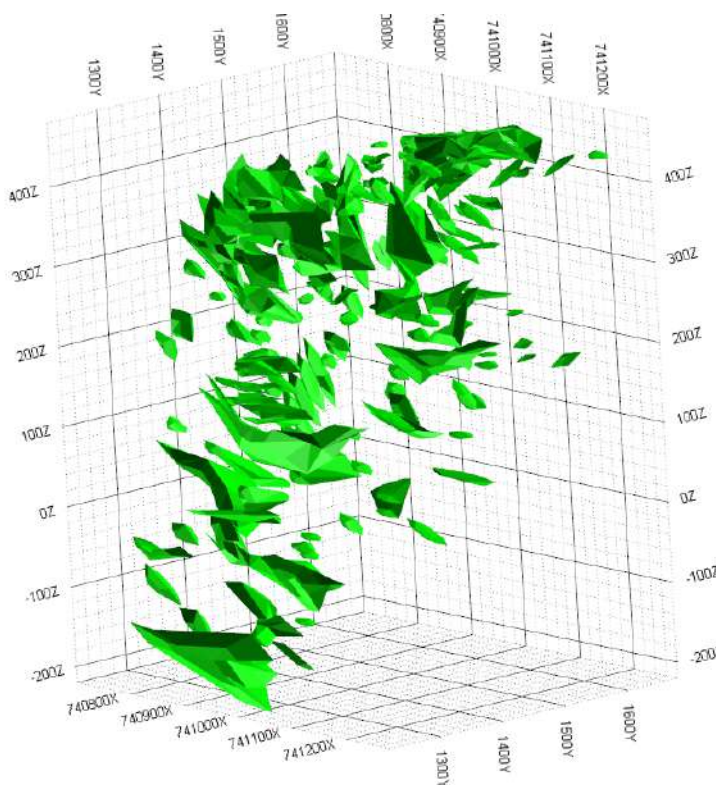


Рисунок 2.. Каркасная модель рудных тел

По данным опробования участков зоны минерализации была построена гистограмма (рис.3). По данному графику видно, что закон распределения содержаний золота на месторождении – логнормальный.

На основании выделенной зоны минерализации была построена блочная модель рудных тел (рис. 4). Исходя из анализа пространственного распределения содержаний полезного компонента, геометрии рудного тела и шага разведочной сети были приняты следующие размеры блочной модели: $X - 5$ $Y - 5$ $Z - 5$, с выделением блоков по 5 в каждом из направлений.

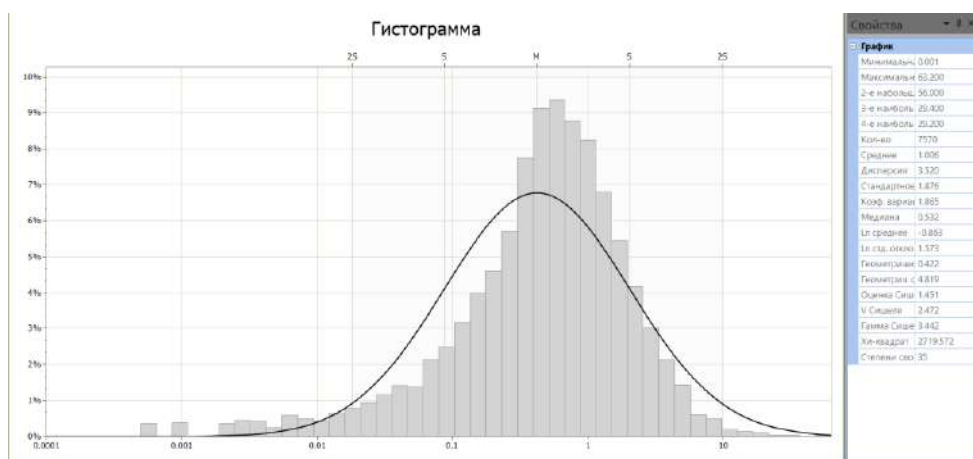


Рисунок 3 Гистограмма распределения содержания золота

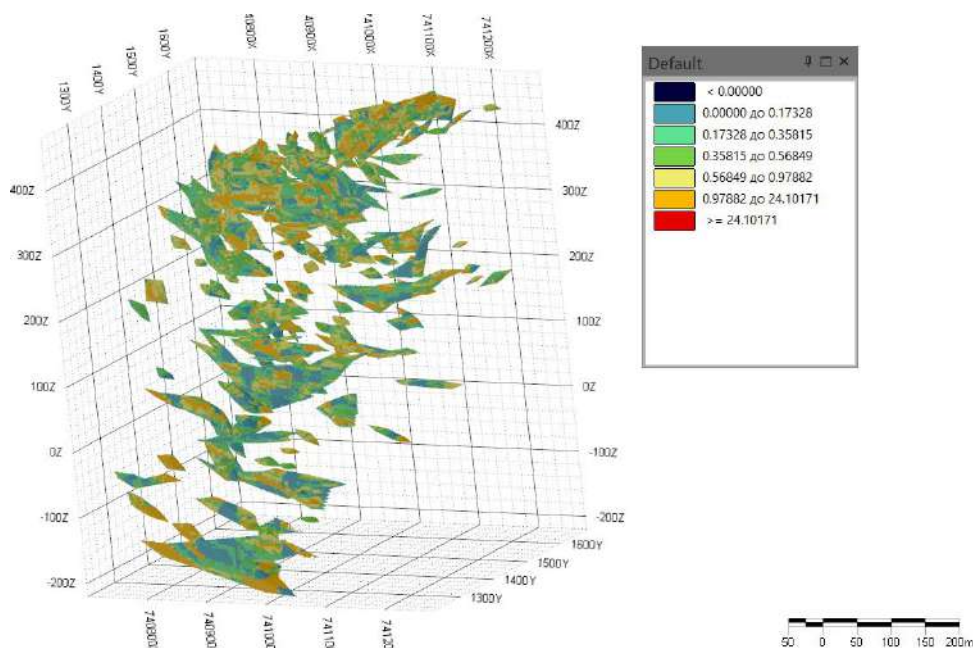


Рисунок 4. Блочная модель месторождения

Для интерполяции использовался метод обратных взвешенных расстояний (IDW) со степенью 2 [1,2]. Так как все интервалы опробования представлены метровыми интервалами, создание композитов не выполнялось. Отчет по блочной модели представлен в табл. 1.

Таблица 1

Отчет по блочной модели

Объем м ³	Плотность г/м ³	Масса (тонн)	Среднее содержание (г/т)	Запасы золота (т)
2638430.00	2.7	7123761.00	1.01	7.22

Таким образом, применение программного продукта ГИС Micromine позволило создать 3D модель геологического строения месторождения Сукари по данным разведочного бурения скважин по имеющейся разведочной сети. Созданная нами компьютерная модель 3D геологического строения месторождения Сукари позволила с большой детальностью оценить распределение золота в жильных и прожилковых зонах и основные тренды развития оруденения на глубину.

По интерпретации блочной модели, построенной по данным ГГИС «Micromine» подтверждено, что золотое оруденение имеет штокверковое строение.

Распределение золотого оруденения на глубину показывает его закономерное выклинивание. Предполагаемая форма штокверка представляет собой опрокинутый конус.

Оценка изменения содержания золота на блочной модели показывает, что существенного изменения концентрации золота с глубиной ожидать не следует.

Литература.

1. Басаргин А. А. Создание цифровых моделей месторождений полезных ископаемых с применением современных технологий // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 31–35.
2. Капутин Ю. Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. – СПб.: «Недра». – 2002. – 424 с.
3. Официальный сайт Micromine [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.micromine.ru/micromine-miningsoftware> (дата обращения: 01.05.2018).
4. Шарафелдин Хани Элсайд, Верчеба А.А. Металлогения месторождений золота северо-восточной части Аравийско-Нубийского щита. Разведка и охрана недр. , 2018, № 12. С 3-7.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ И АУДИОМАГНИТОТЕЛЛУРИКИ НА УЧАСТКЕ КЕДРОВСКОГО БЛОКА

Вильховик В.С. (МГРИ-РГГРУ, valentinaspring@mail.ru)*

Аннотация

В статье описаны основы геофизических методов электротомографии и аудиомагнитотеллурики, а так же приведены результаты их применения при поисках аномальных узлов колчеданного оруденения.

Ключевые слова: геофизика, электротомография, магнитотеллурика, АМТЗ, ЭТ

Электротомография (ЭТ) — это целый комплекс, включающий в себя как методику полевых наблюдений, так и технологию обработки и интерпретации полевых данных. Ее особенностью является многократное использование в качестве питающих и измерительных одни и те же фиксированные на профиле наблюдений положения электродов. Такой подход позволяет с одной стороны, работать с современной высокопроизводительной аппаратурой, а с другой стороны, применять эффективные алгоритмы моделирования и инверсии. Интерпретацию данных электротомографии проводят в рамках двумерных и трехмерных моделей. Это принципиально расширяет круг решаемых электроразведкой задач, за счет исследования сред, значительно отличающихся от «классических» горизонтально-слоистых.

Аудиомагнитотеллурика (АМТЗ) — Метод АМТЗ основан на изучении поверхностного импеданса естественного электромагнитного поля Земли в диапазоне частот от единиц герц до первых тысяч герц. Основным источником электромагнитных полей звукового диапазона частот является, по мнению многих исследователей, грозная активность в экваториальной части Земли, и эти поля имеют шумовой характер. Измерения естественных электромагнитных полей в рассматриваемом диапазоне частот позволяют изучать геоэлектрический разрез в диапазоне глубин от первых десятков метров до первых километров. При этом обеспечивается высокая производительность измерений при относительно невысокой стоимости проведения работ, что позволяет применять метод АМТЗ для площадных поисковых работ.

Важным достоинством метода АМТЗ является возможность аппроксимации первичного поля плоской вертикально падающей волной. Это наиболее простая модель поля, и для нее детально разработаны способы интерпретации результатов измерений для случаев горизонтально-слоистой и горизонтально-неоднородной сред. В изучаемом частотном диапазоне естественное поле не обладает выраженной поляризацией, что позволяет реализовать тензорные измерения и получать информацию о строении горизонтально-неоднородных сред.

Исследуемый Кедровский блок находится в Лениногорском рудном поле, расположенном в восточной части Рудного Алтая на стыке двух региональных структур - каледонид Алтайско-Саянской складчатой зоны и герцинид Юго-Западного Алтая. Изучаемый участок Кедровского блока включает в себя полиметаллическое месторождение Острушинское и крупный аномальный узел к западу и северо-западу от него. Основой аномального узла является ранее выявленная мощная аномалия поляризуемости.

На исследуемом участке в 2016 г. были проведены работы по профилям с довольно сложной аритмичной схемой по азимутам 35-40°. В целом они пересекают Кедровскую зону смятия почти на всю ее ширину. Но расстояния между профилями не выдержанные, — от 700 до 1200 м. Охарактеризованный в 2016 г. участок имеет площадь более 7 км². Ключом к интерпретации и увязке аномальных объектов

послужили данные, полученные по эталонному профилю Е-3, пройденному через колчеданно-полиметаллическое месторождение Острушинское, разбуренное предшественниками до глубины 600-700 м.

Месторождению отвечает крутопадающая зона поляризуемости мощностью от 120 до 350 м при интенсивности 5-10%. Аномалию сопровождает характерная «щелевидная» зона высокой проводимости с резкими границами. Она «зажата» между двумя весьма высокоомными крутопадающими телами с довольно резкими границами.

Подобный «образ» геоэлектрического разреза мы встречаем на прочих профилях участка. Это позволило увязать между собой аномальные сечения и выделить мощную зону высокой поляризуемости, которая дугообразно изгибаясь, проходит через все профили изучаемого участка — Буточанская зона (Рисунок 1). Она, несомненно, является высокоперспективным объектом БКБ первого порядка значимости. В нижних частях разреза ей соответствуют широкие «своды» крупных аномалий поляризуемости, уходящих на глубину, за пределы чувствительности метода ЭТ.

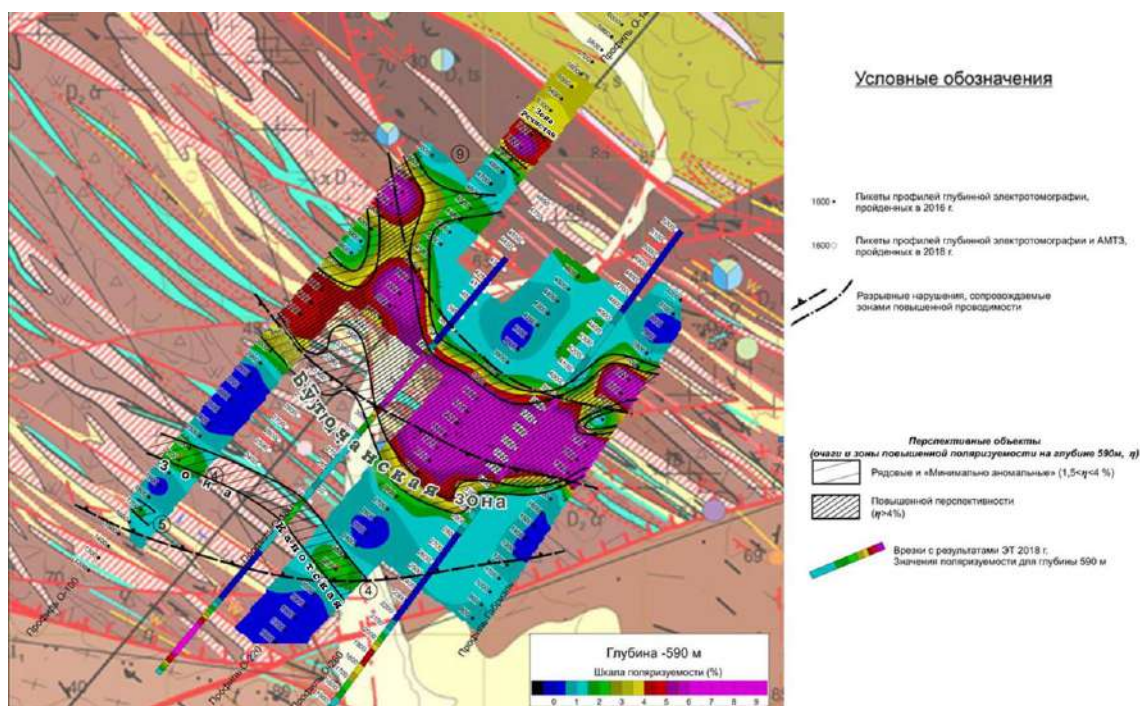


Рисунок 1. Прогнозная схема на основе карты поляризуемости для глубины 590м

Верхний структурный этаж зоны представлен сближенными небольшими аномалиями «1», «2» и «3» интенсивностью 3-6%. По падению они отделены от основного тела аномальной зоны перерывами и пережимами, через которые, видимо, проходит структурная граница верхнего и нижнего этажей.

Кроме крупной Буточанской перспективной зоны, в пределах участка выделены еще две аномальные зоны — Речистая и Капотская. Первая приурочена к толще тишинской свиты у северной кромки участка, вторая — устанавливается в его южной части. Она отвечает поясу порфировых интрузий, прорывающих толщу вулканогенных образований черемшанской свиты.

Установленный аномальный узел выходит за пределы участка работ в северном, северо-западном и юго-восточном направлениях и остается неоконтурным. Кроме того не достаточно системно изучен его внутренний структурный рисунок. Это могут

быть и слившиеся (с образованием раздува) линейные зоны и очаговая структура, образованная дугообразными элементами.

В 2018 г. пройдены 2 профиля ЭТ по 3 км (О-1 и О-2), придающие системе исследований более приемлемую равномерность и ритмичность, а также проведены глубинные исследования АМТЗ до глубины 1100-1300 м по линиям всех профилей ЭТ, пройденных в 2016 и 2018 гг.

Проведена совместная комплексная интерпретация данных АМТЗ и ЭТ, где в результатах отчетливо видно, что мощный аномальный поляризующийся объект контролируется узлом пересечения проводящих линейных зон. Одни из них пронизывают аномалию поляризуемости по ее удлинению, другие пересекают ее вкрест простирания.

Исследования АМТЗ, совместно с данными ЭТ, позволили комплексно подойти к выделению и оценке надежности геометризации проводящих объектов. Кроме того, последние были прослежены на глубины, значительно превосходящие возможности электротомографии – до 1100-1300 м. Это дает дополнительные ориентиры при экстраполяции на глубину силуэтов крупных поляризующихся объектов, верхние части которых устанавливаются на глубинах 350-590 м по данным ЭТ.

На сегодняшний день, исходя из характера пространственных взаимоотношений аномалий высокой поляризуемости с зонами проводимости, наиболее благоприятными для обнаружения колчеданного оруденения выглядят пересечения Буточанской аномалии профилями О-1 и О-2.

Литература

1. Бобачев А.А., Горбунов А.А., Модин И.Н. и др. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации // Приборы и системы разведочной геофизики. 2006. № 2. С. 14–17.
2. Каминский А.Е., Лухманов В.Л. Новые подходы к интерпретации геофизических материалов // Тезисы докладов 8-й Международной научно-практической конференции по инженерной геофизике EAGE «Инженерная геофизика-2012». Геленджик, Россия, 2012 г.
3. Куликов В.А., Яковлев А.Г. Практическое применение магнитотеллурических методов в рудной геофизике // Разведка и охрана недр. - 2011. - № 3. - с.26-33.
4. Куликов В.А., Бобачев А.А., Яковлев А.Г. Применение электротомографии при решении рудных задач до глубин 300–400 м // Геофизика. 2014. №2. С. 39–46.
5. Электроразведка. Учебное пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей / Ред. В.К. Хмелевской, И.Н. Модин, А.Г. Яковлев. – Москва: МГУ, 2005.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (ВЭЗ) ДЛЯ ПОИСКОВ МАЛОГЛУБИННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ В РАЙОНЕ МАНДИША, В ОАЗИСЕ ЭЛЬ-БАХАРИЯ, ЗАПАДНАЯ ПУСТЫНЯ, ЕГИПЕТ

Гавеиш В. Р. (РГГРУ-МГРИ, wael_ragab2007@yahoo.com),
Мараев И.А. (РГГРУ-МГРИ, igorech@rambler.ru)*

Аннотация

Исследуемый район расположен в окрестностях деревни Мандиша в Оазисе Эль-Бахария в Западной пустыни Египта. Район исследования страдает от поверхностных вод, поэтому важно искать другой источник, как подземные воды. Семнадцать ВЭЗ были сделаны вдоль исследуемой территории. Использовалась установка Шлюмберже с разносами АВ/2 в диапазоне 1 - 1000 м. Три из этих станций ВЭЗ расположены по профилю П1 – П1¹, проходящему через скважину Эль-Харра. Результаты интерпретации кривых ВЭЗ показали, что число слоев в этом профиле (П1 - П1¹) колеблется между 5 и 7 слоями. Значения удельного сопротивления колеблются между от 1.42 до 5275 Ом.м и диапазоны толщин слоев от 0.862 до 155 м.

Ключевые слова: ВЭЗ, ПОДЗЕМНЫХ ВОД, ЭЛЬ-БАХАРИЯ ОАЗИС, ЕГИПЕТ.

Метод ВЭЗ существует на протяжении 100 лет и является одним из самых распространенных методов изучения сред в электроразведке (Хмелевской В.К., 1984; Куфуд О., 1984; Жданов М.С., 1986; Блох И.М., 1971; Колесников В.П., 2007).

Исследуемый район расположен в окрестностях деревни Мандиша в Оазисе Эль-Бахария в Западной пустыни Египта (Рис. 1А). Исследуемая территория заселена бедуинами, страдающими от дефицита поверхностных вод, необходимых для хозяйственно-бытовых нужд и сельскохозяйственной деятельности. Поэтому они вынуждены пользоваться водой из других источников. Основной водоносный слой в деревне Мандиша находится в нубийском песчаниковом водоносном горизонте (Сеноман).

Измерения методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) были проведены в районе Мандиша, оазис Эль-Бахария, Западная пустыня, Египет. Вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) проведены с целью обнаружения неглубоких подземных водоносных горизонтов в исследуемой области. Измерения проводились с использованием комплекта французской аппаратуры Syscal R2.

Всего было сделано семнадцать ВЭЗ вдоль исследуемой территории. Использовалась установка Шлюмберже с разносами АВ/2 в диапазоне 1 - 1000 м (Рис. 1а). Три из этих станций ВЭЗ (ВЭЗ № 15, ВЭЗ № 10 и ВЭЗ № 5) расположены по профилю П1 – П1¹, проходящему через скважину Эль-Харра (Рис.1а). Данные ВЭЗ использовались для установления корреляции между данными удельного сопротивления и геологической информацией скважин.

Для количественной интерпретации вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) применялись два метода для определения истинного удельного сопротивления и значений толщин последовательных пластов геологического разреза. Первый метод - это ручная интерпретация, которая заключается в сопоставлении построенных кривых ВЭЗ с помощью двухслойных кривых и обобщенных графиков Каньера (Koefoed, 1960).

Полученные результаты ручной интерпретации были использованы в качестве исходных моделей для вычисления истинных удельных сопротивлений и толщин с использованием программы IPI2WIN (2001) в качестве окончательных результатов (Рис. 1Б). Программа IPI2WIN была разработана российской научной группой в МГУ. Результаты интерпретации кривых ВЭЗ показали, что число слоев в этом профиле (П1 - П1¹) колеблется между 5 и 7 слоями (Рис. 1Б), значения удельного сопротивления имеют диапазон от 1.42 до 5275 Ом.м и диапазоны толщин слоев от 0.862 до 155 м. Результаты интерпретаций ВЭЗ сопоставлялись с геологической информацией скважины Эль-Харра (Рис. 1В).

Геоэлектрический разрез по профилю П1 - П1¹ (рис. 1Г) показывает, что разрез состоит из семи геоэлектрических блоков. Первый блок состоит из поверхностных отложений: илового песка и песчаника толщиной от 1.16 м до 3.052 м, а значения удельного сопротивления находятся в диапазоне от 1.4 до 2873 Ом м. Второй геоэлектрический блок состоит из сланца, интеркалированного песком, толщиной от 2.92 м, а значение удельного сопротивления составляет 67.7 Ом м. Этот слой появляется в VES_10 в форме линзы. Третий геоэлектрический блок состоит из известняка, интеркалированного сланцем и песком, с толщиной от 9.34 до 29 м и удельным сопротивлением от 1.49 до 1.7 Ом м. Этот слой исчез в ВЭЗ 15. Четвертый геоэлектрический блок состоит из сланца, интеркалированного известняком и песчаником, с толщиной от 24.3 до 25.8 м и удельным сопротивлением от 13.8 до 1212 Ом м. Пятый геоэлектрический блок состоит из песчаника, интеркалированного сланцем, с толщиной в диапазоне от 133 до 155 м и значениями удельного сопротивления в диапазоне от 2.3 до 569 Ом м. Шестой геоэлектрический блок состоит из песчаника толщиной 30.7 м, а его удельное сопротивление составляет 233 Ом м. Этот слой появляется только в ВЭЗ 15. Седьмой геоэлектрический блок состоит из песчаника, интеркалированного сланцем, с удельным сопротивлением в диапазоне от 6.43 до 5275 Ом м.

Разрез по данным ВЭЗ №05 и ВЭЗ №10 характеризуется значительно более низкими сопротивлениями по сравнению с разрезом по данным ВЭЗ №15. Поэтому можно предположить, что пласты разреза по данным ВЭЗ №5 и ВЭЗ №10 насыщены более минерализованной водой, чем пласты разреза по данным ВЭЗ №15. Можно предположить, что такое изменение геологического разреза по данным ВЭЗ, объясняется разломом, положение которого показано на рисунке.

Таким образом можно рекомендовать бурение водозаборных скважин в месте расположения ВЭЗ №15 до глубины 160 м. В этом интервале разреза сопротивление пластов изменяется от 233 до 1212 омм, что при пористости 20% соответствует минерализации пластовой воды от 0.1 - 0.3 г/л.

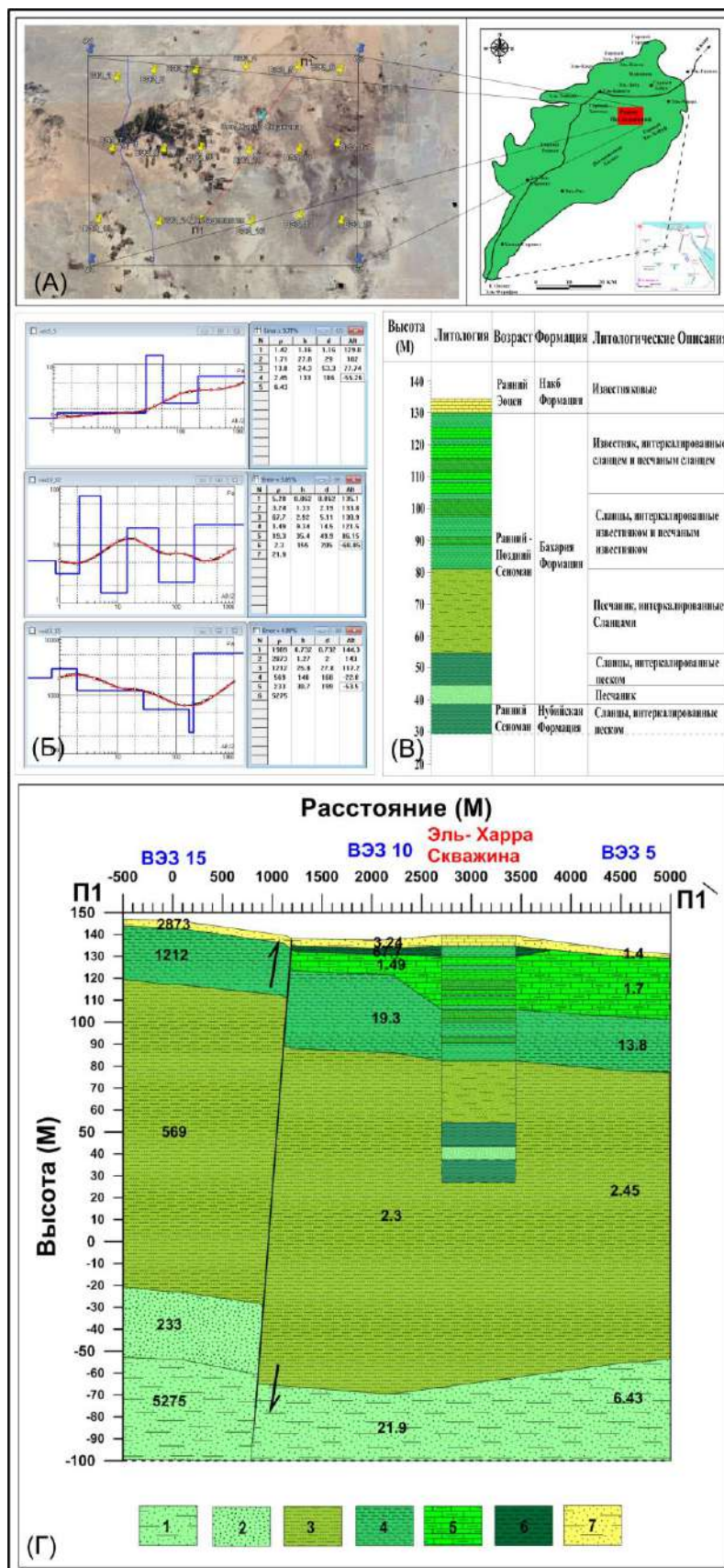


Рисунок 1. (А) Область исследования. (Б) Интерпретация кривых ВЭЗ. (В) Литологический разрез скважины Эль-Харра. (Г) Геоэлектрический разрез по данным ВЭЗ.

Литература

1. IPI2WIN Program. Version 3.1 2C; 17.10.08, 1990–2008. Copyright@1990-2010, Bobachev A.A., Programs set for VES data interpretation. Dep. Of Geophysics, Geological Faculty, Moscow State University, Russia, pp. 119899.
2. Koefoed, O. A generalized cagniard graph for interpretation of geoelectrical sounding data // Geophys. Prospect, 1960, V. 8 (3), P. 459–469.
3. Website_1: <http://www.iris-instruments.com/syscal-r2.html>
4. Блох И.М. Электропрофилирование методом сопротивлений. М. // Недра, 1971, 216 с.
5. Жданов М.С. Электроразведка. М. // Недра, 1986, 316 с.
6. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований. М. // Научный мир, 2007, 248 с.
7. Куфуд О. Зондирование методом сопротивлений М. // Недра, 1984, 270 с.
8. Хмелевской В.К. Электроразведка М. // Недра, 1984, 420 с.

ИНТЕРПРЕТАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ МАГНИТОРАЗВЕДКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ "КОСКАД 3D" (ОКРЕСТНОСТИ ДЕРЕВНИ МАНДИШАВ ОАЗИСЕ БАХАРИЯ В ЗАПАДНОЙ ПУСТЫНЕ ЕГИПТА)

Гавешш В. Р.* (РГГРУ-МГРИ, wael_ragab2007@yahoo.com), Петров А. В. (РГГРУ-МГРИ, alexpetrov76@mail.ru), Мараев И.А. (РГГРУ-МГРИ, igorech@rambler.ru)

Аннотация

Текущее исследование связано с анализом и интерпретацией магнитных данных с использованием программы обработки (COSCAD 3D) с целью определения структурных элементов геологического разреза и оценку глубины этих структур в окрестностях деревни Мандиша, оазис Эль-Бахария, Западная пустыня, Египет. Визуальный анализ магнитной карты, приведенной к полюсу, показывает изменение литологических и тектонических особенностей геологического разреза. В этом исследовании программа КОСКАД 3D использовалась для построения магнитной карты общей интенсивности, магнитной карты общей интенсивности, приведенной к полюсу, карты локальных магнитных аномалий и карты приповерхностной разломной тектоники в районе исследования.

Ключевые слова: магниторазведка, коскад 3d, эль-бахария оазис, Египет.

Исследуемый район расположен в окрестностях деревни Мандиша, Эль-Бахария Оазис в Западной пустыни Египта. Эта деревня находится в 2.56 км от дороги Каир – Эль-Бахария Оазис.

Исследуемая территория заселена бедуинами, страдающими от дефицита поверхностных вод, необходимых для хозяйственно-бытовых нужд и сельскохозяйственной деятельности. Основной водоносный слой в окрестностях деревни Мандиша деревня находится в нубийском песчаниковом водоносном горизонте (Сеноман), который расположен на большой глубине непосредственно на поверхности фундамента. Поэтому важно определить геологические структуры, которые являются ориентиром при поисках неглубоких водоносных горизонтов в районе исследования.

Магнитные измерения проведены в ста семидесяти четырех точках магнитометром GEM GSM-19 "Оверхаузера высокой точности" (Website_1). Этот же магнитометр был использован также для измерений каждые 3 часа на опорной точке. Эти измерения были использованы для введения поправки за суточные вариации. Рядовые измерения проводились на точках через каждые 300м -500м на исследуемой территории (Рис.1А).

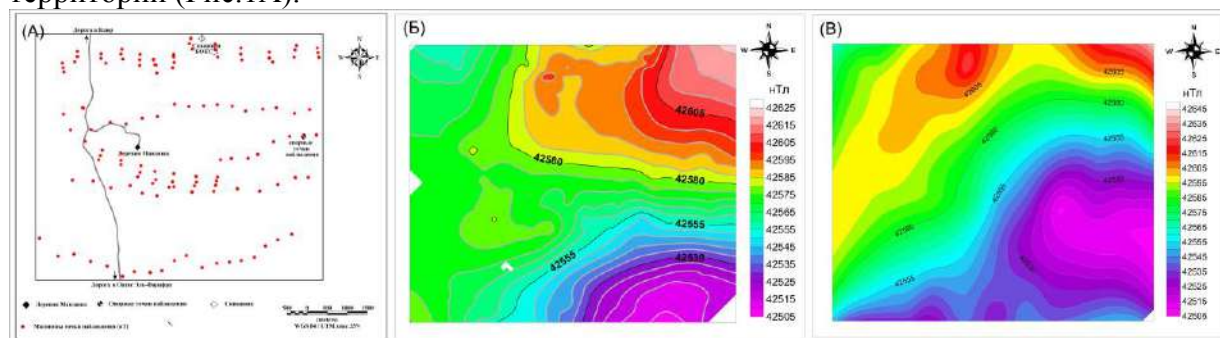


Рисунок 1. (А) Карта расположения точек наблюдения и опорной точки в исследуемой области. (Б) Карта полной интенсивности магнитного поля. (В) Полная интенсивность магнитного поля редуцированная к полюсу.

Полученные полевые измерения были скорректированы на суточную вариацию, а затем скорректированы на нормальный градиент магнитного поля Земли «международное геомагнитное опорное поле (IGRF)» (Baranov, 1975). Скорректированные магнитные значения были оконтурены программой КОСКАД 3Д и представлены общей магнитной картой интенсивности (Рис. 1Б).

Общая интенсивность измеренного магнитного поля изменяла в пределах от 42505 нТл до 42625 нТл. Северо-восточная часть области характеризуется высокими значениями поля из-за присутствия пород фундамента на небольшой глубине, в то время как юго-восточная часть демонстрирует низкие значения поля, где породы фундамента находятся на больших глубинах (Рис. 1Б).

Сравнение магнитной карты интенсивности, приведенной к полюсу (Рис. 1В) с магнитной картой полной интенсивности (Рис. 1Б) показывает, что все магнитные аномалии смещены на север за счет устранения наклона магнитного поля в исследуемой области. Кроме того, магнитные градиенты становятся более интенсивными и крутыми, что приводит к большему разрешению структурных и литологических особенностей разреза. Магнитное поле, приведенное к полюсу, изменяется в диапазоне от 42505 нТл до 42645 нТл. В северо-восточной и северо-западных частях изучаемой области магнитное поле более интенсивное по сравнению с полем в восточной, южной и юго-восточной частях области исследования (Рис. 1В).

Программой КОСКАД 3Д были выделены локальные аномалии с целью определения мелких приповерхностных структур (Website_2). Магнитные аномалии находятся в диапазоне от -5 нТл до +5 нТл (Рис. 2А). Оси локальных аномалий указывают на направления разломов. (Рис. 2Б).

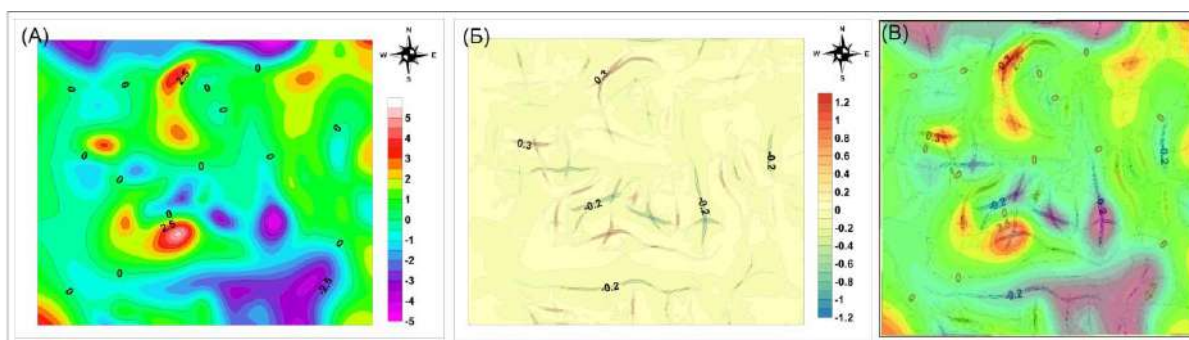


Рисунок 2. (А) Локальные Магнитные аномалии. (Б) Структурные элементы полученные из локальных аномалий. (В) Связь между локальными магнитными аномалиями и структурными элементами.

Локальные аномалии отражают тектонические нарушения в толще осадочных пород до глубины не более 300 метров. Водозаборные скважины следует планировать с учетом этих тектонических нарушений. Оптимальные точки заложения водозаборных скважин – пересечения тектонических нарушений (Рис. 2В).

Литература

1. Baranov, V., 1975. Potential fields and their transformation in applied geophysics. In: Geoexploration Monographs, series 1–6. Gebrüder, Borntraeger, Berlin- Stuttgart.
2. Website_1: <http://www.gemsys.ca/rugged-overhauser-magnetometer/>
3. Website_2: <http://www.coscad3d.ru/index.php>

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЯХ

*Лозовский И.Н. (ООО «ЭГЕОС», ЦГЭМИ ИФЗ РАН, piles@aigeos.ru),
Жостков Р.А. (ИФЗ РАН, shageraxcom@yandex.ru), Чуркин А.А. (ООО «ЭГЕОС»,
piles@aigeos.ru), Гаврютина А.В.* (кафедра Геофизики, МГРИ,
alinagavrvl@gmail.com)*

Аннотация

Ультразвуковой метод контроля сплошности бетона свай основан на возбуждении и регистрации упругих волн с помощью датчиков, погруженных в установленные в составе арматурного каркаса трубы доступа. С целью изучения процессов распространения ультразвуковых колебаний в железобетонных сваях в программном комплексе COMSOL Multiphysics было выполнено двумерное численное моделирование. Рассчитаны математические модели, имитирующие полевые испытания сваи без дефектов и сваи с включением грунта.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, контроль сплошности свай, ультразвуковой метод контроля сплошности свай, численное моделирование

Межскважинный ультразвуковой метод контроля сплошности изготовленных в грунте железобетонных свай широко применяется в практике строительного контроля, начиная с конца 1960-х [3]. Метод основан на изменении параметров искусственно возбуждаемых волн в зависимости от физических свойств исследуемой среды. Для проведения измерений источник и приемник ультразвуковых колебаний погружают до нижней отметки испытываемой сваи через установленные в составе арматурного каркаса трубы доступа и синхронно поднимают до верхней отметки, с заданным шагом выполняя регистрацию ультразвуковых сигналов [1, 4] (Рис. 1).

Для корректной интерпретации данных метода и составления заключения о качестве бетона необходимо иметь представление о характере процессов распространения ультразвуковых волн в теле конструкции, разрешающей способности, возможностях и ограничениях метода [2]. С целью изучения процессов распространения ультразвуковых волн в бетоне свай в программном комплексе COMSOL Multiphysics [6] было выполнено двумерное численное моделирование, имитирующее ультразвуковые испытания сваи с ненарушенной сплошностью и сваи с дефектом (Рис. 2).

Диаметр моделируемой сваи – 1 м; армирование – стальные стержни диаметром 25 мм (10 шт.); трубы доступа для выполнения контроля – стальные, 57x3 мм, заполненные водой (2 шт.). В качестве материала дефекта задан водонасыщенный песок. Вмещающие сваю грунты заданы слоем такого же песка, окруженного идеально согласованным слоем со слабоотражающим условием на границе, что приводит почти к полному отсутствию искажений, связанных с конечным размером модели. Свойства моделируемых материалов представлены в Таблице 1.

Диаметр пьезоэлектрических преобразователей (источник и приемник ультразвуковых колебаний) – 30 мм. Граничное условие на источнике задает нормальное смещение, а на приемнике – импедансное условие, соответствующее стали. Зондирующий импульс (центральная частота – 50 кГц) представлен на Рис. 3.

Размер конечных элементов был выбран таким образом, чтобы с одной стороны уменьшить их количество, а с другой – сохранить ошибку счета не более 0.1%. Шаг по

времени задавался в соответствии с условием Куранта — Фридрихса — Леви и составлял 27 нс. Общее время моделирования – 1.5 мс.

Результаты моделирования представлены в графическом виде (Рис. 4, 5). Для модели 1 без дефектов и модели 2.1 с грунтовым включением приведены траектории распространения ультразвуковых колебаний и воспроизведены сигналы, зарегистрированные приемником. Для сигналов выполнено определение времени первого вступления (красная вертикальная линия, см. Рис. 4, 5), скорости распространения и параметра затухания ультразвуковых волн [4].

Грунтовое включение в модели 2.1 приводит к увеличению времени первого вступления сигнала на 11.6 мкс по сравнению с результатами расчета для модели 1 (с ненарушенной сплошностью), что соответствует снижению скорости распространения ультразвуковых колебаний с 4000 до 3750 м/с. Данный эффект объясняется увеличением пути пробега волн за счет огибания грунтового включения с пониженным относительно бетона значением акустической жесткости. Снижение амплитуды сигнала, зарегистрированное в модели с дефектом на интервале времени до 0.4 мс, объясняется повышенным поглощением ультразвуковых волн при распространении через включение.

С целью изучения разрешающей способности и ограничений метода испытаний планируется продолжить исследования, выполнив расчеты для серии моделей, имитирующих железобетонные сваи с дефектами различного размера, расположенными в разных частях сечения сваи, а также для моделей с нарушением сцепления труб доступа с бетоном. Дополнительно планируется изучить влияние центральной частоты источника на результаты измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для поддержки научных школ № НШ-5545.2018.5

Литература

1. Мухин А.А., Чуркин А.А., Лозовский И.Н. Ограничения области применения сейсмоакустического метода контроля сплошности бетона свай // Транспортное строительство. 2018. № 9. С. 20-24.
2. Amir J.M., Amir, E.I. Capabilities and Limitations of Cross Hole Ultrasonic Testing of Piles // Proc IFCEE, Orlando. 2009. p. 8.
3. Amir J.M. Pile Integrity Testing: History, Present Situation and Future Agenda // Proc. 3rd Bolivian Intl. Conf. Deep Foundations, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 2017. pp. 17-32.
4. ASTM D6760-16, Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing // ASTM International, West Conshohocken, PA. 2016.
5. Tian Z., Huo L., Gao W., Li H., Song G. Modeling of the attenuation of stress waves in concrete based on the Rayleigh damping model using time-reversal and PZT transducers // Smart Materials and Structures. 2017. Vol. 26. № 10. pp. 1-10. <https://doi.org/10.1088/1361-665X/aa80c2>
6. Лицензия COMSOL Multiphysics № 9600341.

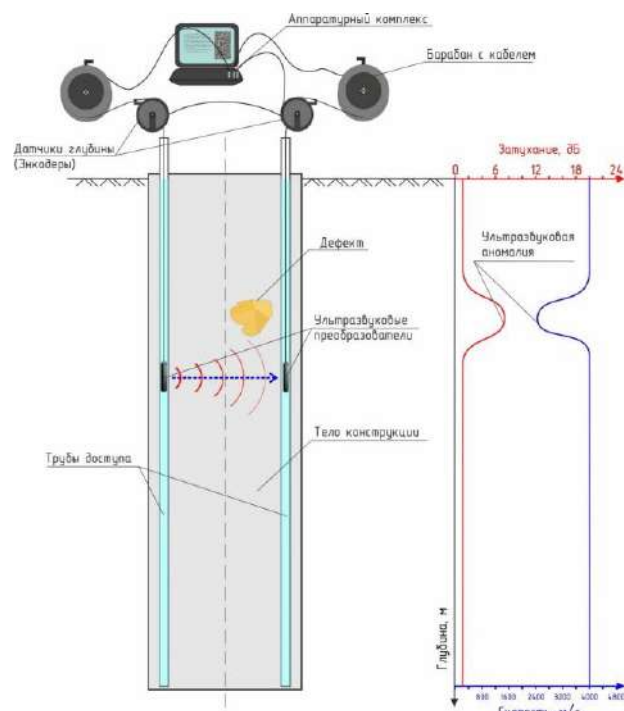


Рисунок 1. Схема проведения испытаний ультразвуковым методом.

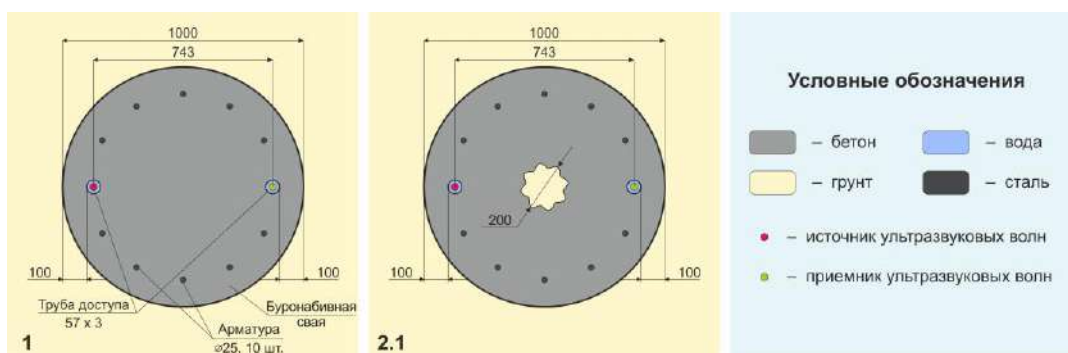


Рисунок 2. Модель сваи без дефекта (модель 1) и с дефектом размером 200 мм (модель 2.1).

Таблица 1. Свойства материалов

	Бетон	Вода	Песок (водонас.)	Сталь
Плотность, ρ , кг/м ³	2400	1000	2000	7900
Скорость продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн, м/с	4000; 2450	1500	1800; 540	5500; 3200
Рэлеевская модель затухания, коэффициенты α ; β [5]	2000; 10^{-8}	-	200000; 10^{-6}	200; 10^{-9}

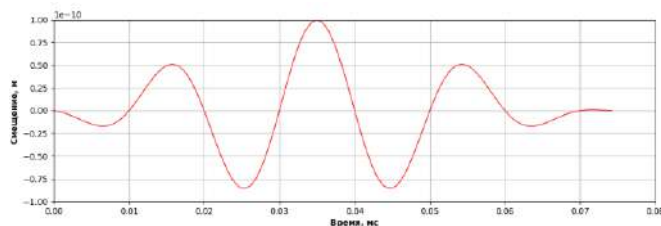


Рисунок 3. Изменение значений смещения поверхности источника в зависимости от времени (центральная частота – 50 кГц).

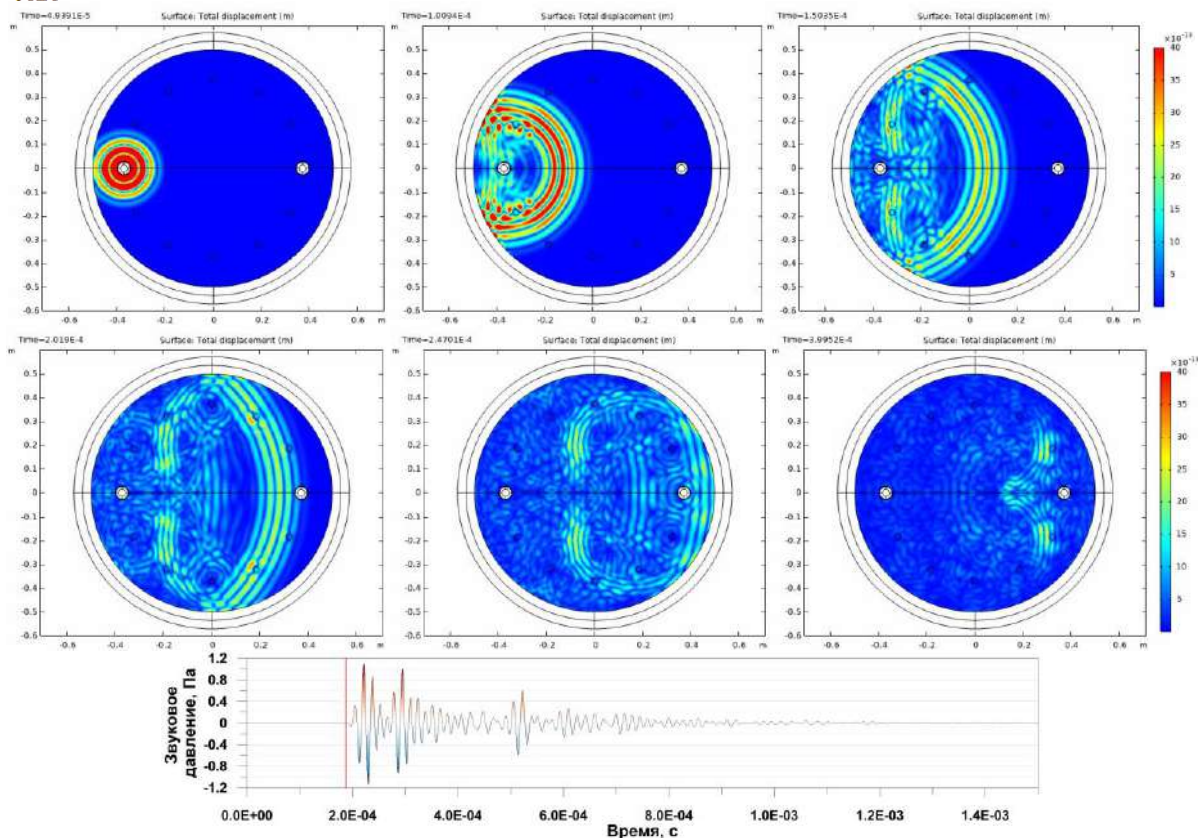


Рисунок 4. Распространение ультразвуковых волн в модели 1 без дефекта (0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.4 мс). Сигнал, зарегистрированный приемником.

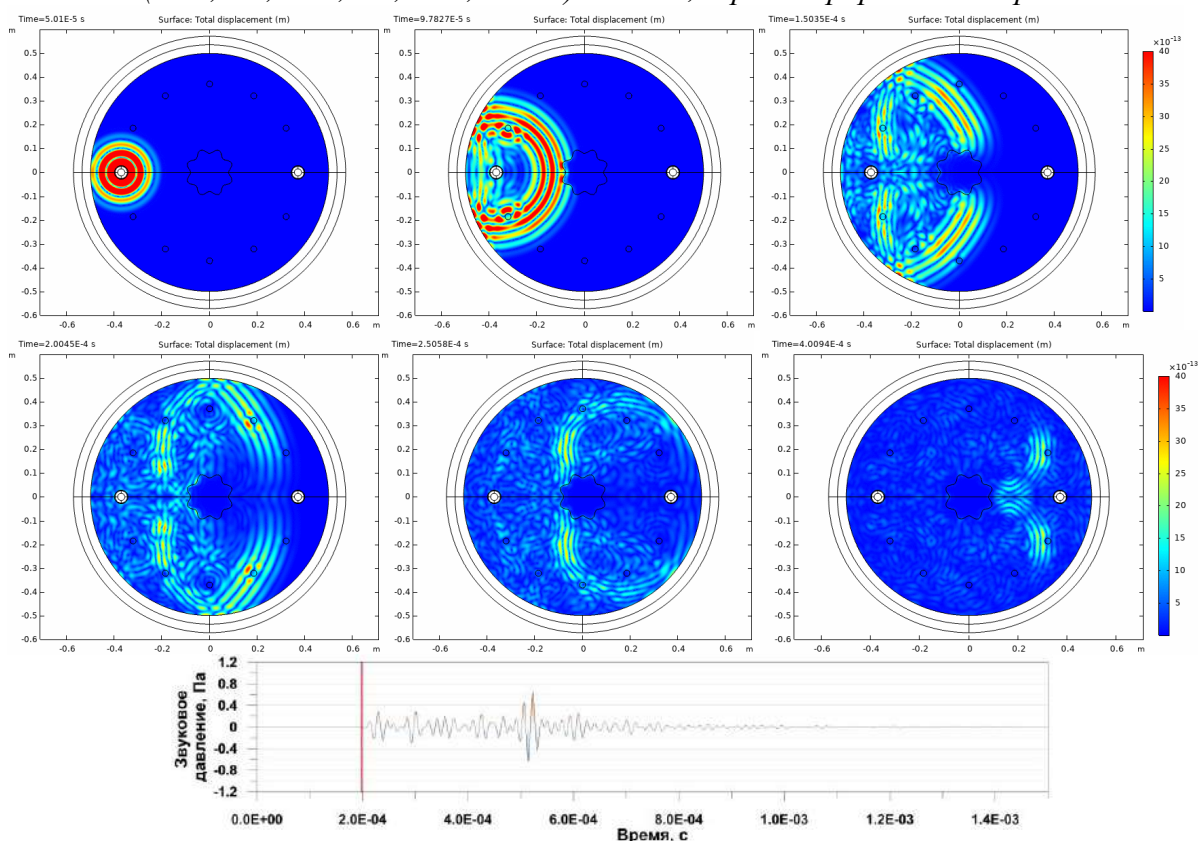


Рисунок 5. Распространение ультразвуковых волн в модели 2.1 с дефектом (0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.4 мс). Сигнал, зарегистрированный приемником.

ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЛЕВЫХ РАБОТ

Гафиятуллина Л.Ф. (МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе,
gafiyatullina.liliya@yandex.ru)*

Новиков П.В. (МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, noviptr@mail.ru)

Аннотация

С целью обоснованного проектирования геофизических работ и выбора оптимального комплекса методов вводится понятие «физико-геологическая модель» объекта исследований, впервые предложенное и развитое для задачи поисков рудных месторождений Г.С. Вахромеевым. ФГМ считается неотъемлемой составляющей при решении прямых и обратных задач геофизики. Как правило, геофизические методы при поиске благородных металлов (золота), дают не прямые, а косвенные указания на наличие месторождений, выявляя участки, наиболее благоприятные для залегания руд, в том числе на флангах известных месторождений. Именно грамотное физико-геологическое моделирование снижает риски пропуска перспективных участков, а также выявления ложных аномалий.

Ключевые слова

Физико-геологическая модель, формирование ФГМ, золоторудное месторождение, полевые работы, оптимальный комплекс, геофизические работы.

В упрощенном виде под понятием физико-геологической модели (ФГМ) понимают абстрактные тела простой геометрической формы (шар, горизонтальный цилиндр, столб, пласт) с заданными соотношениями физических свойств тел и окружающей среды, для которых в аналитическом виде или численно с помощью компьютеров можно решать прямые задачи геофизики (растёт аномалии), а также обратные задачи (проведение интерпретации аномалий в рамках выбранной модели).

ФГМ – это совокупность геологической и петрофизической моделей, а также модели физических полей.

- геологическая модель – система элементов геологического строения, содержащая в себе обобщенное описание состава, структуры, геометрии изучаемого объекта и вмещающей среды;

- петрофизическая модель – модель, описывающая распределение физических и геологических свойств в плане, разрезе, пространстве;

- модель физических полей характеризует физическое поле в верхнем и нижнем полупространствах, в данной модели отражаются интенсивность поля, его морфология, аномальные эффекты и различные типы помех;

Формирование ФГМ какого-либо геологического объекта, процесса или явления предусматривает несколько последовательных операций:

- постановка геологической задачи;
- выбор объекта моделирования (земная кора, конкретный блок земной коры, рудная или нефтегазовая провинция, перспективные структуры на рудные, нерудные, нефтегазовые месторождения, отдельные рудные тела, нефтегазовые залежи) с построением априорной геологической модели;
- расчет аномальных петрофизических параметров исследуемого объекта и вмещающей среды;
- построение петрофизической модели и выделение на ее основе структурно-вещественных комплексов (СВК);

- решение прямых задач геофизики для каждого метода, то есть построение модели физических полей;
- оценка адекватности сформированной ФГМ реальному объекту на эталонах, то есть на объектах, аналогичных исследуемому, но с известным геологическим строением;

Целевым назначением полевых работ по объекту «Поисковые работы на рудное золото в пределах Южно-Бериккульской площади Мартайгинского рудного района (Кемеровская область)» являлось выявление новых и оконтуривание известных жильно-прожилковых рудных зон золото-сульфидно-кварцевой и золото-кварцевой формаций в южной части Бериккульского рудного узла Мартайгинского рудного района. Золотоносность Бериккульского рудного узла характеризуется наличием промышленных месторождений и многочисленных проявлений золото-сульфидно-кварцевого формационного типа. На площади узла выделяются уже известные четыре рудных поля, включающих одноименные месторождения — Комсомольское, Старобериккульское, Новобериккульское с утвержденными запасами и прогнозными ресурсами и Гавриловское - с прогнозными ресурсами.

Южно-Бериккульская площадь расположена в северной части Кемеровской области, в южной части Бериккульского рудного узла Мартайгинского рудного района. Данная площадь представлена следующими перспективными участками: Мурашинский, Мокробериккульский и Николкинский. Полевые работы проводились на первых двух участках.

Золоторудная минерализация преимущественно золото-кварцевого геолого-промышленного типа связывается с постмагматической гидротермальной деятельностью карнаюльской сиеногранитоидной интрузии позднего кембрия (Є3kr), породы которой на площади узла присутствуют в виде даек и мелких дайкообразных тел. Основная интрузивная фаза Карнаюльского массива, находится восточнее границы Южно-Бериккульской площади.

Мурашинский перспективный участок расположен в 3-7 км к востоку от Гавриловского месторождения, в северной части Южно-Бериккульской площади. Участок располагается на площади габброидов таскыльского комплекса в пределах ареала распространения даек кислого состава карнаюльского комплекса, с которыми в Бериккульском рудном узле обычно ассоциируют кварцевые жилы, несущие золотое оруденение. Он включает в себя проявления, пункты минерализации золота, характеризуется наличием первичных и вторичных ореолов рассеяния золота, серебра, мышьяка, свинца. Кроме этого, отмечаются многочисленные свалы жильного кварца с промышленными концентрациями золота и серебра.

В западной части участка расположено Мурашинское проявление золота (№ 46). Проявление представлено кварцевой жилой и околорудными золотоносными березитами мощностью 0,5-2,2 м, образованными по мелкозернистым гранодиоритам карнаюльского комплекса. Спектрохимическим анализом в метасоматитах содержание золота установлено в количестве 2-3 г/т (среднее - 2,3 г/т на мощность 2,9 м). В северной части Мурашинского участка в левом борту верховья р. Сухой Бериккуль выявлено проявление № 31, представленное кварц-калишпатовыми метасоматитами среди габброидов Новобериккульского массива таскыльского комплекса с содержанием золота более 3 г/т по данным спектрохимического анализа задирковой пробы.

Мокробериккульский перспективный участок расположен в южной части Бериккульской площади в междуречье р. Николка и Мокрый Бериккуль. В северо-восточной части участка известны проявления и пункты минерализации золота золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формаций, многочисленные свалы золотоносного кварца, геохимические аномалии золота и его спутников. Золотое

оруденение приурочено к кварцевым жилам, зонам окварцевания и сульфидизации во вмещающих габброидах и монцодиоритах. В пределах участка известны отработанные россыпи золота в верхнем течении р. Мокрый Бериккуль. В юго-западной части Мокробериккульского участка известны 16 проявлений и пунктов минерализаций с содержаниями золота до 7,4 г/т, отработанные россыпи золота по р. Николка и ее левого притока.

Литература

1. Никитин А.А., Хмелевской В.К. Комплексование геофизических методов: учебник для вузов. 2-е изд. испр. и доп. – М. : ВНИИгеосистем, 2012. – 346 с.
2. Дубский В.С., Уткин С.В. Геологическое строение и золотоносность Бериккульской площади. Отчет по поисковым работам на рудное золото в м-бе 1:10000 на Бериккульской площади проведенным Бериккульской партией (Нефелиновым отрядом) ЗСПСЭ и Нижне-Терсинской партией ЦГЭ в 1989-93 гг. и камеральными работами, проведенными Таскыльской партией ФГУГП "Запсибгеолсъемка" и Нижне-Терсинской партией НКГГЭ в 1996-99 гг. ТГФ, Новокузнецк.
3. Дубский В.С., Уткин С.В., Дубский А.В. Информационный отчет Таскыльской партии по геологическому доизучению м-ба 1:200 000. 2002 г. Фонды ОСП —Запсибгеолсъемка. Елань.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ

*Гришков Г.А. * (Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), gorgulini@yandex.ru),
Новиков П.В. (Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), noviptr@mail.ru)*

Аннотация

Информация — любая совокупность сигналов, сведений (данных), которые какая-либо система воспринимает из окружающей среды (входная информация), выдает в окружающую среду (исходная информация) или сохраняется внутри определенной системы (внутренняя информация).

Метод визуализации - это представление информации в виде, который обеспечивает наиболее эффективную работу человека по ее изучению.

Метод визуализации рассматривается как системное, основанное на правилах, динамическое и/или статическое графическое представление информации, способствующее «рождению» идей, помогающее разобраться в сложных понятиях, нацеленное на обобщение, анализ теории и опыта

В статье производится сравнение методов визуализации данных используемых при решении обратных задач метода магнитотеллурического зондирования.

Ключевые слова: Иерархические образы, 2D/3D-образы, многомерные наборы данных, визуализация данных, магнитотеллурическое зондирование, инверсия данных.

Текст доклада

Информация — любая совокупность сигналов, сведений (данных), которые какая-либо система воспринимает из окружающей среды (входная информация), выдает в окружающую среду (исходная информация) или сохраняется внутри определенной системы (внутренняя информация).

Метод визуализации - это представление информации в виде, который обеспечивает наиболее эффективную работу человека по ее изучению.

Метод визуализации рассматривается как системное, основанное на правилах, динамическое и/или статическое графическое представление информации, способствующее «рождению» идей, помогающее разобраться в сложных понятиях, нацеленное на обобщение, анализ теории и опыта

Основная идея методов визуализации заключается в предоставлении человеку-эксперту большой объем данных в форме, в которой будет удобно воспринимать информацию и проводить анализ.

Пользователю наиболее удобно работать с данными напрямую, рассматривать их с разных сторон и под различными углами зрения.

Выделяют следующие виды данных, с которыми могут работать средства визуализации:

- 1). Одномерные данные;
- 2). Двумерные данные;
- 3). Многомерные данные (в состав многомерных данных можно включить и двумерные);
- 4). Тексты и гипертексты;
- 5). Иерархические и связанные структуры;
- 6). Алгоритмы и программы.

Для визуализации перечисленных типов данных используются различные визуальные образы и методы их создания.

Методы визуализации можно разделить на следующие типы:

- 1). Стандартные 2D/3D-образы — гистограммы, линейные графики и т.п.;
- 2). Геометрические преобразования — диаграмма разброса данных и т.п.;
- 3). Отображение иконок — линейчатые фигуры и звезды;
- 4). Методы, ориентированные на пиксели — рекурсивные шаблоны и т.п.;
- 5). Иерархические образы — наложение измерений и древовидные карты.

Графики, гистограммы, диаграммы, и т.п. (рисунок 1) — самые простые методы визуализации. Основной недостаток этого метода — невозможность легко воспринимаемой визуализации сложных данных и данных в большом количестве.

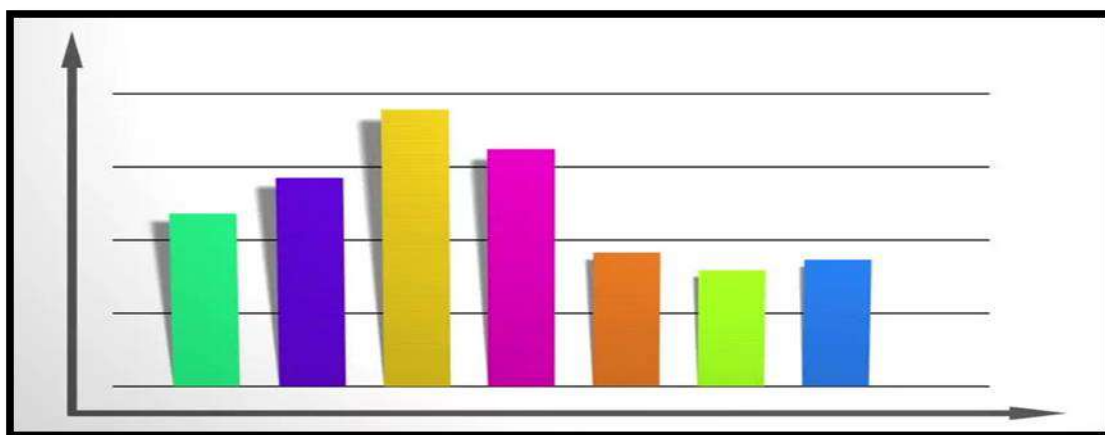


Рисунок 1. Стандартные 2D/3D-образы.

Методы геометрического преобразования направлены на трансформацию многомерных наборов данных с целью отображения их геометрических пространствах в декартовом и в не декартовом.

Другим классом визуализации данных являются методы отображения иконок. Их основной идеей является отображение значений элементов многомерных данных в свойства образов, которые могут представлять собой: человеческие лица, стрелки, звезды и т.д.

Основной идеей методов, ориентированных на пиксели (рисунок 2), является отображение каждого измерения значения в цветной пиксель и из группировки по принадлежности к измерению.

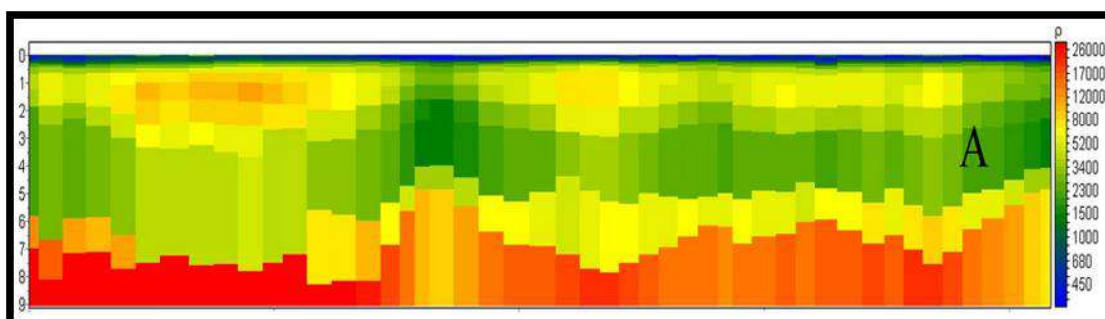


Рисунок 2. Методы, ориентированный на пиксели.

Методы иерархических образов (рисунок 3) предназначены для представления данных, имеющих иерархическую структуру. В случае многомерных данных должны быть правильно выбраны измерения, которые используются для построения иерархии.

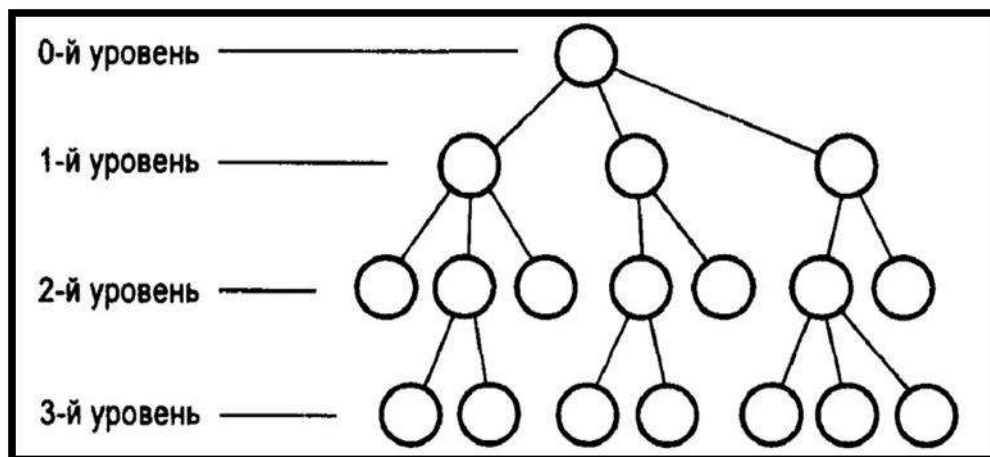


Рисунок 3. Методы иерархических образов.

Нельзя однозначно выделить один наилучший и универсальный метод визуализации данных, так как каждый метод предназначен для своих целей, и только исследователь может самостоятельно выбрать метод, подходящий для решения его задач.

В методе магнитотеллурического зондирования метод визуализации выбирается относительно этапа обработки.

После получения полевых данных, производится их обработка, итогом являются кривые МТЗ. Для их отображения используются стандартные 2D/3D образы.

На этапе получения из кривых МТЗ разреза, профиля или объёмной модели, производится один из методов инверсии данных, который сопровождается уже методом визуализации, ориентированном на пиксели.

Литература

1. Апанович З.В. Средства для работы с графами большого объема: построение и оптимизация компоновочных планов. // Системная информатика. Вып. 10: Методы и модели современного программирования. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. С. 7–58.
2. Апанович З.В. Программа курса «Комбинаторные алгоритмы анализа и синтеза графовой информации» // Сборник учебно-методических материалов по программированию и информатике НГУ, 2007. С. 26-32.
3. Апанович З.В. Методы интерактивной визуализации информации // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. X Межд. конф. (Самара, 23–25 июля 2008 г.) С. 478–489.
4. Апанович З.В. Методы навигации при визуализации графов // Вестник НГУ. Т. 6. Вып. 3. 2008. С. 35–47.
5. Апанович З.В. Методы заполнения пространства и их применение для визуализации информации и бизнес-аналитики // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. XI Межд. конф. (Самара, 22–24 июня 2009 г.) С. 563–572.
6. Евстигнеев В.А., Касьянов В.Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. СПб.: БХВ. 2003.
7. Feldman R., Sanger J. The Text Mining Handbook, Cambridge University Press, 2007.
8. Причины и источники сетевых аномалий // Молодой ученый. Оладько В. С., Микова С. Ю., Нестеренко М. А., Садовник Е. А.— 2015. — № 22. — С. 158-161.

АЛГОРИТМ ЗАПОЛНЕНИЯ БАЗ ДАННЫХ И ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОТЧЁТОВ ФГБУ РОСГЕОЛФОНД

Гурьев А.В. (ФГБУ Росгеолфонд, sawa0154@gmail.com)

Аннотация

Данная работа посвящена ознакомлению с системой заполнения, хранения и обработки данных от недропользователей, федерального агентства по недропользованию – Роснедра и территориальных органов. Описание алгоритма подсчёта запасов «Сводный баланс». Пути развития системы лицензирования недропользователей.

Ключевые слова: Росгеолфонд, система лицензирования, сводный баланс

Введение

Целью работы является доклад с описанием деятельности ФГБУ «Российский федеральный геологический фонд» действующий в целях удовлетворения государственных и общественных потребностей в геологической информации о геологическом изучении, минерально-сырьевых ресурсах и использовании недр Российской Федерации. Организация научно-методического, программно-технического обеспечения единой государственной системы сбора, обработки, хранения, защиты и использования информационных ресурсов в области геологии и недропользования в Российской Федерации, оказания информационно-аналитических и иных услуг организациям и гражданам Российской Федерации.

Ключевые виды деятельности в докладе

- Сбор, формирование, хранение и ведение геологических информационных ресурсов
- Создание цифровых карт размещения месторождений и лицензионных участков
- Ведение и пополнение Государственного кадастра месторождений и проявлений полезных ископаемых РФ
- Формирование и ведение государственного реестра работ по геологическому изучению недр, участков недр, предоставленных для добычи полезных ископаемых, а также в целях, не связанных с их добычей, и лицензий на пользование недрами
- Развитие, сопровождение и ведение государственных информационных систем Федерального агентства по недропользованию и интерактивных сервисов доступа потребителей к геологической информации
- Формирование и анализ сводных отчётных показателей о ходе лицензирования в Российской Федерации

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАСТВОРЕННЫХ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ НА ПРОЯВЛЕНИЕ КАВИТАЦИИ

Дегтерев А.Х. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ). Москва, Россия, degsebal@mail.ru)

Аннотация

Рассмотрено изменение температуры газа в сжимаемом пузырьке в зависимости от числа степеней свободы молекулы газа. Показано, что при адиабатическом сжатии пузырька температура газа меняется по закону $1/R^\alpha$, где в зависимости от типа молекул газа показатель степени α принимает значения 2,01, 1,20 и 0,99. Приведены результаты расчетов изменения температуры для разных газов. Сделан вывод, что наиболее сильная зависимость соответствует одноатомным газам, к которым в первую очередь относятся инертные газы. Поскольку растворимость благородных газов возрастает с их атомным номером, то наибольший эффект достигается при наличии растворенных тяжелых инертных газов. Это подтверждается экспериментами с сонолюминесценцией. Однако, эффект ослабляется для мелких пузырьков за счет большого капиллярного давления. Такие инертные газы, как радон и аргон, образуются в горных породах при распаде изотопов урана и калия.

Ключевые слова: кавитация, растворенные газы, температура, давление, показатель адиабаты.

Формирование ряда горных пород сопровождается выходами газопаровых флюидов. В частности, различные проявления этого процесса являются важными признаками кимберлитовых пород. Дегазация растворенных в жидкости газов наряду с появлением паровых пузырьков ведет к образованию газовых пузырьков, которые затем пульсируют под действием внешнего давления. Одной из особенностей такой двухфазной системы являются аномально большие значения давлений и температуры, которые на короткое время достигаются при их сжатии и последующем схлопывании. Покажем, что такого рода эффекты существенно отличаются для разных газов.

Поведение схлопывающейся полости в жидкости сильно зависит от того, находится в ней вакуум, пар или газ. Действительно, если в полости просто вакуум, то эффект ограничивается высоким давлением в прилегающем к полости слое жидкости в момент схлопывания ее стенок со сверхзвуковой скоростью. Если же внутри полости находится пар, то при схлопывании будет наблюдаться увеличение температуры пара вплоть до критической. При этом за счет процесса конденсации пара при его сжатии давление внутри полости в соответствии с уравнением состояния реального газа не будет превышать соответствующего давления насыщенного пара. Если же в полости находится не пар жидкости, а диффундировавший в нее газ, растворенный в жидкости, то проявление кавитации сильно зависит от вида этого газа. Именно в газовых пузырьках достигаются большие давления и, соответственно, большие температуры.

Методы исследования. Рассмотрим образовавшуюся в жидкости сферическую полость радиуса R_0 , заполненную растворенным в жидкости газом. Будем считать, что под действием пульсации давления в жидкости полость адиабатически сжимается, в результате чего меняются давление и температура газа внутри ее. В связи с малостью размеров полости схлопывание происходит достаточно быстро, в связи с чем можно пренебречь диффузией газа через стенку полости. По той же причине этот процесс можно рассматривать как адиабатический. Результаты численного моделирования [1] показывают, что даже при единичном импульсе давления величиной 50 атм газовый

пузырек совершает потом многократные пульсации, при которых его радиус меняется в 10 раз. Причем амплитуда пульсаций увеличивается со временем. При не очень больших амплитудах изменения давления в пузырьке газ можно считать идеальным. Тогда для описания происходящих при уменьшении размера полости изменений можно использовать уравнение адиабаты вида:

$$PV^\gamma = \text{const},$$

где γ – показатель адиабаты данного газа.

Результаты исследований. Значение этого параметра сильно отличается для разных газов из-за зависимости теплоемкости газа от структуры его молекулы. Обычно эту зависимость выражают через число степеней свободы молекулы i , которое принимает значение от 3 до 6 (без учета колебательных степеней) с помощью формулы:

$$\gamma = 1 + 2/i .$$

Из уравнения адиабаты видно, что наибольшее значение показатель адиабаты имеет при наименьших значениях i , а именно при $i = 3$. Это соответствует одноатомным газам, молекулы которых не обладают вращательными степенями свободы. Среди атмосферных газов к таковым относятся благородные газы, например аргон. В этом случае $\gamma = 1,67$. Большая же часть молекул воздуха являются двухатомными (N_2 , O_2), то есть обладающими двумя вращательными степенями свободы, в связи с чем им соответствует значение $i = 5$. Показатель адиабаты при этом равен 1,40. Для таких многоатомных газов, как CO_2 и метан, характерно $i = 6$ и, соответственно, $\gamma = 1,33$. Эти на первый взгляд не большие отличия становятся более существенными, если переписать уравнение Пуассона с учетом уравнения состояния идеального газа в виде:

$$TV^{\gamma-1} = \text{const} .$$

Тогда получается, что изменение температуры в газовом пузырьке при его сжатии описывается зависимостью вида:

$$T = C/R^\alpha,$$

где C – константа и $\alpha = 3(\gamma - 1)$. Нетрудно убедиться, что в зависимости от типа молекул газа показатель степени α в этой формуле принимает значения 2,01, 1,20 и 0,99. А это означает, что при уменьшении радиуса пузырька в два раза, абсолютная температура сжатого газа внутри полости может отличаться более чем вдвое для разных газов при прочих равных условиях. Это достаточно сильный эффект, объясняющий, в частности, разную интенсивность свечения пузырьков при сонолюминесценции в зависимости от структуры молекул растворенных в жидкости газов и от температуры жидкости [2].

Кроме того, проявление кавитации сильнее для газов с высокой растворимостью за счет большей концентрации зародышей, образование которых зависит также от коэффициента поверхностного натяжения σ . Рост зародышей при пульсациях также происходит быстрее при высокой растворимости газов. А растворимость газов в жидкости существенно меняется с температурой. С понижением температуры от 30°C до 0°C для многих газов она увеличивается почти в два раза. Растворимость газов с молекулами малых размеров, например водорода, меньше, чем у газов с большими атомными номерами. Причем хорошо известно, что именно у благородных газов растворимость резко увеличивается с увеличением их атомного веса, что объясняет заметное усиление сонолюминесценции с ростом атомного номера растворенного инертного газа [2]. Так, растворимость аргона не уступает растворимости таких газов, как метан и кислород. Причем при понижении температуры растворимость тяжелых инертных газов растет гораздо сильнее, чем растворимость легких газов. Таким образом, при наличии растворенных тяжелых инертных газов (радон, ксенон) понижение температуры жидкости сильнее сказывается на усилении кавитации.

Следует отметить, что наличие инертных газов в горных породах может быть обусловлено естественным радиоактивным распадом определенных изотопов, содержащихся в самой породе. Так, радон образуется в результате распада изотопов из радиоактивного ряда урана, а аргон – при К-захвате в изотопах калия.

Расчеты проводились для пузырьков с R_0 от 1 до 100 мкм для одноатомного, двухатомного и трехатомного газов. При этом задавались пульсации давления на фоне атмосферного по гармоническому закону $\cos(\omega t)$ с частотой 25 кГц и с амплитудой 5,5 атм, соответствующей интенсивности упругих волн 10 Вт/см^2 . Полученные результаты приведены на рис.1.

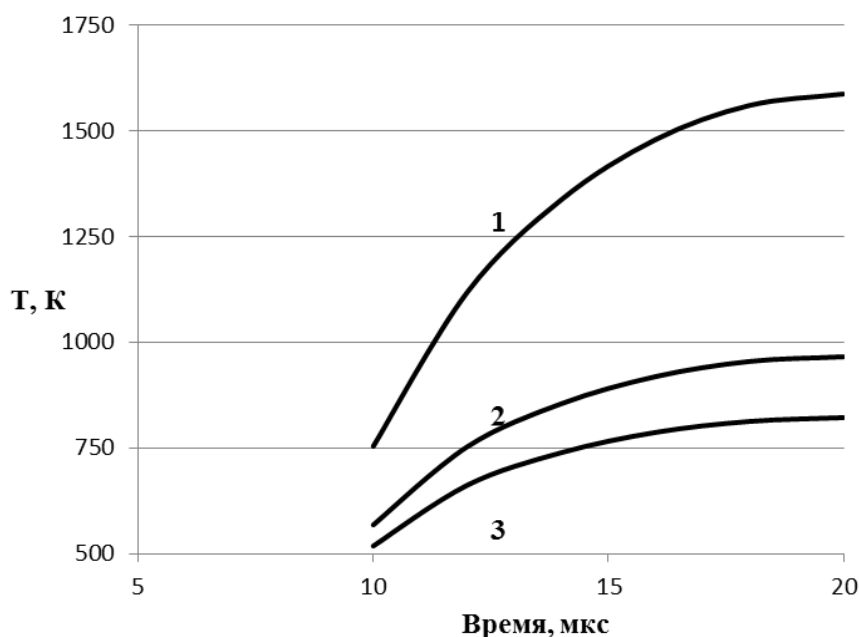


Рисунок 1. Изменение со временем температуры при адиабатическом сжатии пузырьков аргона (1), азота (2) и углекислого газа (3) с начальным радиусом 40 мкм.

Как показали расчеты, температура, до которой нагревается газ в пузырьке, существенно зависит также от его размеров. Если капиллярное давление $2\sigma/R_0$, обусловленное поверхностным натяжением, по своему значению порядка амплитуды пульсаций внешнего давления, то относительное изменение давления внутри пузырька за цикл пульсаций невелико. В связи с этим в соответствии с уравнением Пуассона при тех же амплитудах давления радиус такого пузырька меняется слабо и, соответственно, температура тоже. В данном случае это так при R_0 менее 1 мкм. Аналогичную роль играет и гидростатическое давление в жидкости.

Выводы. Проведенными исследованиями установлено, что максимальное увеличение температуры внутри сжимающихся под действием импульса давления газовых пузырьков происходит при наличии в пузырьке тяжелых инертных газов и при не слишком малом начальном радиусе. При амплитуде давления 5,5 атм для пузырьков аргона с радиусом 40 мкм температура в фазе сжатия достигает 1315°C .

Литература

- 1 Воротникова М.И., Солоухин Р.И. Расчет пульсаций газовых пузырьков в несжимаемой жидкости под действием периодически изменяющегося давления // Акустический журнал. 1964. т.10. вып.1. С.34-38.
- 2 Гордейчук Т.В. Сонолюминесценция кавитационной области воды в атмосфере инертных газов. Автореф.канд.дис. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2003. 20 с.

КРУГОСВЕТНЫЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ КАК ТРИГГЕР СИЛЬНЫХ АФТЕРШОКОВ

Завьялов А.Д. (Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, zavyalov@ifz.ru), Зотов О.Д. (Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН), Гульельми А.В. (Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН), Лавров И.П. (Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН)*

Аннотация:

Предлагаемая работа посвящена детальному статистическому анализу эффекта кругосветного сейсмического эха по данным мировых и региональных каталогов землетрясений за длительный период инструментальных сейсмологических наблюдений. Обнаруженный эффект может быть полезен при оценке вероятности прогноза повторного сильного толчка в эпицентральной зоне произошедшего сильного землетрясения.

Ключевые слова: Землетрясение, кругосветная поверхностная сейсмическая волна, эффект сейсмического эха, афтершок, главный толчок, триггер, эпицентральная зона

В недавних наших работах мы обнаружили и описали новые, неизвестные ранее закономерности в динамике потока афтершоков [1, 2, 3]. Одна из них заключается в том, что сильнейший афтершок сильного землетрясения может быть индуцирован поверхностной сейсмической волной, сделавшей оборот вокруг Земли и вернувшейся в эпицентральную зону главного толчка примерно через три часа. Это явление мы назвали «эффект сейсмического эха». Физическая природа сейсмического эха, по мнению авторов, состоит в том, что благодаря эффекту суперпозиции происходит концентрация волновой энергии при достижении сходящимися поверхностными волнами эпицентральной зоны (кумулятивный эффект). Наиболее четко проявляется эффект первого сейсмического эха. При этом в окрестности 3-х часов относительно времени основного толчка наблюдается статистически значимое отклонение афтершокового процесса от гиперболического закона Омори [4]. Для объяснения этого на основе формальной аналогии между затуханием активности афтершоков в литосфере и рекомбинацией заряженных частиц в ионосфере предложено дифференциальное уравнение афтершоков [5]. Общее решение уравнения сохраняет гиперболическую структуру закона Омори, но при этом позволяет гибко моделировать нестационарность горных пород в очаге, «остывающем» после главного удара. Общее решение дает возможность также учесть немонотонную зависимость убывания частоты афтершоков от времени, которая возникает при воздействии на очаг эндогенных и экзогенных триггеров. Предлагаемая работа посвящена детальному статистическому анализу эффекта кругосветного сейсмического эха по данным мировых и региональных каталогов за длительный период инструментальных сейсмологических наблюдений.

Для статистического анализа динамики потока сейсмических событий после сильных землетрясений (главных толчков) были использованы выборки из длинных рядов землетрясений, содержащихся в глобальном каталоге USGS/NEIC за период 1973-2014 гг. и в региональном каталоге Северной Калифорнии (NC) за период 1968-2007 гг. В глобальном каталоге анализировались последовательности повторных толчков землетрясений с $M \geq 7$, а в каталоге Северной Калифорнии – с $M \geq 5.5$. Мы сосредоточили внимание на афтершоках, которые возникали в первые десять часов после главного толчка. Для обработки данных и эффективного выделения эффекта сейсмического эха мы разработали и использовали алгоритм, схема которого

представлена на рис. 1. Его основу составляет хорошо известный метод накопления эпох, или синхронного накопления.

На рис. 2-4 представлены накопленные последовательности нормированных магнитуд повторных толчков. Показан статистический результат выделения эффекта сейсмического эха (черная кривая) в сравнении с событиями, в которых эффект отсутствовал (серая кривая) для главных толчков с магнитудами $M \geq 7.5$ (рис. 1), $7 \leq M < 7.5$ (рис. 2), $M \geq 5.5$ (рис. 3). Вертикальная пунктирная линия на рисунках отмечает время максимума эффекта первого кругосветного эха. Сводка результатов статистического анализа эффекта сейсмического эха представлена в таблице.

В работе [4] убедительно продемонстрировано реальное существование эффекта сейсмического эха, обнаруженного нами ранее путем исследования более ограниченных совокупностей землетрясений. Эффект кругосветного сейсмического эха регистрируется как по данным мировых, так и по данным региональных каталогов, как для сильнейших землетрясений, так и для более слабых (см. таблицу). Установлены новые, не известные ранее свойства описанного процесса, из которых следует отметить пространственные особенности проявления эффекта - отсутствие сейсмоактивных зон, в которых бы он проявлялся наиболее часто и ярко (рис. 5), и независимость вероятности его возникновения от магнитуды главного толчка (см. таблицу, крайний правый столбец).

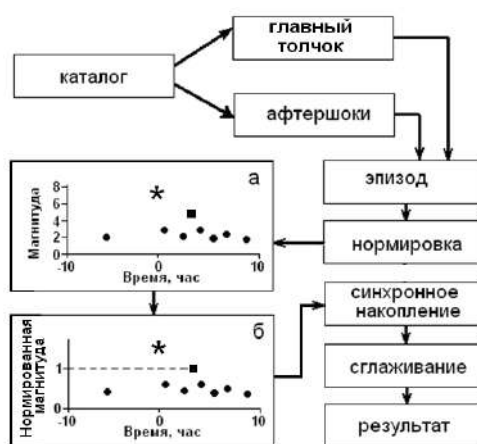


Рисунок 1. Логическая схема выделения эффекта сейсмического эха. На панелях “а” и “б” звездочка – основной толчок, черный квадрат – сильнейший повторный толчок, черные точки – форшоки и другие повторные толчки.

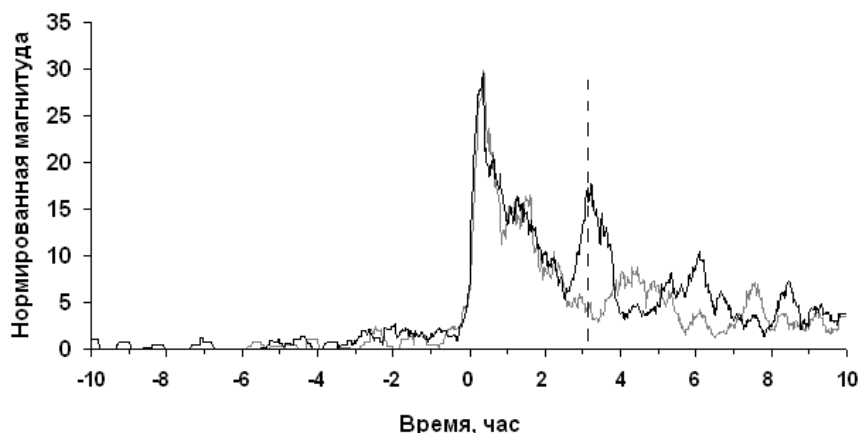


Рисунок 2. Каталог USGS/NEIC. $M_{\text{гт}} \geq 7.5$. Зона выборки $R = 10^\circ$.

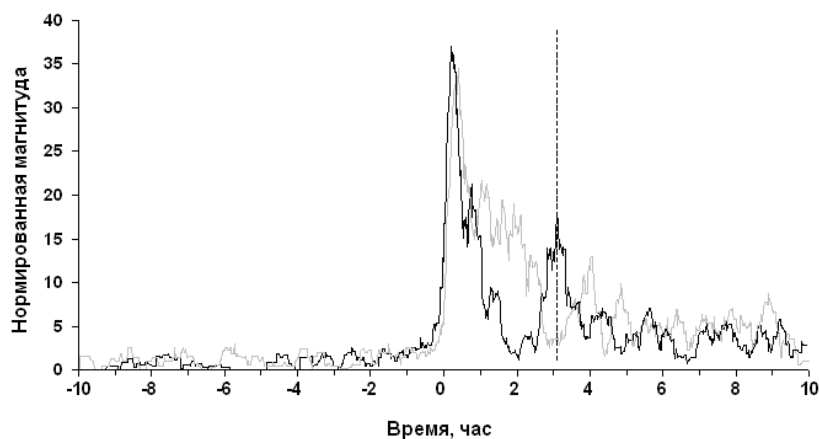


Рисунок 3. Каталог USGS/NEIC. $7 \leq M_{ГТ} < 7.5$. Зона выборки $R = 10^\circ$.

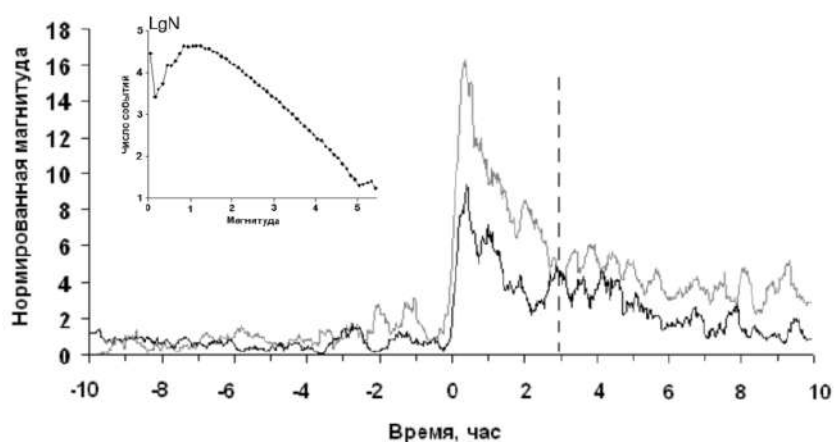


Рисунок 4. Каталог Северной Калифорнии. $M_{ГТ} \geq 5.5$. Зона выборки $R = 1^\circ$.

Обнаруженное явление интересно не только с чисто научной точки зрения. Оно может быть использовано для повышения вероятности прогноза повторного сильного толчка при определении сценария развития сейсмического процесса в эпицентральной зоне произошедшего сильного землетрясения. На основании нашего анализа мы можем утверждать, что существует заметная вероятность возникновения сильного повторного толчка примерно через 3 часа после главного толчка.

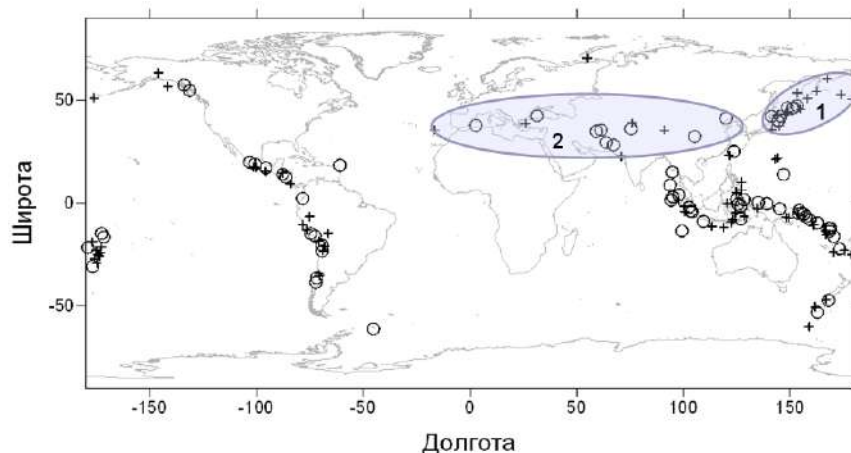


Рисунок 5. Распределение эпицентров главных толчков, создающих эффект кругосветного сейсмического эха (кружки) и не создающих эффект кругосветного сейсмического эха (крестики) и вероятные зоны, в которых большинство основных толчков не вызывают эхо-эффект (зона 1) и вызывают его (зона 2).

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ, проекты № 15-05-00491 и № 18-05-00096 и программ госзаданий Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

Результаты статистического анализа эффекта сейсмического эха

Каталог	Диапазон магнитуд главных толчков	Общее количество главных толчков N_{Σ}	Число главных толчков без афтершоков $N_{БА}$	Число эпизодов первого эхо-эффекта N_1	Число эпизодов второго и/или третьего эхо-эффекта $N_{2/3}$	Число эпизодов с отсутствием эхо-эффекта N_0	Вероятность ожидания первого эхо-эффекта $P = N_1 / (N_{\Sigma} - N_{БА})$
USGS/NEIC	$M \geq 7.5$	190	8	72	36	74	0.40
USGS/NEIC	$7.0 \leq M < 7.5$	387	49	120	-	218	0.36
NC	$M \geq 5.5$	48	6	15	-	27	0.36
ВСЕГО:		625	63	207	36	319	0.37

Литература

1. Гульельми А.В., Зотов О.Д. О скрытой околочасовой периодичности землетрясений // Физика Земли. 2013. № 1. С. 3-10.
2. Гульельми А.В., Зотов О.Д., Завьялов А.Д. Динамика афтершоков Суматра-Андаманского землетрясения // Физика Земли. 2014. № 1. С. 66-74.
3. Гульельми А.В., Завьялов А.Д., Зотов О.Д., Лавров И.П. Зависимость потока афтершоков от магнитуды главного удара // Физика Земли. 2017. № 1. С. 12-19.
4. Зотов О.Д., Завьялов А.Д., Гульельми А.В., Лавров И.П. О возможном эффекте кругосветных поверхностных сейсмических волн в динамике повторных толчков сильных землетрясений // Физика Земли. 2018, № 1. С.187-201.
5. Гульельми А.В., Завьялов А.Д. Закон Омори: к 150-летию юбилею Фусакичи Омори // Вулканология и сейсмология. 2018, № 5. С. 67-72.

АЛГОРИТМ ХАФА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИНЕАМЕНТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ.

Иванова Е.Э. (МГРИ , e-mail: el.ivanovaa@yandex.ru)*

Морочко А.Ф (МГРИ , e-mail: morotchkoa@inbox.ru)

Аннотация

Распознавание простых геометрических фигур на изображениях очень распространено в ряде задач, потому что такие фигуры часто присутствуют в среде, созданной человеком. Например, в задаче восстановления или повышения четкости изображений, полученных при сканировании (оцифровке) исходных графических объектов (чертежей, планов, снимков). Цель статьи – обзор метода, подходящего для решения задачи распознавания примитивов при наличии шумов на изображении. Рассмотрим алгоритм Хафа для обнаружения произвольных прямых на изображениях.

Ключевые слов: изображение, линеаменты, функция, Алгоритм Хафа, процедура голосования.

Преобразование Хафа является дискретным аналогом преобразования Радона и ставит в соответствие каждой прямой на изображении сумму яркостей пикселей вдоль нее (то есть одновременно вычисляет всевозможные суммы вдоль дискретных прямых). Если ввести дискретизацию прямых по наклонам и сдвигам так, чтобы параллельные дискретные прямые плотно упаковывали плоскость, а выходящие из одной точки на одном крае изображения прямые расходились по наклону на противоположном крае на целое число пикселей, тогда количество дискретных прямых на квадрате n^2 будет примерно $4*n^2$. Для этой дискретизации существует алгоритм быстрого вычисления преобразования Хафа с асимптотикой $O(n^2 * \log n)$ [2]. Этот алгоритм является близким аналогом алгоритма быстрого преобразования Фурье, хорошо распараллеливается и не требует никаких операций, кроме сложения.

Классическое преобразование Хафа основывается на следующем параметрическом уравнении прямой:

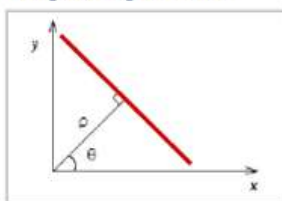
$$X\cos(q)+Y\sin(q) = p \quad (1)$$

Оцифрованное изображение рассматривается как множество точек (x,y) в исходном пространстве $E=(X,Y)$. Множество прямых, проходящих через каждую точку (x,y) может быть изображено как множество точек (p,q) в пространстве $\{p,q\}$. Функция отображения точки в пространстве Хафа называется "функцией отклика" [3].

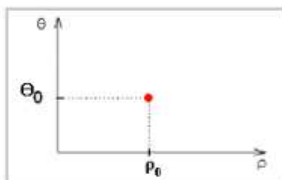
Для каждой точки пространства параметров суммируется количество голосов, поданных за нее, т.е. число точек исходного пространства, порождающих отклики в пространстве параметров, проходящие через данную точку (p,q) . Введенная таким образом функция $A(p,q)$ называется аккумуляторной функцией, причем абсолютное значение ее в точке (p,q) равно числу точек контурного отрезка, лежащих на соответствующей прямой в исходном пространстве изображения.

В том случае, когда на изображении присутствует m прямых, аккумуляторная функция $A(p,q)$ будет иметь ровно m локальных максимумов в точках, соответствующих имеющимся прямым. Таким образом, для обнаружения прямых на исходном изображении достаточно найти все значительные локальные максимумы аккумуляторной функции. Что очень важно с практической точки зрения, такой алгоритм выделения прямых не опирается на предположение о связности анализируемой линии. Поэтому методы голосования хорошо работают в условиях загромождения или наличия других помех [1].

Параметризация



$$x \cos\theta + y \sin\theta = \rho$$



Голосование точек в аккумулятор

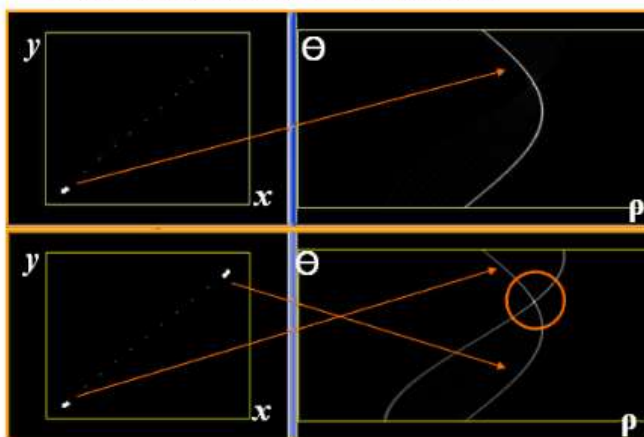


Рисунок 1. Процедура голосования преобразования Хафа.

Как правило, $A(r, \theta)$ вычисляется не для каждой точки пространства параметров, а для каждой «ячейки аккумулятора», т.е. некоторой прямоугольной области, на которые разбивается пространство параметров, и размер которых ограничивает точность вычислений половинным значением дискреты разбиения по каждому из параметров.

Эффективность преобразования Хафа, по сравнению с согласованной фильтрацией, определяется двумя основными факторами[3]:

1) В связи с удачным выбором параметров сформировано пространство параметров низкой размерности ($\text{Dim} = 2$). Алгоритм Хафа инвариантен каффинным преобразованиям плоскости - прямая всегда переходит в прямую.

2) Однократное использование входной информации. Каждый пиксел изображения опрашивается только один раз. При этом дальнейшие вычисления производятся только для пикселов, несущих полезную информацию (в данном случае - контурных). Отсюда непосредственно следует, что вычислительная эффективность преобразования Хафа тем выше, чем меньше число пикселов, несущих полезную информацию, по сравнению с площадью изображения.

Практическая программная реализация преобразования Хафа позволяет выделить на тестовых оцифрованных изображениях точки, принадлежащие линейным элементам, при наличии не только равномерного, но и аддитивного, и выбросового шумов.

Литература

1. Дегтярова А, Веженец В. Преобразование Хафа (Houghtransform). Компьютерная графика и мультимедиа. Выпуск №1(1)/2003. [Электронный ресурс]. URL: <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/3>
2. D.P. Nikolaev, S.M. Karpenko, I.P. Nikolaev, P.P. Nikolaev. Hough transform: Underestimated Tool in Computer Vision Field. In Proc. of 22nd European Conference on Modelling and Simulation, 2008, pp. 238-243.
3. Wiki-Техническое зрение. Преобразование Хафа для поиска прямых[Электронный ресурс]: URL: [http://wiki.technicalvision.ru/index.php/Преобразование Хафа для_поиска_прямых](http://wiki.technicalvision.ru/index.php/Преобразование_Хафа_для_поиска_прямых).

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ЗСБ ПРИ УТОЧНЕНИИ КОНТРУРОВ НЕОГЕНОВОЙ ПАЛЕОДОЛИНЫ НА ОСНОВЕ ДВУХ НЕЗАВИСИМЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ

Ивлева О.А. (МГРИ, artel.alp@gmail.com),
Шустов Н.Л. (МГУ, nicksh@hotmail.ru), Оборнев Е.А. (МГРИ,
ObornevEA@mail.ru), Оборнев Е.А. (МГРИ)*

Аннотация

В рамках зимней учебно-методической практики в д. Александровке были проведены полевые работы методом ЗСБ, с целью исследования разреза и уточнения границ неогеновой палеодолины. Решение обратной задачи велось двумя независимыми группами с применением разного программного обеспечения.

Ключевые слова: Зондирование становлением в ближней зоне (ЗСБ), метод переходных процессов, время становления поля, однопетлевая установка, геоэлектрический разрез.

Местом проведения исследований был выбран субширотный профиль вблизи д. Александровки (Юхновский район, Калужская область). По картографическим данным профиль должен был пересекать неогеновую палеодолину, прорезающую толщю каменноугольных отложений. Длина профиля - 6 км от ур. Косая Гора до ур. Щелоки (рис.1). Целью было изучение палеодолины и уточнение ее границ. В феврале 2018 года на этом профиле также были проведены измерения методом зондирования становлением в ближней зоне (ЗСБ) и построен геоэлектрический разрез. По результатам этой (ретроспективной) интерпретации локация палеодолины несколько отличалась от картографических данных. Поэтому в феврале 2019 года было решено провести детализацию профиля, удвоив шаг между пикетами с 70 метров до 35. Всего за два года на профиле были проведены измерения методом ЗСБ на 173 пикетах. Работы проводились в рамках зимней учебно-методической практики на геофизической базе МГУ в д. Александровка студентами МГУ и МГРИ и материально обеспечивались геофизической фирмой Северо-Запад и НОЦ ИТЕГЕО (МГРИ).

Применяемый метод ЗСБ относится к индукционным методам электроразведки. В данных работах использовалась однопетлевая установка размером 50х50 метров. Для создания импульсов тока в петле и регистрации сигнала использовалась портативная аппаратура «ТЕМ-FAST 48», разработанная в Центре геоэлектромагнитных исследований (ЦГЭМИ филиале ИФЗ РАН) авторы: П.О. Барсуков (выпускник МГРИ) и Э.Б. Файнберг.

В географическом плане район исследований находится на Смоленско-Московской возвышенности. Участок вблизи д. Александровки, где располагается исследуемый профиль, – в локальной Угорской низине. Рельеф здесь слабохолмистый. Перепад абсолютных отметок составляет от 140 до 240 м [1].

С точки зрения геологического строения, изучаемая область относится к юго-западной части Московской синеклизы, пограничной области с Воронежской антеклизой. Строение осадочного чехла демонстрируют несколько скважин в районе. Наиболее подробное описание стратиграфической колонки, которое может быть использовано в качестве априорной информации, принадлежит скважине №1 [2] в д. Александровке, пробуренной до глубины 301,8 м (см. рис. 1)/

Стратиграфия разреза в исследуемом интервале глубин характеризуется (сверху вниз) моренными и аллювиальными четвертичными (изредка неогеновыми) отложениями; породами нижнего отдела каменноугольной системы, представленными

в основном переслаиваниями песка, глины и известняка; мощными отложениями девонской системы, сложенными известняками, доломитами и гипсами.

По геофизическим данным для геоэлектрического разреза опорными слоями, при интерпретации данных ЗСБ, могут служить высокоомные хованский и озерский горизонты верхнего девона (132-118 м), где удельное электрическое сопротивление достигает нескольких тысяч Ом·м. Ниже располагается хорошо проводящий плавский водоносный горизонт (132-182 м) с минерализацией 3,4 г/л. Верхний же комплекс терригенных каменноугольных и четвертичных отложений в целом можно считать достаточно проводящим. Средние значения сопротивлений 20-150 Ом·м. Априорные данные электроразведки на профилях Королево-Железинка и Борисенки-Федюки доступны для анализа и также были использованы в качестве опорной информации.

По результатам предварительного анализа кривых кажущегося сопротивления и построения псевдоразреза (рис.2) были выявлены две зоны повышенного сопротивления. Эти аномалии вероятно говорят о нахождении здесь погребенных речных долин, заполненных высокоомными песками.

Проведённая интерпретация данных, путем одномерного ручного подбора модели для каждой кривой, подтвердила результаты первичного анализа полевых данных. На обоих разрезах отчетливо выражается неогеновая палеодолина, находящаяся в третьей четверти профиля, что коррелирует с результатами анализа соседних профилей (Рис. 3). Для сравнения результатов решения обратной задачи использовались два независимых программных комплекса TemResecher (автор: Барсуков П.О.[3]) и IPI2Win (автор: Бобачев А. А.).

При решении обратной задачи большую роль играет стартовая геологическая модель, построенная на основе априорной информации. При автоматической инверсии без задания параметров кривая также может быть подобрана с минимальной невязкой (до 0,1%), однако построенный программой разрез не имеет ничего общего с реальными геологическими данными. Эквивалентность решений обратной задачи является актуальным вопросом современной геофизики.

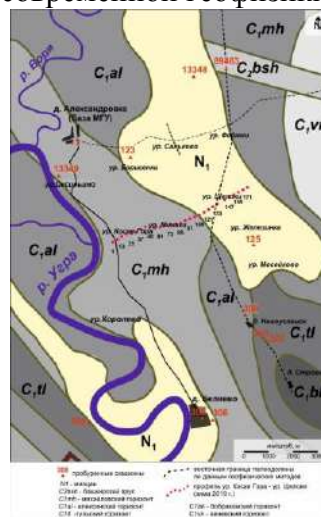


Рисунок 1. Карта фактического материала.

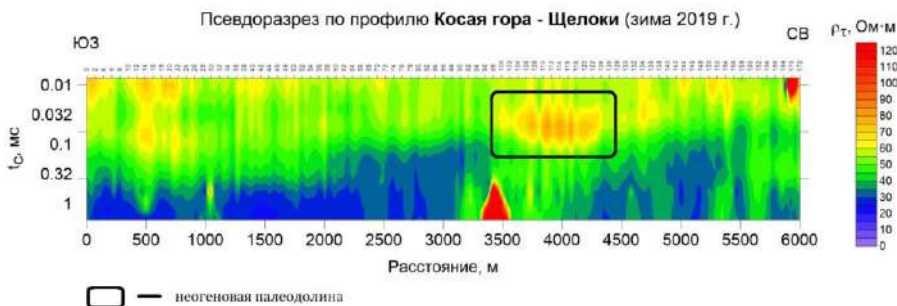


Рисунок 2. Псевдоразрез кажущегося сопротивления, построенный на основе полевых данных 2019 года.

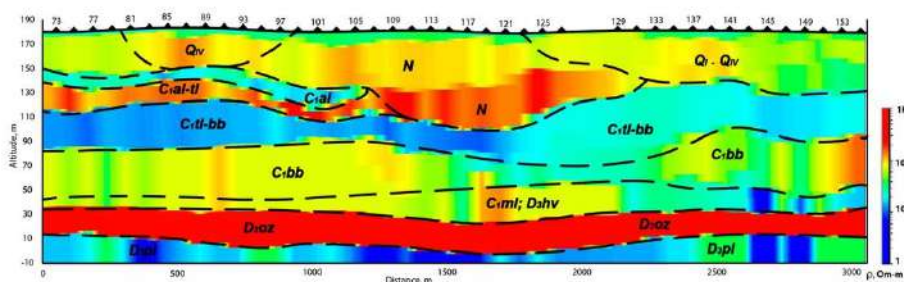


Рисунок 3. Фрагмент геоэлектрического разреза, построенный по данным 2019 года.

Литература

1. Алексанова Е.Д., Алексеев Д.А., Бобачев А.А. и другие. Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей // МГУ им. Ломоносова. Москва, 2017.
2. Васильев А.Г., Гатовский Ю.А., Полянский Б.В., Пекин А.А. Отчет о будении параметрической опорной скважины №1 п/а на территории Александровской (Калужская область) базы учебных геофизических практик геологического факультета МГУ им. Ломоносова. М., 2008.
3. Pavel O. Barsukov, Edward B. Fainberg, and Eugene O. Khabensky. Shallow Investigations by TEM- FAST Technique: Methodology and Examples. Lab EM Methods and Technologies for Environmental Studies, Geoelectromagnetic Research Center IPE RAS, Moscow, Russia. 2015

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО КАРОТАЖА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗОЛЬНОСТИ УГЛЯ

Игнатьев Н. Н. (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Nikolai-ignatjev@list.ru)*

Аннотация

Эксплуатационная разведка имеет огромное значение для всего процесса горных работ, так как позволяет уточнить данные о качестве сырья и горно-геологических условиях его залегания. При этом в условиях рынка важны оперативность и стоимость такой разведки. Бескерновое бурение с использованием механического каротажа призвано ускорить и удешевить процесс эксплуатационной разведки в сравнении с традиционным бурением с отбором керна. На данном этапе исследования была установлена возможность оценки зольности угля по данным механического каротажа и проведены первые испытания в условиях действующего угольного разреза.

Ключевые слова: бескерновое бурение, механический каротаж, уголь, определение зольности, эксплуатационная разведка, добыча угля

Хотя на этапе детальной геологической разведки месторождения собираются данные для подсчёта запасов и постановки их на государственный баланс, геологическая разведка на этом не заканчивается, а лишь переходит на этап эксплуатационной разведки. Практика показывает, что задачи разведки на этапе эксплуатации месторождения несколько отличаются от задач разведки на предыдущих этапах жизни месторождения. Так на этапе эксплуатации в первую очередь уточняются данные об основных качественных показателях угля, его запасах в конкретных контурах и горно-геологических условиях его залегания на выбранном участке. Более подробные данные о строении угленосной толщи играют второстепенную роль и как правило принимаются по данным детальной разведки.

Кроме того, существенную роль также играют такие факторы как оперативность проведения геологоразведочных работ и их стоимость. В этом смысле выгодно отличается бескерновое бурение с применением скважинных геофизических методов. Об этом упоминал ещё во второй половине двадцатого века известный советский геофизик Владимир Васильевич Гречухин [1].

Ещё одним методом исследования пород в скважине является механический каротаж. Данный метод позволяет получать данные о параметрах бурения, таких как скорость бурения, скорость вращения бурового снаряда, момента вращения и давления на забой, а на их основе определять границу между вмещающими породами и угольными пластами и даже оценивать зольность пластов угля. Как известно, угли отличаются от вмещающих пород по своим физико-механическим параметрам, данные угли не являются исключением [2]. Благодаря этому отличаются и параметры бурения при бурении по вмещающим породам и углю. Например, скорость бурения скважины отличается весьма значительно: при бурении по вмещающим породам скорость проходки скважины в 2-4 раза меньше, чем при бурении по углю.

Данный факт активно используется на разрезе Билина в Чехии для определения цементированных глыб в рыхлых отложениях и определения положения угольных пластов [3], а также на Олонь-Шибирском и Никольском каменноугольных месторождениях, разрабатываемых АО «СУЭК», для определения кровли угольного пласта при бурении скважин под взрыв, что позволяет избежать перерасхода взрывчатых веществ, а также излишнего засорения угля взорванными породами.

Целью данного исследования стала возможность применения механического каротажа для оценки зольности угольных пластов. С этой целью было проведено сопоставление данных скорости бурения, как наиболее информативного показателя механического каротажа, с данными зольности по ГГК-С (Рисунок 1).

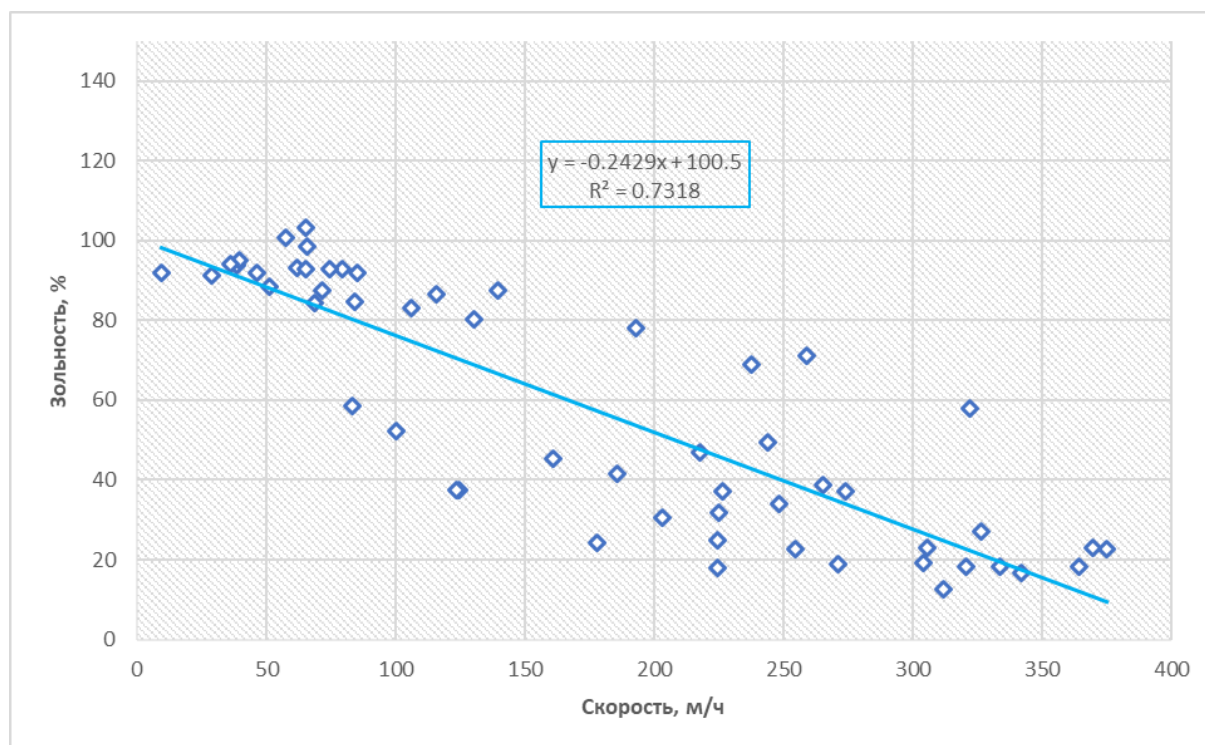


Рисунок 1. График зависимости скорости бурения от зольности.

В итоге была обнаружена сильная отрицательная корреляционная зависимость скорости бурения от зольности (коэффициент корреляции равен -0,85). После этого было проведено исследование корреляции других параметров механического каротажа (скорости вращения бурового снаряда, момента вращения, давления на забой, давления воздуха в системе воздушной промывки) с зольностью, которое показало отсутствие зависимости между рассматриваемыми величинами (коэффициент корреляции не превышает 0,37).

Для проверки полученной зависимости были выбраны более тридцати буровзрывных скважин, пересекающих угольные пласты. В результате при оценке зольности угольных пластов явно выделяется две группы скважин: в первой группе скважины, в которых разница при оценке зольности пластов угля не превышает 6% при сравнении с данными детальной разведки, а во второй группе скважины, в которых зольность резко завышена.

В результате анализа была установлено, что во всех скважинах второй группы происходило значительное осыпание рыхлого материала от устья скважины и кусков породы из её стенок. Из-за осыпания рыхлого материала в скважину, машинисту буровой установки приходится вмешиваться в процесс бурения и вручную замедлять его для более эффективного удаления шлама из скважины, что напрямую искажает данные скорости бурения и влияет на оценку зольности.

Таким образом представленное исследование обосновывает возможность применения бескернового бурения с использованием механического каротажа для целей эксплуатационной разведки на каменноугольном месторождении, что несомненно позволит удешевить процесс эксплуатационной разведки и многократно

его ускорить за счёт получения данных непосредственно в процессе бурения скважины. А в комплексе с проведением буровзрывных работ, более подробную эксплуатационную разведку можно проводить одновременно с бурением скважин под взрыв, что даёт максимальный прирост эффективности и плотности полученных данных. Метод безусловно требует дальнейшего изучения и увеличения точности оценки зольности угля, что и является целью дальнейшего исследования, в котором будут учтены факторы, влияющие на точность метода. Работа в этом направлении уже ведётся.

Литература

1. Гречухин В. В. Петрофизика угленосных формаций. – НПО "Нефтегеофизика". – М.: Недра. – 1990. – 471с.
2. Гречухин В. В. Геофизические методы исследования угольных скважин. – М.: Недра. – 1965. – 468 с.
3. Мах Карел, Использование записи механических параметров бескернового бурения (механический каротаж) в процессе геологической разведки бурогоугольного месторождения Билина (Чешская Республика) // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – №4. – 2012. – С. 80-84.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАНОВЛЕНИЯ ПОЛЯ НАКЛОННОГО ЭЛЕКТРОПРОВОДНОГО ПЛАСТА

Гоголева Л.П. (Северо-Восточный федеральный университет им.
М.К. Аммосова, lu.romanova95@mail.ru)*

Илларионова М.Г. (Северо-Восточный федеральный университет им.
М.К. Аммосова, millariono@mail.ru)*

*Ним Ю.А. (Северо-Восточный федеральный университет им.
М.К. Аммосова, gmpirmpi@mail.ru)*

Аннотация

Приводятся математические модели неустановившегося электромагнитного поля горизонтального электрического диполя в присутствии наклонного электропроводного пласта, аппроксимированного известной полуплоскостью S. Методом динамического зеркального изображения конструируется инженерно-аналитическая модель становления электромагнитного поля наклонной пластовой геологической структуры.

Ключевые слова: математическая модель, становление поля, неустановившееся электромагнитное поле, наклонный пласт, динамическое зеркальное изображение, электрический диполь.

При решении задач зондирования и электропрофилирования становлением электромагнитного поля одним из проблемных вопросов является оценка влияния горизонтально-неоднородных геологических структур [1-6]. Но вследствие существенных сложностей строгого математического решения подобных задач технологические решения базируются в основном на результатах физического моделирования и приближенных оценках. В этой связи в качестве примера целесообразно рассмотреть инженерно-аналитические модели становления поля наклонных пластовых структур. В качестве физико-геометрической модели наклонного пласта рассмотрим известную модель полуплоскости S, полученную методом зеркальных изображений на базе моделей электродинамических полей вертикального и горизонтального электрических диполей [1,2,4,5].

Приводим одну из компонент математических моделей неустановившегося электромагнитного поля и ее интегральную характеристику наклонного электропроводного пласта применительно к технологии совмещенного варианта метода переходных процессов, по которым рассчитаны искомые значения ЭДС поля (1) и построены графические изображения (рис.1).

$$E_x = \left(\frac{Jdz}{2\pi S} \frac{\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)r^2 - 6\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)^2}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)^2 + r^2\right]^{5/2}} + \frac{Jdx}{\mu\pi S^2} \frac{r^2 - \left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)^2}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)^2 + r^2\right]^{5/2}} \right) \cos \alpha +$$

$$+ \left(\frac{6Jdz}{\pi S} \frac{\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h - z\right)}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h - z\right)^2 + r^2\right]^{5/2}} - \frac{Jdx}{\mu\pi S^2} \frac{r^2 - \left(\frac{2t}{\mu S} + 2h - z\right)^2}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h - z\right)^2 + r^2\right]^{5/2}} \right) \sin \alpha \quad (1)$$

где μ - магнитная проницаемость, Jdz - момент вертикального электрического диполя при электропрофилировании наклонного пласта, Jdx - момент горизонтального вертикального электрического диполя при электропрофилировании наклонного пласта, S - продольная проводимость пласта, r, φ , z - цилиндрические координаты,

совмещенные с декартовой x, y, z , t - время, h – расстояние от плоскости S до источника поля.

Таблица 1. Расчетные значения ЭДС аномального поля в совмещенном варианте над наклонной полуплоскостью S при углах наклона $90^\circ, 60^\circ, 30^\circ$

x	t	π	μ	S	90°	60°	30°
-10	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-3,7E-07	-3,2E-07	-1,5E-07
-9	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-1,1E-06	-9,1E-07	-4,2E-07
-8	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-3,3E-06	-2,9E-06	-1,3E-06
-7	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-1,2E-05	-1,1E-05	-4,9E-06
-6	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-5,5E-05	-4,8E-05	-2,2E-05
-5	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00031	-0,00027	-0,00013
-4	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00252	-0,00218	-0,00101
-3	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,03239	-0,02805	-0,01295
-2	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,67759	-0,58679	-0,27104
-1	0,0001	3,14	1,26E-06	100	190,9697	165,3798	76,38789
0	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0	0	0
1	0,0001	3,14	1,26E-06	100	190,9697	95,48486	38,19395
2	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,67759	-0,33879	-0,13552
3	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,03239	-0,01619	-0,00648
4	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00252	-0,00126	-0,0005
5	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00031	-0,00016	-6,3E-05
6	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-5,5E-05	-2,7E-05	-1,1E-05
7	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-1,2E-05	-6,2E-06	-2,5E-06
8	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-3,3E-06	-1,7E-06	-6,7E-07
9	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-1,1E-06	-5,3E-07	-2,1E-07
10	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-3,7E-07	-1,9E-07	-7,5E-08

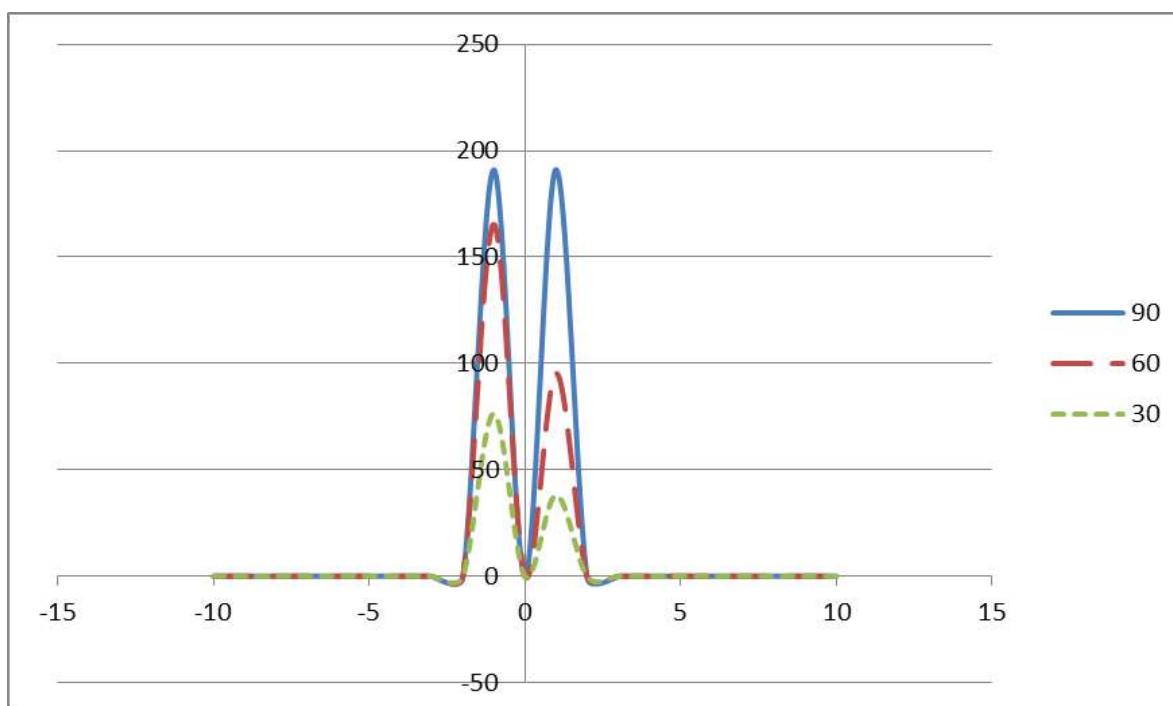


Рисунок 1. Графики ЭДС аномального поля в совмещенном варианте над наклонной полуплоскостью S при углах наклона $90^\circ, 60^\circ, 30^\circ$.

Сформируем математическую модель импульсного потока магнитной индукции наклонного электропроводного пласта в совмещенном варианте. Для этого необходимо развернуть на угол наклона (α) воображаемую земную поверхность на этот угол так,

чтобы плоскость S была перпендикулярна и параллельна, соответственно, вертикальному и горизонтальному электрическим диполям. Тогда в новых координатах (x_1, y_1, z_1) находим импульсное электромагнитное поле вертикального и горизонтального электрических диполей. Определив магнитные потоки, возбуждаемые вертикальным и горизонтальным возбудителями плоскости S в новых координатах, преобразуем их для наклонного положения пласта, возвращаясь к исходным координатам, согласно правил сложения векторов. На рис. 2 приведены графики горизонтальной компоненты импульсного потока магнитной индукции Φ_x , рассчитанные по формуле (2).

$$\Phi_x = \left(\frac{JdzR}{2} \frac{r^2 - 2\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)^2}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)^2 + r^2\right]^{5/2}} + \frac{JdxR}{S} \frac{\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h + z\right)^2 + r^2\right]^{5/2}} \right) \cos \alpha + \left(-\frac{\mu Jdz}{2} \frac{1}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h - z\right)^2 + r^2\right]^{3/2}} - \frac{Jdx}{2\pi S} \frac{\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h - z\right)}{\left[\left(\frac{2t}{\mu S} + 2h - z\right)^2 + r^2\right]^{3/2}} \right) \sin \alpha \quad (2)$$

где μ - магнитная проницаемость, Jdz - момент вертикального электрического диполя при электропрофилеировании наклонного пласта, Jdx - момент горизонтального вертикального электрического диполя при электропрофилеировании наклонного пласта, S - продольная проводимость пласта, r , φ , z - цилиндрические координаты, совмещенные с декартовой x , y , z , t - время, h - расстояние от плоскости S до источника поля, Φ_x - горизонтальная компонента потока магнитной индукции, R - контур, пронизываемый магнитным потоком.

Таблица 2. Расчетные значения импульсного потока магнитной индукции Φ_x при профилировании электропроводного пласта S в совмещенном варианте.

x	t	π	μ	S	90°	60°	30°
-10	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,000222	0,000193	8,9E-05
-9	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-8,3E-05	-7,2E-05	-3,3E-05
-8	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00022	-0,00019	-8,7E-05
-7	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00017	-0,00015	-6,9E-05
-6	0,0001	3,14	1,26E-06	100	6,78E-05	5,87E-05	2,71E-05
-5	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,000525	0,000455	0,00021
-4	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,001236	0,001071	0,000495
-3	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,002259	0,001956	0,000904
-2	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,003684	0,00319	0,001473
-1	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,005657	0,004899	0,002263
0	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0	0	0
1	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,005657	0,002828	0,001131
2	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,003684	0,001842	0,000737
3	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,002259	0,001129	0,000452
4	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,001236	0,000618	0,000247
5	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,000525	0,000263	0,000105
6	0,0001	3,14	1,26E-06	100	6,78E-05	3,39E-05	1,36E-05
7	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00017	-8,6E-05	-3,4E-05
8	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-0,00022	-0,00011	-4,3E-05
9	0,0001	3,14	1,26E-06	100	-8,3E-05	-4,1E-05	-1,7E-05
10	0,0001	3,14	1,26E-06	100	0,000222	0,000111	4,45E-05

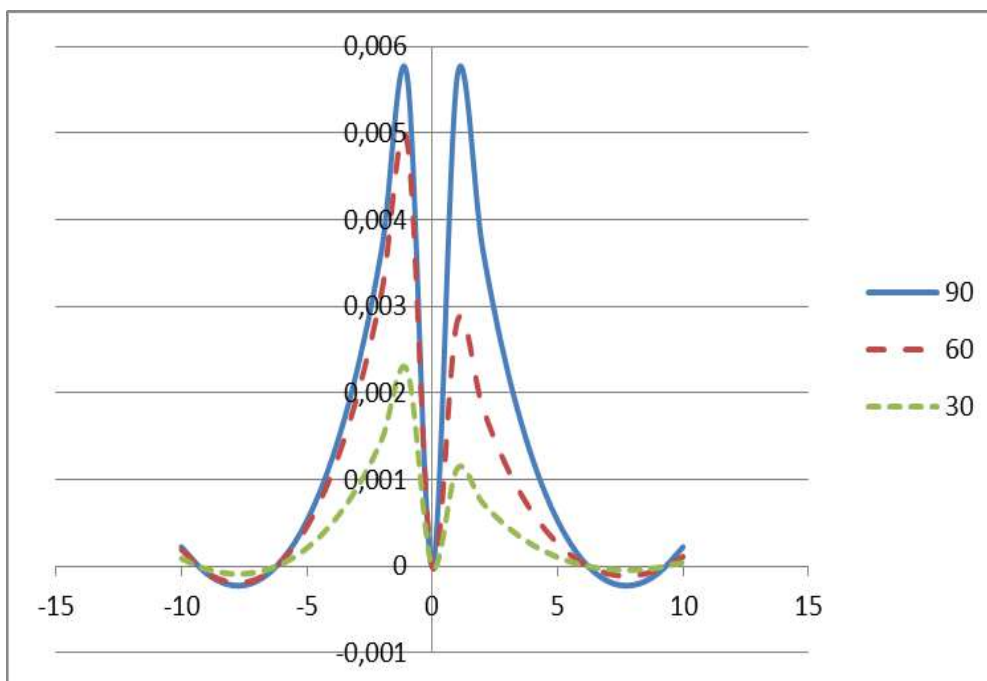


Рисунок 2. Графики импульсного потока магнитной индукции Φ_x при профилировании электропроводного пласта S в совмещенном варианте, залегающего под углом 90° , 60° , 30° .

Анализ полученных результатов не противоречит подобным «родственным» технологиям совмещенного электромагнитного профилирования [1].

Литература

1. Давыдов В.Н. Электромагнитное поле наклонного электрического диполя // В кн.: Электромагнитное поле в геофизических методах исследования. – М.: Наука, 1970. – С.52-61
2. Зондирование становлением поля в ближней зоне. М.: Недра. 1976. – 102 с.
3. Ивочкин В.Г., Нахабцев А.С. Учет влияния рельефа в виде наклонной плоскости при электромагнитном профилировании. Л.: Вопросы геофизики. Вып. 17. 1967. №333. – С. 57-87
4. Ним Ю.А., Романова Л.П., Илларионова М.Г. Экспериментально-численное формирование математических моделей неустановившегося электромагнитного поля крутопадающего тонкого проводящего пласта // Разведка и охрана недр. 2015. №11. С. 22-27.
5. Ним Ю.А., Илларионова М.Г., Гоголева Л.П. Математическое моделирование импульсного электромагнитного поля, вертикального электропроводного пласта и ее интегральной характеристики при его измерении совмещенными электрическими диполями. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России», Том II. Якутск, ИМЗ СО РАН. 2018. – С. 131-134.
6. Электроразведка методами ЗСБ и МПП при поисках нефтегазовых и глубокозалегающих рудных месторождений Сибири. Сб. науч. тр. – Новосибирск, СНИИГГиМС. 1989. – 143 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСЕЙШИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ИМПУЛЬСНОЙ ИНДУКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

Исакова Е.П. (Санкт-Петербургский горный университет,
isakowa.ek@yandex.ru),*

Данильев С.М. (Санкт-Петербургский горный университет, daniliev@mail.ru)

Аннотация

В наши дни стоит задача о повышении разрешающей способности электроразведки. Сложность выделения слабоконтрастных аномалий и глубинных локальных объектов в среде с горизонтально-неоднородными толщами, а также поиск полезных ископаемых в труднодоступных районах ставит перед электроразведкой задачу об упрощении, расширении возможностей электроразведочных возможностей. В данном случае, опыт применения и изучения методов импульсной электроразведки показал себя высокоэффективным при исследованиях слабоконтрастных и сложноподчиненных геологических сред.

Ключевые слова: импульсная индуктивная электроразведка, переходный процесс, горизонтальная незаземленная петля, моделирование.

Введение

Электроразведочные методы в настоящее время имеют широкую популярность. Накопление достаточной теоретической базы, создание новой аппаратуры, усовершенствование технологий позволяет электроразведке развиваться и приносить большой вклад в геофизические исследования. На сегодняшний день с помощью электроразведки возможны выполнение следующих задач: картирование геологические структур, выполнение поисковых задач на руду, нефть, воду и т.д., отслеживать экологическое состояние окружающего мира, а также проводить инженерные изыскания. Электроразведка включает множество видов и технологий измерений, среди которых можно выделить применение методов импульсной индукционной разведки при решении задач поиска месторождений полезных ископаемых. В настоящий момент имеется значительный материал по применению данного метода и его результатах, свидетельствующие о высокой эффективности метода. Основной задачей метода является исследование процессов становления поля в среде и выявление основных закономерностей измерения, связанных с геоэлектрикой.

Целью исследования является рассмотрение метода импульсной индуктивной электроразведки с контролируемым источников электромагнитного поля для изучения закономерностей распространения сигналов, а также распространения их в модельных геологических средах. Теоретические основы опираются на исследования, выполненных с помощью простых геологических моделях.

Для изучения геологических сред с помощью повышения пространственной разрешающей способности, увеличение глубинности необходимо детальное изучение верхней части разреза изучаемой среды. Верхняя часть разреза представляет собой важную часть изучения в геофизике в связи с тем, что в данной среде, особенно это касается крупных городов, имеются техногенные объекты в виде источников водоснабжения, канализации, нефтепроводы, система кабелей и прочие подземные антропогенные сооружения.

В связи со слабой изученностью верхней части разреза предполагается возникновение техногенных аварий, влекущие за собой экологические и экономические проблемы. Существует проблема изучения и мониторинга верхней части разреза.

Необходимы внедрение и развитие систем наблюдений, способных адекватно, с точки зрения экономики и эффективности, решать эту проблему. Кроме вышесказанного, изучение верхней части геологической среды влечет за собой и поиск месторождений полезных ископаемых.

Теоретические основы методы

Как показывает практика наиболее эффективной установкой для обнаружения аномалий являются совмещенная установка («петля в петле» т.е. приемная петля вдоль генераторной) и однопетлевая (генераторная петля служит также приемной). При включении-выключении тока в генераторной петле происходит возбуждение поля в исследуемой среде. Возбуждаемое поле в приемной петле вызывает ЭДС индукции.

Если выполнить измерения в точке при различных значениях времени t , то можно построить зависимость ЭДС от времени. Такая зависимость называется переходной характеристикой среды или сигналом становления поля и ее график представляет кривую спада (Рисунок 1).

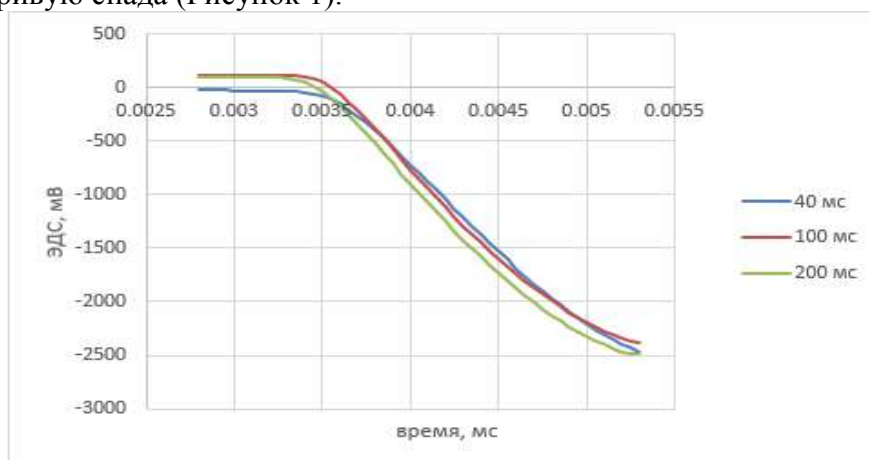


Рисунок 1. Переходная характеристика среды в эксперименте с водой при разном времени

Смысл индукционного метода состоит в следующем: с помощью незаземленного контура возбуждается первичный импульс магнитного поля и в паузах между импульсами осуществляется прием изменяющегося во времени магнитное поле или его производная на тот же (однопетлевая установка) или другой контур (совмещенная установка). Выключение импульса магнитного поля приводит к возникновению в проводящей среде устанавливающегося во времени ЭДС индукции, возбуждающей затухающие вихревые токи. Скорость и интенсивность затухания этих токов зависит от проводящих свойств среды. После выключения импульса электрического поля в проводящих и поляризующихся породах появляются вторичные поля вызванной поляризации противоположного знака.

Процессы, возникающие в элементарном объеме поляризующейся среды при включении постоянного электрического поля схожи с процессами, происходящими при зарядке аккумулятора. Зарядка – это накопление электрической энергии при прохождении тока за счет превращения ее в другой вид энергии (например, химическую), разрядка – процесс прохождения тока через внешнюю цепь противоположно току зарядки. Соответственно этой схеме – зарядке аккумулятора эквивалентен процесс прохождения тока при постоянном поляризующемся поле, разрядке – вторичный процесс, возникающий при выключении поляризующегося поля.

Моделирование сред

Для того, чтобы воссоздать сигнал в различных геологических средах и получить эталонный сигнал в элементарной среде произведено физическое моделирование. Объектом изучения служит возникающая ЭДС переходного процесса,

наведение которой происходит в приемной рамке вихревыми токами, возникающими непосредственно после выключения тока в генераторной рамке (Рисунок 2). Преимуществом физического моделирования в первую очередь является наблюдаемый переходный процесс, который может наблюдаться и в реальных геологических средах. Также можно оценить параметры генераторно-измерительной системы.

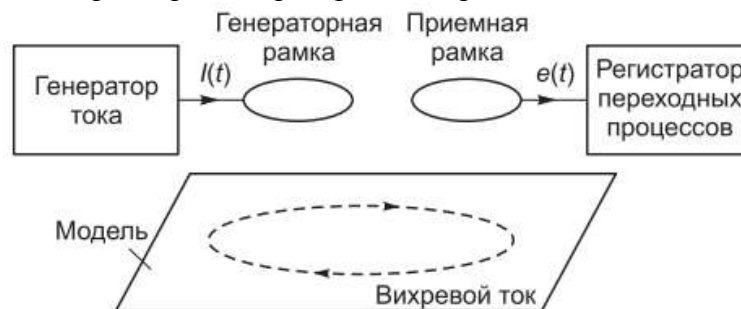


Рисунок 2. Возбуждение переходного процесса в моделируемых средах

Источник электромагнитного поля представлен в эксперименте в виде круговой петли радиуса $R = 15$ см, расположенной непосредственно над центром изучаемых сред. Моделируемая среда имеет размеры 60×90 см. Среда представлена в виде: 1 – песок, 2 – песок с металлической пластиной, расположенной на глубине 10 см, 3 – гранитная плита 50×50 см толщиной 5 см, 4 – водный резервуар. Исследования проводилась при разном времени от 4 мс до 200 мс.

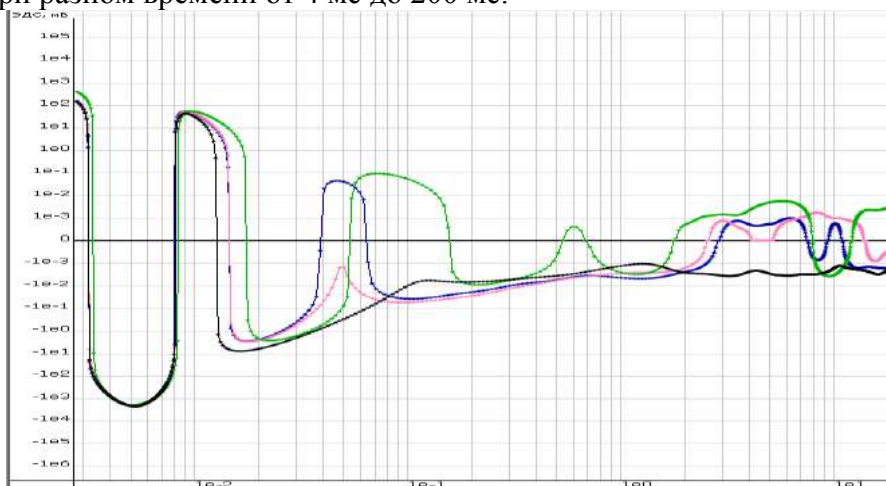


Рисунок 3. Кривые 4-х сред при моделировании (синий-вода, розовый-гранит, зеленый-песок, черный-песок с металлической пластиной, $t=40$ мс)

На рисунке 3 представлено сопоставление аномальных полей для четырех сред (вода, гранит, песок, песок с металлической пластиной). Геометрия модели рассмотрены ранее. В качестве конечного результата сигналов выполнено сглаживание кривых и фильтрация. Из анализа кривых над моделями простейших геологических сред следует, что ток распространяется дальше в проводящей среде, в данном случае в средах с песком и металлической пластиной и воде, гранит имеет меньшую проводимость, по сравнению с ранее описываемыми средами. При анализе модели с песком наблюдается отзеркаливание сигнала.

При рассмотрении производной (Рисунок 4) хорошо прослеживаются проводящие среды. Песок с металлической пластиной в сумме имеют меньше сопротивление, чем остальные среды, на графике это прослеживается. Песок же, по сравнению с другими средами обладает большим сопротивлением, что опять-таки отображается на графике кривых.

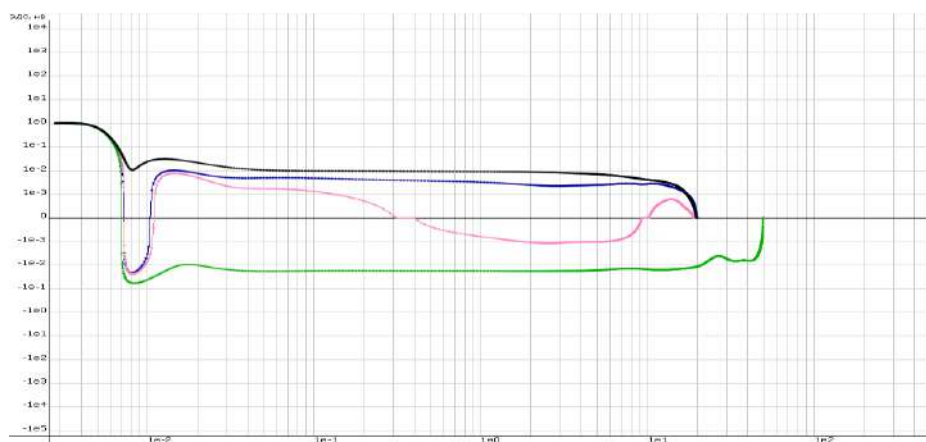


Рисунок 4. Кривые при взятии производной по току 4-х сред при моделировании (синий-вода, розовый-гранит, зеленый-песок, черный-песок с металлической пластиной, $t=40$ мс

Выводы

Возможность переходного процесса в петле для импульсной индуктивной электроразведки позволяет оценить физические свойства верхней части разреза. В качестве эксперимента проведен опыт с четырьмя различными средами с использованием горизонтальной петли. В лабораторных условиях с помощью аппаратуры «Импульс-Д» удалось зарегистрировать сигналы от простейших геологических сред. На ряду с этим метод считается перспективным, с его помощью можно реализовать решение различных геологических задач. Основная сложность заключается в адекватной интерпретации экспериментальных данных. Электрограммы, полученные в полевых условиях, часто свидетельствуют о более сложной структуре электромагнитного поля, чем дает его при лабораторном исследовании. Есть основания полагать, что необходимо проводить дополнительные исследования в более сложных слоисто-неоднородных средах.

Литература

1. Кожевников Н.О. Переходный процесс в петле и его использование при оценке измерительной системы для импульсной индуктивной электроразведки. Геология и геофизика, 2012. Т.53, №11. С 1614-1627
2. Тригубович Г.М. Импульсная индуктивная электроразведка при исследовании сложно построенных сред // Диссертация. Новосибирск 1999. С 278
3. Яхина И.А. Развитие теории и методик интерпретации в зондированиях методом переходных процессов при изучении геоэлектрики слабоконтрастных сред// Диссертация. 2014. С 119

ИНДУЦИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗАРЯДЫ И ПАРАДОКС АНИЗОТРОПИИ

Каринский А.Д. (МГРИ, akarinski@mail.ru)

Аннотация

Для модели однородной анизотропной среды рассмотрены результаты расчётов для случаев, когда сторонними источниками стационарного электрического поля являются имеющие различную ориентацию относительно оси анизотропии электрические диполи. Показано, что причиной того явления, которое было названо "парадокс анизотропии", является влияние на электрическое поле индуцированных в анизотропной среде объёмных электрических зарядов.

Ключевые слова: Анизотропная среда; индуцированные заряды; электрические диполи; парадокс анизотропии.

Анизотропия по удельному электрическому сопротивлению ρ присуща многим горным породам. Анизотропия горных пород может оказывать значительное влияние на результаты различных электрических и электромагнитных методов геофизики. Наиболее часто применяемой для характеристики электрических параметров анизотропных горных пород моделью среды является среда с осевой анизотропией. Удельное электрическое сопротивление такой среды характеризуют два значения: ρ_n - по направлению оси анизотропии n (ориентированной, например, по нормали к напластованию тонкослоистых пород) и ρ_t - по любому, ортогональному оси n , направлению t . Параметры электрической анизотропии содержат важную информацию о свойствах пород, так как величины ρ_t , ρ_n по-разному зависят от типа насыщения пород, их фильтрационных свойств и других факторов. Другие параметры, характеризующие электрически анизотропную среду, это - коэффициент анизотропии $\lambda = \sqrt{\rho_n / \rho_t}$ и среднегеометрическое удельное электрическое сопротивление $\rho_m = \sqrt{\rho_t \cdot \rho_n}$.

В электроразведке методами сопротивления и в каротаже сопротивления сторонними источниками стационарного электрического поля \mathbf{E} являются токовые электроды A , B , а измеряемая величина - разность потенциалов ΔU_{MN} поля \mathbf{E} в измерительных электродах M , N . По результатам измерений определяют кажущееся удельное электрическое сопротивление ρ_k , которое в однородной изотропной среде равно удельному сопротивлению ρ такой среды. Но, применительно к модели однородной анизотропной среды, было установлено, что для линейных установок, у которых электроды расположены на одной прямой, при ориентации этих установок по оси анизотропии n величина ρ_k не равна ρ_n , как можно было предположить, а равна ρ_t . Это явление получило название "парадокс анизотропии".

В основополагающей работе Л. М. Альпина ([Альпин, 1947]) показано, что в изотропных средах индуцированные заряды могут существовать только в местах нарушения однородности среды по удельному электрическому сопротивлению ρ . Но в анизотропной по ρ среде индуцированные заряды могут существовать и в том случае, когда такая среда однородна. Далее будем полагать, что ось Z декартовых координат направлена по оси анизотропии n . Как показано в работе [Kaufman, and Keller, 1989], в однородной анизотропной среде объёмную плотность зарядов δ определяет выражение:

$$\delta = \varepsilon_0 \left(1 - \frac{1}{\lambda^2} \right) \frac{\partial E_z}{\partial z}. \quad (1)$$

Согласно (1), объёмные заряды существуют в однородной анизотропной среде (при $\lambda \neq 1$), если компонента поля \mathbf{E} по оси анизотропии n меняется по направлению этой оси.

В работах [Каринский, 2002, 2008, 2010, 2018], нами были приведены примеры того, как распределены индуцированные заряды и каково создаваемое ими поле в моделях анизотропной среды при различных способах возбуждения поля (переменный магнитный диполь, кабель с переменным током, токовый электрод). В этом докладе рассмотрены подобные примеры для случая, когда заданным источником стационарного поля \mathbf{E} в однородной анизотропной среде является электрический диполь AB при различных ориентациях диполя относительно оси анизотропии.

Если сторонним источником стационарного поля \mathbf{E} в однородной анизотропной среде является токовый электрический диполь AB , то, в соответствии с (1), в такой среде существуют объёмные индуцированные заряды. Представим фактически действующее поле \mathbf{E} в виде суммы: $\mathbf{E} = \mathbf{E}^e + \mathbf{E}^\delta$, где \mathbf{E}^e - поле зарядов $\pm e$ электродов A, B , а \mathbf{E}^δ - поле объёмных индуцированных зарядов с плотностью δ . Анализ решения соответствующей прямой задачи теории стационарного поля \mathbf{E} показал, что поле \mathbf{E}^e зависит лишь от одного электрического параметра среды - среднегеометрического удельного сопротивления $\rho_m = \sqrt{\rho_t \cdot \rho_n} = \lambda \cdot \rho_t$. В анизотропной среде $\lambda > 1$ и $\rho_m > \rho_t$. Там, где поле $\mathbf{E}^\delta = 0$, суммарное поле \mathbf{E} , зависит только от ρ_m . Там, где $\mathbf{E}^\delta \neq 0$, на поле \mathbf{E} могут оказывать влияние другие электрические параметры среды.

На рис. 1 приведены результаты моделирования для случая, когда источником поля \mathbf{E}^e являются ориентированный по оси анизотропии Z электрический диполь (заряды $\pm e$ электродов A, B) с центром в начале координат. Показанные на рис. 1,а данные расчётов - очевидны. Это - направления векторов \mathbf{E}^e поля диполя. Приведенные на рис. 1,б результаты моделирования показывают распределение в плоскости $y=0$

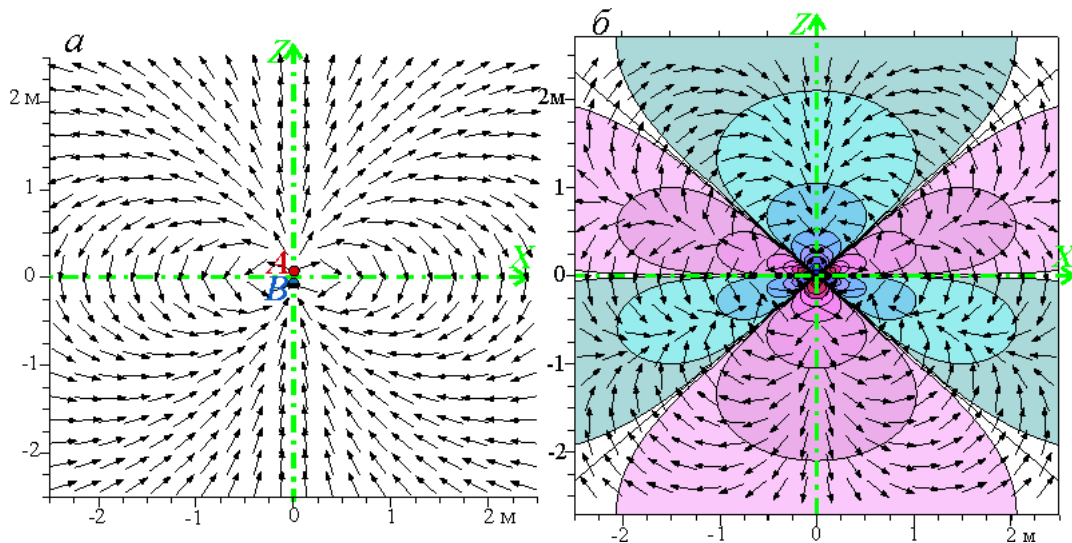


Рисунок 1. - Направления векторов поля \mathbf{E}^e зарядов e_A, e_B ориентированного по оси анизотропии Z диполя AB (а); направления векторов \mathbf{E}^δ поля индуцированных зарядов и распределение плотности δ этих зарядов при $\lambda = 2^{1/2}$ (б)

плотности δ индуцированных зарядов и направления векторов \mathbf{E}^δ поля этих зарядов. Распределение плотности δ при $\delta > 0$ и $\delta < 0$ на рис. 1,б показано, соответственно, оттенками красного и синего цвета. Как видно при сравнении рис. 1,б, 1,а влияние поля \mathbf{E}^δ приводит, в частности, к тому, что на оси Z абсолютная величина ненулевой компоненты E_z поля \mathbf{E} : $|E_z| = |E_z^e + E_z^\delta| < |E_z^e|$. Именно вследствие влияния поля \mathbf{E}^δ на суммарное поле \mathbf{E} на оси анизотропии Z кажущееся удельное электрическое сопротивление $\rho_k = \rho_t$. Это и является объяснением того явления, которое было названо

"парадокс анизотропии". В экваториальной плоскости диполя (при $z=0$) направления полей \mathbf{E}^δ и \mathbf{E}^e - одинаковы и абсолютная величина компоненты E_z : $|E_z| = |E_z^e + E_z^\delta| > |E_z^e|$. В этом случае, как показывает решение соответствующей прямой задачи теории стационарного электрического поля, $\rho_k = \lambda^3 \cdot \rho_t = \lambda^2 \cdot \rho_m$, то есть ρ_k больше ρ_m в λ^2 раз.

На рис. 1,б видно, что в разных областях анизотропной среды индуцированные заряды различаются по знаку. Анализ полученных нами выражений для плотности δ электрических зарядов показал, что $\delta=0$ в плоскости $z=0$ и на круговых конических поверхностях $3(x^2+y^2)=2\lambda^2 z^2$. При переходе через эти поверхности плотность зарядов δ меняет знак.

Рис. 2 отличается от предыдущего рисунка тем, что электрический диполь AB ориентирован ортогонально оси анизотропии Z , по направлению лежащей в плоскости рисунка оси X . Как видно на этом рисунке, в плоскости $x=0$ направления полей \mathbf{E}^δ и \mathbf{E}^e - противоположны. Вследствие этого в этой плоскости абсолютная величина ненулевой

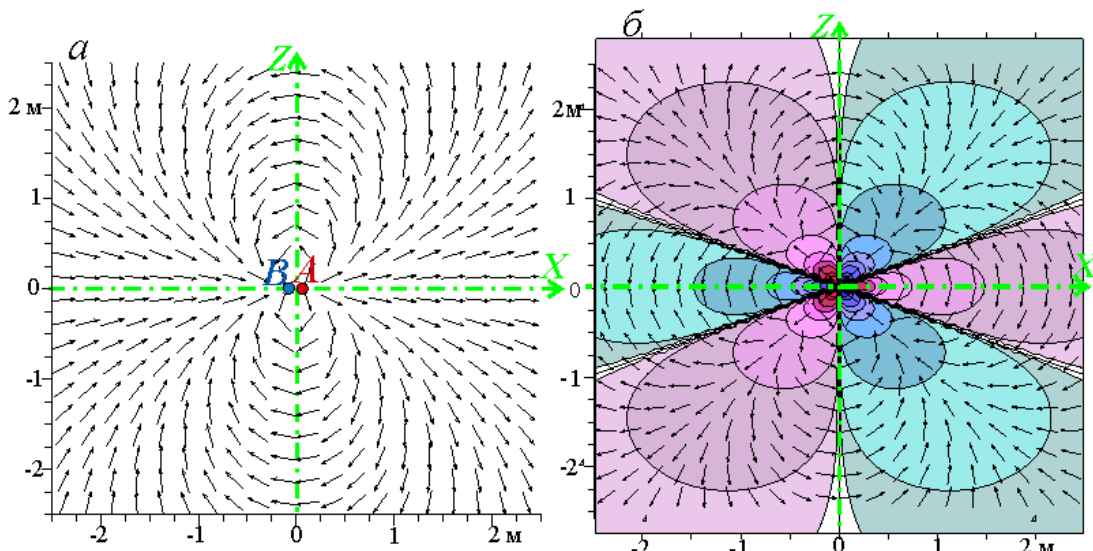


Рисунок 2.- Направления векторов поля \mathbf{E}^e зарядов e_A, e_B ориентированного ортогонально оси анизотропии Z диполя AB (а); направления векторов \mathbf{E}^δ поля индуцированных зарядов и распределение плотности δ этих зарядов при $\lambda=2^{1/2}$ (б)

компоненты E_x поля \mathbf{E} : $|E_x| = |E_x^e + E_x^\delta| < |E_x^e|$ и кажущееся удельное электрическое сопротивление $\rho_k < \rho_m$. Расчёты показывают, что в этом случае $\rho_k = \rho_m / \lambda^3 = \rho_t / \lambda^2$. На оси X поле $\mathbf{E}^\delta = 0$ и, в соответствии со сказанным выше, $\rho_k = \rho_m$. Из полученных нами выражений для δ следует, что в случае, которому соответствует рис. 2,б, плотность δ индуцированных зарядов меняет знак в плоскости $x=0$ и на круговых конических поверхностях $x^2+y^2=4\lambda^2 z^2$.

В электроразведке методом сопротивлений применяют два вида дипольных установок. Это - линейная дипольно-осевая установка (ДОУ), у которой токовые электроды A, B и измерительные электроды M, N лежат на одной прямой l , и нелинейная дипольно-экваториальная установка (ДЭУ). У дипольно-экваториальной установки отрезки AB и MN - взаимно параллельны и ортогональны прямой l , проходящей через центры этих отрезков (рис 3,а).

На рис. 3,б приведены примеры зависимостей при $\lambda = \sqrt{2}$ отношений ρ_k / ρ_t от угла α между "осью" l дипольно-осевой или дипольно-экваториальной установки и осью анизотропии n . В соответствии с изложенным выше для дипольно-осевой установки

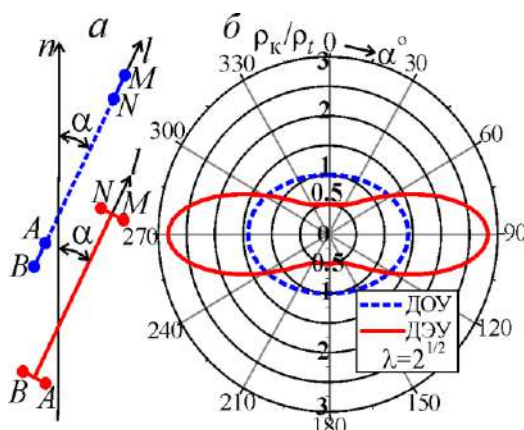


Рисунок 3. Зависимости ρ_k/ρ_t от угла α между осью l установки и осью анизотропии n

при $\alpha=0^\circ$ (или $\alpha=180^\circ$) $\rho_k/\rho_t=1$, а при $\alpha=90^\circ$ (или $\alpha=270^\circ$) $\rho_k/\rho_t=\lambda$. Заметим, что такие же, как для дипольно-осевой установки, зависимости ρ_k/ρ_t от α справедливы и для других линейных установок: симметричной установки Шлюмберже $AMNB$, потенциал-зонда и градиент-зонда каротажа сопротивления. Как видно на рис. 3,б, для дипольно-экваториальной установки при $\alpha=0^\circ$ (или $\alpha=180^\circ$) $\rho_k/\rho_t=1/\lambda^2$, а при $\alpha=90^\circ$ (или $\alpha=270^\circ$) $\rho_k/\rho_t=\lambda^3$. Рис. 3,б может служить иллюстрацией известного в электроразведке факта: при круговом профилировании нелинейные дипольно-экваториальные установки - значительно более "чувствительны" к коэффициенту электрической анизотропии λ по сравнению с линейными установками ([Семёнов, 1975]). То, чем это обусловлено, наглядно иллюстрируют результаты моделирования, приведенные на рис. 1, 2.

Литература

1. Альпин Л. М. Источники поля в теории электроразведки. // Прикладная геофизика, выпуск 3, Гостоптехиздат, 1947. С. 56–100.
2. Каринский А. Д. Физические предпосылки измерения различных компонент поля в электромагнитном каротаже при изучении анизотропии пластов. // Журнал ЕАГО, «Геофизика», 2002, № 4, С. 15 - 23.
3. Каринский А. Д. Влияние электрической анизотропии горных пород на электромагнитное поле в скважине. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, 225 с./ ГОУВПО "Российский государственный геологоразведочный университет". Москва, 2008. <http://www.dissercat.com/content/vliyanie-elektricheskoi-anizotropii-gornykh-porod-na-elektromagnitnoe-pole-v-skvazhine>.
4. Каринский А. Д. Индуцированные заряды в микро- и макроанизотропных средах и их влияние на электрическое поле в анизотропных пластах, пройденных скважиной. // Журнал ЕАГО, «Геофизика», 2010, № 2. С. 37–48.
5. Каринский А. Д. Парадокс анизотропии и его физическое истолкование. Международная научно-практическая конференция // «Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее». К 100-летию МГРИ-РГГРУ, 4–6 апреля 2018 г., том 1, С. 390- 391.
6. Каринский А. Д. Электромагнитное поле в моделях электрически анизотропной среды. М.: ГЕОС, 2018. 184 с.
7. Семенов А.С. Анизотропия горных пород и особенности электрических полей в анизотропных средах // Вестник ЛГУ, серия геол. и геогр., 1975, № 24. С. 40-47.



8. Kaufman A. A., and Keller G. V. Induction logging. Methods in geochemistry and geophysics, Volume 27. 1989, 600 pp.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЛАСТЕЙ ПРОСТРАНСТВА, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОВОЛНОВОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ

*Каринский А.Д. (МГРИ, akarinski@mail.ru),
Кузнецов Н.М. (РАДИОНДА, nkt.kzn@yandex.ru)*

Аннотация

Известно, что в изоляторе областью, оказывающей основное влияние на распространение электромагнитных волн, является половина первой зоны Френеля. Но при радиоволновом просвечивании волны распространяются в проводящей среде. Приведены примеры результатов расчётов, иллюстрирующие то, какая область проводящего пространства может оказывать основное влияние на результаты радиоволнового просвечивания. При применённом нами подходе каждый элемент ΔV_i проводящего пространства, отличающийся по электрическим параметрам от всех других элементов, является источником вторичного электромагнитного поля, аналогичного полю переменного электрического диполя. Результаты моделирования позволяют определить то, какая область проводящей среды в том или ином случае оказывает основное влияние на результаты радиоволнового просвечивания.

Ключевые слова. Радиоволновое просвечивание; проводящая среда; влияние областей пространства.

В соответствии с принципом Гюйгенса-Френеля при распространении волн каждый элементарный объём среды можно рассматривать как источник вторичных волн. Если заданный возбудитель волн T и приёмник r имеют бесконечно-малые размеры, то на измеряемый сигнал оказывает основное влияние половина первой зоны Френеля $V_{1/2}$, имеющей форму эллипсоида вращения. Вкладами в этот сигнал источников вторичных волн, расположенных вне этой области, можно пренебречь. Этому было дано обоснование для случая, когда составляющие электромагнитного (ЭМ) поля удовлетворяют волновым уравнениям, а для гармонически меняющихся полей - уравнениям Гельмгольца с действительным волновым числом k . Этому случаю соответствует непроводящая среда. При радиоволновом просвечивании (РВП) в геофизике мы имеем дело с проводящей средой и, как следствие, затуханием ЭМ поля. Компоненты ЭМ поля удовлетворяют телеграфным уравнениям, а для гармонически меняющихся полей - уравнениям Гельмгольца с комплексным волновым числом k .

В работе [Каринский, Даев, 2012] было обосновано применение оригинального подхода к определению областей пространства, оказывающих влияние на результаты некоторых геофизических методов. Показано, что влияние каждого малого элемента

ΔV_i , отличающегося по электрическим параметрам от вмещающей среды, идентично влиянию полю постоянного или переменного электрического диполя. Достоверность получаемых на основе этого подхода данных подтвердило, в частности, сравнение полученных нами результатов расчётов для электроразведки методом сопротивлений с данными, полученными другими способами и опубликованными в зарубежных научных изданиях, например в работах [Loke M. H., and Dahlin T., 2002], [McGillivray

P. R. and Oldenburg D. W., 1990]. Позже результаты исследований по этой тематике для некоторых методов электроразведки (СЭП, ВЭЗ, СГ, МТЗ) были представлены в работах [Каринский и др., 2014 - 2017].

На характеристики высокочастотного ЭМ поля оказывают влияние два электрических параметра среды: диэлектрическая проницаемость ϵ и удельное

электрическое сопротивление ρ . От этих параметров и от частоты f , зависят комплексное волновое число $k=a+i\cdot b$, длина волны λ , глубина проникновения δ и отношение α плотности токов смещения и плотности токов проводимости.

На рис. 1,а показана модель, для которой было получено решение прямой задачи для вторичного ЭМ поля. Векторы \mathbf{E}^n , \mathbf{H}^n - составляющие первичного ЭМ поля. В

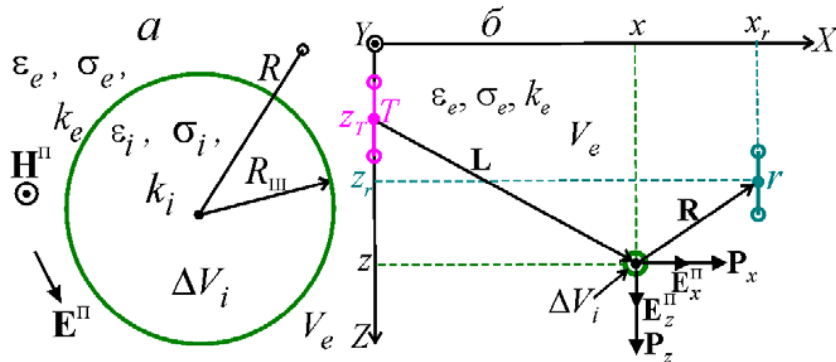


Рисунок 1. Объект ΔV_i в форме шара в первичном электромагнитном поле (а), генераторная (Т) и измерительная (r) антенны и компоненты дипольных моментов элементов ΔV_i (б)

общем случае обусловленное наличием имеющего форму шара объекта ΔV_i вторичное поле может быть выражено в виде бесконечных рядов, члены которых содержат сферические функции ([Светов, 2008]). Но для случая, когда первичное ЭМ поле однородно в пределах объекта ΔV_i и при достаточно малых размерах ΔV_i , точнее при условии $|k_e| \cdot R_{ш} \ll 1$, вторичное поле удалось выразить в виде элементарных функций. Компоненты \mathbf{P}_x , \mathbf{P}_y , \mathbf{P}_z гармонически меняющихся дипольных моментов элементов ΔV_i пропорциональны соответствующим компонентам первичного электрического поля \mathbf{E}^n и зависят от параметров элемента ΔV_i и вмещающей его среды в области V_e (рис. 1,б).

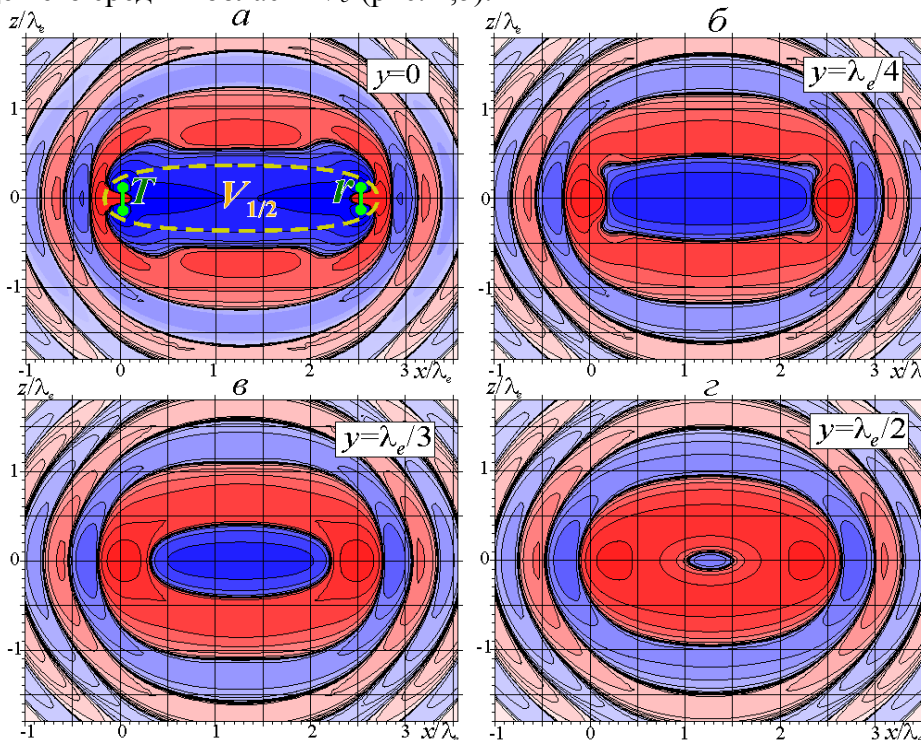


Рисунок 2. Относительные "вклады" объектов ΔV_i в напряжение \mathcal{E}_{MN}

На рис. 2 приведен пример результатов расчётов, полученных на основе применённого нами подхода. Генераторная (T) и измерительная (r) антенны лежат в плоскости $y=0$. Показаны результаты расчётов для нескольких плоскостей $y/\lambda_e = \text{const}$, где λ_e - длина волны в области пространства V_e . Оттенкам красного и синего цвета отвечает расположение центра элемента ΔV_i , присутствие которого соответственно увеличивает или уменьшает напряжение ε_{MN} суммарного электрического поля в измерительной антенне по сравнению с напряжением нормального поля (поля в отсутствии элемента ΔV_i). Показанная на рис. 2,а синим цветом центральная часть плоскости $y=0$ - это некоторый аналог сечения такой плоскостью первой зоны Френеля. Штриховой линией на этом рисунке ограничено сечение области $V_{1/2}$, аналога половины первой зоны Френеля - области, оказывающей существенное влияние на распространение ЭМ волн в изоляторе.

Пример результатов расчётов, приведенный на рис. 2, получен при частоте $f=3$ МГц и следующих электрических параметрах области V_e : $\varepsilon_e=5$, $\rho_e=1000$ Ом*м. При этих значениях длина волны $\lambda_e \approx 39.5$ м, глубина проникновения $\delta_e \approx 13.4$ м, а отношение плотности токов смещения и плотности токов проводимости $\alpha_e \approx 0.833$, то есть это отношение близко к единице. Заметим, что в изоляторе это отношение было бы бесконечно-велико. Электрические параметры элемента ΔV_i : $\rho_i=10$ Ом*м, $\varepsilon_i=81$. Понятно, что при других значениях всех этих параметров, также - при ином взаимном положении генераторной и измерительной антенн, будет другой и область $V_{1/2}$, оказывающая существенное влияние на результаты радиоволнового просвечивания. На основе разработанного подхода не сложно установить то, какова эта область в каждом конкретном случае.

Литература

1. Каринский А. Д., Даев Д. С. Об областях пространства, существенно влияющих на результаты измерений в электромагнитных методах. // «Геофизика». Научно-технический журнал. ЕАГО, 2012, № 6, С. 42- 53.
2. Каринский А. Д., Даев Д. С., Мазитова И. К. Математическое моделирование С- эффекта и Р-эффекта в методах сопротивлений электроразведки. // «Геофизика». Научно-технический журнал ЕАГО, 2014, № 1, С. 36- 45.
3. Каринский А. Д., Даев Д. С., Мазитова И. К. Математическое моделирование С- эффекта и Р-эффекта при электрических зондированиях с установкой Шлюмберже. // Электронное научное издание "ГЕОразрез", выпуск 2014.01 (14), 16 с.; www.georazrez.ru/issue-archive/2014/14/.
4. Каринский А. Д., Даев Д. С., Красносельских А. А., Мазитова И. К. Математическое моделирование влияния приповерхностных локальных неоднородностей на результаты магнитотеллурических зондирований. // «Геофизика». Научно-технический журнал, ЕАГО, 2014, № 6, С. 62- 70.
5. Каринский А. Д., Даев Д. С. Влияние локальных объектов на результаты электроразведки методом сопротивлений; опыт математического моделирования. // «Геофизика». Научно-технический журнал. Евро-Азиатское Геофизическое Общество, 2017, № 1, С. 35- 44.
6. Светов Б. С. Основы геоэлектрики. М.: Издательство ЛКИ, 2008, 656 с.
7. Loke M. H. and Dahlin T. A comparison of the Gauss-Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. // Journal of Applied Geophysics, 2002, 49, pp. 149– 162.
8. McGillivray P. R. and Oldenburg D. W. Methods for calculating Frechet derivatives and sensitivities for the non-linear inverse problem: a comparative study. // Geophysical Prospecting, 1990, 38, pp. 499-524.

МЕТОД F-АППРОКСИМАЦИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПУТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

Керимов И.А. (ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, kerimov@ifz.ru)

Аннотация

Рассмотрены основные положения теории, алгоритмы и компьютерные технологии метода F-аппроксимации геофизических данных, реализующий аппроксимационный подход к спектральному анализу. Описаны результаты апробации на модельных и фактических геолого-геофизических данных. Предложены пути и перспективы дальнейшего развития метода.

Ключевые слова: F-аппроксимация, алгоритм, компьютерные технологии, трансформации, рельеф, томография

В теории интерпретации и практике интерпретации данных гравиметрии и магнитометрии в настоящее время идет становление третьей парадигмы, которая по мнению В.Н. Страхова имеет следующую формулу: «Полная адекватность теории и методов реальной геофизической практике+создание основ специализированного интеллекта+эффективное с геолого-экономических позиций решение задач большой размерности». В рамках третьей парадигмы снимается большинство ранее широко использовавшихся идеализаций в постановках геофизических задач. В.Н. Страховым была разработана новая теория построения аналитических аппроксимаций аномальных геофизических полей на основе метода линейных интегральных представлений (МЛИП) [1]. Для потенциалов аномального гравитационного и магнитного полей в качестве соответствующих линейных интегральных представлений автором было предложено представление интегралом Фурье (F-аппроксимация) [2].

Теоретические основы F-аппроксимации разработаны в виде нахождения спектров Фурье элементов аномальных потенциальных полей (F-аппроксимация) для случая “локальных” аномалий и идеализации Земли в виде полупространства, ограниченного некоторой кусочно-гладкой поверхностью, имеющей асимптотическую плоскость; в этой ситуации координаты точек задаются в декартовых координатах. Создание численных методов нахождения спектров Фурье $F(u, v)$, основанных на общей теории МЛИП, а также новых методах нахождения устойчивых приближенных решений линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) большой размерности, позволяет принципиально по-новому подойти к использованию метода анализа Фурье в задачах гравиметрии и магнитометрии.

Компьютерные технологии построения F-аппроксимации, а также использования полученных аппроксимаций для решения некоторых задач гравиметрии и магнитометрии подразделяются на три этапа.

Первый этап – формирование элементов матрицы A . На этом этапе формируется матрица A . Предварительно с использованием программ сортировки и выборки из исходных пунктов исключается определенное количество ($N_{\text{контр}}$) пунктов наблюдений. Задача построения F – аппроксимационной конструкции вариационной постановкой сводится к решению СЛАУ: $A\lambda = f_{\delta}$, в которой λ есть N -вектор с компонентами λ_i (множители Лагранжа), f_{δ} есть N -вектор с компонентами $f_{i,\delta}$, A есть $(N \times N)$ – матрица со свойством $A = A^T \geq 0$ и элементами a_{pq} , $1 \leq p, q \leq N$.

Второй этап – решение СЛАУ. Решение СЛАУ является основной вычислительной проблемой при построении аппроксимационных конструкций на основе МЛИП. Страховым В.Н. разработана новая теория регуляризации и методы

решения СЛАУ, которые реализованы в пакете прикладных программ П-СППМ для СЛАУ с симметрической положительно полуопределенной матрицей и приближенно заданной правой частью. Для исследования эффективности аппроксимационного подхода предлагается несколько способов трехступенчатого контроля выбора контрольных точек и оценки точности на модельных примерах.

1. Первый способ заключается в следующем. На первом этапе из исходных гравиметрических (магнитометрических) пунктов случайным образом (или любым другим способом) исключается порядка 20% пунктов, которые включаются в число контрольных, а оставшиеся 80% пунктов используются для построения F -аппроксимации. На втором этапе F -аппроксимация осуществляется с использованием всех 100 % исходных пунктов.

2. Второй способ имеет нижеследующие особенности. На первом шаге из исходных пунктов исключается порядка 20% пунктов, имеющих минимальные по модулю значения аномального поля, которые включаются в число контрольных, а оставшиеся 80% пунктов используются для построения аппроксимационной конструкции. На втором шаге из контрольных пунктов выделяется половина, имеющих максимальные по модулю отклонения от исходного поля, и они добавляются к числу пунктов, используемых для построения аппроксимации. Контроль точности производится по оставшимся контрольным пунктам (10%).

3. Третий способ заключается в следующем. Из исходных гравиметрических (магнитометрических) пунктов исключался каждый пятый (десятый) пункт (или любые заданные пункты) или случайным образом исключалось определенное количество $N_{\text{контр}}$ пунктов наблюдений (5-20% от общего числа пунктов). Исключенные из исходных данных $N_{\text{контр}}$ пунктов в последующем использовались для независимого контроля точности аппроксимации.

Во всех трех способах на третьем этапе производится сгущение сети и оценка точности по дополнительным пунктам, которые не использовались при исходной F -аппроксимации.

Третий этап – восстановление поля и нахождение его трансформант. На данном этапе используя значения действительной $A(u,v)$ и мнимой $B(u,v)$ частей комплексного спектра Фурье и значений компонент λ_i вектора λ множителей Лагранжа вычисляются значения поля и его трансформант. К числу наиболее распространенных являются вычисление высших горизонтальных и вертикальных производных, расчет аномального поля в верхнее и нижнее полупространства. Метод F -аппроксимации является весьма эффективным способом нахождения различных трансформант аномального гравитационного поля, заданного на нерегулярной сети и с учетом разновысотности наблюдений. Метод нахождения трансформант аномального гравитационного поля на основе F -аппроксимации апробирован на широком классе модельных и фактических гравиметрических данных, показал высокую эффективность и точность решения такого класса задач.

Разделение полей на основе F -аппроксимации. Метод F -аппроксимации элементов внешнего аномального гравитационного поля может быть применен для решения проблемы разделения полей, а именно – полей источников, залегающих в пределах существенно различающихся по глубине структурных этажей. В данной постановке задачи разделения полей нет “теоремного” фундамента, обеспечивающего единственность решения задачи. Однако из общих физических соображений видно, что в целом ряде практически важных ситуаций (например, при полном несовпадении проекций носителей источников поля T_1 и T_2 на дневную поверхность) достаточно эффективное разделение аномальных полей будет иметь место. Методика разделения аномальных полей на основе F -аппроксимации была апробирована на модельном

примере для нерегулярной сети, для которого рассчитано модельное гравитационное поле, обусловленное 8 призматическими телами, расположенных на двух ярусах, в интервалах глубин 1.5–2.5 км и 5.0–8.0 км. Для данного модельного участка была выполнена F-аппроксимация при $H_1=1.5$ км и $H_2=4.5$ км. Среднеквадратическая ошибка аппроксимации составляет в данном случае 0.013 мГал. Достаточно высокая точность аппроксимации подтверждается также анализом разностного гравитационного поля для данного участка. Были построены карты аномального гравитационного поля, полученного с использованием описанной выше методики разделения полей, соответственно для первого и второго структурных этажей. Анализ этих карт показывает в целом эффективность данного подхода при разделении полей.

Аппроксимационный подход к спектральному анализу гравитационных аномалий был апробирован на материалах детальной гравиметрической съемки. Участок детальной гравиметрической съемки масштаба 1:10 000 характеризуется сложным и расчлененным рельефом поверхности Земли. Расположение пунктов гравиметрических наблюдений крайне неравномерно. В центральной части площади проведена высокоточная гравиметрическая съемка с целью изучения строения соляного купола как возможного объекта для подземного хранилища газа. По результатам F-аппроксимации исходных гравиметрических данных расчетов было восстановлено гравитационное поле и построена карта разностного поля. Точность аппроксимации характеризуется параметрами: $\gamma=0.002$; $\sigma=0.077$ мГал. Анализ карты разностного поля свидетельствует о высокой точности аппроксимации, на большей части площади отклонение поля не превышает 0.1 мГал. Метод разделения полей на основе F-аппроксимации был также апробирован на Сереговской площади. Исходное поле было разделено на две составляющие: поле от объектов в интервале глубин 0.2 – 4.5 км и поле от объектов на глубинах свыше 4.5 км. На основании этих материалов был сделан вывод о том, что основной аномалообразующей объект (соляной купол) лежит в интервале глубин 0.2-5.0 км.

Метод F-аппроксимации рельефа поверхности Земли. Знание рельефа земной поверхности S является совершенно необходимым для решения очень многих задач геофизики, прежде всего – в гравиметрии и магнитометрии. В частности, введение так называемой топографической поправки в наблюденные значения аномалий силы тяжести является одной из необходимейших процедур современной гравиразведки. В настоящее время разработана методика F-аппроксимации рельефа земной поверхности. В зависимости от размеров территории, для описания топографии в пределах которой строятся линейные аналитические аппроксимации, а также требований к точности аппроксимации, должны использоваться различные системы координат – декартовы либо сферические, либо даже эллиптические.

Построение аналитических аппроксимаций функции $H(x, y)$ следует выполнять на МЛИП, исходя из следующего фундаментального факта: функция, непрерывная (либо даже из более общего класса $L_2(-\infty, +\infty)$ функций, с суммируемым квадратом на плоскости переменных (x, y)) на произвольной горизонтальной плоскости (плоскости переменных (x, y)) может рассматриваться как предельные значения некоторой функции трех переменных (x, y, z) , гармонической в полупространстве $z < 0$, верхнем к заданной горизонтальной плоскости.

В качестве интегральных представлений функции $H(x, y)$ используются представления интегралом Фурье. Построение аналитической аппроксимации функции $H(x, y)$ в конечном итоге редуцируется к решению СЛАУ с симметричной положительно полуопределенной матрицей A размерности $(n \times n)$, где n есть число точек на S с известными координатами (x, y, z) . Методика и компьютерные технологии

F-аппроксимации рельефа также включают три этапа. На первом этапе вычисляются элементы матрицы A . На втором этапе решается СЛАУ. На заключительном этапе на основании решения СЛАУ восстанавливается рельеф. Построенная аппроксимация рельефа земной поверхности может быть использована для получения других характеристик рельефа. Данная методика реализована в пакете прикладных программ Relief, разработанном автором, и апробирована на модельных и фактических материалах. В качестве модельного примера был использован рельеф, заданный в узлах нерегулярной сети, всего 3750 точек. Перепады высот от 75 до 100 м над уровнем моря. При построении F-аппроксимации был задан параметр $\varepsilon = 0.2$ м и достигнута точность 0.1 м. Для оценки точности аппроксимации рельефа поверхности Земли интегралом Фурье на реальных топографических материалах были использованы данные по высотным отметкам 2721 точек. F-аппроксимации рельефа были получены с различными параметрами $\varepsilon = 0.05, 0.10$ и 0.20 м и достигнуты приемлемые относительные и среднеквадратические погрешности.

Выводы

1. Разработаны теория, алгоритмы и программы F-аппроксимации гравиметрических и магнитометрических данных для нерегулярной сети с учетом разновысотности наблюдений и с учетом уровня помех в исходных данных, т.е. метод обработки и интерпретации, адекватный реальной геофизической практике.
2. Разработаны алгоритмы и программы, реализующие высокоэффективные методы нахождения различных трансформант аномальных гравиметрических и магнитометрических полей на основе F-аппроксимации.
3. Разработана теория, алгоритмы и программы F-аппроксимации разделения аномального гравитационного поля на составляющие, обусловленные различными структурными этажами.
4. Разработана теория, алгоритмы и программы F-аппроксимации рельефа земной поверхности для декартовых координат.
5. Перспективы дальнейшего развития метода F-аппроксимации геофизических данных видятся по следующим направлениям:
6. Разработка алгоритмов и программ F-аппроксимации региональных данных для сферических (цилиндрических) координат.
7. Разработка алгоритмов и программ нахождения различных морфометрических характеристик рельефа земной поверхности F-аппроксимации.
8. Дальнейшее развитие алгоритмов и программ комбинированных методов F-, S-, R-аппроксимаций [3].
9. Разработка алгоритмов и программ расчета на основе F-аппроксимации топографических поправок в гравиметрические измерения.
10. Разработка алгоритмов и программ гравитационной томографии на основе F-аппроксимации, в т.ч. и для нестационарных геофизических полей.

Литература

1. *Страхов В.Н.* Три парадигмы в теории и практике интерпретации потенциальных полей (анализ прошлого и прогноз будущего). М.: ОИФЗ РАН, 1999. 78 с.
2. *Керимов И.А.* Метод F-аппроксимации при решении задач гравиметрии и магнитометрии. М.: Физматлит, 2011. 264 с.
3. *Степанова И.Э., Керимов И.А., Раевский Д.Н., Щепетилев А.В.* Комбинированный метод F-, S-, R-аппроксимаций при решении задач геофизики и геоморфологии // Физика Земли, 2018. № 1. С. 96-112.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПОЛОСОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В СПЕКТРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСА БЕРЛАГЕ.

Кинзебулатов А.С. (ФГБУ Росгеофонд, kinajnur@gmail.com), Гурьев А.В. (ФГБУ Росгеофонд, sawa0154@gmail.com), Козин В.В. (МГРИ, kozin-mgri@mail.ru)

Аннотация

Работа посвящена разработке программы для реализации и исследования полосовой фильтрации в спектральной области на примере модели сейсмической записи. Создана модель сигнала, разработано программное обеспечение для решения задачи, выбраны оптимальные параметры полосового фильтра для выделения полезного сигнала.

Ключевые слова: Геофизика, сейсморазведка, фильтрация, моделирование.

Введение

Целью работы является выбор оптимальных параметров полосового фильтра на основании исследования результатов фильтрации сигнала, полученного в результате сложения двух импульсов с различными параметрами.

Метод исследования:

Расчет модели сейсмической записи

Выполнение прямого дискретного преобразования Фурье

Расчет оператора фильтра в спектральной области

Фильтрация

Обратное преобразование Фурье

Объектом исследования выступает модель сейсмической записи на основе импульса Берлаге (Рисунок 1):

$$y(t) = A \cdot t^2 \cdot e^{-\beta t} \cdot \sin(\omega \cdot t), t > 0$$

$$\beta = \alpha f \quad \omega = 2\pi f$$

Где:

A – максимальная амплитуда импульса, t – время (мс), f – частота (Гц),

α – параметр затухания, ω – круговая частота

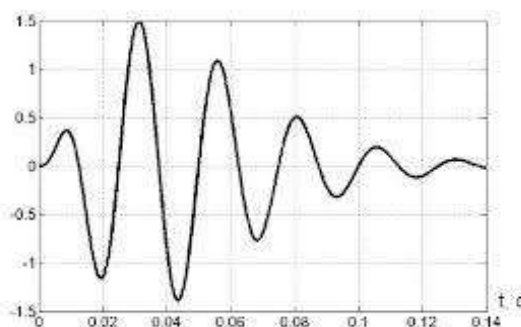


Рисунок 1. Импульс Берлаге.

Для дальнейшего использования импульс Берлаге рассчитывался дискретно с шагом дискретизации Δt , числом точек N и временем поступления импульса t_b .

В качестве модели исследуемого сигнала принята сумма двух импульсов Берлага с частотами f и $3f$ и амплитудами A и $3A$:

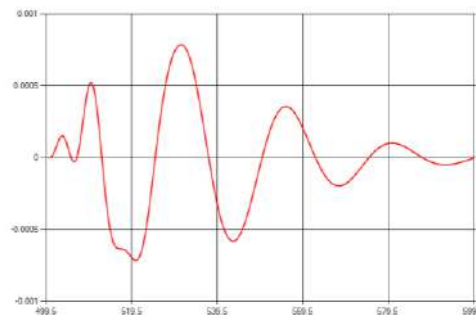
$$y(t) = A \cdot t^2 \cdot e^{-\beta t} \cdot \sin(\omega \cdot t) + 3A \cdot t^2 \cdot e^{-3\beta t} \cdot \sin(3\omega \cdot t), t > 0$$


Рисунок 2. Суммарный импульс

Фильтрация осуществляется перемножением коэффициентов Фурье A_k, B_k сигнала на коэффициенты фильтра h_k .

Коэффициенты Фурье:

$$A_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y_n \cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) \quad B_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y_n \sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right)$$

Амплитудный спектр:

Фазовый спектр:

$$R_k = \sum_{k=0}^m \sqrt{A_k^2 + B_k^2} \quad \varphi_k = \sum_{k=0}^m \arctg\left(\frac{-B_k}{A_k}\right) \quad m = \frac{N}{2}$$

Оператор фильтра, имеющий вид трапеции (Рисунок 3), в спектральной области задается с помощью дискретной функции h_k , значения которой рассчитываются по формуле:

$$\left\{ \begin{array}{l} f < f_1 : h_k = 0 \\ f_1 < f < f_2 : h_k = \frac{f - f_1}{f_2 - f_1} \\ f_2 < f < f_3 : h_k = 1 \\ f_3 < f < f_4 : h_k = \frac{f_4 - f}{f_4 - f_3} \\ f > f_4 : h_k = 0 \end{array} \right.$$

Где f, f_1, f_2, f_3, f_4 – частоты (Гц)

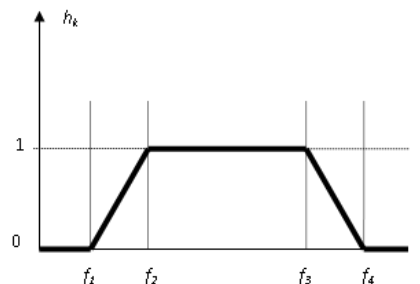


Рисунок 3. График функции фильтра

Обратное дискретное преобразование Фурье выполняется по формуле:

$$S_n = A_0 + 2 \sum_{k=1}^{m-1} \left[R_k \cos \left(\frac{2\pi nk}{N} + \varphi_k \right) \right] + A_m \cos(\pi n)$$

Полученные результаты:

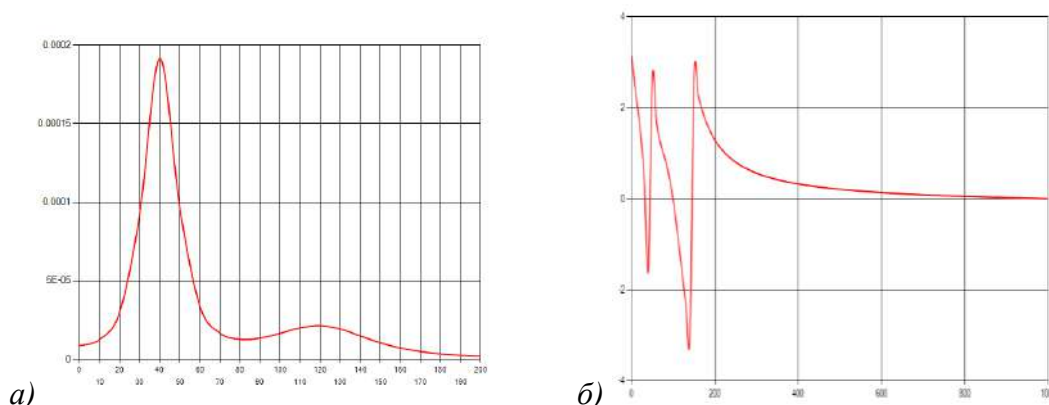


Рисунок 3. Амплитудный(а) и фазовый(б) спектры суммарного сигнала.

Исследовалась модель импульса Берлаге со следующими параметрами:

Амплитуды (А) – 10 и 30 Частоты (f) – 40 Гц и 120 Гц

Время поступления импульса (tb) – 500 мс

Шаг дискретизации (Δt) – 0.5 мс Число точек (N) – 200

Для удаления низкочастотной составляющей из суммарного импульса были выбраны частоты фильтра f1 = 55 Гц, f2 = 110 Гц, f3 = 150 Гц, f4 = 270 Гц и выполнена фильтрация суммарного импульса(рисунок 4).

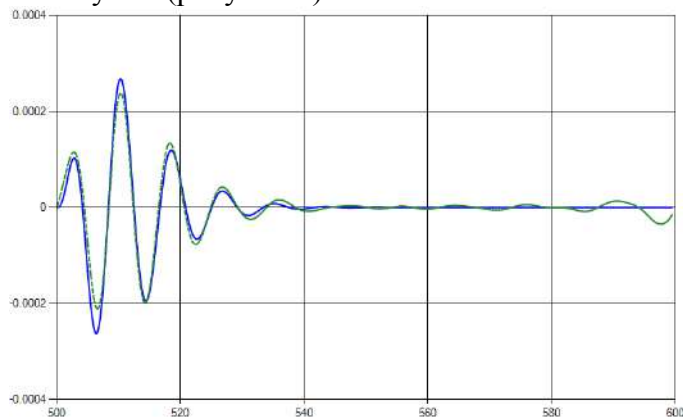


Рисунок 4. Добавленный и отфильтрованный сигналы.

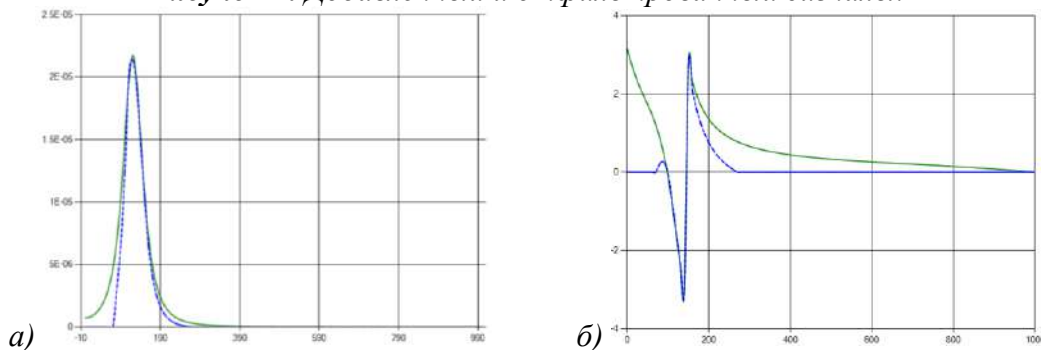


Рисунок 5. Амплитудный(а) и фазовый(б) спектры добавленного и отфильтрованного сигналов.

Выводы:

Полосовая фильтрация служит для выделения из сигнала составляющих в заданном диапазоне частот и подавления других составляющих.

Параметры полосового фильтра подбираются таким образом, чтобы отфильтрованный сигнал по амплитуде и фазе максимально совпадал с полезной составляющей в исходном сигнале (рисунок 5).

Возможности полосовой фильтрации ограничены, если интересующий частотный диапазон для фильтрации совпадает для нескольких составляющих сигнала. Если частотные диапазоны составляющих не перекрываются, фильтрация может быть выполнена более качественно.

При разнице частот составляющих суммарного импульса в три и более раз возможно полное выделение высокочастотной составляющей суммарного импульса.

Литература

1. https://ru.wikibooks.org/wiki/Реализации_алгоритмов/Быстрое_преобразование_Фурье
2. Научный вестник НГТУ том 57, № 4, 2014 ISSN 1814-1196
3. Бармасов А.В. Курс общей физики для природопользователей. Колебания и волны. БХВ-Петербург, 2009. ISBN 9785941577309

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ШЛЮМБЕРЖЕ ДЛЯ СЭП НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ

Козин В.В. (МГРИ, kozin-mgri@mail.ru)

Гурьев А.В. (ФГБУ Росгеолфонд, sawa0154@gmail.com), Кинзебулатов А.С. (ФГБУ Росгеолфонд, kinajnur@gmail.com)

Аннотация

Работа посвящена выбору оптимальных разносов четырехэлектродной установки (установки Шлюмберже) для симметричного электропрофилирования на основании решения прямой задачи по сети профилей для модели типа «вертикальный контакт». Создана геоэлектрическая модель среды, разработано программное обеспечение для решения прямой задачи, выбраны оптимальные параметры установки Шлюмберже для СЭП для выделения аномалии, связанной с вертикальным контактом.

Ключевые слова: Геофизика, электроразведка, прямая задача, СЭП, вертикальный контакт

Введение

Целью работы является выбор оптимальных разносов установки Шлюмберже для СЭП на основании решения прямой задачи по сети профилей для модели типа «вертикальный контакт». Для достижения цели решались следующие задачи:

1. создание геоэлектрической модели среды;
2. разработка программного обеспечения для решения прямой задачи СЭП;
3. построение карт изоом по регулярной сети 1*1 м;
4. анализ полученных результатов для выбора оптимальных параметров установки.

Модель среды представляет собой два однородных слоя с заданными удельными сопротивлениями (ρ_1 и ρ_2), разделенные вертикальной границей (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

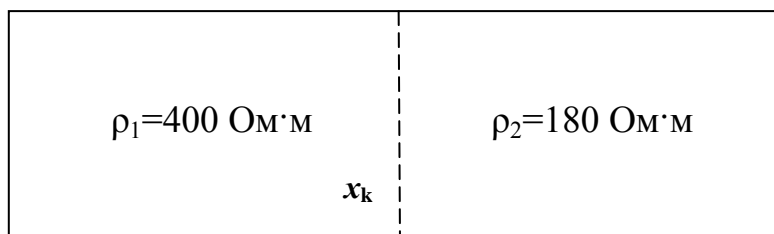


Рисунок 1. Модель среды

Прямая задача решалась по сети профилей с шагом по профилям и пикетам равным 1 м. Задавался азимут простирания контакта φ (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

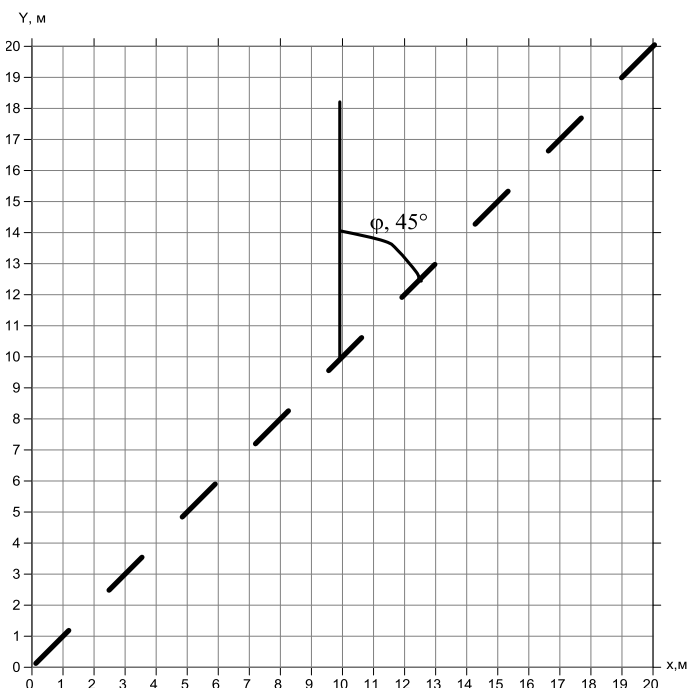


Рисунок 2. Сеть профилей. Пунктирная линия – вертикальный контакт. φ – азимут простираения контакта

Метод исследования

Установка для СЭП (симметричного электропрофилеирования) состоит из пары питающих электродов AB и пары измерительных электродов MN (Рисунок 3). Расстояния между электродами остаются постоянными, вся установка перемещается по пикетам с шагом 1 м. Координата контакта на профиле – x_k . Координаты центра планшета x_c и y_c . Координата центра установки – x_0 .

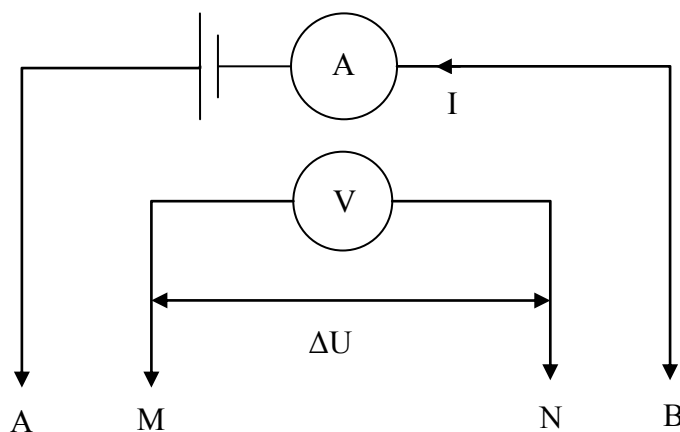


Рисунок 3. Установка Шлюмберже

В зависимости от положения центра установки относительно положения контакта на профиле и величин разносов электродов AB и MN для расчета кажущегося сопротивления используется одна из формул (1-7) [1]:

$$x = x_k - x_0 \text{ Для вариантов 1,2,3} \quad (1)$$

1 вариант расположения электродов ($A < x_k, M < x_k, N < x_k, B < x_k$) (2)

$$\rho_k = \rho_1 \left\{ 1 + \frac{k_{12}}{2} (AB^2 - MN^2) \left[\frac{1}{(4x - AB)^2 - MN^2} - \frac{1}{(4x + AB)^2 - MN^2} \right] \right\} \quad (2)$$

2 вариант расположения электродов ($A < x_k, M < x_k, N < x_k, B > x_k$) (3)

$$\rho_k = \rho_1 \left\{ 1 + \frac{k_{12}}{2} \left[1 - \frac{AB^2 - MN^2}{(4x + AB)^2 - MN^2} \right] \right\} \quad (3)$$

3 вариант расположения электродов ($A < x_k, M < x_k, N > x_k, B > x_k$) (4)

$$\rho_k = \frac{1}{2} \left[\rho_1 \left\{ 1 - \frac{k_{12} 2x (AB - MN)}{MN(4x + AB + MN)} \right\} + \rho_2 \left\{ 1 + \frac{k_{12} 2x (AB - MN)}{MN(4x - AB - MN)} \right\} \right] \quad (4)$$

$$x = x_0 - x_k \text{ Для вариантов 4,5} \quad (5)$$

4 вариант расположения электродов ($A < x_k, M > x_k, N > x_k, B > x_k$) (6)

$$\rho_k = \rho_2 \left\{ 1 - \frac{k_{12}}{2} \left[1 - \frac{AB^2 - MN^2}{(4x + AB)^2 - MN^2} \right] \right\} \quad (6)$$

5 вариант расположения электродов ($A > x_k, M > x_k, N > x_k, B > x_k$) (7)

$$\rho_k = \rho_2 \left\{ 1 - \frac{k_{12}}{2} (AB^2 - MN^2) \cdot \left[\frac{1}{(4x - AB)^2 - MN^2} - \frac{1}{(4x + AB)^2 - MN^2} \right] \right\} \quad (7)$$

Коэффициент отражения (8)

$$k_{12} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (8)$$

Для расчета координаты контакта на k -ом профиле используется формула (9)

$$x_k = x_c + (y - y_c) \cdot tg(\varphi) \quad (9)$$

где φ – азимут простирания контакта.

Полученные результаты:

На основе формул, представленных выше была разработана программа «Симметричное электропрофилерование» с графическим интерфейсом. Использовался язык Free Pascal в среде разработки Lazarus. (Рисунок 4).

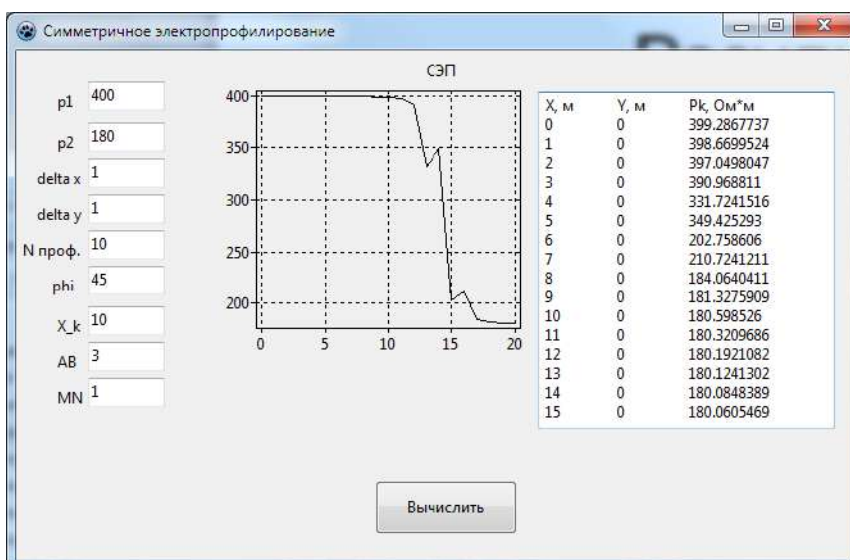


Рисунок 1. Интерфейс программы «Симметричное электропрофилирование»

Программа допускает изменение удельных электрических сопротивлений слоев (ρ_1 и ρ_2), шага сети по пикетам и профилям (Δx , Δy), количества профилей (N проф), азимута простираения контакта (ϕ), координаты контакта на центральном профиле (X_k), расстояний между электродами AB и MN для установки Шлюмберже.

После нажатия кнопки «Вычислить» рассчитываются значения кажущегося удельного сопротивления в узлах сети, подготовленные для копирования в программу Surfer для построения карты изолиний, выводится график кажущегося сопротивления по последнему профилю.

На основе многократных решений прямой задачи с разными значениями разносов AB и MN были построены и проанализированы карты изоом. Для интерполяции использовался алгоритм Kriging (Рисунок 5).

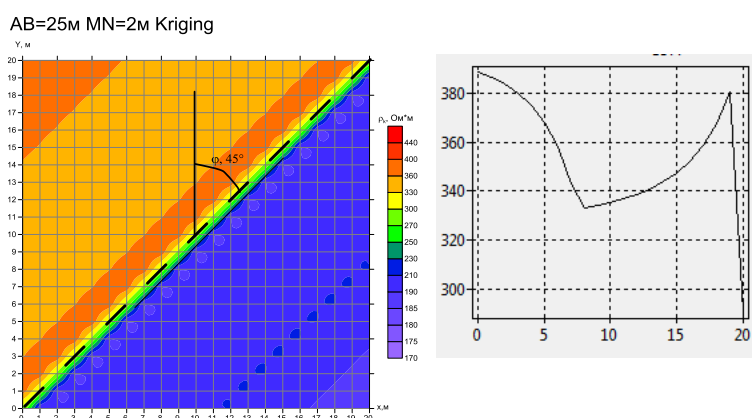


Рисунок 5. Карта изоом для разносов $AB=25$ м $MN=2$ м и график ρ_k по профилю 20. Пунктирная линия – вертикальный контакт. ϕ – азимут простираения контакта

Выделение характерной для вертикального контакта формы аномалии на картах изоом и графикам ρ_k по профилям, с локальным минимумом (выступом) перед

контактом и локальным максимумом после контакта достигается увеличением разноса АВ и уменьшением MN. Наиболее достоверное выделение аномалии данного типа для выбранной модели среды достигается при использовании разносов АВ=25м, MN=2м.

Выводы

1. Создана геоэлектрическая модель для среды с вертикальным контактом.
2. Разработано программное обеспечение для решения прямой задачи по сети профилей.
3. На основе решения прямых задач построены карты изоом и графики кажущегося удельного сопротивления для различных значений разносов АВ и MN.
4. Путем анализа карт изоом и графиков кажущегося сопротивления определены оптимальные параметры АВ=25м, MN=2м для данной модели среды.

Литература

1. Заборовский А.И. Электроразведка / Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы. Москва. 1963 г. 423 стр.

ОБНАРУЖЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ВОЛН ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИЗУЧЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ МЕТОДОМ ПРО

*Кондрашков В.В. * (АО «ПАНГЕЯ», kondrashkov_vv@pangea.ru),
Анискович Е.М. (АО «ПАНГЕЯ», aniskovich_em@pangea.ru),
Глаголев А.Ю. (АО «ПАНГЕЯ», glagolev_ay@pangea.ru)*

Аннотация

Рассматриваются возможности и результаты применения метода ПРО для изучения напряженного состояния геологической среды через определение градиента скорости как дифференциального параметра по сейсмическим данным с использованием обрабатывающего комплекса PROspect.

Ключевые слова Деформационные волны, метод ПРО, сейсмический градиент, напряжённое состояние горных пород, медленные волны, гетерогенная среда

Напряженное состояние горных пород может отражаться как в динамических, так и кинематических характеристиках сейсмических волн. Особенность предлагаемого подхода к изучению напряженного состояния среды заключается в том, что он основан на таком кинематическом параметре отраженных волн как градиент скорости. Известно, что с увеличением давления скорости сейсмических волн в осадочных и кристаллических породах увеличиваются, поэтому положительный градиент (относительное сжатие) или отрицательный градиент (относительное растяжение) скорости в геологической среде присутствует повсеместно. Даже при горизонтально слоистой толще, его вектор может сильно отклоняться от вертикали, а вместе с ним и вектор напряжения. Влияние литологии на вектор напряжения уменьшается с глубиной, подтверждением этого является отсутствие явной корреляции зон аномального градиента с литологическими границами при явной приуроченности их к тектоническим нарушениям и к объектам аномальной плотности.

Тем не менее, очевидная связь градиента скорости с напряженным состоянием среды и литологией не используется по двум причинам. Первая сводится к проблеме точности определения скоростей по сейсмическим данным. Вторая связана с проблемой определения самого градиента. Она вызвана тем, что все сейсмические технологии приводят к сильному осреднению скорости на базе наблюдения преимущественно в вертикальном направлении. В результате чего скоростной анализ не позволяет получить градиент, который бы был адекватно связан с локальными скоростными неоднородностями внутри объема, заключенного между поверхностью наблюдения и целевым объектом.

В данной работе для решения этих проблем используется метод ПРО (Параметрической Развертки Отражений)[1, 2]. Практика показывает, что этот метод, во-первых, позволяет в процессе скоростного анализа получать достаточно точные значения средневзвешенных скоростей. Во-вторых, он дает возможность определять напрямую по исходным сейсмическим данным значения градиента средней скорости как дифференциального параметра, аналогично получению интервальных скоростей по средним скоростям. При этом определение градиента скорости базируется на очевидной мысли, что средняя скорость для падающего луча отличается от средней скорости вдоль восходящего луча практически для любой реальной среды. Инструментом для определения градиентов является двухпараметрический анализ ПРО. Фактически он сводится к перебору скоростных анализов ПРО при различных значениях градиента для текущей глубины или вертикального времени. Полученные

сглаженные градиентные разрезы показывают изменения средних скоростей, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

Двухпараметрический анализ ПРО обычных нефтеразведочных разрезов показывает, что скалярное поле градиентов имеет сложную мозаичную знакопеременную структуру со значениями в интервале $+ / - (1,0-1,5) 1/c.$, которая соответствует локальным вариациям напряженного состояния на фоне регионального горного давления. Причем в этой структуре зонам нулевого градиента может соответствовать различные геологические объекты: тектонические нарушения незалеченного типа; коллектора, заполненные жидким или газообразным флюидом; соляные отложения и т.д

На рис. 1 представлен типичный результат градиентного анализа в условиях соляно-купольной тектоники. Близкий к нулю градиент соответствует центру цветовой шкалы (зелено-голубой переход), фиолетовая гамма – отрицательные значения градиента, желтая – положительные. В центре соляной структуры присутствует близкая к вертикали зона нулевого градиента как следствие аморфных свойств соли.

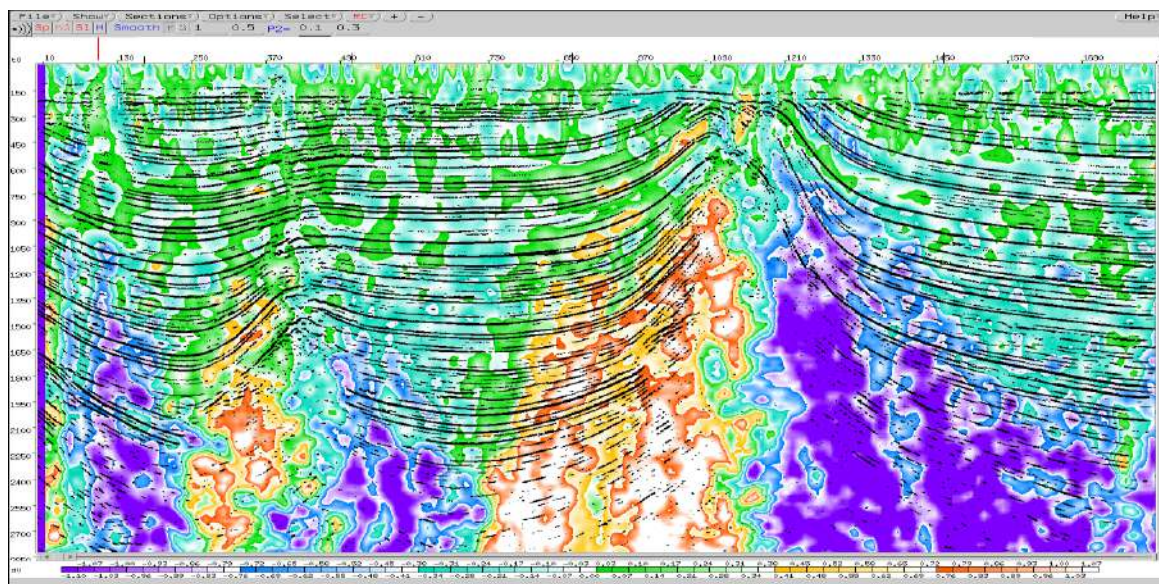


Рисунок 1. Мигрированный разрез с наложением градиентного анализа (Саратовская область)

Градиентный анализ позволяет наблюдать напряженное состояние, возникающее в результате движения геологических структур. Пример подобного рода показан на рис. 2, где представлен временной разрез, наложенный на разрез градиентов скоростей по профилю Западной Сибири. На баженовском горизонте на времени 2 сек. просматриваются три антиклинальные структуры с амплитудой порядка 30 – 40 м. происхождение которых было неясно. На разрезе градиентов в палеозое, представленном метаморфическими породами, проявляется горст со ступенями, края которых совпадают с максимумами антиклиналей, которые имеют тектоническую природу. На самом деле горст находится глубже и на разрезе наблюдается отпечаток напряженного состояния пород от давления горста при его движения вверх.

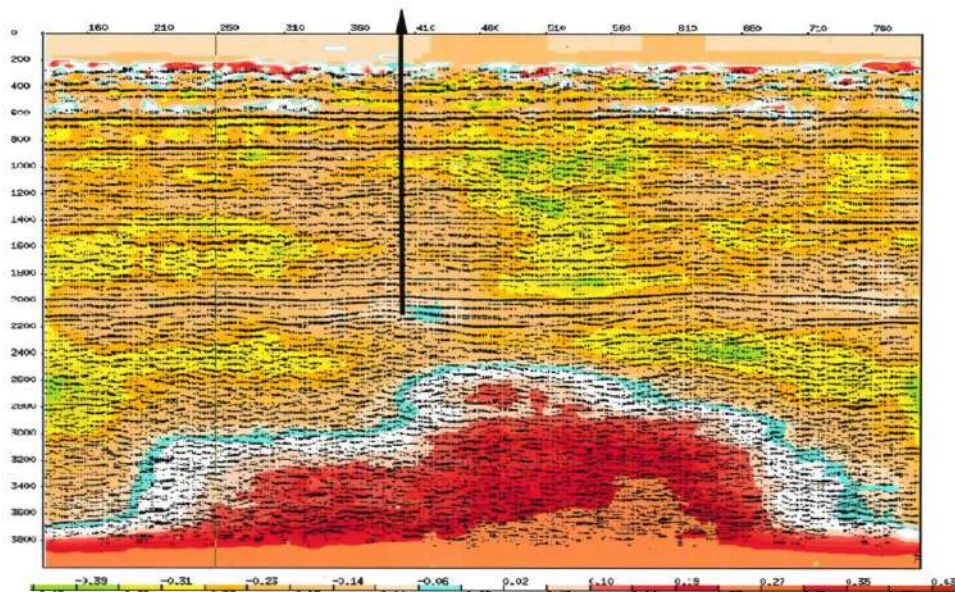


Рисунок 2. Временной разрез, наложенный на разрез градиентов скоростей по профилю Западной Сибири

Земная кора является гетерогенной средой, поэтому эффективным способом получения геологического изображения могут быть интервальные скорости, что показано на примере широтного профиля УралСейс 95 длиной 240 км и глубиной 90км. Разрез скоростей по этому профилю (Рис 3).позволяет прийти к следующим результатам:

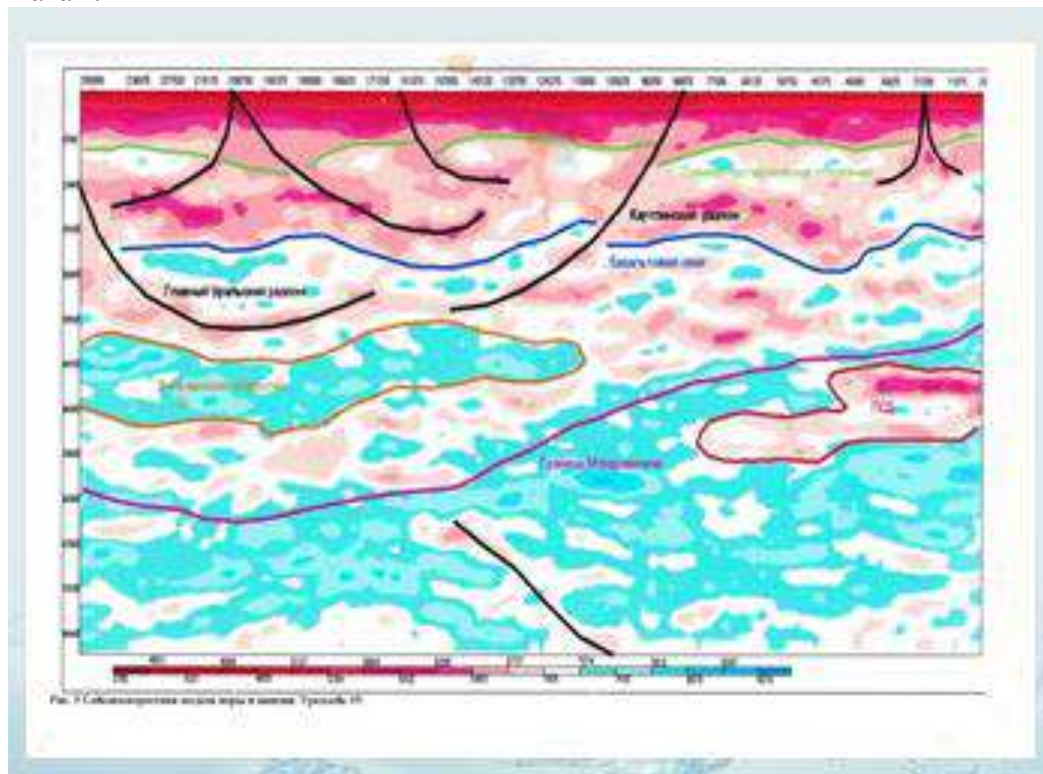


Рисунок 3 УралСейс-95. Разрез интервальных скоростей ПРО

1. граница Мохо по значениям интервальных скоростей с $V_{\text{инт}}=7.5-8.0$ км/с в целом прослеживается, опускаясь с глубины примерно 40 км на востоке до глубины приблизительно 60 км в районе $CP=3725$ ($x=218$ км),
2. В западной части разреза на глубинах 40-50км. наблюдается зона повышенных скоростей совпадающих со скоростями ниже границы М. Можно предположить, что это часть мантийной толщи, отколовшаяся в результате встречного относительного перемещения Западно- Сибирской и Русской платформ.
3. Начиная с глубины 1.5 км наблюдаются тектонические нарушения типа "листрических", которые быстро выглаживаются. Главный Уральский разлом, начало которого находится за пределами профиля, и Картлинский разлом направлены навстречу друг другу, возможно пересекаясь на глубине порядка 30 км. Каждый из этих листрических нарушений имеет радиус кривизны порядка 70 км.
4. Система листрических нарушений имеет вид поверхностей вложенных линзообразных тел различного диаметра, по поверхности которых прослеживаются нарушения. Самым большим из них является разлом, отделяющий границу М от зоны высоких скоростей с радиусом порядка 150 км.

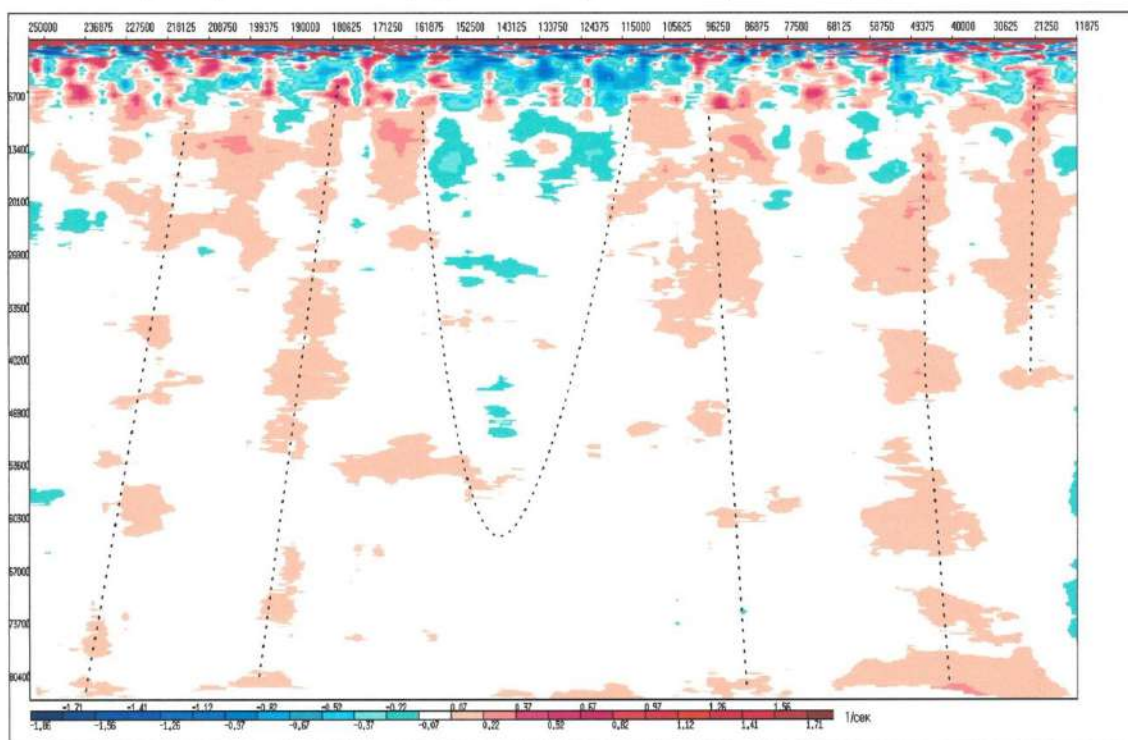


Рисунок 4. Разрез градиентов скоростей регионального широтного профиля «УралСейс-95»

Градиентный анализ оказался способным обнаруживать медленные волны деформации, которые перемещаются под действием гигантских тектонических сил по всей коре со скоростями 10- 100 км/год и интервалом следования до 100 км и более [4]. Эти волны, порожденные напряженным состоянием коры ниже осадочной толщи и верхов астеносферы, в сейсмическом поле проявляются дифрагированной и рассеянной компонентами сейсмического поля. В силу того, что метод ПРО дает возможность определять скорости в условиях отсутствия осей синфазности, связанных с зеркальными отражающими границами, градиентный анализ ПРО впервые позволил обнаружить перемещающиеся по коре деформационные (тектонические) волны.

На рис.4 представлен глубинный разрез градиентов регионального широтного профиля «УралСейс» 95 длиной 240 км и на глубину 90 км[3]. На нём наблюдаются деформационные медленные волны с почти вертикальной ориентацией, следующие с интервалом 30- 40 км. Они порождены встречным движением Русской платформы и Северо Казахстанской плиты. Значения градиента менее $\pm 0,2(1/c)$, так как Урал старая структура со спокойной геодинамикой. Оси градиентов симметрично наклонены относительно центральной части, что объясняется увеличением деформации пород в направлении свободной поверхности Земли. Голубой цвет в центре соответствует зоне максимального встречного давления, превысившего предел прочности горных пород, в следствии чего возникла ненапряженная зона дислокации с отрицательным градиентом. Полученный вывод позволяет утверждать, что в результате разрушения этой зоны кислая магма вышла на поверхность, образовав пояс» вдоль всего Урала «гранитный пояс», который является пограничной зоной между Русской платформой и Северо Казахстанской плитой.

Литература

1. Кондрашков В. В., Анискович Е. М, Богданов А.Н. Метод параметрической развертки отображений: от концепции до обрабатывающей системы UNISEIS. Геофизика №4, 1998г.

2. Анискович Е. М, Кондрашков В. В., Богданов А.Н. Анализ горизонтального градиента в методе ПРО, как средство изучения скоростных параметров геологической среды. Тезисы конференции ЕАГО, SEG, EAGE, PAEN МОСКВА 2003

3. Кондрашков В.В., Щукин Ю.К., Ершов П. Н. Результаты анализа скоростей и напряженного состояния среды в системе ПРОСЕЙС на примере регионального профиля УРАЛСЕЙС. Тезисы конференции ЕАГО, SEG, EAGE, PAEN МОСКВА 2003

4. Быков В.Г. Деформационные волны земли: концепция, наблюдения и модели. Геология и геофизика, 2005, т.46, № 11, с.1176-1190.

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ БЫСТРОГО ВЫБОРА СКВАЖИН ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЦИКЛИЧЕСКОГО ЗАВОДНЕНИЯ, ОСНОВАННАЯ НА МОДЕЛЯХ ДВУХФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ.

Конев Е.Д.* (МГРИ, ООО «КОНКОРД», messi.leo.10@mail.ru)

Аннотация

Метод циклического заводнения является одним из наименее экономически затратных методов увеличения нефтеотдачи пластов. Для расчета циклического заводнения на гидродинамическом симуляторе требуется большое число времени. Это связано с ограничением на шаг по времени, который должен быть много меньше полупериода колебаний и характерного времени выравнивания давлений в соседних пропластках. В данном методе предложены осредненные за период цикла уравнения фильтрации в случае периодического закона изменения дебитов или забойных давлений на скважинах, которые свободны от указанного ограничения на шаг по времени. С помощью этой технологии в режиме реального времени можно выбирать перспективные участки и выполнять оценку влияния на дополнительную нефтеотдачу таких факторов как положение скважин, частота циклов и др. за время, значительно меньшее времени моделирования на обычном симуляторе.

Ключевые слова: Циклическое заводнение, осредненные уравнения фильтрации, нефтеотдача.

Метод циклического заводнения (ЦЗ), являющийся одним из наименее затратных методов увеличения нефтеотдачи пластов, был предложен и развит в ряде научных работ. В этих работах рассмотрены методики расчета циклического заводнения, основанные на решении одномерных задач, в которых не учитывается реальное взаимное расположение скважин. Исследование ЦЗ чаще всего проводится на основе 3D геолого-гидродинамического моделирования. Для расчета ЦЗ с помощью гидродинамического симулятора в рамках обычных уравнений двухфазной фильтрации потребуется значительно больше времени, чем для расчета обычного заводнения.

Основной причиной, из-за которой возникают проблемы с использованием в гидродинамических симуляторах обычных уравнений двухфазной фильтрации, является существование ограничения на шаг по времени, превышение которого делает расчет некорректным и недостоверным (например, расчетный эффект от циклического воздействия часто оказывается близким к нулю). Дело в том, что в данном случае шаг по времени ограничен не только условием устойчивости разностной схемы или условием конечности изменения определенной величины (например, нефтенасыщенности) за один шаг. Наиболее значимое ограничение состоит в том, что временной шаг должен быть намного меньше полупериода цикла и характерного времени выравнивания давлений между соседними пропластками, которые зачастую принимают значения порядка нескольких суток или даже часов. В этом случае использование обычных уравнений фильтрации для практических расчетов приведет к большим временным затратам. Следовательно, уравнения фильтрации необходимо модифицировать таким образом, чтобы их можно было бы решить за приемлемое время (то есть за время моделирования обычного заводнения). Для достижения этой цели можно пойти по пути осреднения уравнений двухфазной фильтрации по времени цикла, которые были бы свободны от отмеченных выше ограничений на шаг по времени.

Необходимо отметить, что задача моделирования применения ЦЗ включает в себя не только прогнозирование добычи нефти при фиксированном участке и

параметрах воздействия. Для полного решения задачи обычно требуется выбрать перспективные участки и подобрать оптимальные параметры циклического воздействия, для чего необходимо выполнить многовариантные расчеты. Поэтому в случае использования осредненных или обычных уравнений фильтрации желательнее сократить не только время расчета одного варианта, но и число рассчитываемых вариантов. Это можно сделать, если быстро определить и исключить из дальнейшего рассмотрения заведомо неприемлемые «неблагоприятные» варианты, которые, как правило, составляют подавляющее большинство от общего числа вариантов. Важно отметить, что для выбора этих вариантов не требуется большой точности. Из оставшихся «благоприятных» вариантов можно уже выбирать наилучший с помощью гидродинамического симулятора, основанного на осредненных уравнениях двухфазной фильтрации.

Обычно исследования эффектов ЦЗ ограничены анализом циклического воздействия с использованием аналитических решений одномерных задач, то есть при достаточно сильных допущениях, что приводит к снижению точности получаемых результатов. С другой стороны, подход, основанный на аналитических решениях, позволяет получать результат практически мгновенно. Поэтому имеет смысл разработать такую технологию, в которой совмещались бы сильные стороны обоих отмеченных выше подходов: с одной стороны – скорость (аналитические решения), а с другой стороны – точность (осредненные уравнения).

Данный метод посвящен развитию подхода к моделированию ЦЗ на основе осреднения уравнений фильтрации для выполнения расчетов за приемлемое для практики время. Предложены осредненные уравнения фильтрации и выражение для интенсивности перетоков жидкости между слоями в случае периодического (синусоидального) закона изменения параметров на скважинах. Получено аналитическое решение одномерной задачи ЦЗ. Основываясь на этом аналитическом решении, предложена методика быстрого расчета показателей эффективности ЦЗ и ранжирования по ним участков месторождения.

Методика быстрого выбора скважин для реализации циклического заводнения, основанная на моделях двухфазной фильтрации, была применена на данных реального газонефтяного месторождения в Мангистауской области Казахстана. Данная технология реализована в программном комплексе «ПК КОНКОРД» компании ООО «КОНКОРД». На выходе получены: карта участка (Рис. 1), ранжированного по величине относительных приростов нефти по скважинам за счет применения ЦЗ и соответствующая расчетная таблица (Рис.2), на основании которой можно строить, например, гистограммы распределения прироста или падения добычи нефти за счет эффекта применения ЦЗ.

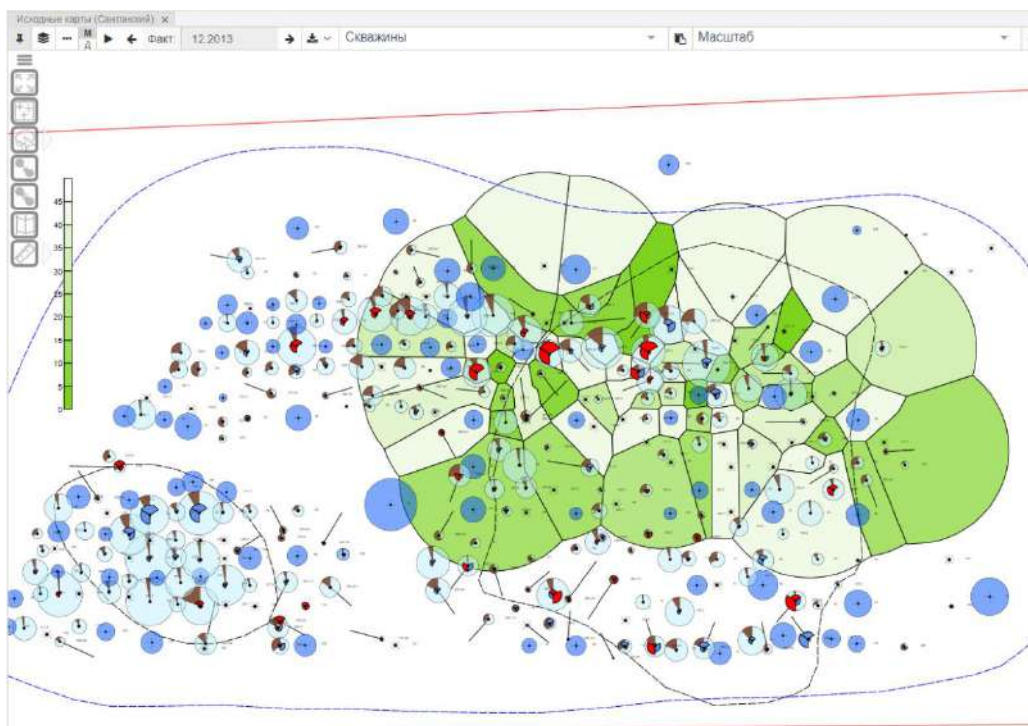


Рисунок 1. Карта участка газонефтяного месторождения в Мангистауской области Казахстана, ранжированного по величине относительных приростов нефти по скважинам за счет применения ЦЗ.

Имя скважины	Относит. прирост доб. н.	Рейтинг скважины по эффекту	Доп. доб. н. за счет ЦЗ за 6 мес.	Доб. н. за счет ЦЗ за 6 мес. (с учетом эффекта циклического заводнения)	Доб. н. без учета ЦЗ за 6 мес.	Данные РИГИС
293	0,010	98	3,343	337,886	334,543	Имеются
278-2Н	0,007	111	4,096	566,574	562,578	3 знач. из 66 заполнено по эм...
321-1Н	0,000	180	0,000	174,781	174,781	Имеются
296-1-3S	-0,000	181	-0,285	849,811	850,096	Взяты со скважины 50; 1 знач...
171-3	0,043	39	9,767	238,071	228,304	8 знач. из 99 заполнено по эм...
139	0,000	176	0,001	2,778	2,777	Имеются
175-1	0,044	37	13,592	325,959	312,367	Имеются
318-2	0,005	134	3,242	686,129	682,887	1 знач. из 35 заполнено по эм...
128-3	0,017	73	6,827	397,680	390,853	Имеются
230-2	0,003	147	2,324	823,404	821,079	Имеются
203-1Н	0,012	92	17,921	1 554,223	1 536,301	Имеются
31	0,031	54	5,674	189,430	183,756	Имеются
16	0,001	164	3,529	3 151,675	3 148,146	3 знач. из 27 заполнено по эм...
213-2	-0,000	181	-0,026	427,887	427,912	3 знач. из 33 заполнено по эм...
15	0,014	80	25,566	1 014,276	1 788,709	2 знач. из 16 заполнено по эм...
190	0,012	85	0,339	27,630	27,292	Взяты со скважины 293
263-4Н	0,001	162	0,775	672,301	671,526	Имеются

Рисунок 2. Основная таблица с результатами расчетов

Выводы:

Предложенную технологию можно рассматривать как первый этап предварительной оценки эффективности циклического воздействия, т.е. в кратчайшие сроки без значительных вычислительных затрат получить перспективные участки для гипотетического проведения на них нестационарного заводнения для повышения нефтеотдачи пласта. А затем, среди найденных, выбрать наилучший, но уже с помощью гидродинамического симулятора. Ведь аналитическое решение, использованное в рассматриваемой технологии, не может обеспечить полного описания ЦЗ, поскольку сделанные при их получении допущения не позволяют

описывать ряд эффектов, которые имеют место при полномасштабном численном моделировании.

Литература:

1. Боксерман А.А., Шалимов Б.В. О циклическом воздействии на пласты с двойной пористостью при вытеснении нефти водой // Изв. АН СССР, МЖГ, 1967, №2.
2. Сургучев М.Л., Цынкова О.Э., Шарбатова И.Н. и др. Циклическое заводнение нефтяных пластов М., Изд. ВНИИОЭНГ, 1977.
3. Шарбатова И.Н., Сургучев М.Л. Циклическое воздействие на неоднородные пласты. М. Недра, 1988, 121с.
4. Langdalen H. Cyclic Water Injection (A Simulation Study). MS thesis, Norwegian University of Science and Technology, June 2014.
5. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем: Пер. с англ. М.: Недра, 1982, 407с.
6. Ярославов А.О. Математическое моделирование фильтрации неньютоновских жидкостей в слоисто-неоднородных пластах и разработка методик статического анализа геолого-промысловой информации. Дис. ...канд. физ.-мат. наук. Тюмень, 2003. 139с.
7. Rodionov S. P., Pichugin O. N., Kosyakov V. P., Musakaev E. N. New Rapid Modeling Technology to Select Optimal Waterflooding Options for Oil Fields (Russian) SPE-187912-RU // SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition, 24-26 October 2016, Moscow, Russia.
8. Камбаров, Г.С. К определению начального извлекаемого запаса нефтяного месторождения / Г.С. Камбаров, Д.Г. Алмамедов, Т.Ю. Махмудова // Азербайджанское нефтяное хозяйство. -1974. № 3. — С. 22-23.

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧАСТОТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЗЗ

Якимчук Н.А. (Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле при ИГН НАН Украины, yakutchuk@gmail.com), Левашов С.П. (НПП «Геопром», geoprom@ukr.net), Корчагин И.Н. (Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, korchagin.i.n@gmail.com)*

Аннотация

Анализируются результаты экспериментального применения технологии частотно-резонансной обработки и интерпретации данных ДЗЗ (спутниковых снимков) с целью изучения внутренней структуры алмазоносных кимберлитовых трубок. Эксперименты проводились на известных кимберлитовых трубках «Удачная», «Мир» (Якутия, Россия), «Letseng-La-Terae» (Королевство Лесото) и «Diavik» (Канада). Вертикальным сканированием разрезов в центральных частях трубок определены глубины залегания корней кимберлитов и интервалы фиксации аномальных откликов (сигналов) на резонансных частотах алмазов.

Ключевые слова: Алмазы, данные ДЗЗ, технология, прямые поиски, частотно-резонансная обработка, интерпретация, кимберлитовая трубка.

Введение. На протяжении многих лет авторами активно и целенаправленно проводятся исследования с целью разработки мобильных и малозатратных геофизических методов и технологий «прямых» поисков рудных и горючих полезных ископаемых, а также воды (питьевой, минеральной, геотермальной). Разработанные методы прошли апробацию в различных регионах мира. В конце 2018 г. начались дополнительные экспериментальные исследования, направленные на изучение глубинного строения участков расположения кимберлитовых трубок. Результаты проведенных экспериментов анализируются в докладе.

Метод исследований. Изучение внутренней структуры кимберлитовых трубок осуществлялось с использованием частотно-резонансного метода обработки и дешифрирования спутниковых снимков и (или) фотографий [1-4]. Отдельные компоненты (методы) этой технологии разработаны на принципах «вещественной» парадигмы геофизических исследований [2], сущность которой заключается в поиске конкретного (искомого в каждом отдельном случае) вещества – нефти, газа, золота, алмазов, урана, и т.д. Целенаправленная работа (эксперименты) по созданию этой технологии, ее апробации, совершенствованию и практическому применению начались в конце 2009 г. Результаты проделанных на настоящий момент работ позволяют констатировать, что исследования в этом направлении заслуживают дальнейшего продолжения и интенсификации. Есть высокая вероятность того, что в перспективе это может привести к созданию прорывных (мобильных, прямопоисковых, малозатратных) методов и технологий поисков и разведки рудных и горючих полезных ископаемых, а также изучения внутреннего строения Земли и других планет Солнечной системы.

Акцентируем внимание на то, что обработка и дешифрирование спутниковых снимков участков обследования, заимствованных из источников (сайтов) свободного доступа, оперативно проводится в лабораторных условиях, без организации и проведения полевых исследований. Поэтому эту технологию можно считать супер-оперативной, позволяющей в сжатые сроки проводить обследование поисковых участков на различные виды полезных ископаемых в любой точке земного шара.

Исследования на участках расположения кимберлитовых трубок [3]. С целью изучения возможностей применения частотно-резонансной технологии

обработки данных ДЗЗ для поисков кимберлитовых трубок и алмазов незначительный объем экспериментальных исследований выполнен в 2011 г. При проведении работ резонансные частоты кимберлитов были определены на образцах кимберлитовых пород из Якутии. Определения частот были проведены на образцах кимберлитов из 10 трубок – Удачная, Мир, Заря, Новинка, Ботуобино, Заполярная, Соболева, Нюрбинск, Интернациональная, Радиоволновая. Определены также характеристические свойства (резонансные частоты) алмазов. Полученные значения резонансных частот использовались при обработке и интерпретации спутниковых снимков.

В дальнейшем была выполнена обработка спутниковых снимков участков расположения перечисленных выше трубок с целью определения контуров кимберлитовых пород и зон распределения алмазов в них. Полученные результаты на участке расположения трубки «Удачная» представлены на рис. 1.

В августе 2016 г. в районах расположения кимберлитов проведены дополнительные экспериментальные исследования. Так, в Якутии, в районе расположения трубок "Соболева", "Радиоволновая" обнаружено 16 геоэлектрических аномальных зон типа "кимберлитовая трубка". При этом аномальные отклики на резонансных частотах алмазов зафиксированы не во всех закартированных аномальных зонах типа «кимберлит» [3].

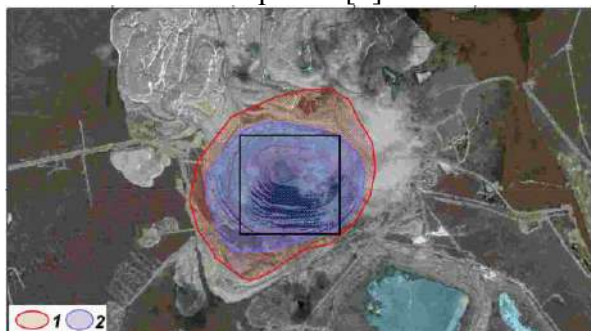


Рисунок 1. Геоэлектрические аномальные зоны над кимберлитовой трубкой «Удачная» (Якутия, Россия). 1 – зона регистрации откликов на резонансных частотах кимберлитов; 2 – зона регистрации откликов на резонансных частотах алмазов.



Рисунок 2. Геоэлектрические аномальные зоны над кимберлитовой трубкой «Letseng-La-Terae» (Королевство Лесото). 1 – зона регистрации откликов на резонансных частотах кимберлитов; 2 – зона регистрации откликов на резонансных частотах алмазов; 3 – точка вертикального сканирования.

В это же время проведена также частотно-резонансная обработка спутникового снимка участка расположения кимберлитовой трубки «Letseng-La-Terae» в Королевстве Лесото. Закартированные на этом участке геоэлектрические аномальные зоны типа «кимберлит» и «алмазы» показаны на рис. 2.

Дополнительные исследования. В конце 2018 г. на участках расположения описанных выше трубок были проведены дополнительные исследования с целью изучения особенностей их внутреннего строения. Основные задачи проведенных дополнительных исследований сводятся к следующему:

- 1) Определение глубины распространения кимберлитовых пород в трубке (нахождение дна трубки) с использованием методики вертикального сканирование разреза в центре трубки, которая позволяет фиксировать аномальные отклики на резонансных частотах кимберлитов на разных глубинах.
- 2) Определение интервалов распространения алмазов в трубках по глубине.
- 3) Установление наличия (или отсутствия) определенных комплексов пород в контурах трубок, которые присутствуют в разрезе за пределами трубок.

Алмазная трубка «Letseng-La-Terae» (Королевство Лесото). Вертикальным сканированием разреза в центре трубки (фрагмента рисунка 2 с аномальными зонами «кимберлит» и «алмаз», обозначенного черным прямоугольником) аномальные отклики на резонансных частотах кимберлитов фиксировались в интервале глубин 0 – 723 км. Можно сделать вывод, что основание (корень) трубки «Letseng-La-Terae» расположено на глубине 723 км.

Сканированием в центре трубки до глубины 110 км сигналы (отклики) на резонансных частотах базальтов и габбро не зафиксированы.

В связи с этим, дополнительно проведено обследование небольшого фрагмента рис. 2 в правом верхнем углу (за пределами трубки), обозначенного синим прямоугольником. Отклики на резонансных частотах базальтов и габбро здесь зафиксированы и в интервале глубин 82 – 113 км.

На этом же фрагменте рисунка зона плавления пород (зона «жидкого» состояния) зафиксирована в интервале глубин 190.650 – 218.000 км. Отметим при этом, что зона плавления пород в центре трубки «Letseng-La-Terae» не обнаружена.

В центре трубки «Letseng-La-Terae» отклики (сигналы) на резонансных частотах алмазов зафиксированы в следующих интервалах разреза: 1) 0 – 33 км; 2) 154 – 188 км; 3) 270 – 300 км.

Кимберлитовая трубка «Удачная» (Якутия). В центре трубки аномальные отклики на резонансных частотах кимберлитов и лампроитов зафиксированы и прослежены в интервале глубин 0–725 км.

В пределах этой алмазоносной трубки в разрезе также не обнаружены зоны (интервалы) базальтов и габбро, а также зона плавления (жидкого состояния) пород в интервале глубин 190-220 км.

В центре трубки «Удачная» отклики на резонансных частотах алмазов зафиксированы на следующих глубинах: 1) 0 – 39 км; 2) 153 – 183 км; 3) 273 – 297 км.

Алмазная трубка «Мир» (Якутия). Проведена частотно-резонансная обработка фотографии трубки. На обследованной площади зафиксированы отклики на резонансных частотах алмазов, нефти, конденсата, газа, гелия, кислорода, углерода. Сигналы алмазов зарегистрированы в следующих интервалах глубин: 1) 920 м – 32.020 км; 2) 94.200-126.300; 3) 189.000-253.000 км; 4) 314.150-402.700; 5) 464.300-496.450 км; 6) 558.100-590.200; 7) 652.000-940.000-996.170 км (конец сигналов алмазов). Корень кимберлитов установлен на глубине 996.080 км.

Район алмазоносной шахты Diavik (Канада) [5]. Спутниковый снимок участка расположения месторождения показан на рис. 3. На этом месторождении обнаружен самый крупный алмаз Северной Америки (рис. 4).



Рисунок 3. Спутниковый снимок (Google Maps) алмазоносной шахты Diavik (Canada).



Рисунок 4. Самый крупный алмаз в Северной Америке (552 карата).

На начальном этапе в этом районе обработан фрагмент снимка на рис. 3, в пределах которого расположены две трубки. На этом фрагменте зафиксированы

отклики только на резонансных частотах кимберлитов и алмазов. При сканировании разреза с разным шагом сигналы кимберлитов зафиксированы в интервале 0-723 км. Сигналы алмазов зарегистрированы в интервале 0-33 км (первый интервал). Второй интервал начался с глубины с 95.960 км, однако до конца не прослежен.

В пределах первого и второго фрагментов снимка (левый и правый верхние углы) сигналы на частотах алмазов и кимберлитов не зафиксированы.

На третьем фрагменте снимка внизу (в центре) зафиксированы сигналы от алмазов, водорода, углерода, газа, нефти, конденсата, янтаря, угля. Установлено наличие трех типов каналов и определены глубины расположения их корней: гранитного – 996 км; кимберлитового – 723 км; осадочных пород – зона плавления (194-225 км). Вне контура гранитного канала сканированием установлены два интервала гранитов: 1) 1.5 - 2570 м; 2) 18.450 - 22.8 км. Сигналы алмазов зафиксированы в интервале 3 м - 32.100 км. Второй интервал начался с 96.00 км.

В контуре четвертого фрагмента в правом нижнем углу зафиксированы сигналы алмазов и кимберлитов. Корень кимберлитового канала определен на глубине 723 км, а гранитного – 996 км. Сигналы от алмазов зарегистрированы в интервале 1 м - 32.500 км, второй интервал зафиксирован с глубины 96.150 км (далее не прослежен).

На оставшихся частях снимка на рис. 3 обнаружены сигналы алмазов и кимберлитов еще в четырех местах.

Основные выводы и заключение. Результаты проведенных экспериментальных исследований еще раз свидетельствуют о целесообразности применения частотно-резонансной технология для поисков и локализации кимберлитовых пород и оценки перспектив обнаружения в их пределах алмазов.

Приведенные материалы могут быть использованы при построении моделей формирования кимберлитовых трубок с включениями алмазов.

Дополнительная апробация частотно-резонансного метода обработки и дешифрирования данных ДЗЗ на рудных объектах и площадях свидетельствует о возможности оперативного обнаружения и картирования с его помощью аномалий типа «залежь» (АТЗ) – «алмазоносная трубка», «водоносный горизонт», «золоторудная залежь», «залежь урана», и т.д. Частотно-резонансная методика сканирования спутниковых снимков позволяет также оценивать глубины залегания и мощности отдельных АПП типа «водоносный пласт», «пласт с золоторудной минерализацией», «пласт с урановой минерализацией», и т.д. Вертикальным сканированием могут также определяться с приемлемой точностью интервалы залегания отдельных типов пород (осадочных и магматических), присутствующих в разрезе.

Литература

1. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Новые возможности оперативной оценки перспектив нефтегазоносности разведочных площадей, труднодоступных и удаленных территорий, лицензионных блоков // Геоинформатика. 2010. № 3. С. 22-43.

2. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Частотно-резонансный принцип, мобильная геоэлектрическая технология: новая парадигма геофизических исследований // Геофизический журнал. 2012. Т. 34, № 4. С. 167-176.

3. Левашов С. П., Якимчук Н. А., Корчагин И. Н., Дрогицкая Г.М. Мобильные прямопоисковые технологии: о целесообразности их применения при поисках урана и кимберлитовых трубок // Геоинформатика. 2018. № 4. С. 5-28.

4. Levashov, S.P., Yakymchuk, N.A., Korchagin, I.N. and Bozhezha, D.N. Application of mobile and direct-prospecting technology of remote sensing data frequency-resonance processing for the vertical channels of deep fluids migration detection // NCGT Journal. 2017. Vol. 5, No. 1, March 2017. – P. 48-91. www.ncgt.org



5. Rio Tinto opens new diamond pipe at Diavik.
<https://www.myyellowknifenow.com/31802/rio-tinto-opens-new-diamond-pipe-at-diavik/>

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО РЕНТГЕНОФЛЮОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ МИНЕРАЛЬНОГО ВОЛОКНА

Кругликова Т.С. (МГРИ), e-mail: tata_1_6@mail.ru)*

Медведев А.А. (МГРИ), e-mail: medvedev747@yandex.ru), Посеренин А.И. (МГРИ), e-mail: poserinin83@gmail.com),

Жуков А.Д. (НИУ МГСУ), e-mail: lj211@yandex.ru), Ушаков Н.А. (НИУ МГСУ), e-mail: 903714@mail.ru)

Аннотация

В статье приведен анализ факторов, влияющих на долговечность изоляционных систем и эксплуатационную стойкость изделий на основе минеральных волокон. Подчеркивается, что основным фактором, влияющим на эксплуатационную стойкость минеральных волокон, а так же на энергоемкость их получения является отношение кислых оксидов, содержащихся в шихте к основным оксидам.

Обосновано, что долговечность строительные системы, в которых в качестве теплоизоляции используются изделия на основе минеральной ваты определяется свойствами минераловатных изделий, грамотностью проектных решений и качеством монтажа. Свойства минераловатных изделий, в том числе их эксплуатационная стойкость зависят от свойств минеральных волокон и соблюдения технологических режимов как по факту наиболее полного отверждения связующего, так и по особенностями формирования объемно ориентированной структуры минераловатного ковра.

Выдвинута и подтверждена гипотеза, что эксплуатационная стойкость волокна зависит от содержания тяжелых металлов (их оксидов) в исходной шихте. Определение элементного состава образцов каменной ваты проводилось методом рентгенофлюоресцентного анализа (РФА). Проведенные для проб ваты с различным модулем кислотности исследования, показывают, что волокна являются безопасными по радиационным показателям, а на их эксплуатационную стойкость могут оказывать влияния оксиды тяжелых металлов.

Ключевые слова: минеральные волокна, эксплуатационная стойкость, долговечность, рентгенофлюоресцентный анализ, эффективная удельная активность.

Изделия из минерального волокна (минеральной ваты) являются одним из наиболее применяемых теплоизоляционных материалов в отечественном строительстве. Свойства этих изделий в первую очередь определяются двумя факторами: свойствами минеральных волокон (в том числе составом шихты, технологией их плавления и переработки расплава) и технологией изготовления самих изделий [1-3]. Характеристики минерального волокна и особенности его плавления и раздува зависят от химического состава волокна, который определяет и его модуль кислотности (качество волокна) и модуль вязкости (условия плавления). Поэтому определения элементного состава волокон является актуальной задачей. Всегда остается важным вопрос об экологической безопасности строительных материалов, в том числе их радиационной безопасности [4].

По существующим методикам, в том числе нормативным, оценка стойкости волокна осуществляется по его модулю кислотности (Мк), равному отношению кислотных ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) и основных оксидов ($\text{CaO} + \text{MgO}$), содержащихся в волокне [2, 5]. Чем выше отношение, тем волокно считается более стойким к агрессивным средам. Отметим, что если до 1990 года изделия изготавливались с Мк 1,1–1,4 и долговечность

их не превышала 10 лет, то сейчас изготавливаются с Мк 1,6-2,1 и долговечность таких изделий превышает 20 лет [6,7].

Не ставя под сомнение нормативные методики и результаты практического применения материалов, авторы выдвинули гипотезу, что одним из факторов высокой стойкости минеральных волокон является их элементный состав, и, в частности содержание тяжелых металлов.

Определения элементного состава образцов минеральной ваты проводилось рентгенофлуоресцентным методом анализа (РФА). Метод РФА основан на возбуждении атомов элементов, содержащихся в анализируемом образце и измерении интенсивности возникающего характеристического рентгеновского излучения возбужденных атомов с помощью спектрометрической аппаратуры.

Эксперимент проводился с помощью спектрометра элементного состава вещества «РеСПЕКТ» (рисунок 1) в лаборатории физических методов анализа Российского государственного геологоразведочного университета (МГРИ) [8]. В качестве первичного возбуждающего излучения в приборе используется излучение рентгеновской трубки прострельного типа с серебряным анодом. Предельная мощность излучения трубки – 120 Вт. Система водяного охлаждения рентгеновской трубки замкнутая.

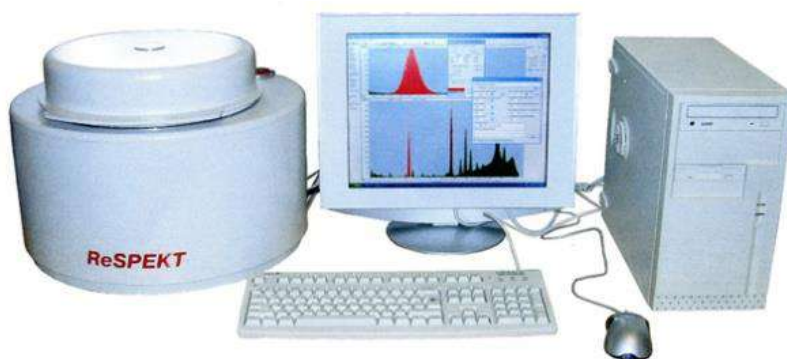


Рисунок 1. Рентгеновский спектрометр «РеСПЕКТ»

Вторичное рентгеновское излучение регистрируется полупроводниковым Si-Pin детектором разрешением 150 эВ. За одно измерение возможно одновременное определение 20-25 элементов (от Al до U). Процесс измерения полностью автоматизирован. Предел обнаружения элементов в твердых образцах составляет (10^{-3} - 10^{-4})%. Диапазон определяемых концентраций от 0,0001% до 100%. При анализе образец каменной ваты массой ~1г помещали в кювету с основой из тонкой полипропиленовой пленки; кювету устанавливают в карусель, рассчитанную на 16 образцов (Рисунок 2) [9,10].

Накопление и обработка спектрометрической информации осуществляется персональным компьютером со встроенным одноплатным спектрометром, обеспечивающим также низковольтное и высоковольтное питание детектора.

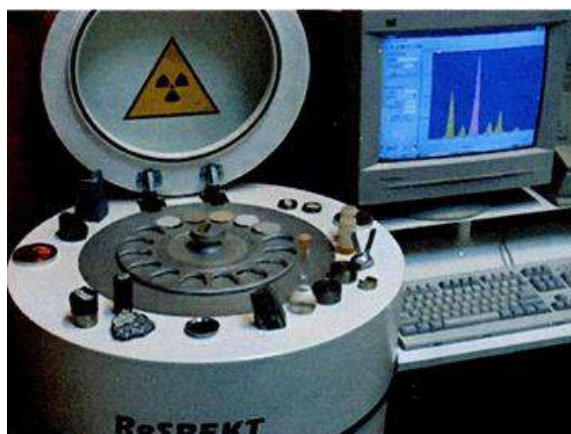


Рисунок 2. Рентгеновский спектрометр «РеСПЕКТ»

Программа обработки рентгеновских спектров идентифицирует пики элементов и определяет их площади, которые пропорциональны концентрациям анализируемых элементов. В таблице 1 приведены результаты измерений пяти образцов минеральной ваты, проведенной на спектрометре «РеСПЕКТ». Установлено присутствие в исследуемых волокнах, а, следовательно, и в исходной шихте, повышенных концентраций следующих металлов: Ca, Ti, Mn, Fe.

Таблица 1. Содержание металлов в различных образцах минеральной ваты

Образец	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr
Изовер	2,6	23,8	0,18	0,007	0,58	0,96	0,004	0,01	0,003	0,008	0,001	0,007
Изоплет	2,4	26,3	1,56	0,013	0,15	6,17	0,005	0,005	0,003	0,0036	0,002	0,015
Технониколь	3,1	46,2	1,84	0,02	0,32	0,96	0,003	0,01	0,002	0,06	0,004	0,013
Мин вата 4	3,3	62,3	1,23	0,009	0,34	1,68	0,003	0,004	0,002	0,06	0,002	0,02
RW	3,86	47,6	2,7	0,034	0,37	9,65	0,024	0,011	0,002	0,034	0,002	0,014

С целью оценки радиационных свойств образцов минеральной ваты были проведены измерения их удельной активности. Указанные измерения образцов проводились на гамма-спектрометре с полупроводниковым детектором из особо чистого германия фирмы ORTEC. Время измерений составляло 11800 с.

Эффективная удельная активность природных радионуклидов вычислялась по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,3 \cdot A_{Th} + 0,085 \cdot A_K$$

где A_{Ra} и A_{Th} – удельные активности радия и тория, находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, A_K – удельная активность изотопа калий-40 (Бк/кг).

При измерении образца минеральной ваты «изовер» получены следующие результаты: $A_{Ra} = 129,5$ Бк/кг, $A_{Th} = 30$ Бк/кг, $A_K = 95$ Бк/кг. Таким образом: $A_{эфф} = 129,5 + 1,3 \cdot 30 + 95 \cdot 0,085 = 176,6$ Бк/кг.

Оценка правильности и воспроизводимости анализа выполнялась в соответствии с требованиями [11]. Результаты измерений эффективной удельной активности других образцов минеральной ваты не превышали 160 Бк/кг, что в два раза меньше предельно допустимого значения (370 Бк/кг) и позволяет уверенно отнести указанную продукцию к первому классу 1 классу СанПиН 2.6.1.2800-10 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучений».

В результате проведенных исследований была подтверждена допустимость гипотезы, что одним из факторов высокой стойкости минеральных волокон является их элементный состав, и, в частности содержание тяжелых металлов. Более того, при регулировании содержания некоторых оксидов тяжелых металлов становится возможным снижение модуля вязкости расплава при сохранении значения модуля кислотности и получение волокна с высокой эксплуатационной стойкостью (высоким M_k) при оптимизированном модуле вязкости (M_B), то есть в условиях плавления при температурах 1450–1500 °С.

Исследования, проведенные для проб минеральной ваты с различным модулем кислотности, показывают, что волокна являются безопасными по радиационным показателям, а на их эксплуатационную стойкость могут оказывать влияния оксиды тяжелых металлов. Дальнейшими направлениями исследований является распространение использованных методик на другие типы минеральных волокон, как то стеклянных и базальтовых, проверка присутствия в волокнах радиоактивных изотопов, а так же изучение влияния содержания оксидов тяжелых металлов на свойства расплавов пород базальтовой группы и шихты различных составов.

Литература

1. B. Rumyantsev, A. Zhukov, T. Smirnova Energy efficiency and methodology for creating heat-insulating materials // Internet-Vestnik VolgGASU. 2014. №4. P.3.
2. Zhukov A.D., Smirnova T.V., Zelenshchikov D.B., Khimich A.O. Thermal treatment of the mineral wool mat //Advanced Materials Research. 2014. Т. 838-841. PP. 196-200.
3. Rumyantsev B.M., Zhukov A.D. Basalt fiber and woven materials on its basis // "News of Higher Educational Institutions. Technology of Textile Industry" Ivanovo State Polytechnic University. 2017. №3. PP. 114-116.
4. Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Smirnova T.V. Evaluation of durability of mineral wool products. // Advanced Materials, Structures and Mechanical Engineering. 2015. Vol. 1077. PP. 109-112
5. Gnip I., Vaitkus S., Kersulis V., Vejelis S. Long-term prediction of creep strains of mineral wool slabs under constant compressive stress. // Mech Time Depend Mater. 2012. № 16. PP. 31–46.
6. Bezdenezhnykh M.A, Munieva E.Yu., Zhukov A.D. Building materials and ecology // Perspectives of science. 2017. № 11. PP. 33-36.
7. Медведев А.А., Жуков А.Д., Боброва Е.Ю., Петровский Е.С., Тучаев Д.И. Эксплуатационная стойкость минерального волокна // Наука и бизнес: пути развития. 2017 №10. С 35-38.
8. Медведев А.А. Посеренин А.И. Применение энергодисперсионных рентгеновских спектрометров для элементного анализа геологических образцов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. №11. С. 115-124.
9. Медведев А.А., Посеренин А.И. Лабораторный практикум по ядерной геофизике. / Учебное пособие. М.: ВНИИГеосистем. 2013. 51 с.
10. Медведев А.А., Посеренин А.И. Аналитические методы определения состава горных пород. / Учебное пособие М.: РГГРУ. 2011. 57 с.
11. Романов В. В., Посеренин А. И., Мальский К. С. Метрология, стандартизация и сертификация. / Учебное пособие. М.: РГГРУ. 2015. 120 с.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ 3D-ОБЪКТОВ В ГЕОФИЗИКЕ

Кудина Я.О.* (МГРИ, kudin.ya.o@gmail.com), Родионов Е.А. (МГРИ, evgeny_980@list.ru), Белов Д.А (МГРИ, belov.dmitry1989@yandex.ru), Оборнев И.Е. (МГРИ, o_ivano@mail.ru)

Аннотация

Представлен общий подход к послойному моделированию 3D-структур с возможностью изменения параметров модели в любой из трех возможных плоскостей. Кроме того, указанный подход позволяет визуализировать сложные неоднородные трехмерные аномалии внутри рассматриваемой модели.

Ключевые слова: 3D-моделирование, прямая задача, обратная задача, визуализация 3D-объектов

В задачах разведочной геофизики земная толща обычно представляется как совокупности некоторых физических параметров исследуемой среды, которая называется моделью среды, а процесс ее построения – моделированием.

Стремительное развитие компьютерной техники в последние десятилетия позволило реализовать алгоритмы массового расчета трехмерных прямых задач геофизики и, следовательно, появились возможности для соответствующих 3D-инверсий. Несмотря на частое применение 2D- или, даже 1D-инверсии, для существенно трехмерных сред преимущество трехмерной инверсии очевидно, а, следовательно, возникают вопросы, связанные с визуализацией и представлением результатов.

На данном этапе развития, имеющиеся средства визуализации и представления 3D-моделей по параметрам x , y , z , k (k – петрофизические свойства среды), не позволяют редактировать объекты в реальном времени. К тому же, современные пакеты программ (Surfer [1], Voxler [2], RockWorks [3]) не позволяют послойную визуализацию трехмерного объекта в плоскостях (x,y) , (x,z) или (y,z) . Кроме того, отсутствует возможность «заглянуть внутрь» модели при помощи трехмерных вырезов или выступов.

В настоящем докладе будет представлен общий подход к послойному моделированию 3D-структур с возможностью изменения параметров модели в любой из трех возможных плоскостей Рис.1. Данный подход реализован в программе *GeoModel3D* на языке VB и позволяет работать с полученными моделями или создавать модели для проведения инверсии над синтетическими моделями. Кроме того, указанный подход позволяет визуализировать сложные неоднородные трехмерные аномалии внутри рассматриваемой модели Рис.2.

Выводы

Данная разработка существенно упрощает работу со сложными 3D моделями и позволяет просматривать их в разных измерениях. В дальнейшем планируется включение в программу модуля расчета прямой задачи и построение соответствующих геофизических полей.

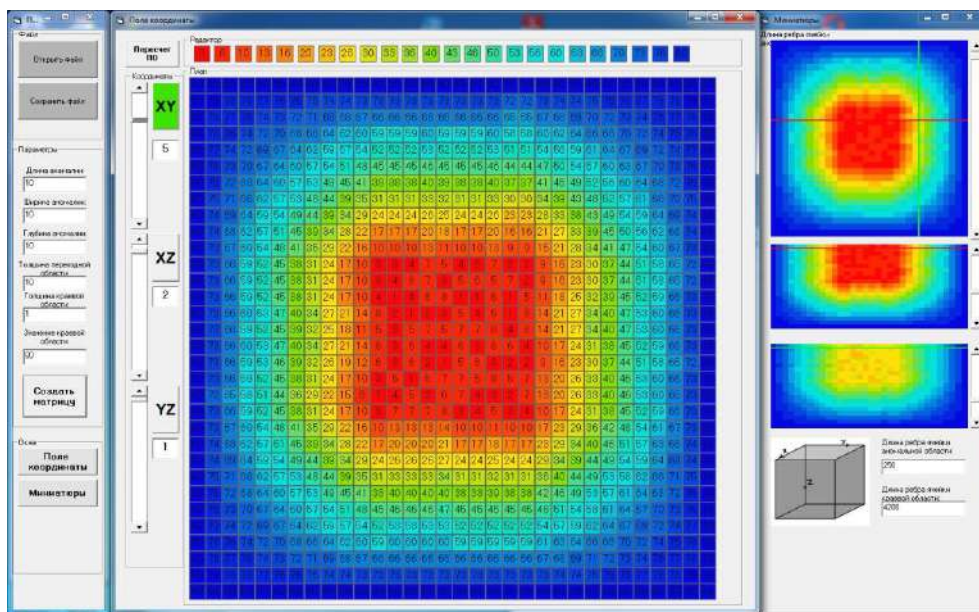


Рисунок 1. Пример интерфейса программы с возможностью интерактивного изменения параметров модели.

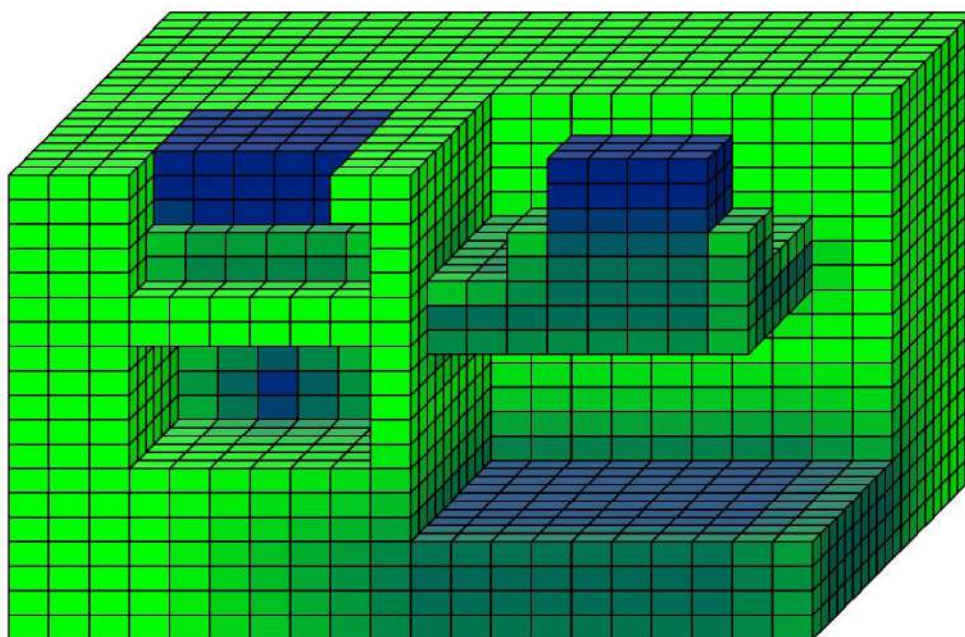


Рисунок 2. Пример построения 3D-модели с визуализацией неоднородностей.

Литература

1. GOLDEN SOFTWARE [Электронный ресурс]: Surfer: официальный сайт разработчика. URL: <https://www.goldensoftware.com/products/surfer> (дата обращения 27.0.2019).
2. GOLDEN SOFTWARE [Электронный ресурс]: Voxler: официальный сайт разработчика. URL: <https://www.goldensoftware.com/products/voxler> (дата обращения 27.02.2019).
3. RockWare [Электронный ресурс]: RockWorks: официальный сайт разработчика. URL: <https://www.rockware.com/product/rockworks/> (дата обращения 28.02.2019).

РАСЧЕТ БАЛКИ ЛЕЖАЩЕЙ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ, ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОБЕСПЕЧЕНИЮ СОХРАННОСТИ КОНТУРА ПОДЗЕМНОЙ ПОЛОСТИ

Лебедева А.С. (МГРИ, alenka.lebedeva98@mail.ru), Пименова А.В. (МГРИ, pimenova_av@bk.ru), Поляков В.М. (МГРИ, texnoles@mail.ru), Иляхин С.В. (МГРИ, isv11@mail.ru)

Аннотация

Рассмотрен расчёт балки лежащей на упругом основании и её реакция на внешние деформации.

Ключевые слова Устойчивость, горная выработка, полость, ограждающая конструкция, балка, нагрузка, деформация.

При проходке подземных горных выработок в осадочных породах: известняках, гипсе, очень часто встречаются случаи, когда под выработкой находится полость, образованная растворением осадочных пород. Форма полости может быть различной: от плоской до цилиндра или близкой к шаровой. Поэтому для обеспечения сохранности горной выработки между ней и полостью необходимо установить ограждающую конструкцию, например в виде горизонтальной балки. Так как балка будет находиться в массиве горных пород, её можно рассматривать как балку лежащую на упругом основании.

В инженерной практике часто встречаются балочные элементы конструкций, лежащие на сплошном упругом основании. К таким конструкциям могут быть отнесены: шпалы железнодорожного пути, ленточные фундаменты зданий, фундаменты плотин, опирающиеся на грунты, разного рода трубопроводы, уложенные на грунт или внутрь его и др. Кроме того, к таким конструкциям относятся также и рельсы, у которых число опор бесконечно велико, а расстояние между ними мало по сравнению с длиной.

В машиностроении и различных других областях техники для многих конструкций в эксплуатационном режиме, находящихся в условиях сплошного контакта с другими изделиями, можно применить расчетную схему балки на упругом основании.

При расчетах таких элементов предполагается, что грунт обладает упругими свойствами и его деформация пропорциональна приложенной нагрузке. Кроме этой основной предпосылки, при расчете балок на упругом основании принимаются и другие допущения:

- трение между основанием и балкой отсутствует;
- между опорной поверхностью балки и основанием имеется неразрывная связь, вследствие чего в основании могут возникнуть растягивающие усилия;
- упругое основание по всей длине балки однородно и ширина постели балки постоянная;

Для решения инженерных задач, связанных с расчетом балки, применяются приближенные подходы, суть которых заключается в следующем:

- предварительно устанавливается зависимость между реактивным отпором и осадкой поверхности основания. Одной из наиболее распространенных гипотез является гипотеза о пропорциональной зависимости между реакцией и осадкой - гипотеза Винклеровского основания [1].

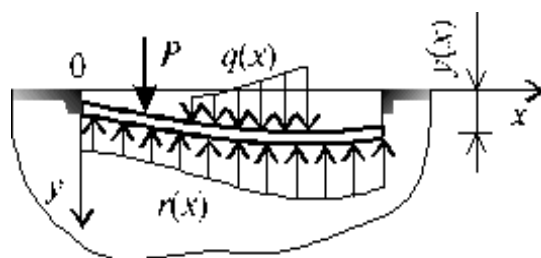


Рисунок 1. Деформация балки от внешней нагрузки, распределенной по произвольному закону

Реакция со стороны основания в произвольной точке, при соблюдении условий проскальзывания на контактной поверхности между подошвой балки и основанием, принимается пропорциональной прогибу:

$$r(x) = -k \cdot y(x), \quad (1)$$

где: $r(x)$ - реакция основания, приходящаяся на единицу длины балки, (Н/м); $y(x)$ - просадка основания; k - отпор основания, приходящийся на 1 м^2 площади при просадке, равной единице, а знак минус в выражении (1) означает, что реакция противоположна направлению просадки и $k = k_1 \cdot b$, где b - ширина подошвы балки; k_1 - коэффициент, характеризующий жесткость основания и называемый коэффициентом податливости основания или коэффициентом постели, Па/м.

Значения коэффициента постели k_1 для некоторых грунтовых и скальных оснований приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения коэффициента постели k_1 для различных грунтов

№№	Материал основания	k_1 , МПа/м
1	Песок свеженасыпанный Глина мокрая, размягченная	1-5
2	Грунты средней плотности: песок слежавшийся; гравий насыпной; глина влажная	5-50
3	Грунты плотные: песок и гравий, плотно слежавшийся; щебень; глина малой влажности	50-100
4	Грунты весьма плотные: грунт песчано-глинистый, искусственно уплотненный; глина твердая;	100-200
5	Известняк, песчаник, мерзлота	200-1000
6	Твердая скала	1000-15000

Таким образом, со стороны основания на балку действует сплошная распределенная нагрузка интенсивностью $r(x)$. Суммарная интенсивность распределенной нагрузки $P(x)$, приложенной к балке при произвольном значении x , определяется из выражения:

$$p(x) = r(x) + q(x) = -ky(x) + q(x), \quad (2)$$

где $q(x)$ - приложенная к балке, заданная распределенная нагрузка (например, вес погонной длины балки).

Дифференциальное уравнение изгиба упругой балки в данном случае принимает вид:

$$EJ_y y^{IV}(x) = p(x), \quad (3)$$

где EJ_z - изгибная прочность;

или после подстановки (2) в (3) получим:

$$EJ_y y^{IV}(x) + ky(x) = q(x), \quad (4)$$

Физический смысл модели, приводящий к уравнению (4), может быть различен.

Так, если основание принимать в виде упругого полупространства, взамен

модели Винклеровского основания, из приближенных решений контактных задач, то коэффициент k имеет вид:

$$\frac{E_0}{1 - \mu^2},$$

где E_0 - модуль деформации грунта основания; μ - коэффициент Пуассона.

В случае балки постоянного сечения интегрирование уравнения (4) не представляет особых затруднений. Вводится обозначение:

$$\frac{k}{EJ_z} = 4\beta^4 \rightarrow \beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EJ_z}},$$

где: β - коэффициент относительной жесткости основания, [1/м].

Тогда дифференциальное уравнение (4) принимает вид:

$$y^{IV}(x) + 4\beta^4 y(x) = q(x) / EJ_z, \quad (5)$$

Решение уравнения (5) можно получить общими методами решения дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, и оно имеет следующую структуру:

$$y(x) = C_1 y_1(x) + C_2 y_2(x) + C_3 y_3(x) + C_4 y_4(x) + y^*(x), \quad (6)$$

где: C_j - произвольные постоянные, $j = 1, 2, 3, 4$; $y_j(x)$ - частное линейно-независимое решение соответствующего (5) однородного уравнения, $y^*(x)$ - частное решение неоднородного уравнения (5), зависящее от характера внешней нагрузки $q(x)$.

$$y^{IV}(x) + 4\beta^4 y(x) = 0, \quad (7)$$

Частное решение однородного уравнения (7) представляется в виде $y(x) = C \exp(\lambda x)$, подставляя которое в (7), получим характеристическое уравнение

$$\lambda^4 + 4\beta^4 = 0, \quad (8)$$

Используя формулы Муавра [2] для корней из комплексных чисел найдем четыре корня уравнения (8):

$$\lambda_1 = \beta(1+i); \lambda_2 = \beta(1-i); \lambda_3 = -\beta(1-i); \lambda_4 = -\beta(1+i),$$

где i - мнимая единица ($i = \sqrt{-1}$).

Следовательно, решение вида (6) будет таким:

$$y(x) = \exp(-\beta x) \{C_1 \cos(\beta x) + C_2 \sin(\beta x)\} + \exp(\beta x) \{C_3 \cos(\beta x) + C_4 \sin(\beta x)\} + y^*(x), \quad (9)$$

Произвольные постоянные C_1, C_2, C_3 и C_4 находятся из граничных условий для конкретной задачи, как и при расчете обычной балки.

Таким образом используя выведенную формулу (9) можно оценить устойчивость балки лежащей на упругом основании. В дальнейшем эти расчеты будут являться исходными для определения устойчивости полости под балкой.

Литература:

1. А.П.Филин «Прикладная механика твердого деформируемого тела. Том 2» //Москва «Наука», 1978. с.232
2. Е.М.Мозалева «Комплексные числа. Линейная и векторная алгебра: методические указания и контрольные задания» //Оренбург «ГОУ ОГУ», 2004. с.8

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО АППАРАТА УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВА БИТУМА

Лебедева А.Ю. (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
stasya1997@gmail.com)*

Аннотация

Построена цифровая модель окислительного аппарата установки производства битума в программе Simulink. Работа основана на анализе больших данных с установки. Также была разработана уникальная программа для вычисления передаточных функций.

Ключевые слова цифровая модель, Simulink, Matlab, передаточная функция

Актуальными проблемами современной промышленности является прогнозирование результатов поведения промышленных объектов, а также поиск оптимальных параметров регулирования процессов с целью минимизации затрат и увеличения прибыли.

Объект исследования: Окислительный аппарат установки производства битума.

Цель: создание цифровой модели окислительного аппарата установки производства битума

Цифровая модель – компьютерная имитационная модель объекта, в которой учтены основные взаимосвязи входных (регулирующие воздействия и возмущения) и выходных величин (регулируемые величины), описывающих реальный объект управления. Она создается для того, чтобы проводить эксперименты для анализа поведения системы на управляющие воздействия не на реальном объекте, а на искусственно созданном. Для данного объекта управления основной целью является получение продукта с требуемыми показателями качества. Требуемые показатели качества достигаются путем соответствия регулируемых параметров их техническим регламентируемым значениям.

Основными регулирующими параметрами являются расход гудрона, расход воздуха на окисление, расход рециркулята в секцию окисления. Основными регулируемыми параметрами являются температура в секции окисления, температура в секции сепарации, уровень в окислительном аппарате.

Температура в секции окисления регулируется расходом рециркулята в секцию окисления. Уровень в окислительном аппарате регулируется расходом гудрона на входе. Температура в секции сепарации регулируется расходом воздуха.

Помимо регулирующих воздействий на регулируемый параметр оказывают влияние разные возмущения.

В качестве задач стояло проведение анализа экспериментальных данных, идентификация передаточных функций, расчет коэффициентов ПИД-регулятора и разработка цифровой модели в среде имитационного моделирования Simulink.

Физически содержательных моделей для объекта не существует, вследствие чего, были использованы эмпирические аппроксимации по реальным данным. На основе анализа экспериментальных данных была создана оригинальная компьютерная программа по идентификации передаточных функций, а также часть цифровой модели объекта исследования. Полученные результаты позволяют просто получать передаточные функции, которые используются в промышленности для регулирования и управления технологическими процессами, а также цифровая модель позволяет

прогнозировать поведение объекта исследования, проводить эксперименты не на реальном объекте, а на искусственно созданном.

В дальнейшем цифровая модель позволит: находить оптимальные настроечные параметры ПИД-регуляторов для минимизации ошибки регулирования, организовать многосвязное регулирование на основе оптимального управления с полной прогнозирующей моделью, создать цифрового двойника.

Задачи:

1. Анализ технологического процесса производства битума;
2. Анализ экспериментальных данных с установки;
3. Идентификация передаточных функций;
4. Расчет ПИД-регулятора;
5. Разработка цифровой модели в среде Simulink;

Достигнутые результаты

Был рассмотрен технологический процесс непрерывного окисления гудрона в аппаратах колонного типа, а также создана часть цифровой модели установки.

(Рисунок 1)

В ходе исследования была разработана универсальная программа по идентификации передаточных функций, которая может применяться на любой существующей установке, в которой есть значения входных и выходных параметров процесса.(Рисунок 2)

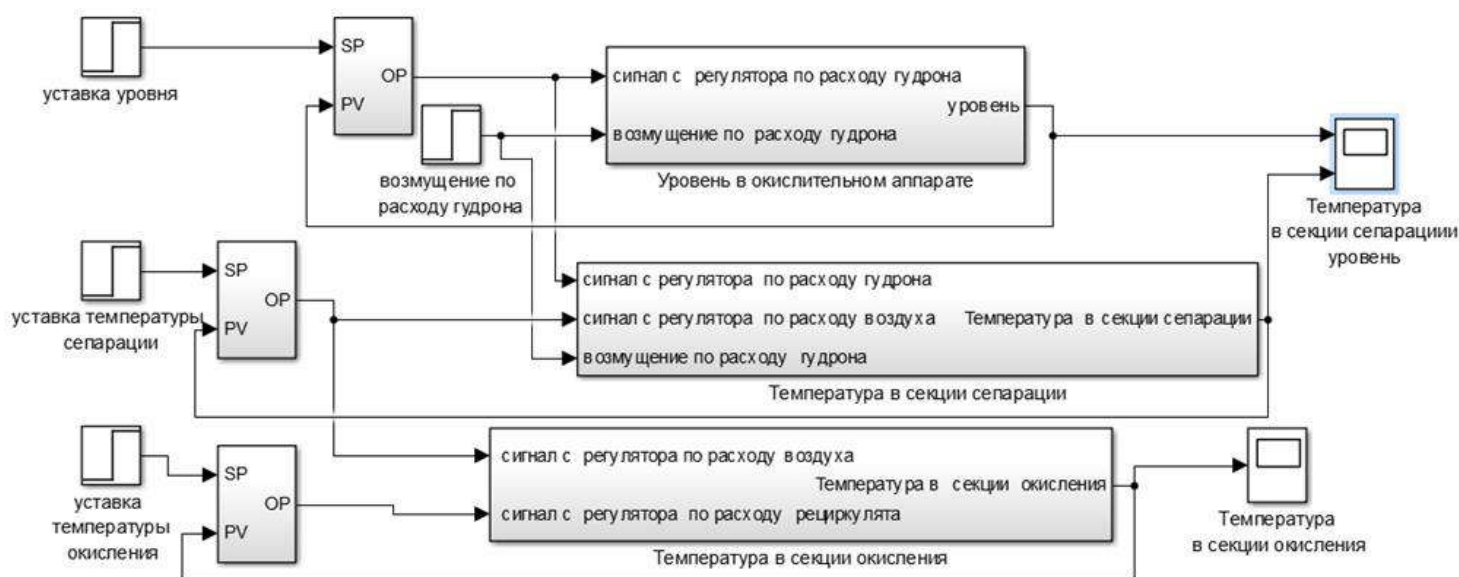


Рисунок 1 - Цифровая модель окислительного аппарата, реализованная в среде Simulink

Проблемы реализации полной цифровой модели состоят в том, что:

1. Невозможно учесть все возмущающие воздействия на объект управления;
2. Затруднительно учесть все взаимосвязи параметров;
3. Затруднительно учесть влияние химического состава и сырья;

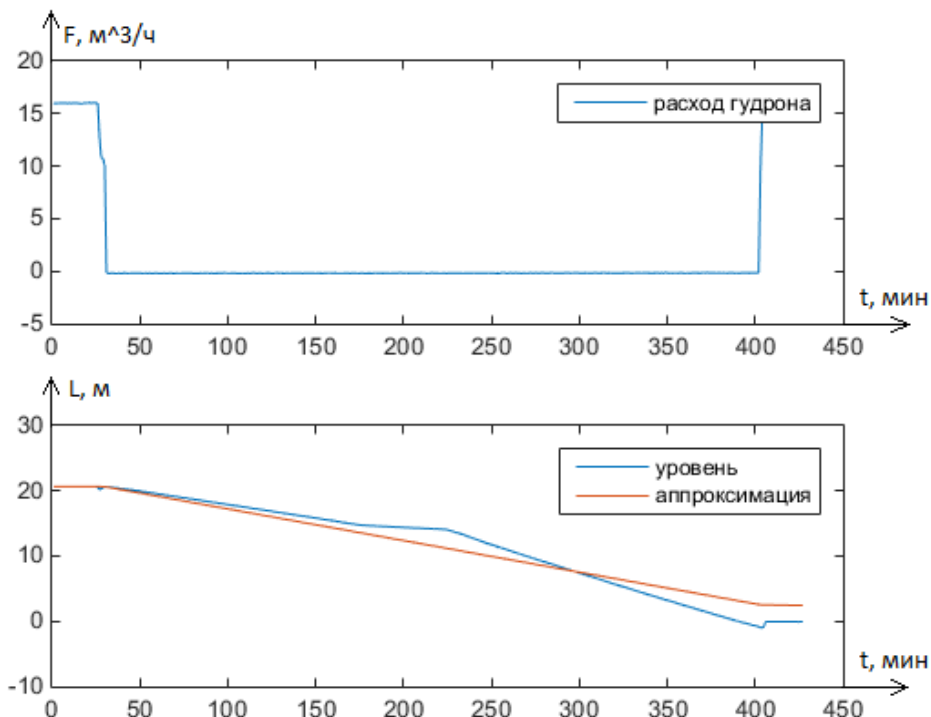


Рисунок 2 - Графики зависимости уровня в окислительном аппарате от расхода гудрона. Сини график – реальные данные. Красный график – аппроксимация на основе спроектированной программы в MATLAB

Перспективы развития цифровой модели окислительного аппарата установки производства битума:

1. Расширение взаимосвязей входных и выходных величин до максимально возможного;
2. Нахождение оптимальных настроечных параметров ПИД-регуляторов для минимизации ошибки регулирования;
3. Установление связи регулируемых параметров и показателей качества продукта;
4. Прогнозирование изменений регулируемых параметров;
5. Организация многосвязного регулирования на основе оптимального управления с прогнозирующей моделью;
6. Создание цифрового двойника.

Литература

1. Гуреев А.А., Чернышева Е.А., Коновалов А.А., Кожевникова Ю.В. Производство нефтяных битумов. М.:Нефть и газ, 2007.
2. Идентификация передаточных функций [Электронный ресурс] URL: http://karanatsios.com/uploads/FH/A2-TANK_Kara_Zaeff.pdf (Дата обращения: 10.04.2018)
3. Гун Р.Б. Нефтяные битумы. М.:Химия 1973. - 432 с.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ И РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ВЕРОЯТНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ

*Лебедева А.Ю. * (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, stasya1997@gmail.com),*

Скоров Д.С. (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, danilskorov@gmail.com)

Аннотация

Построена модель искусственной нейронной сети для облегчения выбора метода увеличения нефтеотдачи на начальном этапе анализа месторождения. Разработана 3D модель месторождения для анализа вероятности применения методов воздействия на месторождении. Работа основана на знании основ по искусственному интеллекту и языков программирования. Данный проект может быть использован на любом месторождении, где существует проблема уменьшения КИН.

Ключевые слова нейронная сеть, МУН, Питон

Одной из самых важных задач в нефтяной промышленности является увеличение нефтеотдачи. В настоящее время, в связи с ухудшением структуры коллекторов углеводородов, особое внимание как в России, так и в мире, уделяется разработке месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. При использовании на таких месторождениях традиционных способов добычи, например заводнение, наблюдается низкий коэффициент извлечения нефти (КИН), быстрый рост обводненности продукции. В связи с этим, в процессе разработки месторождений с трудноизвлекаемыми запасами необходимо применять методы увеличения нефтеотдачи (МУН).

Однако проекты по реализации МУН на месторождениях требуют значительных капитальных вложений. Для того, чтобы применяемый МУН оказался эффективным, необходимо проводить качественный анализ месторождения, который включает в себя исследование его геологического строения, фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС), а также свойств насыщающих флюидов.

Выбор МУН осуществляется различными способами. Однако в современном мире наибольшее распространение получили «булева логика», теория нечетких множеств и искусственные нейронные сети. В работе для упрощения выбора МУН мы создали искусственную нейронную сеть.

Уникальность работы заключается в том, что так была построена карта распределения вероятности МУН для месторождения не по средним значениям параметров, а по значениям распределенным по всему месторождению.

Цель: построить модель искусственной нейронной сети для выбора оптимального МУН и разработать 3D модель для анализа вероятности применения методов воздействия на месторождении.

Задачи:

- **НАЙТИ И ПРОАНАЛИЗИРОВАТЬ** данные с различных месторождений;
- **ОПРЕДЕЛИТЬ** необходимые признаки для выбора МУН;
- **ПОСТРОИТЬ** искусственную нейронную сеть в среде программирования Python.

Полученные результаты:

В данной работе была построена искусственная нейронная сеть для выбора МУН (тепловые, физико-химические, газовые и водогазовые)(Рисунок 2), а также разработана 3D модель, иллюстрирующая вероятность применения методов воздействия на определенном, выбранном месторождении. (Рисунок 1)

В ходе работы были сделаны следующие выводы:

- возможно с точностью до 70 – 80 % предсказать применение МУН;
- данный способ выбора МУН может быть реализован для оперативной оценки применения МУН как для трехмерной геологической модели, так и для осредненных значений опытно-промышленного участка месторождения;
- ввиду малого количества данных о месторождениях точность прогноза зависит от этапа обучения модели, поэтому необходимо проводить эксперименты, позволяющие подобрать оптимальные характеристики искусственной нейронной сети;
- подобную оценку применения МУН целесообразно проводить на начальных этапах разработки месторождения и составления проектных документов, а впоследствии уточнять путем проведения лабораторных исследований коэффициента вытеснения и построения гидродинамической модели;
- дальнейшее исследование данной темы предполагает увеличение количества данных о месторождениях с целью повышения точности рассматриваемой модели искусственной нейронной сети, а также создание других моделей, позволяющих на основании исходных данных делать прогноз о реализации той или иной технологии, относящейся к категории МУН с наибольшей вероятностью применения.

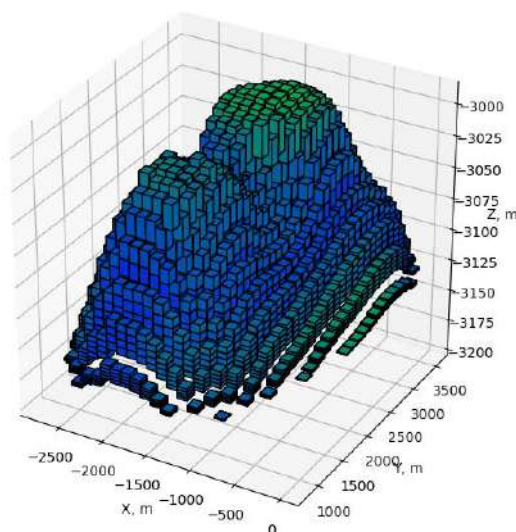


Рисунок 1 – Распределение вероятности применения категорий МУН

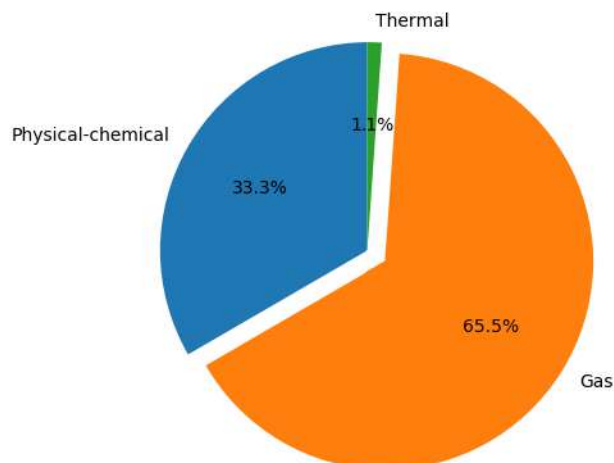


Рисунок 2 – Вероятностный прогноз категории МУН, рассчитанный на основании осредненных свойств месторождения X

Область применения:

Данная технология может применяться на любом месторождении, где необходимо выбрать МУН. Она позволяет быстрее и с большой точностью подобрать оптимальный, эффективный метод для месторождения с его индивидуальными параметрами.

Литература

1. Lake L. W. [и др.] Fundamentals of Enhanced Oil Recovery [Книга]. - Richardson, TX, USA : Society of Petroleum Engineers, 2015. - стр. 622.
2. Mohammadali T. и Surovets I. A Novel Automated and Probabilistic EOR Screening Method to Integrate Theoretical Screening Criteria and Real Field EOR Practices Using Machine Learning Algorithms [Статья] // SPE Russian Petroleum Technology Conference. - Moscow, Russia : Society of Petroleum Engineers, 2015 г.. - SPE-176725-RU.
3. Parada C. H. и Ertekin T. A New Screening Tool for Improved Oil Recovery Methods Using Artificial Neural Networks [Статья] // SPE Western Regional Meeting. - Bakersfield, California, USA : Society of Petroleum Engineers, 2012 г.. - SPE-153321-MS.

ПРИМЕНЕНИЕ АППРОКСИМАЦИОННОГО НЕЙРОСЕТЕВОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ГРАНИЦ ПЛОТНОСТНЫХ СЛОЕВ

Ляховец Д.А.* (МГРИ-РГГРУ, die.schnecke.am.hang@gmail.com),
Шимелевич М.И. (МГРИ-РГГРУ, shimelevich-m@yandex.ru), Оборнев Е.А. (МГРИ-
РГГРУ, oborneva@mail.ru), Оборнев И.Е. (МГРИ-РГГРУ, o_ivano@mail.ru)

Аннотация

В данной работе рассматривается применение аппроксимационного нейросетевого (АНС) метода для решения условно-корректной обратной нелинейной 3D задачи гравиразведки, которая заключается в определении геометрии нижней границы исследуемого геолого-геофизического объекта с известной эффективной плотностью и сводится к уравнению вида (1) [1]. Приводятся результаты обучения нейросетевого аппроксиматора при различных параметрах модели и объемах обучающей выборки.

Следующей задачей является уточнение положения границ плотностных слоев для двухслойной модели. Для ее решения проводилось моделирование плавно изменяющихся границ с использованием алгоритма gbf-интерполяции.

Ключевые слова: обратная задача, нейронные сети, гравиразведка, границы плотностных слоев

Обратная задача гравиразведки в классе заданных моделей сред относится к типу конечно-параметрических обратных задач, которые сводятся к операторному уравнению вида:

$$A_N s = e, \quad s \in S_N \subset R^N, \quad e \in F, \quad (1)$$

где $s = (s^1, \dots, s^N) \in S_N$ - вектор искомых параметров модели среды, изменяющихся в конечных пределах, N - число параметров; $S_N \subset R^N$ - ограниченное замкнутое подмножество допустимых значений параметров среды (множество априорных ограничений) в конечномерном пространстве R^N ; $e \in F$ - элемент пространства данных F , определяемый измеренными значениями характеристик гравитационного поля и его производных в области измерений на поверхности Земли; A_N - нелинейный, непрерывный оператор прямого отображения. Если выполняются условия единственности, обратная задача (1) на компактном множестве S_N является условно-корректной [2].

В работах [3-4] развивается аппроксимационный нейросетевой (АНС) метод поиска устойчивых приближенных решений условно-корректных нелинейных обратных задач геофизики большой размерности, сводящихся к операторному уравнению вида (1). АНС метод основан на построении приближенного обратного оператора (НС аппроксиматора) задачи в заданном классе моделей сред с помощью нейронных сетей. В указанных работах данный подход успешно применяется для решения обратных коэффициентных задач геоэлектрики.

В работах [5-6] приводятся примеры применения АНС метода к структурным задачам гравиразведки.

В настоящей работе рассматриваются результаты обучения и применения нейросетевого аппроксиматора при решении задачи определения геометрии нижней границы единственного плотностного слоя с известной эффективной плотностью. Обучение проводилось со сжатым вектором входных параметров [7-8]. Обучение нейросети типа персептрона выполняли на модельных данных.

При построении нейросетевого аппроксиматора со сжатым вектором входных данных был получен коэффициент детерминации модели более 90% на тестовых данных. Качество модели проверяли на тестовой выборке и оценивали в зависимости от конструкции сети и объема обучающей выборки. В качестве примера приведена зависимость коэффициента детерминации модели от функции активации (рис. 1).

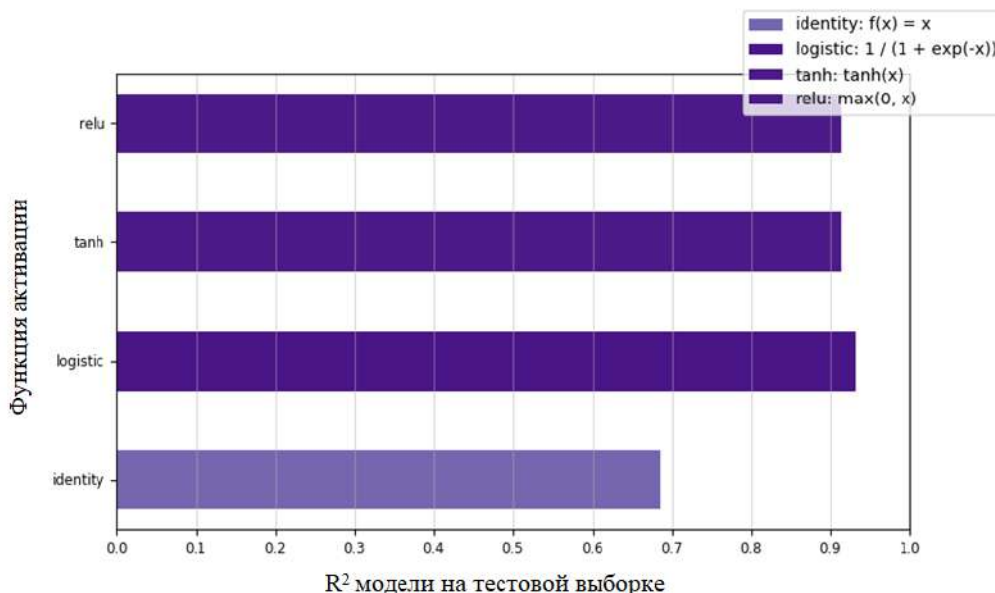


Рисунок 1. Зависимость коэффициента детерминации модели от функции активации

Следующим этапом решения задачи уточнения геометрии границ плотностных слоев является построение аппроксиматора для двухслойной модели. Моделирование многослойной среды с плавно изменяющимися границами (для приближения к натурным данным) проводили с использованием алгоритма *rbf*-интерполяции (рис. 2).

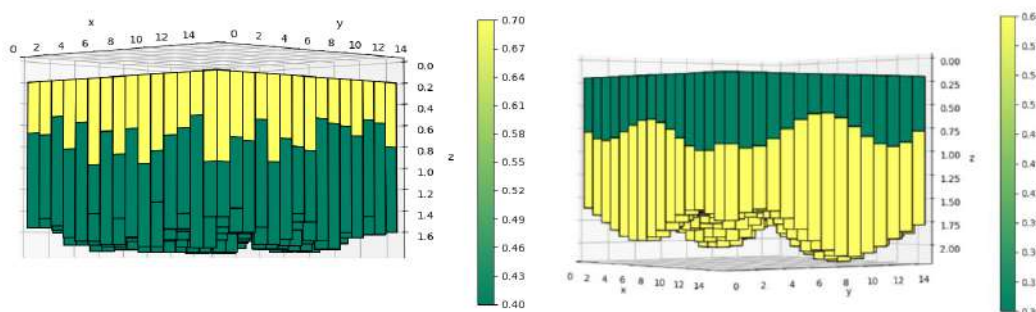


Рисунок 2. Примеры случайной двухслойной модели (слева) и сглаженной модели, полученной с применением *rbf*-интерполяции (справа)

Таким образом, в результате обучения нейросети (для однослойной модели) со сжатым вектором входных данных получен коэффициент детерминации модели более 90%. Данный метод может быть полезен для решения задачи уточнения геометрии плотностных границ.

На основе полученных моделей в дальнейшем планируется обучение нейросетевого аппроксиматора, который может применяться для уточнения положения сразу двух границ плотностных слоев.

Литература

1. Гравиразведка. Справочник геофизика. Недра, Москва, 1981. 397 с.
2. Ягола А.Г. Обратные задачи и методы их решения. Приложения к геофизике. - 2-е изд. (эл.): учебное электронное издание. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2014. 218 с.

3. Шимелевич М.И., Оборнев Е.А., Оборнев И.Е., Родионов Е.А. Алгоритм решения обратной задачи геоэлектрики на основе нейросетевой аппроксимации // Сибирский журнал вычислительной математики. 2018. № 4. С. 437–452.
4. Шимелевич М.И., Оборнев Е.А., Оборнев И.Е., Родионов Е.А. Аппроксимационный нейросетевой метод решения многомерных нелинейных обратных задач геофизики // Физика Земли. 2017. № 4. С. 100–109.
5. Chen, X., Du, Y., Liu, Z. et al. Inversion of Density Interfaces Using the Pseudo-Backpropagation Neural Network Method, Pure and Applied Geophysics, 2018, pp. 1–21. <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1889-7>
6. Шимелевич М.И., Оборнев Е.А., Оборнев И.Е. Применение аппроксимационного нейросетевого метода для решения обратной задачи гравиразведки // Тезисы 5-й Международной конференции «Функциональные пространства. Дифференциальные операторы. Проблемы математического образования», посвящённой 95-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН, академика Европейской академии наук Л.Д. Кудрявцева. Москва, РУДН, 2018.
7. Применение нейросетевого алгоритма для решения обратной задачи гравиразведки / М.И. Шимелевич, Е.А. Оборнев, И.Е. Оборнев, Е.А. Родионов, Д.А. Ляховец // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Сборник научных трудов. Вып. 1 (46). — Пермь: ГИ УрО РАН, ПГНИУ, 2019. — С. 377-379.
8. Методы сжатия входных данных при решении обратной задачи гравиразведки нейросетевым методом / Д.А. Ляховец, М.И. Шимелевич, Е.А. Оборнев, И.Е. Оборнев, В.В. Козин // Геофизика и МГРИ. 100 лет вместе: Материалы Всероссийской научно-практической конференции и выставки, МГРИ-РГГРУ, г. Москва. — Москва: Изд-во МГРИ-РГГРУ, 2018. — С. 83-86.

ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ С РАЗЛОЖЕНИЕМ ПО БАЗИСНЫМ ФУНКЦИЯМ

Дышин О.А. (Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, e-mail: engakadem@gmail.com)

Магеррамов Ф.Ф. (Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, e-mail: oilqazgeology@gmail.com)

Аннотация

Предлагается новый метод восстановления геолого-геофизических полей с разложением по базисным функциям радиального типа. Показано, что условие, налагаемое на $\tilde{f}(x) = \sum_{i=1}^n a_i \cdot B_i(x) + \lambda \cdot 1$ коэффициенты аппроксиматора в методе крайгинга, не всегда обоснованно и его следует заменить другим условием несмещенности, которое выполняется в предположении независимости от индекса i интегрального среднего от базисной функции. При замене матрицы базисных функций вариограммной матрицей решение задачи восстановления с разложением по базисным функциям совпадает с решением по методу крайгинга.

Ключевые слова: крайгинг, условия несмещенности, модели вариограмм, радиально-базисная аппроксимация, блочная матрица.

«Классическая задача восстановления» геологического поля формулируется следующим образом: пусть функция $f(x)$, $x \in \Omega$ задана дискретно в точках x_i :

$$(1) \quad y_i = f(x_i), \quad i=1, 2, \dots, n$$

где n – количество исходных данных, Ω – геологическое поле. Необходимо восстановить функцию $f(x)$ на некоторой сетке $\{x_k\}$, $k=1, 2, \dots, n$.

Будем искать решение задачи в следующем виде

$$(2) \quad \tilde{f}(x) = \sum_{i=1}^n a_i \cdot B_i(x) + \lambda \cdot 1$$

где $B_i(x)$ и 1 – базисные функции. Для нахождения коэффициентов a_i и λ потребуем, чтобы функция $\tilde{f}(x)$ была интерполирующей, т.е.

$$(3) \quad f(x_k) = y_k, \quad \tilde{f}(x_k) = \tilde{y}_k, \quad (k=1, \dots, n)$$

где y_k – неизвестные точные значения функции на сетке, \tilde{y}_k – искомые приближенные значения функции в узлах сетки (пробные точки).

Наложим на решение, как и в стандартном методе крайгинга [1,2], требование несмещенности искомой функции $f(x)$ относительно среднего значения по исходным данным. Это требование имеет вид [3]:

$$(4) \quad \lim_{\xi \rightarrow \infty} \frac{1}{2\xi} \int_{-\xi}^{\xi} \tilde{f}(x) dx = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i$$

Подставляя в (4) выражение (2) и вторые равенства из (3), после элементарных преобразований получим

$$\sum_{i=1}^n a_i \left[\lim_{\xi \rightarrow \infty} \frac{1}{2\xi} \int_{-\xi}^{\xi} B_i(x) dx - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n B_i(x_j) \right] = 0 \quad (5)$$

Полагая, что выражение в квадратных скобках не зависит от номера i , и вынося его за знак суммы, получим условие на коэффициенты

$$\sum_{i=1}^n a_i = 0 \quad (6)$$

Если величина в квадратных скобках не зависит от i и при $\xi \rightarrow \infty$ стремится к ∞ , то равенство нулю в формуле (5) также возможно при выполнении условия (6).

Решение (2), вторые равенства в (3) и дополнительное условие (6) в матричном виде запишутся как

$$\tilde{f}(x) = B_a^T + \lambda \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} B & e^T \\ e & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a^T \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \tilde{y}^T \\ 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

здесь $B=(B_{ij})$, $B_{ij}=B_i(x_j)$ ($i, j=1, \dots, n$), $a=(a_1, a_2, \dots, a_n)$, $e=(1, 1, \dots, 1)$, $\tilde{y}=(\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_n)$. Пользуясь блочной структурой матрицы в (8) задачу можно записать следующим образом

$$\begin{cases} B_a^T + e^T \lambda = \tilde{y}^T \\ e a^T = 0 \end{cases} \quad (9)$$

В методе крайгинга функция $\tilde{f}(x)$, восстанавливающая поле в узлах сетки, записывается в матричной форме как

$$\tilde{f}(x) = \tilde{y} a^T \quad (10)$$

и задача записывается в виде

$$\begin{cases} A a^T + e^T \lambda = \gamma^T \\ e a^T = 1 \end{cases} \quad (11)$$

где $\gamma=(\gamma(h_{1k}), \gamma(h_{2k}), \dots, \gamma(h_{nk}))$ – коэффициенты вариограммы, $A=(\gamma(h_{ij}))$; $\gamma(h)=K(0) - K(h)$, $K(h)$ – ковариационная функция; второе уравнение в (11) есть условие «несмещенности» оценки $\tilde{f}(x_k)$, т.е. что среднее значение $\tilde{f}(x)$ должно равняться среднему значению исходных данных, и в развернутом виде записывается как

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (12)$$

Отметим, что в крайгинге на $\tilde{f}(x)$ накладывается строгое ограничение, заключающееся в предположении стационарности ковариационной функции, т.е. предполагается, что $K(y_i, y_j) = K(h_{ij})$, где h_{ij} – расстояние между y_i и y_j .

Решение $\tilde{f}(x_k)$ задачи (11) имеет вид

$$\tilde{f}(x_k) = \gamma A^{-1} \tilde{y}^T - \frac{\gamma A^{-1} e^T - 1}{e A^{-1} e^T} e A^{-1} \tilde{y}^T \quad (13)$$

Если в (7) и (8) заменить матрицу B на матрицу A , то решение $\tilde{f}(x_k)$ задачи (8) запишется в виде:

$$\tilde{f}(x_k) = \gamma A^{-1} \tilde{y}^T + \frac{e A^{-1} \tilde{y}^T}{e A^{-1} e^T} (1 - \gamma A^{-1} e^T) \quad (14)$$

Нетрудно видеть, что решение (14) совпадает с решением (13).

Таким образом, если в качестве базиса в постановке (7) взять базис, получаемый из вариограммы путем ее последовательного смещения из одной экспериментальной точки в другую, то оба метода дадут одинаковые результаты.

В качестве базисных функций $B_i(x)$ нами используются радиальные базисные функции (radial basis functions – RBF):

$$B_i(x) = \Phi(\|x - x_i\|), \quad x \in R^d \quad (15)$$

где $\Phi(t)$, $t \geq 0$ – фиксированная вещественно-значная функция и $\|\cdot\|$ означает евклидову норму (т.е. расстояние между точками в евклидовом d -мерном пространстве; для геолого-геофизических полей $d=3$). Точки x_i , $i=1, \dots, n$ называются центрами RBF – аппроксимации [4,5]. Обзор теории RBF – аппроксимации дан в работе [6].

Основными Φ – функциями, используемыми в RBF – аппроксимации, являются:

- а) мультиквадратическая $(t^2 + c^2)^{1/2}$, $c \geq 0$;
- б) обратная мультиквадратическая $(t^2 + c^2)^{-1/2}$, $c > 0$;
- в) гауссова e^{-t^2/c^2} , $c > 0$.

В работе [5] приводится алгоритм оптимального выбора параметра c , минимизирующего ошибку интерполяции. В двумерном пространстве интерполяция функциями вида а) с параметрами $c=1$ исследованы в работе [7], а в трехмерном случае с $c=1$ – в работе [8].

Нетрудно показать, что в случае, когда $B_i(x)$ представляется мультиквадратической RBF-функцией $(t^2 + c^2)^{1/2}$, $c \geq 0$, интеграл в выражении (5) при $\xi \rightarrow \infty$ стремится к ∞ , а в случае инверсной мультиквадратической RBF – функции $(t^2 + c^2)^{-1/2}$, $c > 0$ – интеграл в (5) стремится к нулю. Следовательно, условие (6) на коэффициенты a_i можно использовать для RBF-функции вида а).

Как отмечается в [3], почти для всех приведенных в [9] моделей вариограмм (за исключением экспоненциальной и сферической) в выражении (5) интеграл не будет зависеть от индекса i и, кроме того, он стремится к ∞ , отсюда необходимо следует условие (6).

Литература

1. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М.:Мир. 1968, 408 с.
2. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика. Теория и практика. М., Наука, 2010, 327 с.
3. Кутрунов В.Н., Дмитриевский М.В. Аналог интерполяционного метода крайгинга без геостатистического обоснования // Вестник Тюм.ГУ, №3, 2001, с.208-216.
4. Micchelli Ch. Interpolation of Scattered Data: Distance Matrices and Conditionally Positive Definiteness // Constructive Approximation (1986) 2: 11-22.
5. Rippa Sh. An algorithm for selecting a good value for the parameter c in radial basis function interpolation // Advances in Computational Mathematics, 11 (1999), 193-210.

6. Powell M.J.D. The theory of radial basis function approximation in 1990, in “Advances in Numerical Analysis, vol.II:Wavelets, Subdivision Algorithms and Radial Functions,ed.W.Light (Oxford University Press, Oxford, UK, 1991), pp.105-210.
7. Hardy R.L.(1982). Surface fitting with biharmonic and harmonic models. In: Proceedings of the NASA Workshop on Surface Fitting. College Station, Texas:Center for Approximation on Theory, Texas A and M Univ.; p. p 135-146.
8. Franke R.(1983).Lecture on global basis function methods for scattered data. International symposium on Surface Approximation. University of Milano, Italy.
9. Дэвид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд. Л:Недра.1980.360 с.

ОБ ОЦЕНКЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ КОЛЛЕКТОРА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА

Никитин А.А. (Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, nikitin@geol.msu.ru), соавтор Плющенко Б.Д. (Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша, РАН, plyushchenkov48@mail.ru), соавтор Никулин Б.А. (Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, b.nikulin2015@yandex.ru)*

Аннотация

При электроакустическом каротаже электромагнитное поле в насыщенной электролитом пористой среде порождает акустическое поле в силу электрокинетического эффекта. Решение разработанной нами конечно-разностной схемы, построенной на основе уравнений Био-Прайда и описывающей этот процесс, показало, что акустическое поле состоит из тех же волн, которые образуются в акустическом каротаже, плюс быстрой волны, распространяющейся почти мгновенно. Эта волна чувствительна к проницаемости формации, как и волна Стоунли. Решение уравнений Био-Прайда, модифицированных с учетом эффекта Джоулева нагрева, показало, что термоупругая волна может вносить весомый вклад в акустическое поле.

Ключевые слова

Электроакустический каротаж, электрокинетический эффект, быстрая акустическая волна, волна Стоунли, термоупругая волна, проницаемость, математическое моделирование.

Введение

Из эксперимента известно, что акустическое поле в пористой среде, насыщенной электролитом, в силу электрокинетического эффекта порождает электромагнитное поле, равно как и наоборот. В своей работе Прайд [1] объединил уравнения Био [2] и Максвелла в единую модель в рамках изотермического приближения.

Результаты математического моделирования акустико-электрического каротажа, полученные с помощью нашего кода, показали, что возникающий электромагнитный сигнал имеет слабую амплитуду. С другой стороны, волновая картинка состоит из тех же типов волн, которые имеют место в акустическом каротаже, плюс быстрая волна, распространяющаяся со скоростью света в среде. В работе [3] было показано, что совместный анализ акустической и электромагнитной волн Стоунли позволяет оценить проницаемость формации.

В случае электроакустического каротажа результаты математического моделирования, полученные с помощью нашего кода [4], показали, что порождаемое теперь акустическое поле состоит также из тех же волн, наблюдаемых при акустическом каротаже, плюс быстрая волна. На низких частотах работы излучателя для оценки проницаемости формации может быть использована волна Стоунли, так как она лучше возбуждается на таких частотах. На высоких частотах в этих целях можно использовать быструю акустическую волну, причем излучатель можно выбрать таким образом, чтобы амплитуда волны была бы большой. С другой стороны, высокая частота позволяет исключить интерференцию волны с собой из-за переотражений в скважине, а также исключить вклад электрического импульса от ее первого вступления. Однако, если проводимость порового или особенно скважинного флюида будет достаточно высокой, то было установлено, что образуется термоупругая волна большой амплитуды из-за Джоулева нагрева [5], влияние которого было введено в уравнения Био-Прайда в [4]. В этом случае обработка данных может оказаться крайне непростой задачей.

Модифицированные уравнения Био-Прайда

Уравнения Био-Прайда с учетом Джоулева нагрева в декартовых координатах ($i=1, 2, 3$) имеют вид:

$$\rho \partial_t u^i + \rho_f \partial_t v^i = \partial_j \sigma^{ij},$$

$$\rho_f \partial_t u^i + (\alpha_\infty / \phi) \rho_f \partial_t v^i + F_{fr}^i = -\partial_i P + q * E^i,$$

$$\partial_i P = (-1/\beta) \partial_j v^j - (a/\beta) \partial_j u^j + (\delta/\beta) \partial_i T,$$

$$\partial_i \sigma^{ij} = ((a/\beta) \partial_j v^j + (\lambda + a^2/\beta) \partial_j u^j + (\delta/\beta) \partial_i T) \delta^{ij} + G(\partial_j u^i + \partial_i u^j),$$

$$C_p \partial_t T - \nabla \cdot (\sigma_T \nabla T) = \sigma E^2, \nabla \times \mathbf{H} = (\varepsilon \varepsilon_0 \partial_t + \sigma) \mathbf{E}, \nabla \times \mathbf{E} = -\mu_0 \partial_t \mathbf{H}.$$

Здесь t – время; u^i – i -компонента скорости колебаний точек упругой матрицы; v^i – i -компонента фильтрационной скорости $\mathbf{v} = \phi(\mathbf{w} - \mathbf{u})$, где \mathbf{w} – скорость колебаний точек порового флюида, ϕ – пористость формации; P – давление в поровой жидкости, σ^{ij} – ij -компонента полного тензора напряжений; $\rho = (1-\phi)\rho_s + \phi\rho_f$, ρ_f и ρ_s – плотности формации, материала твердой фазы и порового флюида, соответственно; α_∞ – акустическая извилистость порового пространства на бесконечной частоте; сжимаемость $\beta = \phi/k_f + (a-\phi)/k_s$, где $a = 1-\chi$, $a-\phi \geq 0$, k_f и k_s – объемные модули упругости порового флюида и материала твердой фазы; $K = \chi k_s$ – объемный модуль упругости сухой матрицы, где χ – объемный коэффициент сцементированности; G – сдвиговой модуль формации; $\lambda = K - (2/3)G$.

T – температура; $\delta = (a-\phi)\delta_s + \phi\delta_f$, δ_f и δ_s коэффициенты теплового расширения формации, порового флюида и материала твердой фазы, соответственно; $C_p = (1-\phi)\rho_s c_{ps} + \phi\rho_f c_{pf}$, c_{pf} и c_{ps} – коэффициенты удельной теплоемкости при постоянном давлении формации, порового флюида и материала твердой фазы, соответственно; $\sigma_T = ((1-\phi)/\sigma_{Ts} + \phi/\sigma_{Tf})^{-1}$, σ_{Tf} и σ_{Ts} – коэффициент теплопроводности формации, порового флюида и материала твердой фазы, соответственно.

\mathbf{E} и \mathbf{H} – напряженности электрического и магнитного полей; $\varepsilon = \phi(\varepsilon_f - \varepsilon_s)/\alpha_\infty + \varepsilon_s$, ε_f и ε_s – относительные диэлектрические проницаемости формации, порового флюида и материала твердой фазы, соответственно; μ_0 – магнитная постоянная. Для типичных формаций ее удельная проводимость $\sigma = \phi\sigma_e/\alpha_\infty$, где σ_e – удельная проводимость порового флюида.

F_{fr}^i – i -компонента плотности силы трения между жидкой и твердой фазами. Когда частоты колебаний f не сильно превосходят частоту Био $f_b = \omega_b/2\pi$ ($\omega_b = \eta\phi/\kappa_0 \alpha_\infty \rho_f$), можно использовать следующие приближения:

$$F_{fr}^i = \frac{\eta}{\kappa_0} \left(v^i + \frac{1}{4\omega_b} \partial_t v^i \right), \quad q * E^i = q_0 \left(1 + \frac{1}{4\omega_b} \partial_t \right) E^i,$$

где $q_0 = -\varepsilon_0 \zeta \phi / \kappa_0 \alpha_\infty$ – плотность мобильного заряда диффузной части двойного электрического слоя на нулевой частоте, ζ – зета-потенциал. Полные выражения приведены в [3].

Результаты математического моделирования

Скважинный прибор моделировался как абсолютно жесткий и непроводящий стержень радиуса 5 см, центрировано расположенный в скважине радиуса 1 см. Два электрода опоясывали прибор и были расположены на расстоянии 20 см, их толщина составляла 0.5 мм, высота – 1 см. Датчики давления располагались на поверхности прибора вне электродов. На электроды подавался импульс напряжения в виде функции Берлаги с амплитудой в 10 кВ. Параметры скважинной жидкости и порового флюида полагались равными и были следующими: $\rho_b = 1000$ кг/м³, $K_b = 2.2 \cdot 10^9$ Н/м², $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м², $\varepsilon = 80$, $\delta_f = 3 \cdot 10^{-4}$ 1/К, $c_{pf} = 4.2 \cdot 10^3$ Дж/кг·К, $\sigma_{pf} = 0.65$ Вт/м·К, $\sigma_e = 0.1$ и 0.5 1/Ом·м. Параметры формации задавались, соответственно, такими: $\rho_s = 1000$ кг/м³, $k_s = 3.9 \cdot 10^{10}$ Н/м², $\chi = 0.27$, $G = 0.67 \cdot 10^{10}$ Н/м², $\phi = 0.28$, $\alpha_\infty = 2$, $\varepsilon_s = 4.5$, $\zeta = 9.65 \cdot 10^{-3}$ В, $\delta_s = 1.5 \cdot 10^{-6}$

$1/K, c_{Ps} = 0.75 \cdot 10^3$ Дж/кг·К, $\sigma_{Ps} = 0.7$ Вт/м·К. $\kappa_0 = 0.5$ и 1.0 Дарси ($1 \text{ Дарси} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$), $f_b = 47$ и 23 кГц.

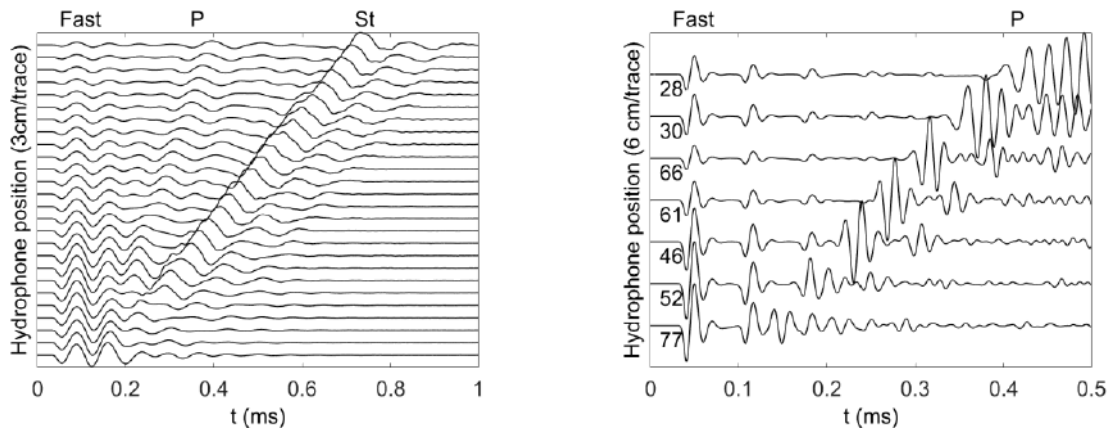


Рисунок 1. Волновые картинки поля давления без учета нагрева, $f_{peak} = 10$ кГц (левый) и $f_{peak} = 50$ кГц (правый). Первый приемник – на расстоянии 25 см от начала координат, $\kappa_0 = 0.5$ Д, $\sigma_e = 0.5$ 1/Ом·м. P – головная продольная волны, St – волна Стоунли, Fast – быстрая волна

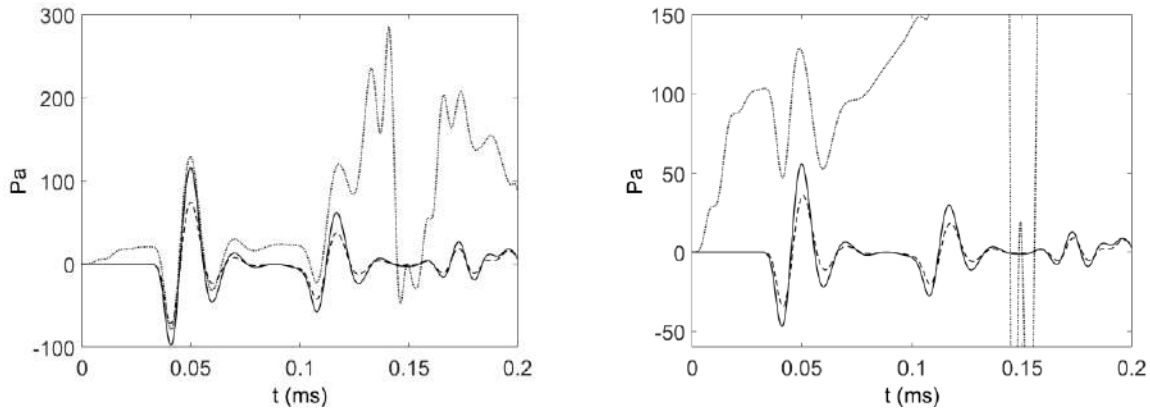


Рисунок 2. Быстрая волна, $f_{peak} = 50$ кГц, $\sigma_e = 0.1$ 1/Ом·м (левый) и 0.5 1/Ом·м (правый) Приемник – на расстоянии 30 см. Сплошная и пунктирная линии – без учета нагрева, $\kappa_0 = 0.5$ и 1 Д, соответственно. Точечная линия – с учетом нагрева, $\kappa_0 = 0.5$ Д

На рис. 1 представлены волновые картинки поля давления без учета Джоулева нагрева для $f_{peak} = 10$ и 50 кГц в случае $\kappa_0 = 0.5$ Д и $\sigma_e = 0.5$ 1/Ом·м. Рисунок показывает, что, в общем, волновое поле состоит из головной продольной волны, волны Стоунли и быстрой волны. Головная поперечная волна практически не видна, так как ее скорость ≈ 1800 м/с и, соответственно, близка к скорости звука в скважине. Быстрая волна образуется в силу того, что электромагнитная волна, распространяясь мгновенно от источника вдоль скважины, генерирует акустическую медленную волну (Био) волну в формации из-за наличия члена $q \square E^i$ в уравнениях Био-Прайда. Эта волна, в свою очередь, излучается в скважину и приходит практически одинаково на все приемники в виде быстрой волны.

Сравнение результатов на рис. 1 явно демонстрирует известных факт, что волна Стоунли лучше возбуждается на низких частотах ($f_{peak} = 10$ кГц). Соответственно, имеется возможность оценки проницаемости формации на основе интерпретации ее фазовой скорости и затухания, т.е. метода, предложенного в [6] для акустического каротажа. Такой подход был также ранее предложен в [7], где также рассматривался электрический диполь в виде излучателя.

С другой стороны, рис. 1 показывает, что, выбирая достаточно высокую частоту, в нашем случае $f_{peak} = 50$ кГц, можно свести к минимуму вклад от источника в быструю акустическую волну, и отделить явно ее первый отклик от собственных переотражений в скважине. Так как электромагнитная волна распространяется практически мгновенно вдоль скважины, то первый и последующие отклик быстрой волны будут иметь по форме такой же вид, как и импульс напряжения, подаваемый на источник.

На рис. 2 приведены волновые картинки быстрой волны без учета Джоулева нагрева для $f_{peak} = 50$ кГц и двух проводимостей $\sigma_e = 0.1$ и 0.5 1/Ом·м, соответственно, для каждой проводимости $\kappa_0 = 0.5$ и 1 Д. Рисунок показывает, что на высоких частотах быстрая волна имеет достаточную амплитуду для ее регистрации, отметим также, что на высоких частотах проще реализовать высокие напряжения на источнике. Когда проницаемость растет, амплитуда быстрой волны падает, т.е. она демонстрирует поведение, аналогичное волне Стоунли. Таким образом, быстрая волна может быть использована для оценки проницаемости формации. На рис.2 изображены также аналогичные результаты для $\kappa_0 = 0.5$ Д, но с учетом Джоулева нагрева. Они показывают, что в скважине образуется термоакустическая волна [4], [5], следовательно, нагрев может существенно влиять на поле давления в скважине. Дополнительные исследования показали, что основной вклад в этот эффект вносит скважинная жидкость, и он тем больше, чем больше ее проводимость.

Заключение

Электроакустический каротаж может быть использован для оценки проницаемости формации с помощью акустической волны Стоунли на низких частотах или акустической быстрой волны на высоких частотах, когда проводимость порового и особенно скважинного флюида имеют достаточно малые значения. Иначе, как показали исследования, проведенные в рамках модели Био-Прайда с учетом Джоулева нагрева, исключение вклада возникающей термоупругой волны большой амплитуды не является простой задачей из-за нелинейного вклада Джоулева нагрева в волновое поле.

Литература

1. Pride, S.R. Governing equations for the coupled electromagnetic and acoustic of porous media // *Physics Review B*, 1994, 50, p.15678-15696.
2. Biot, M.A. (1962). Mechanics of deformation and acoustic propagation in porous media // *Journal of Applied Physics*, 1962, v. 33, 4, p.1482-1498.
3. Plyushchenkov, B.D., and Nikitin, A.A. (2010) Borehole acoustic and electric Stoneley waves and permeability // *Journal of Computational Acoustics*, 2010, v. 18, 2, p.87-115.
4. Plyushchenkov, B.D., Nikitin, A.A., and Turchaninov, V.I. Numerical modeling of electroacoustic logging including Joule heating // *International Journal of Modern Physics C*, 2011, v. 22, 8, p.805-823.
5. Zhu, Z., Toksöz, M.N., and Burns, D.R. (2008). Electro seismic and seismoelectric measurements of rock samples in a water tank // *Geophysics*, 2008, v. 73, 5, E153-E164.
6. Brie, D., Endo, T., Johnson, D.L., and Pampuri, F. Quantitative formation permeability evaluation from Stoneley waves // *SPE 49131*, 1998, p.1-12.
7. Hu, H., Guan, W., and Harris, J.M. (2007). Theoretical simulation of electroacoustic borehole logging in a fluid-saturated porous formation // *Journal of Acoustical Society of America*, 2007, v. 122, 1, p.135-145.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ РАДИОМЕТРИИ С ЦЕЛЬЮ РАСЧЛЕНЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА

Переплеткин И.А. (ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,
ivan_perepletkin@mail.ru)*

Аннотация

Одной из главных причин неподтверждения сейсмического прогноза являются ошибки структурных построений, обусловленные искажающим влиянием ВЧР, включающей в себя зону малых скоростей и многолетнемерзлые породы. В настоящее время не существует общепризнанной технологии кинематической инверсии, гарантирующей корректный учет всех поверхностных факторов и получение однозначной глубинно-скоростной модели. Кроме того, традиционные технологии МОВ-ОГТ ориентированы на изучение глубинных резервуаров, а не на объекты ВЧР. Необходимо применять альтернативные методы изучения ВЧР, чтобы преодолеть проблему дефицита информации. Среди них можно выделить находящуюся в стадии производственной апробации сверхширокополосную георадарную съемку методом отраженных электромагнитных волн (МОЭМВ). Предпосылкой для рассмотрения стали исследования, проведенные на гигантских воронках на полуострове Ямал, после которых была значительно уточнена глубинно-скоростная модель верхней части разреза, что крайне актуально для перспектив использования методики на нефтяных и газовых месторождениях.

Ключевые слова: радиометрия, георадарная съемка, верхняя часть разреза, кинематическая инверсия, гигантские воронки, отраженные электромагнитные волны, малоглубинная электроразведка.

Известно, что Западная Сибирь находится в стадии глубокого освоения, в настоящее время прирост запасов углеводородов происходит главным образом за счет локальных малоразмерных и малоамплитудных объектов. На севере региона одной из главных причин расхождения сейсмических данных с реальными являются ошибки структурных построений, связанных с влиянием ВЧР, в которую традиционно включается два основных типа неоднородностей. Это низкоскоростные (ЗМС) неоднородности разреза, находящиеся в непосредственной близости от дневной поверхности и высокоскоростные – многолетнемерзлые породы (ММП), залегающие глубже.

От адекватности построенной по результатам кинематической инверсии глубинно-скоростной модели (ГСМ) принципиальным образом зависит точность и достоверность результатов геолого-геофизической интерпретации сейсмических данных, особенно в отношении структурных объектов на поисково-оценочной стадии геологоразведочных работ. Есть много методически и технологически различающихся подходов к построению ГСМ, универсальной и общепризнанной схемы пока что не существует. Одним из наиболее существенных факторов, определяющих снижение коэффициента успешности поисковых сейсморазведочных работ, является неподтверждаемость объектов по бурению [4]. Целостный подход к повышению точности сейсморазведочных работ (3D МОВ-ОГТ) должен включать комплекс мер и быть интегрированным во все основные стадии процесса сейсморазведочных работ – от проектирования работ до построения ГСМ.

В последние десятилетия быстро развивается наиболее информативный среди всех методов электромагнитного зондирования, обеспечивающий получение наиболее полной и качественной информации о среде - метод георадиолокационного

подповерхностного зондирования на отраженных электромагнитных волнах (МОЭМВ). Идея метода в излучении импульсов электромагнитных волн и регистрации сигналов, отраженных от границ раздела слоев зондируемой среды, имеющих различие по диэлектрической проницаемости. Такими границами раздела в исследуемых средах являются, например, контакт между сухими и водонасыщенными грунтами, контакты между породами различного литологического состава, между мерзлыми и тальми грунтами и т.д. Распространяющаяся в толще горных пород волна испытывает следующие явления: отражение и преломление на границе раздела сред с разной относительной диэлектрической проницаемостью, дифракция, затухание (уменьшение амплитуды сигнала при прохождении его в геологической среде). Повышение частоты зондирования приводит к улучшению разрешающей способности, но при этом увеличивается затухание электромагнитной волны в среде, что приводит к уменьшению глубины зондирования; и наоборот, снижением частоты можно добиться увеличения глубины зондирования, но за это придется заплатить ухудшением разрешающей способности [2-4]. На сегодняшний день технические характеристики новейшего георадарного оборудования позволяют работать в диапазоне рабочих частот от 1 МГц до 3 ГГц при вертикальном разрешении 1 нс на канал. Говоря о глубинности метода, максимальные глубины апробации метода – в пределах 1200-1300 м, для пород со скоростями распространения импульсов 0,15 м/нс доступные глубины могут в теории превысить 3 км [2].

Волновая природа метода георадиолокации расширяет потенциал метода – помимо скорости распространения сигнала в среде, ведется измерение проводимости. Высокая глубинность метода МОЭМВ, основанного на электромагнитном зондировании среды сверхширокополосными импульсами длительностью от одной до нескольких наносекунд, выгодно отличает метод от традиционной георадиолокации. Вообще глубина георадарного зондирования, кроме свойств исследуемой среды, определяется мощностью передатчика, динамическим диапазоном приемника и параметрами антенных систем, определяющих совместно с передатчиком и подстилающей поверхностью длину и форму импульса. Технология, не имеющая аналогов за рубежом, имеет следующие уникальные особенности:

- 1) Возможность регулировать мощность передатчика, отсюда – создание импульса с максимально крутым фронтом;
- 2) Запись отраженного сигнала за один импульс по всей шкале временных задержек благодаря линейной оцифровке;
- 3) Преобразование импульса сигнала в короткий апериодический с узкой диаграммой направленности с целью предотвращения влияния воздушных помех [2].

В ноябре 2014 года специалистами ЗАО «ТАЙМЕР» были проведены исследования метода и на уникальных с точки зрения геокриологии объектах на полуострове Ямал – гигантских воронках. На рис. 1 представлены исходные волновая форма сигнала и радарограмма профиля, полученного при обследовании территории, прилегающей к кратеру при помощи георадара ГРОТ 12 с антеннами 10 метров, передатчиком напряжением 15кВ и длиной импульса 20 нс без ослабления. Движение по профилю от точки 0 м к точке 240 м соответствует движению в радиальном направлении от края бруствера кратера с запада на восток. Видно, что ближняя к кратеру зона до отметок 112-115 метров характеризуется меньшей контрастностью диэлектрической проницаемости до границ мерзлоты, чем зона от 120 до 240 метров по профилю, что может быть косвенным признаком произошедших при формировании кратера различных флювиогляциальных процессов, вероятно изменивших электрофизические характеристики среды в прилегающих слоях. Аналогичная картина наблюдается на других профилях, пройденных по поверхности вблизи кратера.

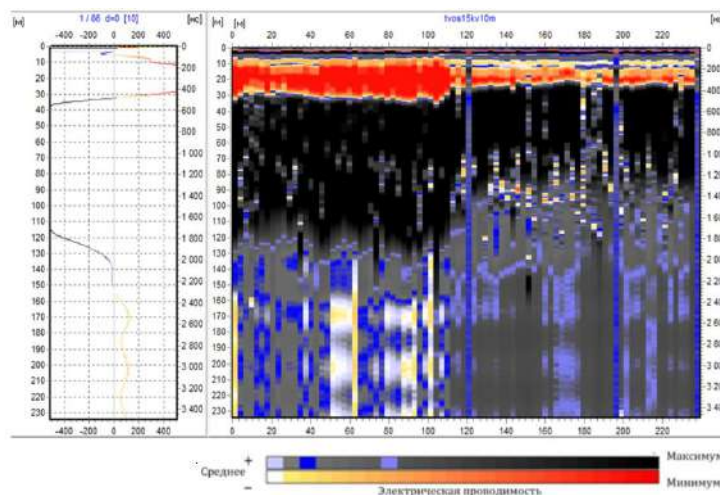


Рисунок 1. Волновая форма сигнала и радарограмма профиля, пройденного георадаром

Метод георадиолокации (ГРЛ) позволил провести разделение слоёв разреза с различными электрофизическими параметрами до глубин 140-150 м и выделить предполагаемые зоны тектонических нарушений. Вертикальная разрешающая способность метода ГРЛ оказалась на порядок выше традиционных методов электроразведки (в частности, метода мЗСБ), поскольку мы имеем дело с более широким диапазоном частот и сравнительно малыми пространственно-временными усреднениями экспериментальных данных непосредственно в процессе проведения полевых работ [1].

Изменение проводимости горных пород по латерали также были установлены и по данным других электромагнитных методов (зондирования становлением поля в ближней зоне (мЗСБ) и электротомографии (ЭТ)), испытания которых также были проведены на этом же участке, но с меньшей точностью. На рисунке 2 представлены геоэлектрические модели по данным методов ЗСБ (а) и (в), а также волновая форма сигнала ГРЛ (б), полученная после обработки, проявляющей границы неоднородностей ДП, с помощью метода вычитания огибающей. По данным ГРЛ МОЭМВ был выделен мало контрастный слой с отметок 600 нс (отмеченный штрихпунктирными линиями на рис. 2), который содержит неоднородные включения, создающие переотражения сигнала при достаточно слабом затухании. Данный конкретный горизонт характеризуется аномально высоким УЭС по данным мЗСБ, что может быть связано с повышенной льдистостью грунтов. Анализируя малое ослабление сигнала внутри слоя, можно предположить существование в нем прослоев песка с газогидратными включениями, наличие которых в этом регионе и на этой глубине зафиксировано ранее другими исследователями. По изменению затухания отраженного сигнала по профилю съемки, прослеживается линзовый характер слоев по данному разрезу [1,3].

В результате сопоставления методов было установлено, что внедрение георадарной радиометрии совместно с другими электроразведочными методами существенно повышает общую информативность исследований за счёт высокой разрешающей способности сверхширокополосной георадиолокации [3].

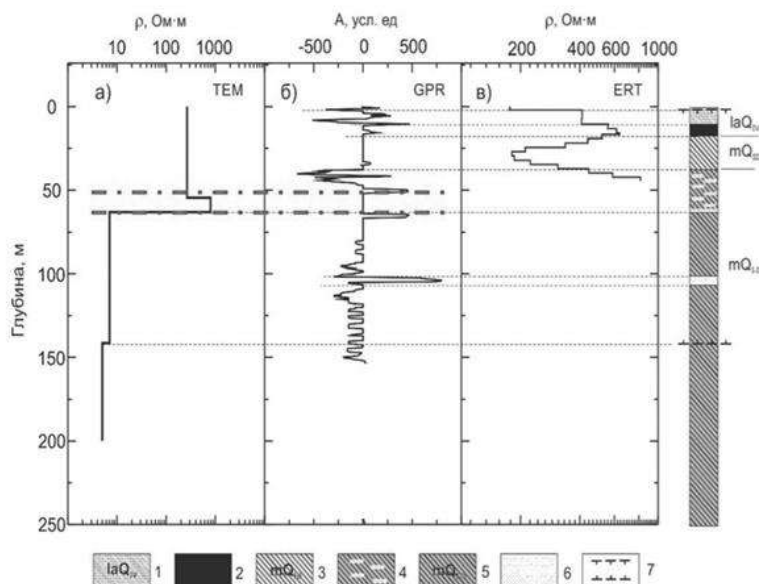


Рисунок 2. Геоэлектрические модели по данным ЗСБ (а) и электротомографии (в), волновая форма сигнала ГРЛ МОЭМВ (б) в одной и той же точке профиля съемки: 1- озерно-аллювиальные супеси; 2- лёд; 3- суглинки; 4- горизонт с прослоями газогидратов; 5- морские засоленные суглинки; 6- песок; 7- границы ММП

На текущий момент технология имеет большой потенциал для изучения ВЧР в контексте коррекции кинематических поправок и обеспечения более эффективного решения обратной задачи сейсморазведки, а также для обустройства наземных технологических работ на месторождении и решения других инженерно-геологических задач. При модернизации георадарного оборудования (антенн, излучателей), а также повышения разрядности преобразователей до 20-кратного увеличится глубинность работ и значительно повысится успешность геологоразведки за счет снижения объема неэффективного бурения. Помимо оптимизации затрат на этап ГРП также могут быть минимизированы негативные экологические последствия [2,3].

Литература

1. Волкомирская Л.Б., Сахтеров В.И., Шерстнев А.В. Исследование воронки на полуострове Ямал 10 ноября 2014 г. георадарами Грот-12 и Грот-12Н // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2015. №2. С. 81-89.
2. Волкомирская, Л.Б., Гулевич, О.А., Долгих, Ю.Н. Заглядывая вглубь Земли. Высокорастворимая электроразведка методом отраженных электромагнитных волн – перспективное направление геологоразведки // Радиоэлектронные технологии. 2018. №2. С. 76-79.
3. Гулевич О.А. Импульсное сверхширокополосное электромагнитное зондирование природных и техногенных сред с дисперсией: дис. на соиск. ученой степ. канд. физ.-мат. наук: 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых. Москва, 2015.126 с.
4. Долгих Ю.Н. Комплексная адаптивная технология кинематической инверсии данных сейсморазведки в условиях неоднородной верхней части разреза: дис. на соиск. ученой степ. док. геол.-мин. наук: 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых. Тюмень, 2017.306 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КЛАСТЕР АНАЛИЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ.

Петров А. В. (РГГРУ-МГРИ, petrovstud@mail.ru)

Аннотация

В работе рассматриваются возможности использования оригинальных алгоритмов кластер анализа, реализованных в компьютерной технологии статистического и спектрально-корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D», при решении задач геолого-геофизического районирования.

Описаны особенности программной реализации, рассматриваемых алгоритмов и рассмотрены вопросы выбора оптимального набора геолого-геофизических признаков для классификации. Приведены примеры использования классификационных алгоритмов при интерпретационной обработке данных гравиразведки и магниторазведки.

Ключевые слова: геофизические методы, классификация многомерных наблюдений, гравиразведка, магниторазведка, комплексирование геофизических методов.

Современные классификационные алгоритмы, используемые при интерпретационной обработке геолого-геофизической информации можно разделить на три группы. В первую входят эвристические методы кластер анализа, во-вторую, методы базирующиеся на анализе корреляционных связей многомерного пространства признаков, и в третью группу объединены алгоритмы, построенные на основе достижений многомерной математической статистики и теории вероятностей.

В компьютерной технологии статистического и спектрально-корреляционного анализа геолого-геофизических данных «КОСКАД 3D» [1,4] реализованы четыре классификационных алгоритма.

Первый, получивший название знаковой классификации, относится к эвристическим и заключается в разбиении многопризнаковых наблюдений на однородные группы, по принципу включения в один класс данных с одинаковым знаком. Например, если имеются наблюдения по двум геолого-геофизическим признакам, то предварительно отцентрировав данные по каждому из признаков можно выделить области, где оба признака отрицательны, первый отрицателен, а второй положителен, первый положителен, а второй отрицателен и, наконец, оба отрицательны. Таким образом исследуемая площадь может быть разбита на 4 области, однородные по двум признакам. Легко показать, что в случае, если обрабатывается p – признаков, максимальное число однородных по такому принципу областей (классов) будет равно p^2 .

Второй алгоритм представляет оригинальную реализацию хорошо известного метода k -средних (или k ближайших соседей). Одним из недостатков этого метода является то, что прежде чем его использовать, необходимо приведение к одной шкале измерения всех анализируемых признаков. Это некорректная процедура и часто приводит к тому, что при обработке не потенциальных геополей, вес отдельных признаков в процедуре классификации не оправдано снижается, а других завышается. В компьютерной технологии «КОСКАД 3D» в качестве расстояния в многомерном пространстве признаков принимается расстояние Мохаланобиса, которое позволяет свести данный недостаток к нулю.

Третий алгоритм, построен на использовании методов многомерного дисперсионного анализа, где в качестве многомерного критерия сравнения двух

однородных областей (классов m и l) используется статистика следа ковариационной матрицы:

$$F = \frac{n - J - p + 1}{p(n - J)} \frac{n_m n_l}{n_m + n_l} \text{Sp}(S^{-1}) = \frac{n - J - p + 1}{p(n - J)} \frac{n_m n_l}{n_m + n_l} (\bar{m}_m - \bar{m}_l) S^{-1} (\bar{m}_m - \bar{m}_l)'$$

здесь n_m - количество точек в классе m ; n_l - количество точек в классе l ; \bar{m}_m - оценка вектора среднего для класса m ; \bar{m}_l - оценка вектора среднего для класса l ; p - число признаков; n - общее число точек во всех классах; J - общее число классов; S - ковариационная матрица пространства признаков. Использование статистики следа ковариационной матрицы позволяет избежать недостатка, который отмечен выше в методе k ближайших соседей. Кроме этого, при объединении в один класс отдельных точек наблюдения учитываются не только значения по каждому из признаков в этих точках, но и корреляционные связи между различными парами признаков.

На первом этапе проверяется гипотеза о принадлежности двух различных областей к одному классу. Первоначально считается, что число таких областей равно количеству точек наблюдений, то есть каждая точка - класс. При этом, если два проверяемых класса удовлетворяют этой гипотезе на определенном уровне значимости, то они объединяются в один класс, первоначальное число классов уменьшается на единицу и пересчитывается оценка ковариационной матрицы, которая играет важнейшее значение для расчета статистики критерия, соответствующего данной гипотезе. Этап завершается, когда гипотеза об объединении всевозможных пар классов не выполняется.

Второй этап заключается в реклассификации данных, разделенных на классы в результате первого этапа. Затем проводится повторение первого этапа, но при этом с самого начала в статистике критерия для проверки гипотезы объединения двух различных классов уже используется оценка ковариационной матрицы, полученная на первом этапе обработки.

Четвертый алгоритм классификации многопризнаковых геолого-геофизических наблюдений, получивший название метода общего расстояния, относится к числу эвристических и направлен на выделение в многомерном пространстве признаков компактных групп точек. Основная идея метода заключается в том, что совокупность объектов, находящихся на одинаковом расстоянии от каждого из k эталонов образует компактную группу.

В качестве примера интерпретационной обработки данных с использованием алгоритмов классификации рассмотрим данные приведенные на рисунке 1. Здесь слева изображено гравитационное поле в редукции Буге, а справа полный вектор магнитного поля dT в районе зеленокаменного пояса Австралии. Размеры исследуемой площади составляют приблизительно 100x 250 км.

Результаты районирования исследуемой территории с помощью классификационных алгоритмов приведены на рисунке 2. Слева изображены результаты классификации с использованием метода общего расстояния, справа результаты обработки с помощью метода k - средних.

В результате обработки методом общего расстояния выделяются семь однородных по гравитационному и магнитному полям областей, каждая из которых закрашена оригинальным цветом.

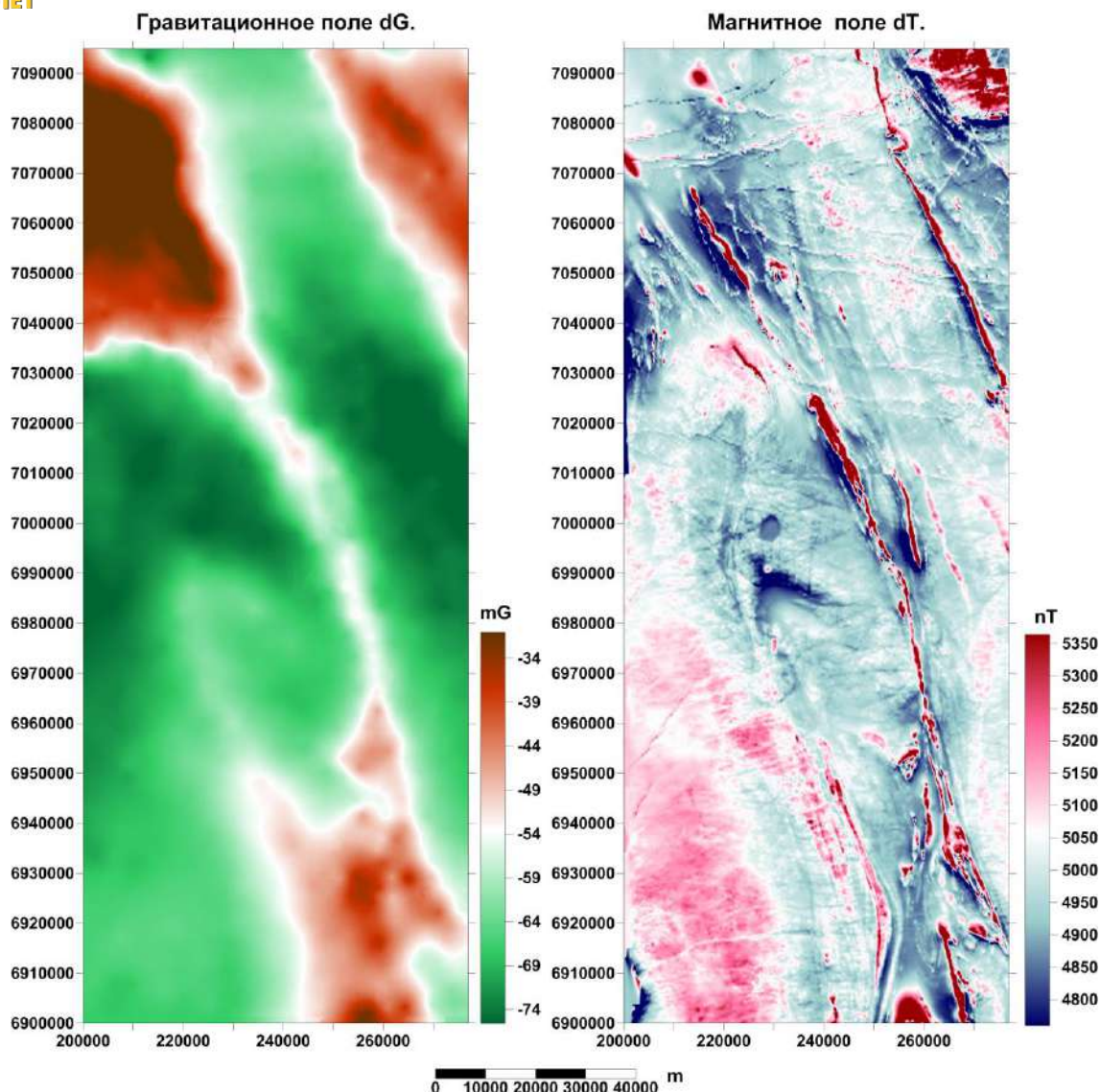


Рисунок 1. Гравитационное поле dG (слева), магнитное поле dT (справа)

Результаты обработки с использованием метода динамических сгущений (k - средних) приведены на рисунке 2 справа. Здесь выделяются 10 однородных по гравитационному и магнитному полям областей.

Необходимо отметить что полученные с помощью разных классификационных алгоритмов результаты не противоречивы и лишь дополняют друг друга. При этом, результаты классификации, очень удобны для их использования при построении карты геолого-геофизического районирования, что является одно из актуальных задач прикладной геологии.

Применение классификационных методов позволяет осуществлять разбиение исследуемых площадей на однородные по комплексу признаков области без знания конечного числа классов с учетом корреляционных связей всего пространства признаков.

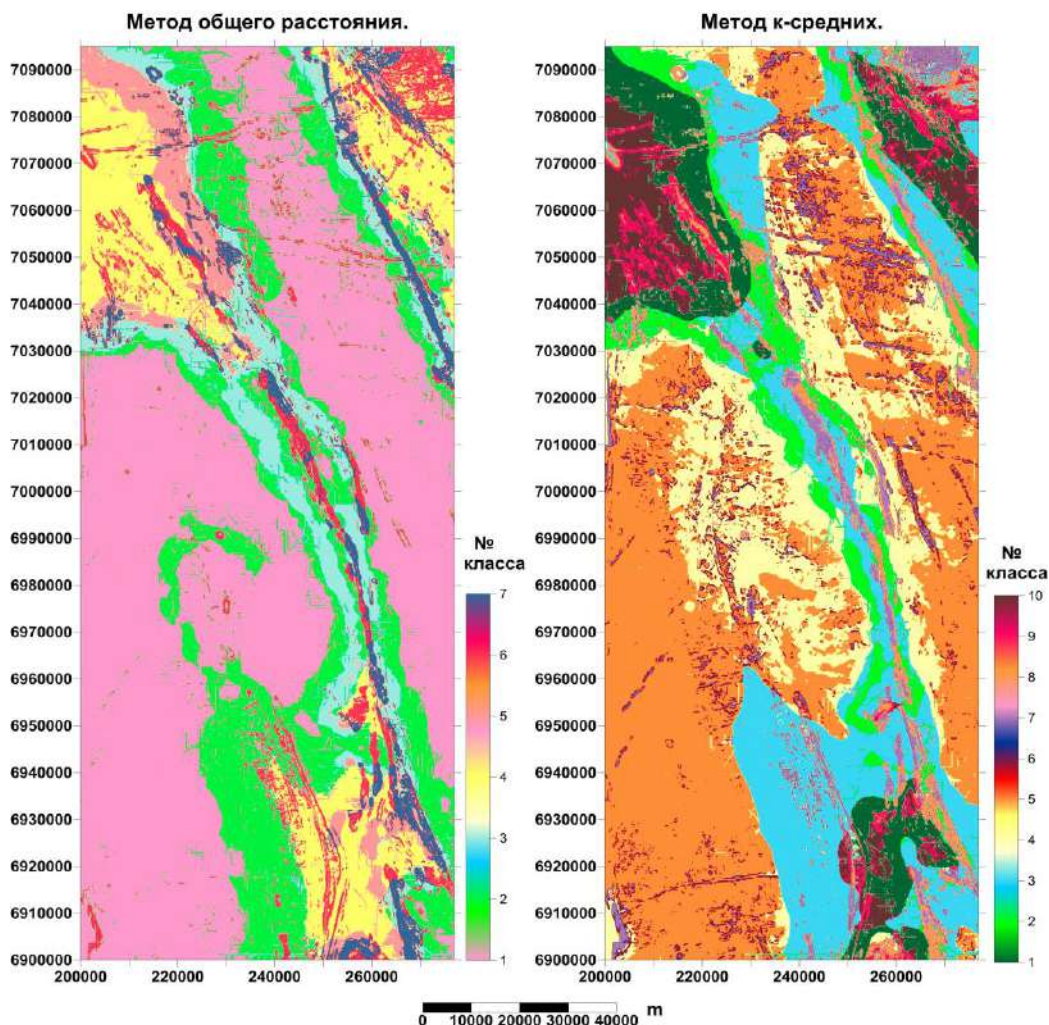


Рисунок 2. Результат классификации по магнитному и гравитационному полям методом общего расстояния слева, методом к-средних справа

Литература

1. КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО И СПЕКТРАЛЬНОКОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ КОСКАД 3D И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ. Петров А.В., Демура Г.В., Зиновкин С.В. Недропользование XXI век. 2017. № 1 (64). С. 44-59.
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ. Никитин А.А., Петров А.В. учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 130201 "Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых" / А. А. Никитин, А. В. Петров; Федеральное агентство по образованию РФ, Российский гос. геологоразведочный ун-т им. Серго Орджоникидзе. Москва, 2008.
3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО МЕТОДИКЕ СВЕРХГЛУБИННОГО ОГТ (СГ-ОГТ). Ермолаева Г.М., Петров А.В., Сулейманов А.К. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2004. № 12. С. 12-17.
4. КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО И СПЕКТРАЛЬНО-КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОИНФОРМАТИКИ. Петров А.В., Трусов А.А. Геофизика. 2003. № 4. С. 29. 5

АППРОКСИМАЦИОННО-НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГЕОЭЛЕКТРИКИ

Родионов Е.А. (МГРИ-РГГРУ, evgeny_980@list.ru),
Шимелевич М.И. (МГРИ-РГГРУ, shimelevich-m@yandex.ru), Оборнев Е.А. (МГРИ-
РГГРУ, obornevea@mail.ru), Оборнев И.Е. (МГРИ-РГГРУ, o_ivano@mail.ru)*

Аннотация

Представлен аппроксимационный метод получения результатов интерпретации данных геоэлектрики в виде геоэлектрического разреза (обратная задача геоэлектрики) с помощью нейросетевого (НС) аппроксиматора (НС-палетки) и показано, что данный подход может рассматриваться, как альтернативный по отношению к оптимизационным методам решения, при этом построение 2D/3D полностью формализованного НС-аппроксиматора, не зависит от уровня и опыта интерпретатора и может многократно применяться к различным измеренным данным. Результаты работы конкретных НС-палеток иллюстрируется на примерах 2D/3D решений обратной задачи модельных и полевых данных, получаемых методом магнитотеллурического зондирования.

Ключевые слова: Геоэлектрика, обратная задача, искусственный интеллект, нейронные сети, аппроксимация, НС-палетка.

Многие практические обратные задачи геофизики могут быть сведены к численному решению нелинейного операторного уравнения вида:

$$A_N s = e, \quad s \in S_N \subset R^N, \quad e \in R^M \quad (1)$$

$$S_N : [s_{\min} \leq s^n \leq s_{\max}], \quad n = 1, \dots, N$$

где $s = (s_1, \dots, s_N)$ - искомый вектор параметров среды, определяемый значениями искомой характеристики среды в ячейках *регуляризованной сетки* θ_N *обратной задачи* размерности N , S_N - множество априорных ограничений, $e = (e_1, \dots, e_M)$ - вектор измеренных данных, A_N - заданный оператор *прямой параметризованной* задачи. Регуляризованная сетка θ_N , на которой ищется решение обратной задачи (1), строится путем объединения ячеек исходной конечно-разностной сетки прямой задачи θ_{N_0} размерности $N_0 > N$ таким образом, чтобы ее размерность N была максимальной при условии, что степень неоднозначности $\beta_N(2\delta_0)$ решений уравнения (1) не превышала заданной желаемой величины ε_0 , при заданном уровне погрешности данных δ_0 [3, 5]:

$$\beta_N(2\delta_0) \leq \varepsilon_0, \quad (2)$$

где $\beta_N(x)$ - модуль непрерывности обратного оператора A_N для уравнения (1), определяемый выражением, не требующим знания обратного оператора A^{-1} , вида [1, 2]:

$$\beta_N(x) = \sup_{s, s' \in S_N} \|s' - s\|_{R^N} \quad \text{при} \quad \|A_N s' - A_N s\|_{R^M} \leq x. \quad (3)$$

При этом прямая задача решается на исходной конечно-разностной сетке θ_{N_0} , на которую предварительно проектируется параметризованная модель среды, заданная на *регуляризованной* сеткой θ_N .

В работе рассматривается аппроксимационный нейросетевой метод инверсии, при котором приближенное решение (1) ищется в виде заданной функции Ψ от входных данных e_1, \dots, e_N , называемой *нейросетью* или *нейросетевым (НС) аппроксиматором* [4, 6]:

$$s \approx \Psi(V, W, e), \quad (4)$$

или в развернутом виде:

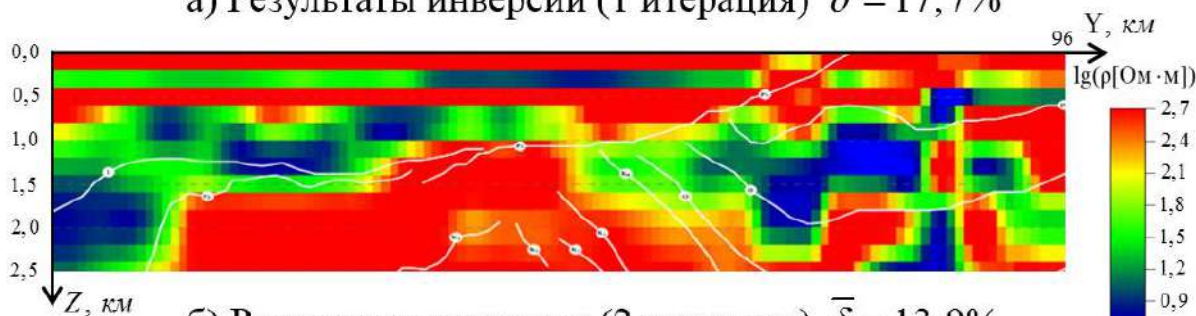
$$s_n = \sum_{l=1}^L v_{nl} g\left(\sum_{m=1}^M w_{lm} e_m\right), \quad n = 1, \dots, N, \quad (5)$$

где g - заданная монотонная функция, например, $g(x) = 1/(1 + e^{-x})$, $V = \{v_{nl}\}$, $W = \{w_{lm}\}$ - матрицы свободных коэффициентов НС аппроксиматора Ψ , определяемые в процессе обучения нейросети на множестве опорных решений прямых задач (банке решений), L - параметр, который характеризует сложность аппроксимационной конструкции (5). Если матрицы коэффициентов нейросети определены, то приближенное решение уравнения (1) может быть получено в аналитическом виде по формуле (5) для любых данных $e \in R^M$.

Для численного расчета матриц $V = \{v_{nl}\}$, $W = \{w_{lm}\}$ свободных коэффициентов НС-аппроксиматора (5) и модуля непрерывности обратного оператора (3) решаются соответствующие нелинейные оптимизационные задачи с использованием методов группы Монте-Карло.

Рассматриваются примеры решения 2D, 3D обратных задач геоэлектрики аппроксимационно нейросетевым методом, которые сводятся к уравнению вида (1) для синтезированных и полевых данных (см. рис.1) магнитотеллурических зондирований (МТЗ). Для иллюстрации работы метода были построены НС аппроксиматоры инверсии, позволяющие формализовано решать 2D, 3D задачи геоэлектрики на регуляризованной сетке параметризации, глубиной до 5 км при минимальной априорной информации (задается только диапазон изменения логарифма удельного сопротивления реальных сред); первое приближение для НС инверсии не требуется. Для получаемых приближенных решений обратной задачи вычисляются апостериорные оценки степени неоднозначности.

а) Результаты инверсии (1 итерация) $\bar{\delta} = 17,7\%$



б) Результаты инверсии (2 итерация) $\bar{\delta} = 13,9\%$

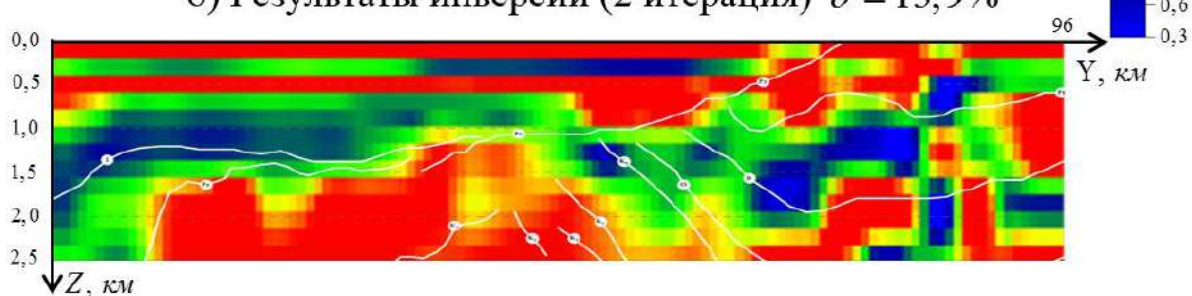


Рисунок 1. Геоэлектрический разрез по профилю 03 Енисей-Хатангского прогиба: а – НС-инверсия, определено 200 параметров разреза; б – результаты после второй итерации.

Работа выполнена с использованием вычислительных ресурсов Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук (МСЦ РАН). Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект №19-01-00738.

Литература

1. Иванов В. К. О некорректно поставленных задачах // Математический сборник. — 1963. — № 61(103):2. — С. 211-223.
2. Лаврентьев М.М., Романов В.Г., Шишатский С.П. Некорректные задачи математического анализа. — М.: Наука, 1980. — 288 с.
3. Шимелевич М.И. Методы повышения устойчивости инверсии данных геоэлектрики на основе нейросетевого моделирования // Геофизика. — 2013. — №4. — С. 49-55.
4. Шимелевич М.И., Оборнев Е.А. Аппроксимационный метод решения обратной задачи МТЗ с использованием нейронных сетей // Физика Земли. — 2009. — № 12. — С. 22-38.
5. Численные методы оценки степени практической устойчивости обратных задач геоэлектрики / М.И. Шимелевич, Е.А. Оборнев, И.Е. Оборнев, Е.А. Родионов // Физика Земли. — 2013. — № 3. — С. 58–64.
6. Шимелевич М.И., Оборнев Е.А., Оборнев И.Е., Родионов Е.А. Аппроксимационный нейросетевой метод решения многомерных нелинейных обратных задач геофизики // Физика Земли. 2017. № 4. С. 100–109.

ОЦЕНКА ПРИРОДЫ АНОМАЛИЙ РАЗРЕЗОВ МОВ-ОГТ В ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

Романов В.В. (МГРИ, roman_off@mail.ru), Шматкова А.А. (МГРИ, annshmatkova@gmail.com), Иванов А.А. (МГРИ, biwolf@mail.ru)*

Аннотация

В докладе рассматриваются проявления неглубоко залегающих локальных объектов и протяженных зон на прослеживание отражающих границ при использовании МОВ-ОГТ

Ключевые слова: сейсморазведка, метод отражённых волн, аномалии

Наличие в приповерхностной части геологического разреза различного рода локальных или протяженных объектов осложняет прослеживание опорных границ на глубинных сейсмических разрезах МОВ-ОГТ, порождая аномалии, не связанные с геологическим строением и свойства грунтовой толщи. Среди них — карстовые полости, суффозионные воронки, подземные горные выработки, инженерные коммуникации, погребённые фундаменты, талики, перелетки, линзы мёрзлых грунтов. У сейсмогеологических границ, прослеженных в области влияния локальных объектов и протяженных волн, может ухудшиться или нарушиться корреляция, измениться частотный состав отражения, систематически увеличиться и уменьшится глубина.

Зачастую именно неглубоко залегающие объекты выделить сложнее всего, из их малого размера и ограниченной разрешающей способности сейсморазведки. Вертикальное и горизонтальное разрешение оценивается по средней видимой длине волны, которая зависит от преобладающей частоты и скорости сейсмически волн. Частота отражений находится амплитудного спектра временного разреза для поперечных отраженных волн в верхней части разреза обычно составляет 30–40 Гц.

Вертикальное разрешение Δz определяет возможность разделения раздельного наблюдения с поверхности двух близких границ в горизонтально-слоистой среде. Для оценки вертикального разрешения используется четверть длины волны. Учитывая среднюю скорость поперечных волн в 300 м/с вертикальное разрешение метода отраженных волн находится на уровне 2–3 м.

Горизонтальное разрешение Δx определяет возможность наблюдения с поверхности двух близких сейсмических неоднородностей, расположенных на одной глубине. Она определяется по радиусу эффективной отражающей площадки r (при условии максимум 50% перекрытия соседних площадок). Типичное значения горизонтального разрешения для изучения глубин до 30–40 м — 8–10 м.

Объекты размером более 8–10·2–3 м выделяются в волновом поле как локальные отражающие площадки или оси синфазности дифрагированных. Большое количество локальных объектов или сложное строение протяжённых зон с изменёнными упругими свойствами в приповерхностной части разреза влияет на прослеживание всех опорных границ, что является одними из признаков их наличия (Рисунок 1). Авторами была опробована методика установления наличия названных выше объектов при помощи профилирования на постоянной базе. Достаточно малый шаг пунктов возбуждения позволяет точно выделять малые приповерхностные объекты и зоны по локальному уменьшению скорости прямой волны. Над низкоскоростными зонами и объектам время вступления на постоянной базе локально увеличивается. Разрезы профилирования формируются путём выборки трасс из всего массива данных МОВ-ОГТ, кроме информации о скорости прямой волны по ним оценивается и ряд динамических признаков — амплитуда, частота, форма импульса (Рисунок 2).

Таким образом, диагностика наличия аномалий в приповерхностной толще позволяет вести правильную интерпретацию отражений от глубоких границ, а также устранить возможные искажения при помощи статических поправок.

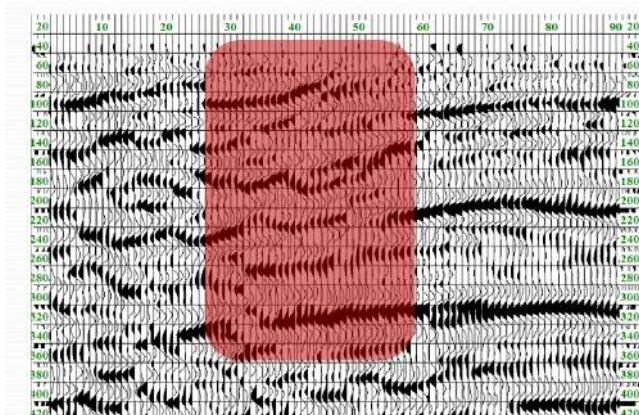


Рисунок 1. Временной разрез МОВ-ОГТ. По горизонтали — координаты пикетов профиля, по вертикали — времена нормального отражения. Красной заливкой выделена зона потери или ухудшения корреляции нескольких отражающих горизонтов.

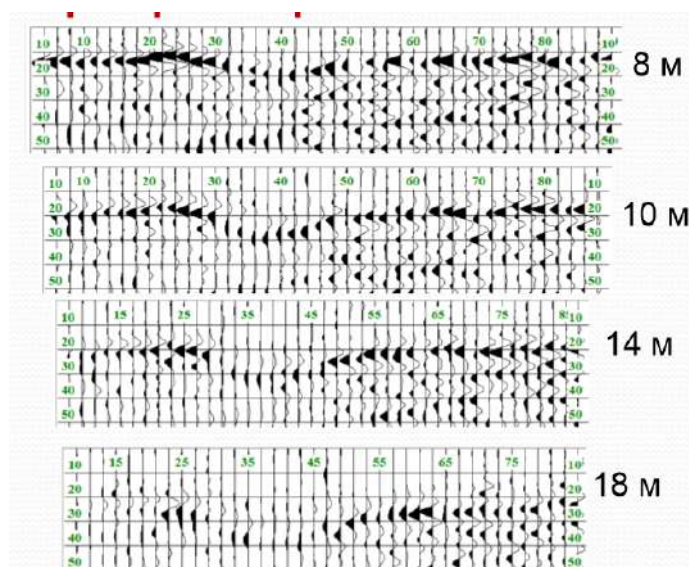


Рисунок 2. Данные профилирования на постоянной базе. По горизонтальной оси координаты пикетов профиля, по вертикальной — время вступления. База профилирования указана справа от изображений.

Литература

1. Романов В.В., Посеренин А.И., Дронов А.Н., Мальский К.С. Обзор геофизических методов, применимых при поиске геомеханических нарушений вблизи горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 1. С. 243-248.
2. Романов В.В. Интерпретация сейсмической томографии на примере изучения геологического строения оползневого склона // Разведка и охрана недр. 2015. № 3. С. 34-37.
3. Романов В.В. Из опыта комплексного применения сейсморазведки и георадиолокации при инженерно-геологических изысканиях на территории Москвы // Инженерные изыскания. 2015. № 5-6. С. 44-49.

ВИБРОДИАГНОСТИКА СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЗДАНИЯ МГРИ

Романов В.В. (МГРИ, roman_off@mail.ru), Иванов А.А. (МГРИ, biwolf@mail.ru), Качержук С.С. (МГРИ, math-kaf@mrgri-rggru.ru) Бухвалова О.Б. (МГРИ, dekanatgff@gmail.com), Мальский К.С. (МГРИ, sabbat@mail.ru), Посеренин А.И. (МГРИ, poserenin83@gmail.com)*

Аннотация

В докладе представлена методика исследований и результаты вибродиагностики северо-восточного крыла МГРИ. Микросейсмические колебания регистрировались широкополосным акселерометром, при анализе использовались как сами записанные трассы, так и спектры Фурье. В результате эксперимента были выявлено ряд закономерности распределения параметров микросейсмических колебаний в вертикальном направлении.

Ключевые слова: вибрации, МГРИ, микросейсм

Целью исследований являлось измерение параметров колебаний северо-западной части здания МГРИ для оценки распределения уровня микросейсм по 6 этажам и определения уязвимых участков[4]. Для достижения цели последовательно решались следующие задачи:

- 1) Измерение ускорения колебательного движения a (виброускорения) носимым регистратором сейсмических колебаний Дельта-03, оснащённым датчиком — акселерометром А0-531 в течении 30-180 минут на одном пункте;
- 2) Расчет пиковых и среднеквадратических амплитуд акселерограмм по трём компонентам — A_x, A_y, A_z ;
- 4) Вычисление амплитудных спектров компонент акселерограмм путём прямого дискретного преобразования Фурье, определение преобладающих частот f_x, f_y, f_z ;

Работы выполнялись согласно требованиям ГОСТ Р 52892-2007 «Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка её воздействия на конструкцию». Датчик виброускорения на жестком основании устанавливался на твердом покрытии, ось X датчика ориентировалась в северном направлении[2].

Полученные данные обрабатывались в программе MicroSeisTools, предназначенной для анализа и преобразования записей микросейсмических колебаний (Романов В.В., Мальский К.С, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016615697)[1]. Полученные в полевых условиях акселерограммы подвергались предварительной полосовой фильтрации в полосе 1-20 Гц, на их выбирались участки с относительно постоянным уровнем вибрации. Пиковые амплитуды A_{peak} находились как максимальное по модулю значение акселерограммы. Пиковые амплитуды акселерограмм в значительной мере подвержены случайным колебаниям уровня вибраций[3]. Среднеквадратические амплитуды A_{rms} вычислялись как корень из дисперсии акселерограммы в предположении равенства нулю математического ожидания. Среднеквадратические амплитуды имеют большую устойчивость к локальным разрастаниями уровню шума.

Прямое преобразование Фурье реализовалось при помощи алгоритма БПФ. Для анализа применялась зависимость амплитуд гармоник от частоты — амплитудный спектр $R_k(f)$. Спектры по компонентам строились на билогарифмических бланках, преобладающая частота находилась по гармонике с максимальной амплитудой (Рисунок 1).

Данные измерений позволили выявить ряд закономерностей. Пиковые амплитуды по всем трём компонентам превышали среднеквадратические в 5-12 раз, причём отношение пиковых амплитуд к среднеквадратическим плавно убывало при переходе от 1 этажа к 6-ому. Начиная с 3-го этажа МГРИ, вертикальная компонента микросейсмических колебаний преобладает над горизонтальными и систематически возрастает с градиентом $1 \text{ мм/с}^2/\text{этаж}$ (среднеквадратическая оценка амплитуды) и $9 \text{ мм/с}^2/\text{этаж}$ (пиковая оценка амплитуды). Первый этаж МГРИ характеризуется повышенными частотами микросейсм (8-15 Гц), начиная со 2 этажа частоты уменьшается и практически не зависят от номера этажа (2 Гц – горизонтальные компоненты) и 7 Гц (вертикальная компонента).

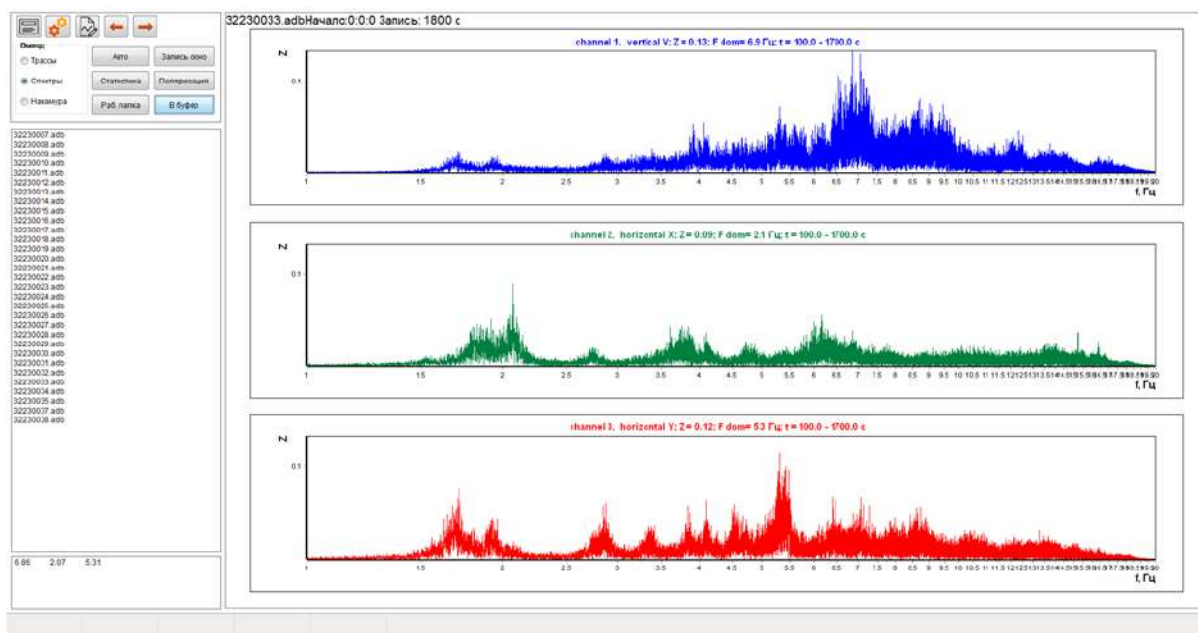


Рисунок 1. Спектр трехкомпонентной акселерограммы

Литература

1. Романов В.В., Посеренин А.И., Дронов А.Н., Мальский К.С. Обзор геофизических методов, применимых при поиске геомеханических нарушений вблизи горных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 1. С. 243-248.
2. Романов В.В., Мальский К.С., Дронов А.Н. Выбор оптимальных параметров записи микросейсмических колебаний в горных выработках // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 7. С. 101-107.
3. Романов В.В., Мальский К.С., Дронов А.Н. Выбор места заложения штольни на борту карьера с помощью микросейсмического зондирования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2016. № 11. С. 314-321.
4. Романов В.В., Мальский К.С., Посеренин А.И., Каринский А.Д. Оценка устойчивости и обводненности породного массива геофизическими методами // Горный журнал. 2018. № 11. С. 61-64.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

*Рябова С.А. (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт динамики геосфер Российской академии наук,
ryabovasa@mail.ru)*

Аннотация

Основная проблема в методе магнитотеллурического зондирования заключается в разработке методов, обеспечивающих устойчивое определение магнитотеллурических передаточных функций. В настоящей работе проводится сравнение различных методов оценивания элементов тензора импеданса и магнитного типпера. С этой целью используются данные геоэлектромагнитного мониторинга на обсерваториях «Виктория», «Михнево» и «Борок».

Ключевые слова магнитотеллурические передаточные функции, тензор импеданса, магнитный типпер, робастный метод, метод удаленной базы, вейвлет-преобразование

Метод магнитотеллурического зондирования появился в 50-е годы прошлого века. Этот метод основан на измерении естественного электромагнитного поля Земли, создаваемого токами, текущими в земной коре (теллурическими). Результаты первых исследований земных токов и их связи с вариациями магнитного поля были получены Дж. Айри [1], И. Ламонтом [2], Т. Терадом [3]. А.Н. Тихонов [4] и Л. Каньяр [5] ввели концепцию магнитотеллурического импеданса, определяемого отношением электрического и магнитного полей, что стало основой развития метода магнитотеллурического зондирования.

Важный элемент метода магнитотеллурического зондирования – определение передаточных функций магнитотеллурических полей, а также компонент электрических и магнитных типперов. Задача анализа данных наблюдений с использованием магнитотеллурических методов в сущности является статистической задачей установления линейной корреляции между различными параметрами наблюдений при наличии значительного шума.

Первый метод расчета передаточных функций – метод наименьших квадратов [6], основанный на минимизации суммы квадратов коэффициентов ошибок в линейных соотношениях. Такой метод дает «плохие» результаты при наличии выбросов в данных, в том числе при наличии ненормально распределенного шума в исходных данных. Для случая ненормального распределения шума был разработан робастный метод оценки [7-9], а для случая взаимно коррелированного шума – метод удаленной базы. Метод удаленной базы [10-11] дает результаты лучше по сравнению с оценкой, выполненной по данным одной станции, в областях, где присутствует сильная составляющая промышленного шума. В методе удаленной ссылки при довольно большом расстоянии между станцией измерения и базисной станцией корреляция между помехами на станциях отсутствует.

Оригинальная методика обработки была разработана американским геофизиком Дж. Ларсеном [12-13], в этой методике уделялось особое внимание подавлению различных помех, в том числе и промышленных. Особенностью метода Ларсена является вычисление передаточных функций в направлении максимальной когерентности входа и выхода, например, электрического и магнитного полей. Вычисление осуществляется в ходе итерационного процесса. На этапе предварительной обработки могут быть исключены или заданы с низким весом сегменты с большим

количеством выбросов во временной области, а также сегменты спектра, содержащие известные спектральные линии в частотной области.

С разработкой вейвлет-анализа его начали применять к обработке магнитотеллурических данных, в частности, для увеличения отношения сигнал/шум [14], фильтрации данных [15], изучения поляризационных свойств источников промышленного шума [16], спектральной оценки [17]. Основным преимуществом вейвлет-представления является разделение сигнала на иерархии или масштабные уровни. Эти масштабные уровни помогают в выборе части данных, которые необходимо отфильтровать или для которых нужно прибегнуть к операции снижения весовых функций.

Основной передаточной функцией в магнитотеллурических методах является тензор импеданса, связывающий электрическую и магнитную компоненты горизонтального электромагнитного поля в рассматриваемой точке земной поверхности. Существует модификация метода магнитотеллурического зондирования, когда измеряются только магнитные (горизонтальные и вертикальная) компоненты магнитного поля. Такая модификация называется магнитовариационным зондированием. В этом случае основной передаточной функцией является индукционная матрица или, как ее по-другому называют, магнитный типпер, связывающий вертикальную и горизонтальные составляющие геомагнитного поля [19].

В настоящей работе сравниваются разные методы оценивания элементов тензора импеданса и магнитного типпера, описанные выше. Для получения надежных значений передаточной функции при наличии как низкого, так и высокого уровней шума, рассчитанных по уровням сигнала, выбираются сегменты как во время высокой геомагнитной активности, так и во время спокойной геомагнитной активности.

При проведении исследований используются данные геоэлектрического и геомагнитного мониторинга на канадской обсерватории «Виктория» [20] (географические координаты 48.52° с.ш., 236.58° з.д.), данные геомагнитного мониторинга на российской обсерватории «Михнево» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер Российской академии наук [21] (географические координаты 54.96° с.ш., 37.77° з.д.) и данные геомагнитного мониторинга российской обсерватории «Борок» [22] (географические координаты 58.03° с.ш., 38.97° з.д.).

Результаты исследований показали, что метод удаленной базы не сильно повышает качество оценивания магнитного типпера на обсерватории «Михнево» (в качестве удаленной базы используются данные с обсерватории «Борок», расстояние между этими пунктами наблюдений вполне соответствует критерию расположения удаленной базы [23]) при разной степени геомагнитной активности.

При оценке тензора импеданса и магнитного типпера установлено, что вейвлет-фильтрация хорошо распознает выбросы и точки леввериджа, позволяет отфильтровывать их без необходимости замены данных. Оценка спектра на основе применения вейвлет-преобразования позволяет повысить достоверность спектрального оценивания.

Литература

1. Airy G.B. Comparison of magnetic disturbances recorded by the self-registering magnetometers at the Royal Observatory, Greenwich, with magnetic disturbances deduced from the corresponding terrestrial galvanic currents recorded by the self-registering galvanometers of the Royal Observatory // Philosophical transactions of the Royal Society of London. 1868. Vol. 158. P. 465-472.

2. Lamont J.V. Der Erdstrom und der Zusammen desselben mit dem Erdmagnetismus. Leipzig und Muenchen: Leopold-Voss-Verlag. 1862.
3. Terada T. On rapid periodic variations of terrestrial magnetism // Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo. 1917. Vol. 37. P. 56-84.
4. Тихонов А.Н. Об определении электрических характеристик глубоких слоев земной коры. // Доклады АН СССР. 1950. Т. 73, № 2. С.295-297.
5. Cagniard L. Basic theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting // Geophysics. 1953. Vol. 18. P. 605-535.
6. Sims W.E., Bostick Jr. F.X., Smith H.W. The estimation of magnetotelluric impedance tensor elements from measured data // Geophysics. 1971. Vol. 36. P. 938-942.
7. Chave A.D., Thomson D.J. Some comments on magnetotelluric response function estimation // Journal of Geophysical Research. 1989. Vol. 94. P. 14215-14225.
8. Sutarno D., Vozoff K. Robust *M*-estimation of magnetotelluric impedance tensors // Exploration Geophysics. 1989. Vol. 20. P. 283-398.
9. Sutarno D. Development of robust magnetotelluric impedance estimation: A review // Indonesian Journal of Physics. 2005. Vol. 16. P. 79-89.
10. Gamble T.D., Goubau W.M., Clarke J. Magnetotellurics with a remote reference // Geophysics. 1979. Vol. 44. P. 53-68.
11. Sinharay R.K. Remote reference magnetotelluric impedance estimation of wideband data using hybrid algorithm // Journal of Geophysical Research. 2006. Vol. 111. doi:10.1029/2006JB004330.
12. Larsen J.C. Transfer functions: smooth robust estimates by least squares and remote reference methods // Geophysical Journal International. 1989. Vol. 124. P.645-663.
13. Larsen J.C., Mackie R.L., Mazella A., Fiordelisi A., Rieven S. Robust smooth magnetotelluric transfer functions // Geophysical Journal International. 1996. Vol. 124. P. 801-819.
14. Zhang Y., Paulson K.V. Enhancement of signal-to-noise ratio in natural-source transient magnetotelluric data with wavelet transform // Pure and Applied Geophysics. 1997. Vol. 149. P. 405-419.
15. Trad D.O., Travassos J.M. Wavelet filtering of magnetotelluric data // Geophysics. 2000. Vol. 65. P. 482-491.
16. Escalas M., Queralt P., Ledo J., Marcuello A. Polarisation analysis of magnetotelluric time series using a wavelet-based scheme: a method for detection and characterisation of cultural noise sources // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 2013. Vol. 218. P. 31-50.
17. Xu Y.X., Wang J.Y. Power spectrum estimation for magnetotelluric signal based on continuous wavelet transform // Chinese Journal of Geophysics. 2000. Vol. 43. P. 677-683.
18. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир, 2009. 680 с.
19. Vozoff K. The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins // Geophysics. 1972. Vol. 37. P. 98-14.
20. <http://geomag.nrcan.gc.ca/> (сайт Природные ресурсы Канады).
21. <http://idg.chph.ras.ru/> (сайт Института динамики геосфер Российской академии наук).
22. www.intermagnet.org (сайт Международной сети Intermagnet).
23. Епишкин Д.В., Яковлев А.Г. О границах применимости метода удалённой базы при магнитотеллурических зондированиях // Геофизика. 2016. № 3. С. 55-64.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МЕТОДА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Секерина Д.Д.* (СПГУ, sekerinadar@mail.ru)
Данильев С.М. (СПГУ, daniliev@mail.ru)

Аннотация

Данная работа посвящена особенностям моделирования, при проведении электроразведочных работ методом переходных процессов. Факторам, влияющим на показание значений, при построении моделей и графиков.

Ключевые слова: Метод переходных процессов, Особенности моделирования и причины, влияющие на показания, при построении моделей; Применение конкретной установки МПП на практике;

Основные положения

Сущность метода переходных процессов заключается в изучении неустановившегося магнитного поля вихревых токов, которые возникают во всех проводящих электрический ток геологических образованиях при ступенчатом изменении тока в контуре, расположенном на поверхности земли или в воздухе.

Скорость затухания вихревых токов определяется тепловыми потерями в проводнике и его размерами. Чем крупнее проводящее тело и больше его электропроводность, тем дольше длится переходный процесс. Поэтому по крутизне переходной характеристики можно судить о качестве проводника (его размерах и электропроводности). С другой стороны, можно подобрать такой промежуток времени для регистрации переходного процесса, когда существует вторичное поле, вызванное хорошо проводящими рудными телами, а поле относительно слабых проводников уже исчезло.

Выделяют несколько модификаций метода переходных процессов: аэро МПП (АМПП), профилирование (ПМПП), зондирование (ЗМПП), скважинный вариант (СМПП). Наземный вариант включает две модификации — с совмещенными петлями, или однопетлевую (МППО), и рамочно-петлевую (МППР). Для возбуждения и приема используются самостоятельные петли, обычно квадратные. В случае, когда для приема и возбуждения поля используется одна и та же петля, модификация называется однопетлевой [2,3,4].

Методика полевых работ МПП

Поиски месторождений хорошо проводящих руд методом переходных процессов включают в себя два основных этапа: поиск площадей и детализация аномалий. Помимо этого, на стадии разведочных работ используются скважинные исследования. Они могут применяться в сочетании с бурением, и для поисковых целей на глубинах недоступных наземным методам.

Поисковые работы проводятся однопетлевой модификацией МПП по сети профилей, расположенных вкрест предполагаемого простирания искомых объектов. Шаг наблюдений по профилю и расстояние между профилями выбираются равными стороне петли (т. е. петли располагаются вплотную одна к другой без пропусков и перекрытий).

Провода, применяемые для приемных и генераторных петель, должны иметь хорошую изоляцию, а для генераторных петель — и низкое сопротивление. При работах с одной генераторно-приемной петлей необходимо применять только медные провода (без стальных жил).

На выделенных аномальных участках проводятся детальные работы с использованием модификаций МППР (или МППО). Детализация с помощью

модификации МППР производится по профилям, расположенным вкрест простираения аномалии. Генераторная петля располагается так, чтобы детализируемая аномальная зона находилась внутри петли в ее центральной части. Наблюдения обычно ведутся по сети 50 -20 либо 100 -50 м с необходимым сгущением в наиболее интересных участках профиля.

Результаты поисковой съемки представляются в виде графиков отношения ЭДС к силе тока (U/I) в генераторном контуре вдоль профиля наблюдений на всех временах задержки и в виде планов изолиний тех же значений для наиболее характерных моментов времени. Для отдельных точек профиля строятся переходные характеристики, которые являются источником информации о физических характеристиках объекта.

В качестве источника электромагнитного поля используется незаземленная генераторная петля, через которую пропускают импульс тока. Согласно закону Фарадея, это приводит к возникновению вихревых токов в проводящих слоях геологического разреза. Максимум плотности тока с течением времени после выключения тока, перемещается на все большие глубины, что позволяет сканировать геологическую среду. Скорость затухания вихревых токов определяется тепловыми потерями в проводнике. Все это позволяет выполнить электромагнитное сканирование геологической среды и определить удельное электрическое сопротивление геологических слоев.

В качестве приемника электромагнитного поля используются мобильные датчики или одна и та же петля, которая служит источником во время токового импульса и приемником в паузе между импульсами.

Электроразведку методом МПП и ЗСБ широко применяют для решения следующих задач:

- поиск подземных вод и гидротермальных месторождений;
- мониторинг развития гидрогеологических процессов;
- изучение геологических условий проектирующихся и эксплуатирующихся инженерных сооружений;
- поиск и разведка рудных месторождений;
- решение нефтепоисковых задач.

Методика и применение

Используется многовитковая схема «вкрест», разносом 100x100 м, позволяющая за счет большого расстояния между приемной и генерируемой петлями избавиться от эффекта наложений сигналов, что, в свою очередь, дает возможность оценить результаты только полезных сигналов и снизить риск возникновения значительных погрешностей. В данной схеме приемная петля является антенной [5].

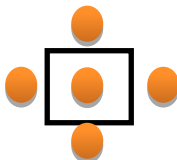


Рисунок 1. Изображение одного из пикетов для схемы «крест»

Схема «вкрест» используется для удаления объекта и снижения влияния эффекта ВП.

Эффект ВП, в методе переходных процессов, в отличие от обычного явления для ВЭЗ, характеризуется индукционной характеристикой, которая возникает при наличии хорошо проводящих объектов.

Моделирование

Примеры моделирования по приведенным выше параметрам приведены на рисунках 2-5.

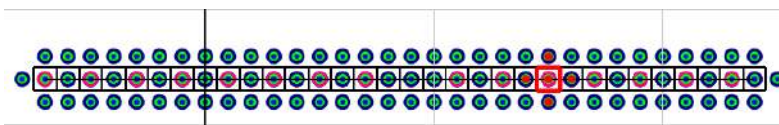


Рисунок 2. Профиль 1 по схеме «вкрест» с демонстрацией модели на одном из пикетов; размерность - 100x100.

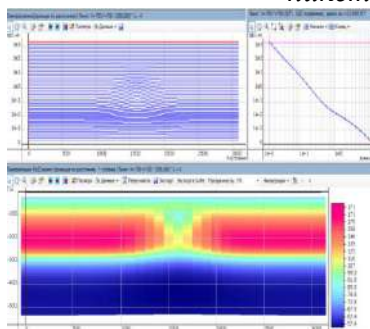


Рисунок 3. Модель, построенная по профилю 1, демонстрирующая зависимость ЭДС от глубины.

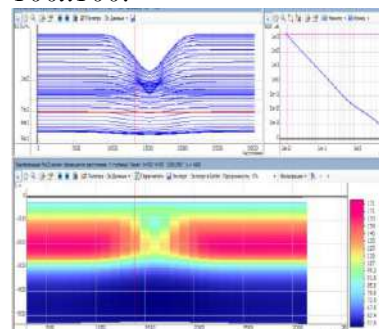


Рисунок 4. Модель, построенная по профилю 1, демонстрирующая зависимость сопротивления от глубины.

Факторы, влияющие на показатели, при построении моделей и графиков (Оценка эффективности при исследовании проводящих тел)

На рисунках 3-4 отчетливо заметно нарушение сплошности трубчатой структуры, что свидетельствует о наличии тела или объекта, имеющего отличающиеся от остальных свойства. Чаще всего, именно подобные участки, при анализе и построении моделей, являются индикаторами наличия в такой зоне хорошо проводящих тел.

Интерпретация данных индуктивных методов профилирования

Для различных модификаций установок применяются особые математические подходы к вычислению и интерпретации полученных данных, для дальнейшего анализ и построения схем, как на рисунке 5 [1].

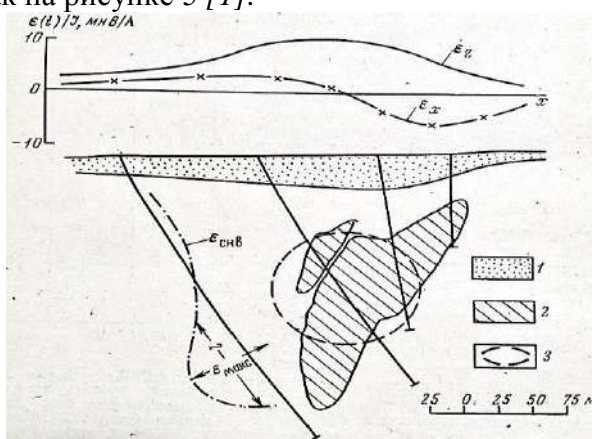


Рисунок 5. Пример результатов детализационных исследований МППО на месторождении Весеннем [2]

Выводы

В данной работе рассматривается эффективность и актуальность применения метода переходных процессов, при поисках месторождений, характеризующихся особыми свойствами. А также значимость правильного подхода, при моделировании объектов, по данным, полученным в результате измерений.

Данная методика является наиболее эффективной, при поисках хорошо проводящих объектов. А детальный анализ моделей, построенных по данным съемки, позволяет определить участки аномальных значений, характеризующихся определенными физическими свойствами.

Литература

1. Жданов М.С. Электроразведка, Изд-во: Недра, Москва, 1986 г., 316 с.
2. Хмелевской В.К. Электроразведка, изд. 2-е - М: Изд-во МГУ, 1984 г. С ил., 422 с.
3. Метод переходных процессов. [Электронный ресурс:// <https://studfiles.net/preview/3351206/page:16///> Дата обращения: 19.02.19]
4. О методе МПП, ЗСБ. [Электронный ресурс:// <https://geomodel.info/tdem/help/ru/tdem.htm//> Дата обращения: 19.02.19]
5. Метод переходных процессов. [Электронный ресурс:// [http://virg-npp.ru/services/poiski-mestorozhdenij/geofizicheskie-issledovaniya/elektrozrazvedka/metod-perexodnyix-procressov-\(mpp\).html//](http://virg-npp.ru/services/poiski-mestorozhdenij/geofizicheskie-issledovaniya/elektrozrazvedka/metod-perexodnyix-procressov-(mpp).html//) Дата обращения: 19.02.19]

ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА ОПЫТНОЙ ПЛОЩАДКЕ В Г. САРАТОВЕ

Слинчук Г.Е. (МГУ им. Ломоносова, Slin4ukgr@yandex.ru),
Лозовский И.Н. (ООО «ЭГЕОС», ЦГЭМИ ИФЗ РАН, piles@aiqeos.ru),
Чуркин А.А. (ООО «ЭГЕОС», piles@aiqeos.ru)*

Аннотация

Перед устройством свайного поля на объекте строительства в г. Саратове были изготовлены опытные буронабивные сваи по технологии непрерывного полого шнека и выполнен комплекс полевых испытаний с целью определения сплошности бетона и несущей способности свай. Контроль сплошности выполнен с применением трех геофизических методов: широко применяемых сейсмоакустического и ультразвукового, а также нового термометрического метода. Результаты, полученные по данным геофизических методов, хорошо согласуются друг с другом. По результатам интерпретации данных термометрического метода определена сплошность бетона свай, положение арматурного каркаса относительно оси свай, выполнена оценка их формы. Испытания статической вдавливающей нагрузкой подтвердили проектные значения несущей способности свай.

Ключевые слова

Буронабивные сваи, неразрушающий контроль, контроль сплошности свай, термометрический метод

С целью уточнения технологии изготовления свай и оптимизации проектных решений перед массовым устройством свай на объекте строительства рекомендуется изготовление опытных свай и проведение полевых испытаний их сплошности и несущей способности.

Перед сооружением свайного поля в основании комплекса многоэтажных жилых домов в г. Саратове компанией ЗАО «Геотехника-С» (г. Саратов) было выполнено устройство куста из пяти опытных свай по технологии непрерывного полого шнека. Диаметр свай – 400 мм. Длина свай – 12 м. Бетон – В20 F50 W6. В каждую сваю для проведения контроля термометрическим и ультразвуковым методами было установлено по 2 стальных трубы доступа внешним диаметром 57 мм.

Задачей опытных работ стало уточнение технологических параметров устройства свай в данных грунтовых условиях, подтверждение сплошности стволов при условии непрерывного устройства соседних свай на расстоянии в свету не менее 1.8 м, определение фактической несущей способности по результатам полевых испытаний и изучение возможностей нового термометрического метода контроля качества свай.

Контроль сплошности опытных свай был выполнен компанией ООО «ЭГЕОС» (г. Москва) с применением комплекса геофизических методов: термометрического, сейсмоакустического и ультразвукового.

Термометрический метод контроля сплошности свай основан на измерении температуры в процессе твердения бетона через установленные в составе арматурного каркаса трубы доступа (Рис. 1, а) [2, 6, 7]. Количество тепла, выделяемое в результате гидратации цемента, зависит от объема активного материала (цемента) в исследуемой зоне, состава бетонной смеси и времени, прошедшего с начала реакции. Сужение ствола сваи, включения грунта или бетона пониженного качества приводят к уменьшению количества выделяемого тепла и к локальному снижению температуры.

Сравнение значений температуры, измеренных в разных трубах доступа, позволяет определить положение арматурного каркаса относительно оси сваи и величину защитного слоя бетона. Сведения об объеме уложенного в сваю бетона могут быть использованы для пересчета измеренных значений температуры в значения эффективного радиуса сваи и оценки формы ствола. Термометрический метод является самым молодым методом неразрушающего контроля качества свай, его массовое применение стало возможным только после выпуска в конце 2014 г. нормативного документа ASTM D7949, устанавливающего методику и требования к проведению испытаний.

Сейсмоакустический метод основывается на анализе акустических волн, возбуждаемых молотком и регистрируемых приемной аппаратурой на поверхности сваи (Рис. 1, б) [1, 3]. Метод позволяет определять длину изучаемой конструкции и наличие в ее теле крупных нарушений сплошности.

Межскважинный ультразвуковой метод основан на регистрации ультразвуковых волн, возбуждаемых и регистрируемых пьезоэлектрическими датчиками, погруженными в установленные в составе арматурного каркаса сваи трубы доступа (Рис. 1, в) [5]. Наличие в стволе сваи включений с пониженной акустической жесткостью приводит к локальному снижению скорости распространения ультразвуковых волн и повышению их затухания.



Рисунок 1. Полевые испытания сплошности опытных буронабивных свай на объекте строительства в г. Саратове с применением неразрушающих геофизических методов: а – термометрического, б – сейсмоакустического, в – ультразвукового.

Испытания опытных свай сейсмоакустическим и ультразвуковым методами были выполнены спустя 8 дней после их изготовления. По результатам испытаний сейсмоакустическим методом была подтверждена проектная длина и сплошность стволов всех изготовленных свай. На данных, зарегистрированных ультразвуковым методом, также не выделено аномалий, свидетельствующих о наличии дефектов в стволе свай, сплошность бетона подтверждена в пределах профилей измерений.

Измерения термометрическим методом были начаты спустя 11 часов после окончания бетонирования свай и выполнялись в течение 17 часов с целью изучения изменения значений температуры в сваях с течением времени (с шагом между сериями измерений 2-4 часа). Для определения сплошности свай была выбрана первая серия измерений, в которой измеренные в сваях значения температуры были максимальными. Сравнение значений температуры, зарегистрированных в обеих трубах доступа, свидетельствует о проектном положении арматурного каркаса в сваях № 243, 251, 245,

265. Разница около 2 °С между значениями температуры в трубах доступа в свае № 263 интерпретируется в качестве незначительного смещения арматурного каркаса относительно оси сваи. Наклона арматурного каркаса в сваях зарегистрировано не было.

Измеренные значения температуры были пересчитаны в значения эффективного диаметра сваи. Диаметр свай, определенный по данным термометрического метода, соответствует проектному, кроме незначительного уширения сечения в верхней части стволов. Результаты испытания опытных свай термометрическим методом представлены на Рис. 2.

Полевые испытания опытной сваи №251 статической вдавливающей нагрузкой были выполнены спустя 22 дня после изготовления свай и подтвердили установленные проектом значения несущей способности.

После завершения испытаний была выполнена экскавация верхней части свай № 251, 263, 265 и в трех уровнях были проведены измерения их сечения рулеткой. Результаты показали удовлетворительное совпадение со значениями эффективного диаметра, определенного термометрическим методом (см. Рис. 2).

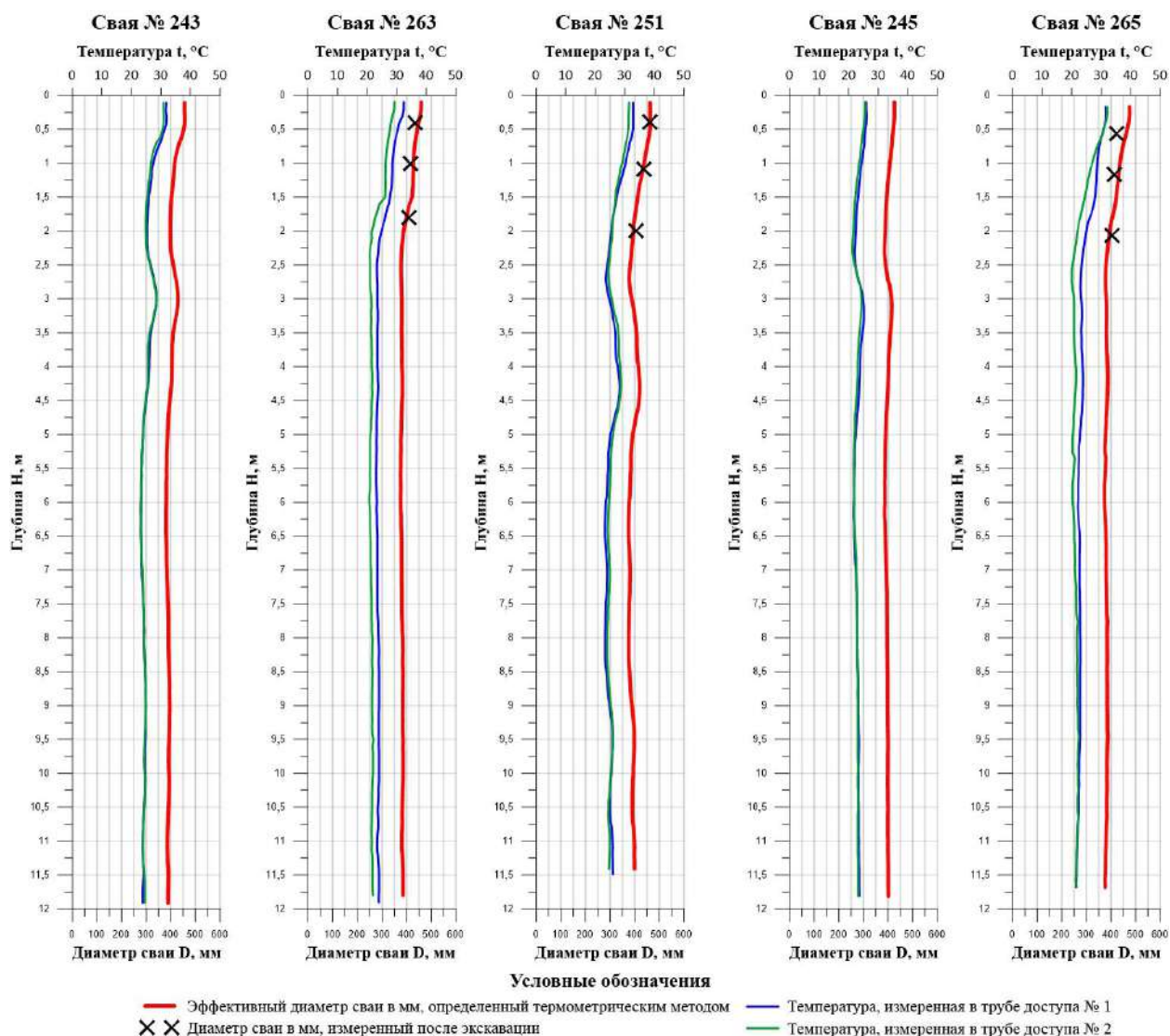


Рисунок 2. Результаты контроля сплошности опытных свай термометрическим методом.

По результатам опытно-методических работ приняты следующие выводы:

1. По данным комплекса полевых испытаний подтверждена сплошность бетона и несущая способность опытных свай, что позволяет выполнять дальнейшее устройство свайного поля в соответствии с примененной технологией.

2. Результаты, полученные с применением трех геофизических методов контроля сплошности свай, хорошо согласуются друг с другом.

3. Подтверждена обоснованность применения термометрического метода, позволяющего получать сведения о сплошности ствола свай спустя часы после бетонирования, контролировать положение арматурного каркаса относительно оси свай и производить оценку формы изготовленной в грунте конструкции.

Авторы благодарят компанию ЗАО «Геотехника-С» и лично Фролова В.Э. и Бровикова Ю.Н. Более подробно ознакомиться с результатами исследований можно в публикации [4].

Литература

1. Капустин В. В., Хмельницкий А. Ю. Проблемы малоглубинной сейсморазведки и георадиолокации в составе инженерно-геологических изысканий. Применение волновых методов для неразрушающего контроля фундаментных конструкций. Учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2013. — С. 116.

2. Мухин А.А., Лозовский И.Н., Чуркин А.А. Неразрушающий контроль сплошности бетона буронабивных свай термометрическим методом // Транспортное строительство. 2018. № 10. С. 6-9.

3. Мухин А.А., Чуркин А.А., Лозовский И.Н. Ограничения области применения сейсмоакустического метода контроля сплошности бетона свай // Транспортное строительство. 2018. № 9. С. 20-24.

4. Чуркин А.А., Лозовский И.Н., Фролов В.Э., Бровиков Ю.Н. Комплексное исследование качества буронабивных свай на опытной площадке с применением неразрушающих методов контроля // Геотехника. 2018. Том X. № 5-6. С. 54-65.

5. Amir J.M., Amir, E.I. Capabilities and Limitations of Cross Hole Ultrasonic Testing of Piles // Proc IFCEE, Orlando. 2009. С. 8.

6. Johnson K.R. Analyzing thermal integrity profiling data for drilled shaft evaluation // The Journal of the Deep Foundations Institute. 2016. Vol. 10. No. 1. С. 25-33, <https://doi.org/10.1080/19375247.2016.1169361>.

7. Mullins G. Thermal Integrity Profiling of Drilled Shafts // The Journal of the Deep Foundations Institute. 2010. Vol. 4. No. 2. С. 54-64.

ПРОГНИЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБВОДНЕНИЯ ФРАГМЕНТА ЗАСОЛЕННОГО ПЛАСТА

Терехин Г.С. (МГРИ, terekhin.grisha@gmail.com),
Поляков В.М. (МГРИ, texnoles@mail.ru)*

Аннотация

Некоторые нефтяные месторождения в Восточной Сибири содержат твердую растворимую соль в продуктивных пластах. Добыча нефти осуществляется закачкой пресной или слабоминерализованной воды. При этом происходит процесс растворения соли. Одновременно изменяются фильтрационно-емкостные свойства коллектора (пористость, проницаемость и относительная фазовая проницаемость). В симуляторах, которые используются при проектировании (ECLIPSE), растворение твердой соли не учитывается.

Целью работы является создание математической модели процесса заводнения фрагмента засоленного пласта и численного алгоритма для дальнейшего прогнозирования петрофизических параметров.

Ключевые слова: многофазное течение, фильтрационно-емкостные свойства коллектора, обводнение пласта, закон Дарси, уравнение математического баланса, кинетическое уравнение.

В современном проектировании и анализе разработки нефтяных и газовых месторождений ведется исследование совместного течения нефти, газа и воды, которые являются отдельными фазами, не смешивающимися друг с другом.

В коллекторе находится так называемая погребная вода, которая в процессе формирования залежи постепенно оттесняется. Она занимает некоторый объем порового пространства. Многие продуктивные пласты заполнены нефтью и газом лишь в верхней части, в то время как нижняя заполнена водой. Таким образом в пласте могут находиться несколько подвижных фаз. Многофазное течение возникает всегда при разработке, т.к. силы, движущие нефть, есть следствие гидродинамического напора газа или воды.

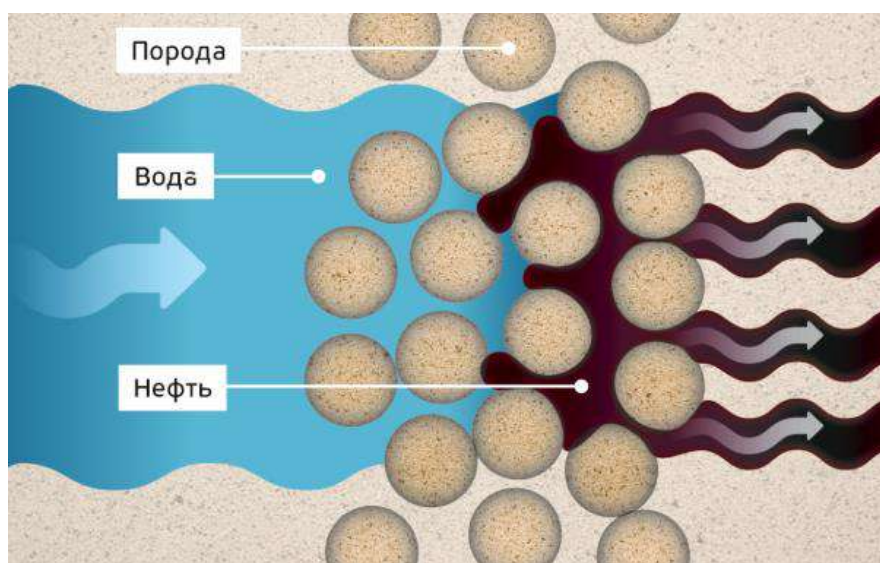


Рисунок 1. -Многофазное течение в пласте.

В работе предложена модель многофазной фильтрации флюидов. Эта модель описывает процесс обводнения засоленного пласта. Углеводородные системы бывают

двух видов: гомогенные и гетерогенные. Все части гомогенной системы имеют одинаковые физические свойства. В гетерогенной системе физические и химические свойства в различных точках различны. Гетерогенные системы состоят из фаз. Фаза – это гомогенная часть системы, которая отделена от других фаз отчетливыми границами. В пример гетерогенной среды можно привести смесь воды, нефти и твердой соли в пласте.

Математическое описание процесса включает уравнение математического баланса для воды, нефти, соли и уравнение фильтрации в форме обобщенного закона Дарси. Растворение соли описывается кинетическим уравнением.

Литература:

1. Х. Азиз, Э. Сеттари. Математическое моделирование пластовых систем. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 416с.
2. Басниев К. С., Дмитриев Н. М., Каневская Р. Д., Максимов В. М. Подземная гидромеханика. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, - 488с.
3. Богачев К. Ю., Милютин С. В., Дзюба В. И. Численное моделирование заводнения засоленных коллекторов пресной водой. Доклад на Российской технической нефтегазовой конференции по разведке и добыче, 16 – 18 октября 2012 г., Москва.
4. Шеберстов Е. В. «О моделях подземной физико-химической гидродинамики». Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов: сборник научных статей. Издание: Газпром ВНИИГАЗ, М. - №4(28)/2016.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ В МЕСТЕ ЛОКАЛЬНОГО ИСКРИВЛЕНИЯ СТВОЛА СКВАЖИНЫ

Тунгусов С.А.* (МГРИ-РГГРУ, tungusov_sa@mail.ru)

Аннотация

В докладе рассматривается моделирование процесса движения жидкости по стволу скважины в смеси со шламом.

Ключевые слова: ствол скважины, моделирование, движение жидкости, вынос шлама.

Бурение скважин связано с двумя основными процессами. Первый - это разрушение породы, второй - это ее удаление. Самого по себе процесса разрушения породы в данной работе мы касаться не будем, а сосредоточим свое внимание на процессе движения жидкости по стволу скважины в смеси с разрушенной породой.

Наиболее интересным для рассмотрения можно признать участок локального искривления ствола скважины. В данном докладе предложена математическая модель процесса движения смеси жидкости и частиц на данном участке.

Наиболее точно движение вязкой жидкости, как известно, описывается уравнением Навье-Стокса:

$$\rho \left[\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \nabla) \mathbf{v} \right] = -\text{grad } p + \eta \Delta \mathbf{v} + \left(\zeta + \frac{\eta}{3} \right) \text{grad } \text{div } \mathbf{v} + \mathbf{a}_{\text{ext}} \rho \quad (1)$$

где \mathbf{v} – вектор скорости;

p – давление;

ζ – объемная вязкость;

$\mathbf{a}_{\text{ext}} = \frac{\mathbf{f}_{\text{ext}}}{\rho}$ – ускорение, обусловленное внешними силами.

Если жидкость можно считать несжимаемой, то справедливо уравнение неразрывности $\text{div } \mathbf{v} = 0$ и уравнение Навье-Стокса сильно упрощается, его можно записать в виде:

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \nabla) \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \text{grad } p + \frac{\eta}{\rho} \Delta \mathbf{v} + \mathbf{a}_{\text{ext}} \quad (2)$$

После перехода от динамической вязкости к кинематической $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ можно без ограничения общности положить значение плотности равным 1.

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \nabla) \mathbf{v} = -\text{grad } p + \nu \Delta \mathbf{v} + \mathbf{a}_{\text{ext}} \quad (3)$$

В таком виде уравнение и будет использоваться в дальнейшем для моделирования процесса.

Граничные условия. Как показано в [1], для вязкой жидкости справедливы следующие граничные условия на неподвижной стенке:

$$\mathbf{v}|_{\Gamma} = 0 \quad (4)$$

В представленной модели частицы примем сферическими объектами с тремя степенями свободы – координатами. Движение частиц без взаимодействия друг с другом и неподвижными стенками описывается законом Ньютона:

$$m \dot{\mathbf{v}} = \mathbf{F}_{\text{ext}} \quad (5)$$

Механизм столкновения частиц между собой и с неподвижными стенками следует рассматривать как отдельный процесс. В связи с большой сложностью моделирования деформации объектов при столкновении используется упрощенная полуэмпирическая модель.

Рассмотрим подробнее столкновение частицы с плоской стенкой в системе отсчета, в которой стенка неподвижна. Нормальные и тангенциальные составляющие векторных величин обозначим индексами n и τ соответственно. В модельном приближении будем считать, что за время столкновения нормальная составляющая скорости v_n меняет знак, а по модулю уменьшается до величины $r|v_n|$. Коэффициент $r \in [0, 1]$ характеризует степень упругости удара: 0 – абсолютно неупругий удар, 1 – абсолютно упругий. Модуль изменения нормальной скорости за время удара составит $\Delta v_n = (1+r)|v_n|$. Такое приближение справедливо только для слабых ударов с малыми деформациями.

Изменение v_n происходит под воздействием силы реакции стенки N , действующей перпендикулярно поверхности. Также на частицу действует сила трения скольжения $F = kN$ в плоскости стенки в сторону, противоположную тангенциальной составляющей скорости. Очевидно, за время удара сила трения уменьшит тангенциальную составляющую скорости частицы на величину $\Delta v_\tau = k\Delta|v_n|$, но не больше, чем требуется для уравнивания скоростей касающихся поверхностей.

Столкновение шаров друг с другом будет проходить идентично столкновению со стенкой, находящейся в точке их соприкосновения.

За счет малых размеров частиц обтекание их жидкостью можно считать ламинарным. Тогда для описания силы, действующей на частицу со стороны жидкости, можно применить эмпирическую формулу – закон Стокса (G.G. Stokes) [2]:

$$F_{st} = -6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v_{rel} \quad (6)$$

где r – радиус частицы;

v_{rel} – скорость частицы относительно жидкости.

Эта сила имеет смысл внешней для частицы, т.е. в (5) надо положить $F_{ext} = F_{st}$. Согласно третьему закону Ньютона на жидкость должна действовать такая же по модулю и противоположная по направлению сила, которая даст вклад в f_{ext} из уравнений 1–3, такой, что $\int f_{ext} dr = -F_{st}$.

Основная трудность при численном решении системы уравнений для вязкой несжимаемой жидкости

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \nabla) v = -\text{grad } p + \nu \Delta v, \nabla v = 0$$

связана с расчетом поля давления. В связи с этим применялся трехэтапный метод расщепления [3].

Пусть в некоторый момент времени t_n известно поле скорости v^n . Тогда для вычисления скорости v^{n+1} в момент времени $t_{n+1} = t_n + \tau$ произведем следующие действия.

На первом этапе определим промежуточное поле скорости с использованием слагаемых из 3, не содержащих давление:

$$\frac{\tilde{v} - v^n}{\tau} = -(v^n \nabla) v^n + \nu \Delta v^n + a_{ext} \quad (7)$$

На втором этапе определим поле давления p , решая уравнение:

$$\Delta p = -\frac{\Delta \tilde{v}}{\tau} \quad (8)$$

На третьем этапе определим непосредственно поле скорости для момента времени t_{n+1} , используя слагаемое из 3, содержащее давление:

$$\frac{v^{n+1} - \tilde{v}}{\tau} = -\nabla p \quad (9)$$

Уравнение 3 получается путем взятия дивергенции от обеих частей уравнения 9 с учетом уравнения неразрывности $\text{div } v^{n+1} = 0$.

Использовалась явная схема. Верхним индексом $t+\Delta t$ обозначены величины в соответствующий момент времени, величины без индексов соответствуют моменту времени t .

Введем следующие обозначения:

$$(R_x)_{n,m} = \frac{1}{\rho\Delta x}(p_{n-1,m} - p_{n+1,m})$$

$$(R_y)_{n,m} = \frac{1}{\rho\Delta y}(p_{n,m-1} - p_{n,m+1})$$

$$(M_i)_{n,m} = (F_i)_{n-1/2,m} + (F_i)_{n+1/2,m} + (\Phi_i)_{n,m-1/2} + (\Phi_i)_{n,m+1/2}$$

$$(F_i)_{n-1/2,m} = \frac{1}{\Delta x}[(\mathbf{v}_i)_{n-1,m} + (\mathbf{v}_i)_{n,m}][(\mathbf{v}_x)_{n-1,m} + (\mathbf{v}_x)_{n,m}] + \frac{\nu}{\Delta x^2}[(\mathbf{v}_i)_{n-1,m} - (\mathbf{v}_i)_{n,m}]$$

$$(\Phi_i)_{n-1/2,m} = \frac{1}{\Delta y}[(\mathbf{v}_i)_{n,m-1} + (\mathbf{v}_i)_{n,m}][(\mathbf{v}_y)_{n,m-1} + (\mathbf{v}_y)_{n,m}] + \frac{\nu}{\Delta y^2}[(\mathbf{v}_i)_{n,m-1} - (\mathbf{v}_i)_{n,m}]$$

Вычисления происходили по следующей схеме.

1. Вычисление скорости на промежуточном слое $(\tilde{\mathbf{v}}_i)_{n,m} = (\mathbf{v}_i)_{n,m} + (M_i)_{n,m} \Delta t$.

2. Вычисление давления, заданного системой уравнений

$$p_{n,m} \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right) = \frac{1}{\Delta x^2} (p_{n+1,m} + p_{n-1,m}) + \frac{1}{\Delta y^2} (p_{n,m+1} + p_{n,m-1}) + \frac{1}{\Delta x \Delta t} [(\tilde{\mathbf{v}}_x)_{n-1,m} - (\tilde{\mathbf{v}}_x)_{n+1,m}] + \frac{1}{\Delta y \Delta t} [(\tilde{\mathbf{v}}_y)_{n,m-1} - (\tilde{\mathbf{v}}_y)_{n,m+1}]$$

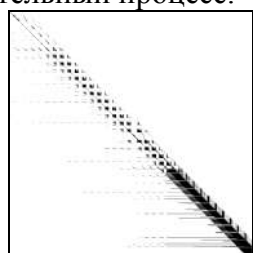
3. Вычисление скорости на следующем слое $(\mathbf{v}_i)^{t+\Delta t} = (\tilde{\mathbf{v}}_i)_{n,m} + (R_i)_{n,m} \Delta t$.

Большинство вычислительных действий, предусмотренных описанной моделью, представляют явные вычисления значений неизвестных на следующем временном шаге. Вычислительные трудности представляет только нахождение поля давления p , для чего на каждом шаге необходимо решать систему линейных уравнений $Ap = b(\mathbf{v})$, получающуюся из схемы расщепления. Матрица A в правой части системы остается неизменной, что позволяет значительно ускорить процесс вычисления. Простейшим способом для этого будет один раз найти обратную к ней матрицу A^{-1} и вычислять поле давлений, но и это не будет оптимальным решением. Дело в том, что матрица системы получается сильно разреженной – количество ненулевых элементов в любой строке не превосходит 5. Обратная матрица уже не является разреженной, что приводит к значительному увеличению времени счета.

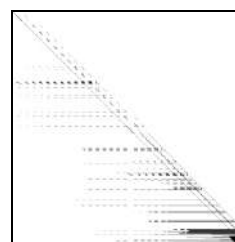
В качестве алгоритма для решения системы был выбран метод Гаусса с частичным выбором ведущего элемента. Согласно этому алгоритму, система преобразуется в равносильную вида $Up = LXb$, где U – верхнетреугольная матрица, L – нижнетреугольная с единичной диагональю, X – матрица перестановок. Правая часть этой системы вычисляется, после чего искомым вектор давлений находится путем последовательного вычисления значений отдельных элементов с последующей заменой соответствующих коэффициентов в остальных уравнениях. Преимущество этого метода состоит в том, что, в случае разреженности исходной матрицы A , матрицы U и L тоже получают разреженными. Это позволяет решить систему за количество арифметических операций, пропорциональное суммарному количеству ненулевых элементов в матрицах U, L, X . Матрицы U и L обычно объединяют в одну для удобства представления, при этом верхняя часть и диагональ берутся из матрицы U , а нижняя – из матрицы L , единичная диагональ которой исключается.

Также, метод Гаусса предоставляет определенную свободу в плане выбора ведущего элемента. Обычно в качестве ведущего элемента выбирается максимальный по модулю, что минимизирует накопление машинной погрешности. Но для системы с

разреженной матрицей количество арифметических операций существенно меньше, чем для полной, поэтому влияние машинной погрешности тоже существенно меньше. Благодаря этому факту можно выбирать ведущий элемент более свободно. Если в качестве ведущего выбирать ведущий элемент из строки с минимальным количеством ненулевых элементов, то и количество ненулевых элементов в результирующих матрицах уменьшается в несколько раз. При реализации использовался комплексный подход – учитывались оба обозначенных выше фактора, что позволило уменьшить количество ненулевых элементов без значительной потери точности (рис. 1 а, б). Вычисление значения правой части LXb можно эффективно распараллелить, что при расчетах на кластерных вычислительных системах даст значительный прирост скорости. И, как видно из рисунков, в результате оптимизированного преобразования большинство ненулевых элементов сместилось именно в матрицу L , что дополнительно ускорит вычислительный процесс.



а



б

Рисунок 1. а) матрица после преобразования при классическом выборе ведущего элемента, 41103 ненулевых элементов б) Матрица после преобразования при оптимизированном выборе ведущего элемента, 23099 ненулевых элементов

Для реализации модели был создан обширный программный комплекс на языке C++. Широкие возможности и гибкость языка C++ позволили совместить удобство в написании и использовании программного кода с высокой производительностью.

Для упрощения ввода уравнений была создана специальная библиотека модулей с широкой функциональностью и интуитивно-понятной схемой использования. Главными ее удобствами являются:

1. Автоматическая сквозная нумерация точек в области любой сложности.
2. Совмещенный ввод правой и левой частей системы уравнений.
3. Задание уравнений через обобщенный механизм линейных выражений.
4. Автоматическое ассемблирование матрицы.
5. Преобразование матрицы происходит только один раз.
6. Возможность использования сторонних алгоритмов через механизм шаблонов.

Литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. VI. Гидродинамика. – М.: Физматлит, 1986.
2. Алешкевич В.А., Деденко В.А., Караваев В.А. Механика сплошных сред. Лекции. – Издательство Физического факультета МГУ, 1998.
3. Белоцерковский О.М. Численное моделирование в механике сплошных сред. – М.: Физматлит, 1984.

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ БЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЙ В МАНТИИ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ НА ТЕРРИТОРИИ АНГОЛЫ

Шавьер Л.де Ж.А (МГРИ, lucia.xavier@mail.ru), Бондаренко В.М. (МГРИ,
bonvladimir@yandex.ru)*

Аннотация

Модель обоснована экспериментальными геофизическими данными и включает динамику движения вещества астеносферы, в процессе которого вещество астеносферы приобретает благоприятные термобарическое состояние и геохимическую специализацию для образования кимберлитовой магмы, алмазов, минералов – спутников и газовых пузырей.

Ключевые слова: астеносфера, источники тепла, развитое кипение, газовый пузырь, кимберлит, алмаз, геофизические методы.

Понимание механизма формирования кимберлитовых провинций, районов и полей необходимо для целенаправленных поисков коренных месторождений алмазов. В известных к настоящему времени гипотезах образования кимберлитовых трубок предполагается первичный взрыв в мантийном веществе Земли и последующий многофазовый вынос кимберлитовой магмы, обогащённой алмазами, к земной поверхности (Гирнис А.В., Рябчиков Н.Д., 2005; Катока...). Если процесс формирования алмазоносной магмы не вызывает сомнения, то механизм её транспортировки через земную кору толщиной десятки километров не только не обсуждается но даже не предлагается.

В связи с указанным целью работы является обоснование гипотетического механизма формирования «кипящей» астеносферы и образование в ней гигантских (радиусом десятки и сотни метров) газовых пузырей, которые при всплытии в земной коре образуют цилиндрические вертикальные каналы, заполняемые следующей за лидером (газовым пузырем) кимберлитовой магмой.

Благоприятные, условия для «закипания» кимберлитового и алмазоносного вещества астеносферы существуют не повсеместно, а при наличии определённых факторов:

- наличие мощных источников тепла, способных расплавить «твёрдую» мантию и превратить её в движущуюся «кипящую» астеносферу;
- по мере гравитационного всплытия и последующего горизонтального движения астеносферы от места её образования границе внешнего ядра и мантии в течение сотен миллионов лет астеносфера обогащается веществом, геохимически специализированным для образования кимберлитов, алмазов и минералов- спутников;
- временная и пространственная синхронизация тепловых потоков от источников тепла создает в астеносфере благоприятные термобарические условия для пузырькового кипения.

Одним из основных источников тепла является внешнее ядро Земли на границе с которым в мантии и зарождается астеносфера с неразвитым пузырьковым кипением (рис.1). Гравитационное всплытие астеносферы по нашим оценкам продолжалось около $200 \cdot 10^6$ лет. В процессе всплытия астеносфера продолжала разогреваться за счет двух процессов: трения о «твёрдую» мантию и декомпрессии газов, содержащихся в восходящем потоке вещества.

Достигнув нижней границы земной коры, поток вещества астеносферы приобретает называемое возвратное движение, т.е движение, противоположное

направлению движения континентальных плит. Этот механизм генерирует мощные сдвиговые напряжения в нижней коре, приводящие к формированию глубинах разломов с падением в сторону движения вещества астеносферы. Кроме этого эффекта, происходит дополнительный разогрев астеносферы за счет трения на границе верхней мантии и земной коры и интенсификации декомпрессии. Вещество астеносферы не только приобретает благоприятные термобарическое состояние и геохимическую специализацию для образования алмазов, но и переход от неразвитого пузырькового кипения в стадию развитого пузырькового и пленочного кипения. В это время (предположительно мезозой для кимберлитового пояса Анголы) возникают гигантские газовые пузыри на плотностных и температурных неоднородностях вещества астеносферы.

Динамическая модуль формирования благоприятных условия в мантии земли для образования кимберлитовых трубок основана на фактических

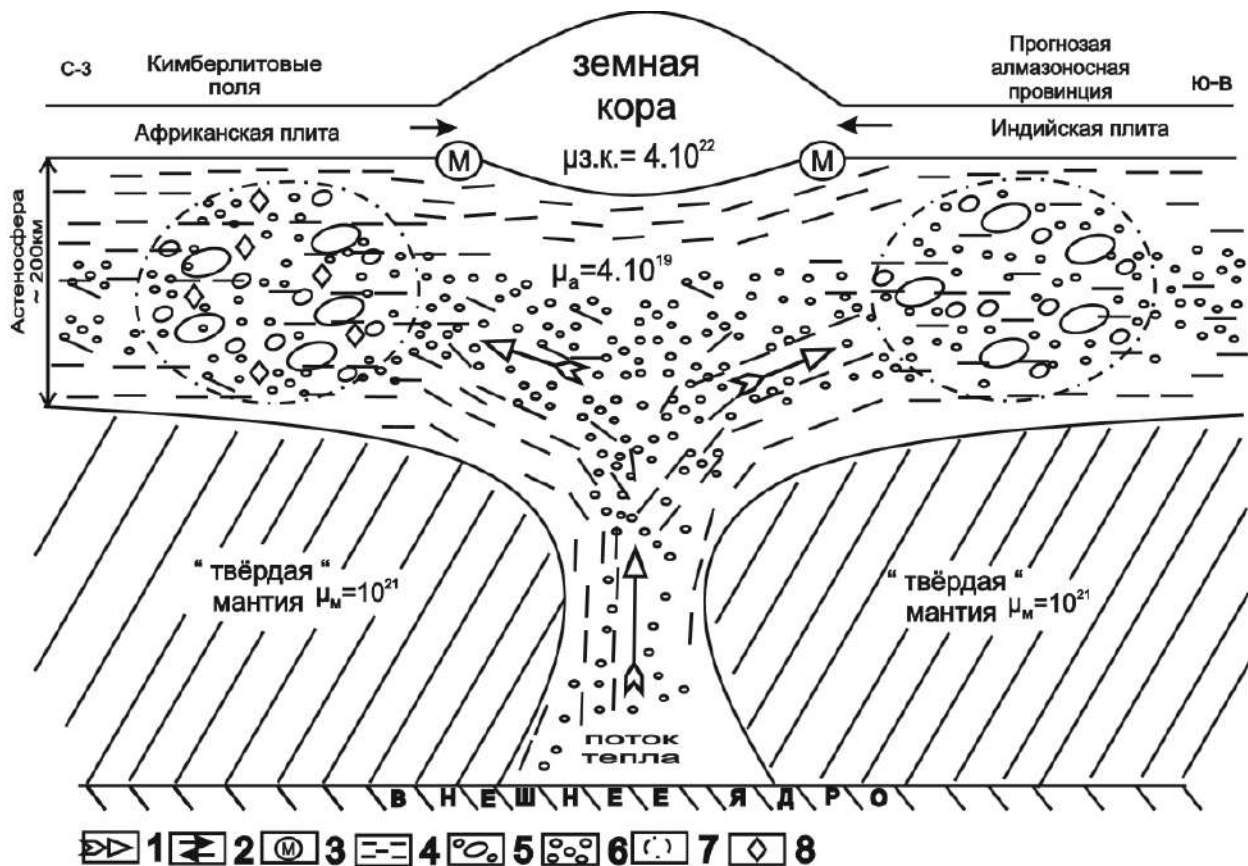


Рисунок 1. Схема глубинной геодинамики в области кимберлитовых полей Анголы. 1– направление теплового потока и движения вещества астеносферы; 2–направление движения литосферных плит; 3–граница Мохоровичича; флюидизированная астеносфера; 5–газовые пузыри; 6–неразвитое пузырьковое кипение; 7–область развитого пузырькового кипения, геохимически и термобарически благоприятная для природного синтеза алмазов; 8–алмазы; μ_m , μ_a , $\mu_{з.к.}$ –коэффициент вязкости мантии астеносферы и земной коры, соответственно, Па.с.

данных геофизических явлений. Так, возникновение мощных источников тепла во внешнем ядре связывают с наличием в нем гигантских (длиной волны около 6000 км) конвективных ячеек тепломассопереноса. Места восходящих тепловых потоков во внешнем ядре проявляются в виде региональных аномалии в магнитном поле Земли, индуцированных токами, текущими в конвективных ячейках.

Наличие высоких температур в мантии, включая астеносферу, достигающих на глубине около 100 км, 1200- 1500°C и увеличивающихся до примерно 4000°C на подошве мантии, получено по изменению электропроводности и скорости сейсмических волн (Tozer D.C., 1965; Iffen R. J., 1952). Пониженная вязкость астеносферы, её текучесть и «жидкое» состояние были определены по умещению скорости продольных, и особенно, поперечных волн (Рябой З., 1979).

Наличие благоприятных термобарических условий и геохимической специализации вещества астеносферы соответствует условиям синтетического синтеза алмазов и минералов-спутников (Чирвинский П.Н., 1995). Эти же термобарические условия соответствуют зарождению кимберлитовых магм (Гирнис А.В., Рябчинов Н.Д., 2005).

Экспериментально установлено, что процесс кипения различных веществ при разных давлениях имеет три фазы: неразвитое пузырьковое кипение, развитое пузырьковое кипение и пленочное (Кириллов В.В., 1992). В каждой фазе образуются газовые пузыри разного радиуса, и они всплывают до свободной поверхности, где лопаются (взрываются). Таким образом, на каждой стадии «кипения» астеносферы возникают кимберлитовые трубки определенного диаметра.

Изложенное выше можно сформулировать в виде следующие выводов:

- долгий и длинный путь вещества астеносферы от места ее зарождения до места проявления кимберлитового магматизма в Земной коре дает возможность астеносфере приобрести термобарическое состояние и геохимическую специализацию для образования алмазоносной кимберлитовой магмы;

- синхронизация во времени и пространстве действий тепловых источников приводит к формированию в астеносфере трех фаз пузырькового кипения; образовавшиеся газовые пузыри являются потенциальными лидерами, прокладывая вертикальные каналы в земной коре.

Идентификацию кимберлитовых провинций целесообразно выполнять геофизическими методами в следующей последовательности:

- место рождения астеносферы и формирование восходящих потоков вещества астеносферы фиксировать региональными магнитными аномалиями и/или аномалиями остаточной намагниченности пород;

- направление и скорость горизонтального движения потока вещества астеносферы определяться как противоположные направлению дрейфа континентальных плит и направлению падения глубинных разломов, картируемых сейсморазведкой и гравимагнитными методами;

- информацию о благоприятных термобарических условиях в астеносфере получать из данных электромагнитных зондирований и скоростей упругих волн;

- комплексом геофизических методов обнаруживать выходящие на поверхность и погребенные кимберлитовые трубки на перспективных территориях, по данным указаны выше исследований.

Литература:

1. Гирнис А.В., Рябчиков Н.Д. Условия и механизмы генерации кимберлитовых магм// Геол. рудн. м – ний, 2005, т. 47, №6.
2. Tozer D.C. Thermal history of the Earth // Geophysys. J. Ray. Astron. Soc., 1965, N9, p.p. 95 – 112.
3. Iffen R.J. A method of estimating the melting point gradient in the Garthis mantle// Trans. Am. Geophys. Un. 1952, N33, p.p. 893 – 896.
4. Рябой З. Структура верхней мантии территории СССР по сейсмическими данным. М.: Недра. 1979. 246 с
5. Кириллов В.В. Кипение. В. кн.: Физ. энциклопед. словарь. М.: Изд. Совет. энцикл. Т.2, с. 382 – 384.

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА СТАДИИ ОЦЕНКИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДЕТРИНСКОЙ ПЛОЩАДИ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Шамсиев В.Ю. (МГРИ, студент 5 курса, vadim.schamsiev@yandex.ru)

Аннотация

В пределах месторождения Радионовского, в процессе работ на Детринской площади, были проведены комплексные геофизические исследования и геолого-поисковые работы, позволившие уточнить геологическое строение месторождения и выявить его особенности.

Ключевые слова: Вертикального электротондирования в варианте частотной дисперсии, зондирование становлением поля в ближней зоне, пешеходная магнитная съемка, флишоидная толща, туфовый материал.

Комплекс геофизических работ был проведен в масштабе 1:5000 в пределах Радионовского месторождения. Основной целью всех работ являлось уточнение структурных элементов, контролирующих оруденение, выявление и прослеживание рудных зон, содержащих крупнообъемное золотое оруденение и оценка локализованных в них прогнозных ресурсов.

Месторождение приурочено к ядру Тенькинской антиклинальной складки северо-западного простирания, сложенной флишоидной толщей среднеслоистых алевролитов аргиллитов, содержащих в своем составе туфовый материал. В строении месторождения участвуют осадочные породы нижнепермского возраста радионовской свиты. Они представляет собой монотонную флишоидную толщу, образованную невыдержанным (неритмичным) переслаиванием мелкозернистых песчаников, песчаных и глинистых алевролитов, содержащих в различных концентрациях туфовый материал.

Геофизические работы были проведены в пределах центральной части рудного поля с целью прослеживания рудных зон, выявления их структурных особенностей, неоднородностей внутреннего строения, рудоконтролирующих факторов методами вертикального электротондирования в варианте частотной дисперсии (ВЭЗ-ЧД), электротондирования методом ЗСБ и пешеходная магнитная съемка.

Анализ результатов электрических зондирований показывает, что толща осадочных пород пермского возраста, слагающих участок Родионовский, может быть представлена в виде многослойного геоэлектрического разреза, характеризующегося чередованием слоев высокого и низкого удельных сопротивлений. Среднее сопротивление по профилям наблюдений возрастает с юго-востока (350 Ом*м) на северо-запад участка до 2000 Ом*м.

По результатам количественной интерпретации материалов ЗСБ на участке Родионовский выделяется пять уровней градации сопротивления: 0.1-10 Ом*м, 10-100 Ом*м, 100-500 Ом*м, 500-1500 Ом*м, 2000-5000 Ом*м.

Магнитное поле исследуемой территории имеет достаточно дифференцированный характер, изменяющийся в диапазоне от -90 до 180 нТл. Общий рисунок магнитного поля представляется в виде чередования линейных, положительных и отрицательных аномальных зон, северо-западного простирания. Мощность зон составляет от 200 до 400 метров, что вполне соизмеримо с шириной выходов рудных зон на поверхности. Аномальные зоны пространственно контролируют выявленные рудные зоны и

отражают рудоконтролирующие структуры, которые, судя по линейности, скорее всего, имеют тектоническое происхождение.

По результатам геофизических исследований установлено сложное, неоднородное строение структуры месторождения, отражающее положение как известных, так и предполагаемых рудных зон (крутопадающих и пологозалегающих, в отдельных случаях «слепых»), которые находят разнообразное отражения в физических полях. Основными геофизическими критериями для выделения перспективных зон являются следующие признаки:

- Аномально высокий уровень сигнала становления поля обусловлен наличием в вертикальном разрезе многократного повторения благоприятных структур сопряжения полого- и крутозалегающих тектонических зон;
- Наличие линейных положительных аномалий магнитного поля.

В результате геофизических работ, основным элементом, которой является зона развития тектонизированных, метасоматически проработанных осадочных пород с ресурсами, установленных по данным комплексом геофизических работ, позволяет говорить о Радионовском месторождении, как о крупном.



Рисунок 1. Месторождение Родионовское расположено вблизи районного центра Усть-Омчуг в 60-и километрах к юго-востоку от месторождения Павлик.

Литература

1. В.А. Сидоров Результаты работ в пределах Очман-Сентябрьского и Пионерского рудных узлов.// Министерство природных ресурсов Российской Федерации Территориальное агентство по недропользованию по Магаданской области 2006. с. 256.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ НЕСТАЦИОНАРНЫХ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ И МАГНИТОРАЗВЕДКИ ПРИ РЕШЕНИИ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Шевченко В.А. (МГРИ, shevchenkov.a@yandex.ru)

Аннотация

В работе рассматривается возможность применения нестационарных методов электроразведки (ЗСБ, МПП) и магниторазведки при геофизическом сопровождении археологических изысканий на различных объектах.

Ключевые слова: геофизика, электроразведка, ЗСБ, МПП, магниторазведка, археология.

Цель работы – на основе моделирования оценить возможность применения нестационарных электроразведочных методов, таких как Зондирование становлением в ближней зоне (ЗСБ) и Метод переходных процессов (МПП) при решении археологических задач, и сравнение с магниторазведкой.

Археологические объекты разнообразны, одни удачно описываются горизонтально-слоистыми моделями, другие – моделями локальных объектов (например, шаром). К первой группе можно отнести линейно-вытянутые объекты достаточной ширины, такие как, крепостные валы, остатки стен, улицы, рвы, а также, слоистые структуры типа насыпей, отсыпок, площадей. Ко второй группе можно отнести всевозможные артефакты, захоронения, столбовые ямы, кострища, различные печи, хозяйственные ямы и прочее. Общим для различных объектов является, как правило, небольшая глубина залегания (в пределах первых метров), определяемая мощностью культурного слоя.

Задача поиска археологических объектов, в большинстве случаев, успешно решается магниторазведочными работами, однако интерпретация магнитных аномалий может быть затруднительной в связи со сложной формой аномалиеобразующих объектов и суперпозицией полей от близко расположенных объектов. Также, стоит отметить, что не все археологические объекты обладают достаточно контрастными магнитными свойствами. Исследование разреза по глубине, например, картирование подошвы культурного слоя, тоже не решается магниторазведкой.

Вышеперечисленные проблемы могут быть решены, например, путём применения электротомографии или георадара. В тоже время, в случае неэффективности георадара (например, при сильноглинистых грунтах), возможность быстрых точечных зондирований с применением ЗСБ (МПП) позволяет проследить тот или иной горизонт, получить дополнительную информацию об объекте, выделенном по данным магниторазведки.

Поскольку археологические задачи требуют локальности исследования и точности определения точки записи, электроразведочные методы рассматриваются с применением соосных установок.

На рисунке 3 приводится модель крепостного вала и модельные кривые для установки с генераторной петлёй 25 м², измерительной петлёй 4 м², и током 20А. Можно видеть, что при таких параметрах измерения применение ЗСБ не эффективно. Существующая аппаратура не позволяет получать сигнал с первых мкс, соответствующих первым метрам разреза, что затрудняет применение нестационарных методов электроразведки при изучении археологических объектов.

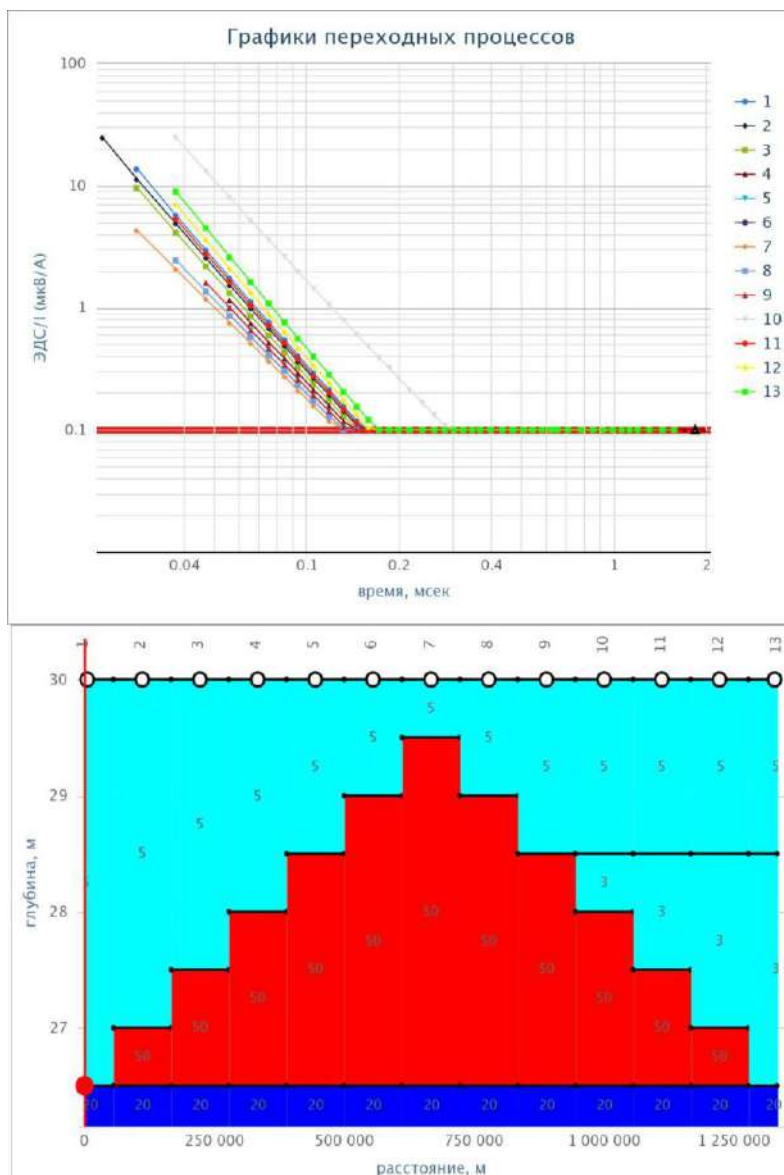


Рисунок 2 Модель крепостного вала и модельные кривые. Слои модели – материк (20 Ом*м), современные отложения (5 Ом*м), вал (50 Ом*м), культурный слой (3 Ом*м)

Литература

1. Логачёв А.А., Захаров В.П. Магниторазведка // Л.: Недра, 1973. - 352 с.
2. Г.С. Франтов, А.А. Пинкевич Геофизика в археологии. // Л.: Недра, 1966. 212 с.
3. Смекалова Т.Н., Восс О., Мельников А.В. Магнитная разведка в археологии. 12 лет применения Оверхаузеровского градиентометра GSM-19WG // Монография. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2007. — 74 с.
4. Якубовский Ю.В., Ренард И.В. Электроразведка // Учебник. — М.: Недра, 1991. — 358 с.
5. А.И. Мартынов Археология // Учебник. — 5-е изд., перераб. — М.: Высш. шк., 2005. — 447 с.
6. И. А. Аржанцева, А. А. Тажекеев, Г. Харке и др. Комплексные исследования городища Джанкент (работы 2011-2014 гг.) // "Арыс" Алматы, 2014. — 320 с.

ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ СОВРЕМЕННОЙ НАЗЕМНОЙ И НИЗКОВЫСОТНОЙ МАГНИТОРАЗВЕДКИ

Щербакова К.О. (МГРИ, ksenia.scherbakova4@gmail.ru), Овезов Б.А. (МГРИ, batyr.ovezov@gmail.ru)

Аннотация

Магниторазведка является самым первым прикладным геофизическим методом поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Широкое использование магниторазведки началось с изобретения А.Шмидтом в 1915г [6] вертикальных магнитных весов, позволяющих быстро производить измерения вертикальной составляющей магнитного поля с погрешностью 5 - 10 нТл. Но с появлением феррозондовых и квантовых магнитометров, производительностью и точностью превосходящих на два порядка механические приборы, наземная магниторазведка «ушла» в воздух, и основные задачи и объемы работ стали решаться с использованием аэромагниторазведки.

Ключевые слова: магниторазведка, геофизика, магнитное поле, магнитометр, аэромагниторазведка.

Развитию аэромагниторазведки способствовала возможность уменьшения магнитных помех на некоторой высоте вызванных загрязнением поверхности железосодержащими предметами. Однако аэромагниторазведка проводится на достаточно большой высоте (от 150м и выше), этим технологиям требуются большие площади исследований и наличие самолетов или вертолетов, поэтому эти технологии целесообразно применять при региональных и мелкомасштабных исследованиях, но никак не при детальном поисках и разведки. Данные аэромагниторазведки всегда требуют наземной заверки обнаруженных аномалий. Поэтому окончательно «забывать» наземную магниторазведку нельзя. К тому же некоторые геологические задачи принципиально не могут быть решены с помощью авиасъемок. Перечислим и обоснуем некоторые из этих задач:

1. Наземная микромагнитная съемка, основы которой разработаны Лаутербахом [5]. Этот вид работ позволяет успешно решать широкий круг прикладных инженерно-геологических, гидро-геологических, гео-экологических и геолого-технологических задач. Результаты этих работ представляют в виде роз направленности аномалий, которые отражают направление трещиноватости пород, текстуру, направление фильтрационных водных потоков и др.
2. Геокриологическое картирование верхней части разреза в северных территориях. В настоящее время интенсивно осваиваются северные районы РФ в связи с добычей углеводородного сырья, строительством трубопроводов, заводов по сжижению газа и других промышленных объектов. Верхняя часть геологического разреза в таких районах очень неоднородна и содержит местами подземные жильные льды (булгуняхи, массивные пластовые льды, неравномерное распределение льдистости пород). Наземная магниторазведка в этих районах в комплексе с детальной гравиразведкой позволяет уверенно картировать наличие таких объектов и является наиболее эффективным методом решения таких задач по соотношению «цена/качество» получаемой информации [1, 6].

3. При инженерно-геологическом обосновании участков под строительство новых инженерных объектов, на промышленно развитых территориях необходимо обнаруживать старые металлические конструкции, скважины, заброшенные трубопроводы и другие «забытые» объекты, которые могут быть препятствием при строительстве новых сооружений. В этом случае наземная магниторазведка незаменима.
4. Наземные магнитометрические измерения широко используются при археологических раскопках и обнаружении стоянок поселений древних людей. Физической основой магниторазведки в этих задачах является наведенная намагниченность в результате обжига материалов (пород) из которых изготавливались кирпичи, посуда и другие предметы. В 1991 году сотрудники МГРИ-РГГРУ (Ренард И.В.) успешно обследовали в Крыму Аджимушкайские пещеры, которые служили базой и убежищем крымских партизан во время Отечественной войны. Были найдены бесценные исторические документы, свидетельствующие о героизме советских людей в борьбе с фашистскими захватчиками на территории Крыма.
5. Одним из необычных направлений наземной магниторазведки является ее применение для подтверждения предполагаемых по петрофизическим и геологическим методам импактных (ударных) структур. Так, в 2000-м году геофизики кафедры ЭГМ (Лобанов В.М., Булатов Б.С.) проводили наземные магнитометрические и гравиметрические работы на предполагаемой импактной структуре Архыз (Хрянина Л.П.). Полученные данные подтвердили модельные расчеты. Эти данные послужили основанием для занесения этой структуры в международный архив импактных структур Земли.
6. В настоящее время в арсенале геофизиков появились автономные летательные аппараты (дроны), которые начинают успешно применяться для съемки труднодоступных участков на небольшой (50-70м) высоте. При этом повышается точность измерений, производительность, практически отсутствуют труднодоступные для пешего передвижения участки работ.

Литература

1. Гладкий К.В., Лобанов А.М., Мельников В.П. Влияние поверхностных геологических неоднородностей на изменения гравитационного и магнитного полей. – В кн.: Разведочная геофизика, вып 64, М., «Недра», 1974, с. 139-144.
2. Уникальный комплекс беспилотной геофизической разведки, разработанный в ИРНТУ, успешно испытан в Бодайбинском районе. URL: <https://www.istu.edu/news/26126/>
3. A.A.R. Zohdy, G.P. Eaton, and D.R. Mabey. Techniques of water-resources investigations of the United States geological survey. Application of surface geophysics to ground-water investigations.
4. Mauersberger P. Lucke O. Lauterbach R. Fröhlich F. 1959Über das aus dem Erdinneren stammende Magnetfeld, in, ed.
5. Schmidt Magnetometer. Americanhistory.si.edu
6. Богоявленский В.И. Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала и Таймы- ра // Бурение и нефть, 2014а, № 9, с. 13–18.

ОЦЕНКА ГЛУБИНЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛОТНОСТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГИС ИНТЕГРО

Щербакова М.Н.* (РГГРУ, e-mail: marshrutkams@mail.ru),
Пиманова Н.Н. (РГГУ, ФГБУ ВНИГНИ, e-mail: nadja@geosys.ru)

Аннотация

Работа посвящена изучению распределения плотностных неоднородностей в верхней части земной коры на юго-востоке Фенноскандинавского щита. На основе петроплотностной карты были оконтурены области, различающиеся по плотности. Рассчитан прямой гравитационный эффект от 3D плотностных моделей с различными вариантами распространения неоднородностей на глубину. Сравнение расчетного и локальной составляющей наблюдаемого поля позволило оценить глубину выклинивания поверхностных тел.

Ключевые слова: 3D плотностная модель, юго-восточная часть Фенноскандинавского щита, решения прямой и обратной задач гравиразведки.

Построение 3D модели распределения плотности в верхней части земной коры проводилось для территории, расположенной в юго-восточной части Фенноскандинавского щита. Структурно-геологическая позиция района работ определяется его приуроченностью на северо-востоке к Карельскому кратону, на юго-западе – к Свекофеннской складчатой области. На изучаемой площади с юго-востока на северо-запад протягивается Ладожско-Ботническая (Раахе-Ладожская) зона разломов, расположенная на границе вышеперечисленных геоблоков (рис. 1).

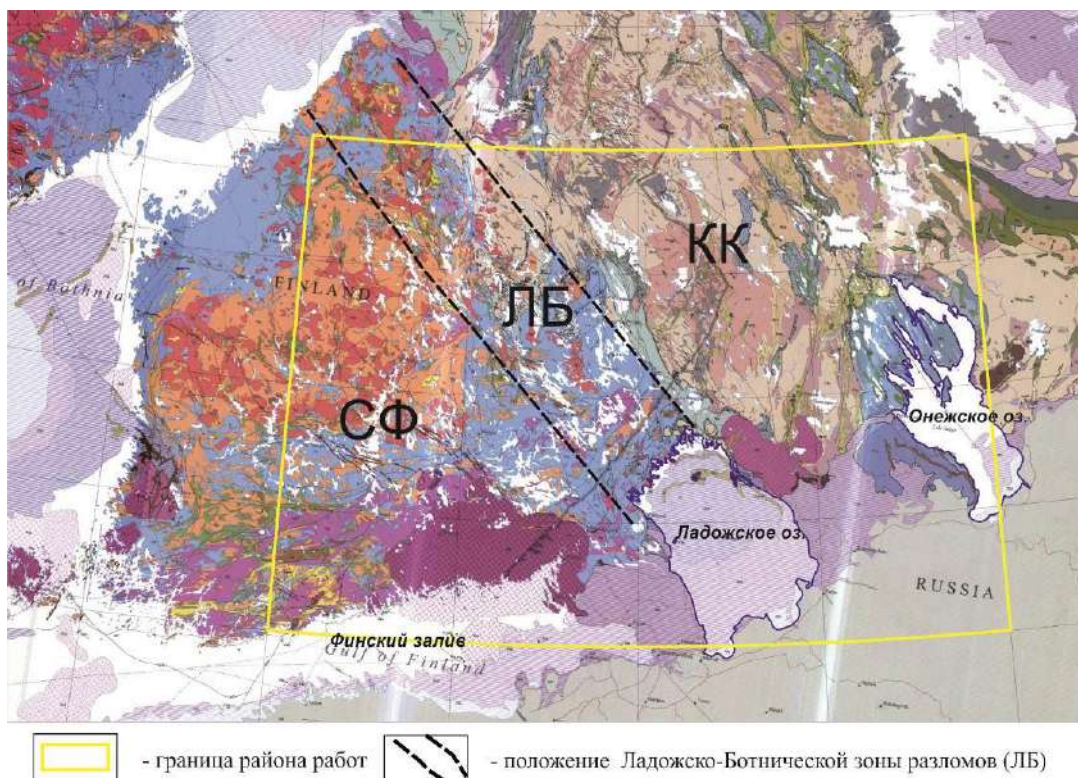


Рисунок 1. Положение района работ на геологической карте (GSF). Основные тектонические структуры: КК - Карельский кратон, СФ - Свекофеннская складчатая область, ЛБ - Ладожско-Ботническая зона разломов

Работа посвящена изучению распределения плотностных неоднородностей в верхней части земной коры. Эта задача имеет как самостоятельную ценность для геологов с точки зрения оценки глубины распространения отдельных тел или массивов пород, выходящих на поверхность, а также является одним из аспектов при изучении распределения плотностных неоднородностей в земной коре в целом. Оценка вклада верхней части земной коры в наблюдаемое гравитационное поле позволяет его отредуцировать и более обоснованно делать выводы о плотности более глубоких слоев земной коры.

Анализ петроплотностной карты показал, что район работ характеризуется высокой дифференциацией плотности пород. Основная толща щита сложена гранито-гнейсами и сланцами с плотностями 2.72-2.74 г/см³. На фоне этих пород выделяются тела основного и ультраосновного состава зеленокаменных поясов с очень высокой плотностью до 2.98 г/см³ и гранитные массивы с низкой плотностью - 2.56-2.6 г/см³.

Работа проводилась с помощью геоинформационной системы ГИС ИНТЕГРО (Отделение геоинформатики «ВНИИГеосистем» ФГБУ «ВНИГНИ»), которая позволила векторизовать петроплотностную карту, построить на ее основе 3D блоковые и 3D слоисто-блоковую плотностные модели верхней части разреза и рассчитать прямой гравитационный эффект от этих 3D моделей.

3D блоковые модели распределения плотности были построены для нескольких вариантов глубины: 2, 3, 5, 7, 10 км. Для каждого варианта было рассчитано гравитационное поле.

Для анализа глубины залегания отдельных тел рассчитанный гравитационный эффект сравнивался как с наблюдаемым полем, так и с его локальной составляющей. Для каждой глубины фиксировались тела, рассчитанный гравитационный эффект от которых был близок к амплитуде локальных аномалий наблюдаемого поля. Для этого находились разность наблюдаемого и расчетного полей и фиксировались тела, для которых она была близка к 0.

В результате построена суммарная 3D слоисто-блоковая модель (до 10 км), в которой учтена глубина распространения отдельных неоднородностей.

Рассчитанный для этой модели гравитационный эффект может быть учтен при построении 3D моделей распределения плотности в земной коре.

Литература

1. Петроплотностная карта геологических формаций восточной части Балтийского щита. 1:1000000/ Ред. Н.Б. Дортман, М.Ш. Магид. М. Аэрогеология. 1978. 7л.
2. Черемисина Е.Н., Финкельштейн М.Я., Любимова А.В. ГИС ИНТЕГРО – импортозамещающий программно-технологический комплекс для решения геолого-геофизических задач. Геоинформатика. 2018. №3, с.8-17

К ОПИСАНИЮ ТЕМПЕРАТУРНО-БАРИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СРЕД С РАЗЛИЧНОЙ УПОРЯДОЧЕННОСТЬЮ НА ПРИМЕРЕ ХАЛЬКОГЕНИДА МЫШЬЯКА

Эмиров С.Н. (Институт проблем геотермии ДНЦ РАН, wemirov@mail.ru),
Бейбалаев В.Д. (Дагестанский государственный университет,
kaspj_03@mail.ru), Амирова А.А. (Институт физики ДНЦ РАН, anise65@mail.ru),
Давудов И.А. (Дагестанский государственный технический университет,
ibragim-davudov@mail.ru), Аливердиев А.А. (Институт проблем геотермии ДНЦ
РАН, aliverdi@mail.ru)*

Аннотация

На примере экспериментальных температурно-барических зависимостей различных модификаций халькогенида мышьяка (стеклообразной аморфной и поликристаллической) обсуждаются особенности теплопереноса в средах с различным упорядочением.

Ключевые слова: теплопроводность, горные породы, высокие давления

Результаты лабораторных исследований горных пород в условиях высоких давлений в сочетании с высокими температурами позволяют выявить закономерности термодинамических и физико-химических процессов, протекающих в недрах, и используются во множестве как фундаментальных, так прикладных задач различных областей науки.

При гидростатическом сжатии в горной породе возникают внутренние напряжения сложного характера, которые вызывают изменение ее объема и упругих параметров решетки. При этом в горных породах под воздействием внутренних напряжений развиваются продольные и поперечные деформации.

Процесс переноса тепла в твёрдых телах с упорядоченной кристаллической структурой носит волновой характер, описывается моделями Эйкина и Дебая, и имеет температурную зависимость $\lambda \approx T^{-1}$, в то время как процесс переноса тепла в твёрдых телах с аморфной структурой носить активационный характер (т.е. передача тепла от атома к атому) и имеет температурную зависимость $\lambda \approx T^{0.5}$. В неупорядоченных кристаллических твёрдых телах атомы занимают правильное положение в узлах кристаллической решётки, но порядок расположения атомов различных сортов не соблюдается. Таким образом, в неупорядоченных структурах массы атомов и их силовые константы беспорядочно меняются от узла к узлу, что вызывает дополнительное рассеяние тепловых волн (фононов). Такие вещества являются переходными между кристаллическими и аморфными твёрдыми телами, которые от первых сохранили правильную решётку, а от вторых они имеют неупорядоченный характер расположения атомов разных сортов в узлах этой решётки. Кроме того, значительное влияние на величину λ эффективной теплопроводности оказывают границы блоков и дефекты кристаллической решётки. Поэтому процесс переноса тепла в неупорядоченных структурах носит сложный характер.

На величину эффективной теплопроводности оказывает гидростатическое давление (P), увеличивающее температуру Дебая за счёт увеличения максимальной частоты колебания атомов. Кроме того, согласно общей теории Ландау самое незначительное смещение атомов кристаллической решётки и незначительное изменение объёма твёрдого тела в начальной стадии давления в поликристаллических

соединениях может приводить к возникновению обратимого фазового перехода второго рода.

В наших недавних работах [1-3] был представлен анализ экспериментальных зависимостей теплопроводности образцов естественных и искусственных композитных материалов и предложены малопараметрические описание барической зависимости, по экспериментальным данным вычислены входящие в уравнение величины. В настоящей работе мы представляем результаты экспериментального сравнительного исследования двух модификаций халькогенида мышьяка.

При синтезе халькогенида мышьяка можно получить, в зависимости от отжига, в аморфном и поликристаллическом состояниях. Это дает возможность сопоставить закономерности изменения теплопроводности под давлением одних и тех же химических соединений в аморфном и кристаллическом состояниях, т. е, влияние блочной структуры на барическую зависимость теплопроводности.

Низкая подвижность и малая концентрация носителей тока в обоих состояниях исследуемого материала приводит к низкой величине электронной и биполярной составляющих теплопроводности, и, таким образом, результаты могут быть применены для интерпретации процессов теплопереноса горных пород сходного состава, но различной степени упорядоченности.

Экспериментальные данные по влиянию всестороннего давления до 320 МПа в области температур 273÷423 К на теплопроводность As_2S_3 представлены в целом с

большой точностью описываются как $\lambda(T, P) = \lambda(T_0, P_0) \cdot f(P) \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{n(P)}$ [3], где λ_0 -

теплопроводность при фиксированных температуре T_0 и давлении P_0 , а $f(P)$ и $n(P)$ – безразмерные барические функции.

На рисунке 1 представлены барические зависимости $n(P)$ для обеих модификаций As_2S_3 . Всестороннее давление приводит к ослаблению температурной зависимости теплопроводности As_2Se_3 и изменения показателя n от ≈ -1 при низких давлениях до -0.82 при $P=330$ МПа.

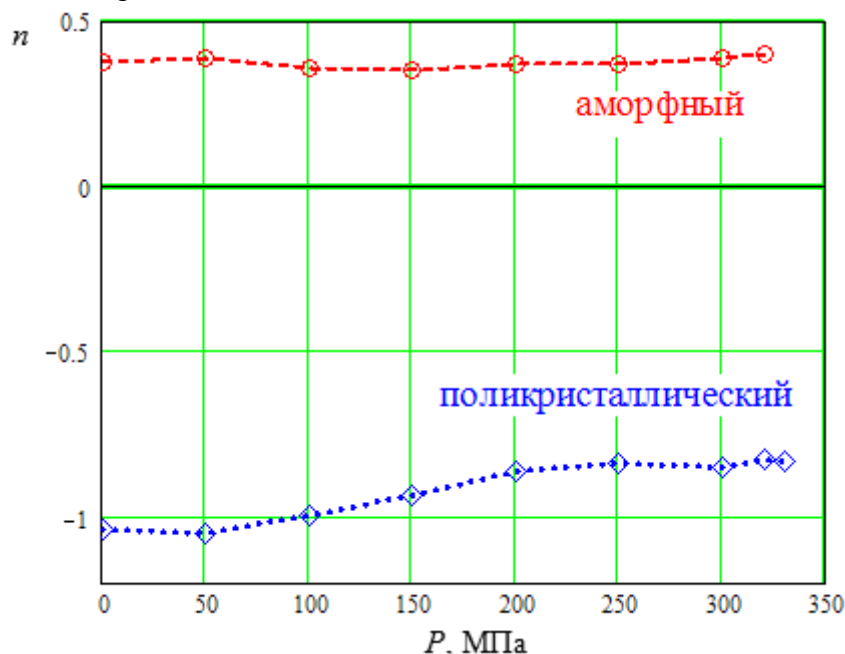


Рисунок 1. Барическая зависимость n для аморфного и кристаллического соединения As_2S_3 .

Рисунок 2 демонстрируют абсолютные (а) и относительные (б) барические зависимости теплопроводности при фиксированной температуре $T_0=423$ К.

Как показывает рисунок 3, всестороннее давление до 320 МПа также приводит к практически линейному увеличению теплопроводности на 14% для аморфного образца, в то время как для поликристаллического образца наблюдается существенно больший (до 21%) и нелинейный рост теплопроводности с давлением. Следует отметить, что аналогичная линейная зависимость теплопроводности от давления получена и для плавленого кварца. Таким образом, в данном стеклообразном полупроводниковом соединении давление и температура приводит к росту теплопроводности.

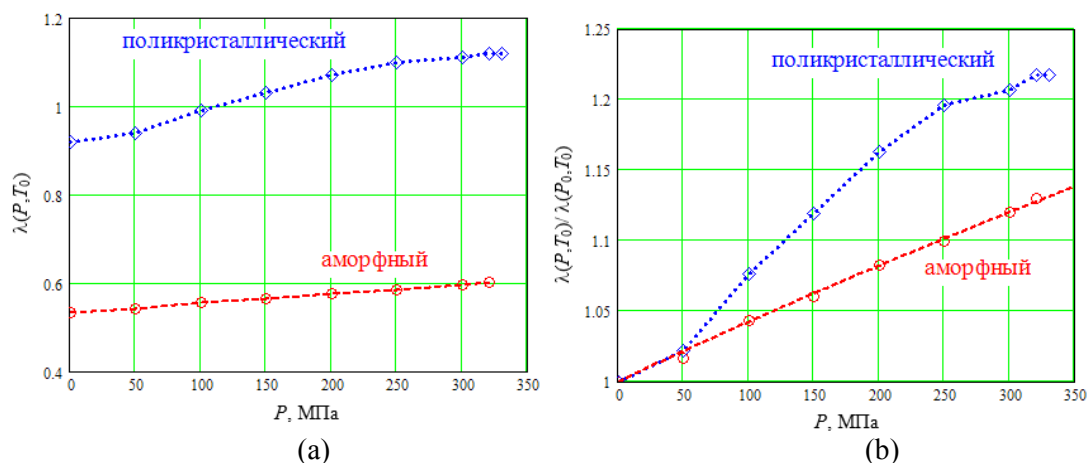


Рисунок 2. Абсолютные (а) и относительные (б) барические зависимости теплопроводности при фиксированной температуре $T_0=423$ К. для аморфного и кристаллического соединения As_2Se_3 .

Сравнительный анализ с экспериментальными данными, полученными для различных горных пород, будет представлен в докладе.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 18-08-00059а.

Литература

1. Эмиров С.Н., Бейбалаев В.Д., Рамазанова А.Э., Гаджиев Г.Г., Амирова А.А., и Аливердиев А. А. О температурных и барических закономерностях изменения теплопроводности горных пород // Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого. 2017. №5(103). С. 52-66
2. Эмиров С.Н., Бейбалаев В.Д., Рамазанова А.Э., Давудов И.А., Амирова А.А., и Аливердиев А. О температурных и барических закономерностях изменения теплопроводности композитных материалов // Известия РАН, Серия Физическая. 2018. Т. 82. № 7. С. 142–145.
3. Эмиров С.Н., Алхасов Ш.М., Бейбалаев В.Д., Рамазанова А.Э., Амирова А.А., Гаджиев Г.Г. и Аливердиев А.А. Описание температурно-барической зависимости теплопроводности естественных и искусственных композитов // ТПТ. 2019. Т. 11. №3. С. 34-38.