

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



ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
ТОМ IV

XVI

Международной научно-практической конференции
«Новые идеи в науках о Земле»

XVI

International Scientific and Practical Conference
«NEW IDEAS IN EARTH SCIENCES»

6 - 7 апреля 2023 г. | April 6 - 7, 2023

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 XVI Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле» (к 105-летию МГРИ)- М.: Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДочный УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2023.

Т. 4 : Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле: : Бурение скважин, гидрогеология, инженерная геология / ред. коллегия: Ю.П. Панов, Ю.В. Зворыкина. - М.: Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДочный УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2023. - 468с.

ISBN 978-5-907594-15-9

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

ISBN 978-5-907594-15-9 (Том 4)
ISBN 978-5-907594-11-1

© РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДочный УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2023

Оглавление:

Секция №11. Бурение скважин.	13
Совершенствование конструкции разбуриваемого бурового башмака. Белокооровкин С. А. (АО «Самарский резервуарный завод», s.belokorovkin@yandex.ru), Борейко Д. А.* (ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», dboreiko@ugtu.net), Сериков Д. Ю. (ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина», serrico@rambler.ru)	13
Совершенствование систем смазки опорных узлов шарошечного бурового инструмента. Белокооровкин С. А. (АО «Самарский резервуарный завод», s.belokorovkin@yandex.ru), Сериков Д. Ю. (ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина», serrico@rambler.ru), Борейко Д. А.* (ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», dboreiko@ugtu.net), Близнюков В. Ю. (академик РАН, vublizn@yandex.ru).....	17
Лучшее из двух миров – гибридная роторная управляемая система. Белугин А. А.* (РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, SasaBelugin@yandex.ru), Гвоздяный С. Е. (НИТУ МИСиС, gvozduc@yandex.ru)	21
Факторы и силы, влияющие на керн и выбор керноотборных устройств для бурения в различных геолого-технических условиях. Бондарев В.Н.* (МГРИ, anzhel.22@mail.ru),	25
Обоснование параметров резки бокового ствола скважины на примере Самотлорского нефтяного месторождения. Крынин В.А.* (МГРИ, kryninivictor@mail.ru), Соловьев Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgrid.ru).....	28
Исследование использования Нелинейной волновой технологии при бурении. Алабед Алтаббал А.А.* (Уфимский государственный нефтяной технический университет.en.azhartabbal@gmail.com), Алали А.М. (Уфимский государственный нефтяной технический университет, ahmad95479@gmail.com)	32
Разработка мероприятий по устранению прихватов при бурении скважин. Алимова М.М.* (МГРИ им. С. Орджоникидзе, munisaalimova999@gmail.com), Соловьев Н.В. (МГРИ им. С. Орджоникидзе, solovyevnv@mgrid.ru).....	36
Применение экологической чистой добавки для буровых растворов. Аль-Шаргаби Мохаммед (Инженер ТПУ, al_shargabi@tpu.ru).....	40
Разработка способа предупреждения поглощения бурового раствора при выполнении технологической операции в процессе бурения скважин. Ахундов Ф.А.* (Институт Нефти и Газа, fataliaxundov@gmail.com)	44
Технология борьбы с дифференциальными прихватами. Донченко Д.С.* (Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, donchenko_dar@mail.ru), Третьяк А.Я. (Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, 13050465@mail.ru), Кузнецова А.В. (Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, alvitkuz@yandex.ru)	48
Проектирование профиля наклонно-направленной скважины с горизонтальным окончанием на Астраханском газоконденсатном месторождении. Задваев Н.Б.* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», paup.n.zadvaev.01@mail.ru), Вайнерман Б.П. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», bwinerman@yandex.ru).....	52
Возможности интерактивного управления алмазным бурением. Зотов З.Г.* (Сибирский федеральный университет, e-mail: zotovz2@bk.ru), Попова М.С. (Сибирский федеральный университет, e-mail: alleniram83@mail.ru)	56
Разработка и повышение эффективности динамически стабилизирующего породоразрушающего инструмента. Иванов Д.С.* (Сибирский федеральный университет, e-mail: ivanov-mels@mail.ru),	

Петенев П.Г. (Сибирский федеральный университет, e-mail: pavel-whait@mail.ru), Нескоромных В.В. (Сибирский федеральный университет, e-mail: sovair@bk.ru)	59
Влияние смазочных свойств промывочной жидкости на коэффициент трения буровой колонны о стенки скважины. Кривошеев К.В.* (Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, 13050465@mail.ru), Третьяк А.Я. (Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, 13050465@mail.ru), Карельская Е.В. (Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, ekaterina_karelskaya@bk.ru)	62
Анализ технической целесообразности и экономической эффективности алмазного бурения с гидротранспортом керна. Кириков Д.В.* (Сибирский Федеральный Университет, denis.kirikov.99@bk.ru), Нескоромных В.В. (Сибирский Федеральный Университет, sovair@bk.ru)	66
Исследование гидродинамических процессов при бурении скважин различного назначения с применением наддолотного калибратора-эжектора. Борейко Д. А.* (ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», dboreiko@ugtu.net), Сериков Д. Ю. (ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина», serrico@rambler.ru)	71
Воздействие экологизации технологических процессов при строительстве скважин на окружающую среду. Губайдуллин С.Г.* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», s.g1999@yandex.ru).....	75
Использование безмуфтовых обсадных труб в процессе бурения. Гугля С.И.* (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, e-mail: 13050465@mail.ru), Онофриенко С.А. (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, e-mail 13050465@mail.ru).....	79
Сравнительный анализ показателей процесса направленного бурения скважины АГКМ с применением РУС и ВЗД. Денисов Денис Александрович* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», denisovden677@yandex.com), Ганин Игорь Павлович (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», ganinip@mgri.ru)	83
ВИМ-технологии в нефтегазовой отрасли. Ковалев Н.А.* (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, kovalev_nikita2003@mail.ru), соавтор Карельская Е.В. (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, ekaterina_karelskaya@bk.ru), соавтор Хорохордина А.В. (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, purissenkova@mail.ru)	87
Разработка конструкции съемного отклоняющего комплекса. Комаровский И. А.* (Сибирский федеральный университет, igorkomarovskij702@gmail.com).....	91
Обзор перспективных интеллектуальных технологий и сценариев их применения в строительстве нефтегазовых скважин. Коноплянников А.В.* (Санкт-Петербургский Горный Университет, konoplyannikovaleksandr@gmail.com)	94
Причины снижения герметичности крепи скважины в условиях аномально-высоких пластовых давлений. Коптева А.И.* (Санкт-Петербургский горный университет, anas.kopteva2017@yandex.ru), Шаньшеров А.В.* (Санкт-Петербургский горный университет, mr.shansherov@mail.ru), Сидоркин Д.И. (Санкт-Петербургский горный университет, sidorkin_di@pers.spmi.ru).....	98
Моделирование свойств горных пород на основе комплексной геолого-геофизической информации. Кирисенко О.Г.* (Институт нефти и газа НАН Азербайджана, oleg.kirisenko@gmail.com), Пиривердиев И.А. (Институт нефти и газа НАН Азербайджана, igorbaku@yandex.ru), Бунятов А.А. (Ближневосточный технический университет, adnan.buny@gmail.com).....	102

Повышение коррозионной стойкости тампонажных материалов в условиях сероводородной агрессии. Курамшина Э.Р.* (МГРИ, evelina.kuramshina.02@gmail.com)	106
Оценка интенсивности поглощений бурового раствора на Среднеботуобинском месторождении. Левенец Н.А. (Тюменский индустриальный университет, nlevenetc@mail.ru).....	109
Математическая модель определения расчетной нагрузки буровой установки с учетом глубины бурения геологоразведочной скважины. Ломаев С.С.* (МГРИ, serrega300491@mail.ru), Головин С.В. (МГРИ, golovinsv@mgrid.ru), Меркулов М.В. (МГРИ, merkulovmv@mgrid.ru)	112
Анализ условий и обоснование эффективных областей применения технологии вскрытия пласта с управляемым давлением. Лукманов С.М.* (МГРИ, lukmanov.sergey@mail.ru).....	116
Исследование влияние добавки наночастиц на свойства буровых растворов. Кривошеев К.В.* (Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, 13050465@mail.ru); Третьяк А.А. (Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, 13050465@mail.ru); Карельская Е.В. (Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, ekaterina_karelskaya@bk.ru)	120
Оценка качества очистки ствола скважины с целью оптимизации режимов промывки на Фестивальном месторождении. Магсумов Б.Р.* (МГРИ, magsumov.br@gmail.com)	123
Нефтегазовая отрасль в эпоху индустрии 4.0. Матеха А.Е.* (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, matehasacha@yandex.ru) Борисов К.А. (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, e-mail 13020165@mail.ru).....	127
Анализ использования геонавигационных технологий и задачи, решаемые с их применением на примере бурения нефтегазовых скважин в Ямало-Ненецком автономном округе. Молотков Д.А.* (МГРИ, steampr@gmail.com), соавтор Сырчина А.С. (МГРИ, syrchinaas@mgrid.ru)	131
Результаты построения 3D моделей геологических структур месторождений углеводородов. Мусин.И.Р.* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», ilyas.musin.172001@mail.ru), Вайнерман Б.П. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», bwinerman@yandex.ru).....	135
Разработка технологических и технических средств для предупреждения и ликвидации прихвата бурильной колонны. Мухаметдинов Ю.И.* (МГРИ, muhametdinovulaman@gmail.com), Соловьев Н.В.(МГРИ, solovyevnv@mgrid.ru)	139
Применение гиперболы в энергосберегающих профилях геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые шельфа. Назаров А.П.* (мгри, nazarov_ap.mgrid.ru), Судоплатова А.А. (мгри, sudoplatovaaa@mgrid.ru).....	143
К вопросу оценки процесса формирования и выхода керновой пробы при бурении геологоразведочных скважин (на примере месторождения «Тюбегатан»). Насимов Ж.А.* (Государственное учреждение «Институт минеральных ресурсов», jnasimov@yandex.ru), Аширов Ф.У. (Государственное учреждение «Институт минеральных ресурсов», info@mridm.uz), Кобилев З.М. (Государственное учреждение «Институт минеральных ресурсов», info@mridm.uz).....	147
Моделирование процесса разрушения горных пород при взаимодействии зубка шарошечного долота с забоем скважины. Нахангов Х.Н.* (МГРИ, hoji79@mail.ru), Тошов Ж.Б. (ТГТУ, j.toshov@tdtu.uz)	150
Разработка конструкции алмазного долота для направленного бурения. Лысаков Д.В.* (Сибирский федеральный университет, Lysackovd@yandex.ru)	152

Анализ технологии очистки призабойной зоны пласта нагнетательной скважины для повышения эффективности работ. Родин Я.С.* (МГРИ, yan.rodin@mail.ru).....	156
Способы предотвращения катастрофических поглощений бурового раствора на месторождениях республики Саха. Рожкова Д.С.* (Тюменский индустриальный университет, rozhkovaov@tyuiu.ru), Федоров Н.Г. (Тюменский индустриальный университет, thetime13@mail.ru).....	160
Обоснование эффективных методов кислотной обработки коллекторов с целью повышения нефтеотдачи. Садыкова А.Р.* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», alinka.99.sadykova@mail.ru), Соловьев Н.В. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», solovyevnv@mgrid.ru)	164
Буровое долото для бурения мягких пород с усовершенствованной геометрией калибрующего конуса шарошек. Сериков Д. Ю. (ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина», serrico@ Rambler.ru), Борейко Д. А.* (ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», dboreiko@ugtu.net).....	168
Механизм дифференциальных прихватов при бурении в активных шоколадных глинах. Соколенко С.С.* (МГРИ, sokolstas25@gmail.com), Соловьев Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgrid.ru)	172
Применение очистного агента на водной основе для бурения скважин в две колонны. Нурумбаев А.А. (МГРИ, artur17-00@yandex.ru). Научный руководитель: Овчинников П. В. (МГРИ, ovchinnikovpv@mgrid.ru)	176
Направления повышения эффективности строительства скважин. П.В. Овчинников* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), ovchinnikovpv@mgrid.ru)	180
Обзор существующих алмазно-твердосплавных пластин долот PDC. Г.С. Пеливанов * (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, e-mail: 13050465@mail.ru), Лубянова С.И. (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, e-mail 13050465@mail.ru).....	184
Обоснование параметров геонавигационного комплекса для управления технологией бурения скважин с применением сети 5G. Резникова А.* (МГРИ, reznikova@mgrid.ru), Соловьев Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgrid.ru).....	188
Мероприятия по увеличению нефтеотдачи высоковязкой нефти. Фендик И.В.* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», ifendik@bk.ru), Вайнерман Б.П. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», bwinerman@yandex.ru).....	192
Система моделирования на основе автоматизированных систем мониторинга процесса бурения. Филатов И.Е.* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, filatov88ff@yandex.ru); Меркулов М.В. (МГРИ, merkulovmv@mgrid.ru)	196
Анализ факторов вызывающих образование скоплений газогидратов на месторождениях углеводородов. Ходак Е.Е.* (МГРИ, hodakee@mgrid.ru), Сырчина А.С. (МГРИ, syrchinaas@mgrid.ru)	200
Оценка стабильности буровых растворов, содержащих полимерные реагенты различной природы происхождения. Цуканова А. Н.* (Ухтинский государственный технический университет, atsukanova@ugtu.net), Уляшева Н. М. (Ухтинский государственный технический университет, nulyasheva@ugtu.net)	204
Анализ эффективности технологии резки бокового ствола на рассматриваемом месторождении. Шемелин С.С. (ТИУ, shemelinserge@yandex.ru)	208

Применение ингибирующего бурового раствора с целью снижения рисков обвалов стенок скважины на примере Медвежьего месторождения. Юмагулова Э. И. (МГРИ, elvik.yumagulova@mail.ru), Научный руководитель: Вайнерман Б. П. (МГРИ, bwinerman@yandex.ru)	212
Устройство системы высококачественной очистки бурового раствора. Суботинов Д.А.* (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, e-mail), Онофриенко С.А. (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, e-mail 13050465@mail.ru)	216
Анализ применения бактерицидов в бурении для борьбы с биогенным сероводородом Сырчина А.С.* (МГРИ, syrchinaas@mgri.ru),	220
Статистический подход к процессам техники и технологии бурения скважин. Сырчина А.С.* (МГРИ, syrchinaas@mgri.ru), Ганджумян Р.А. (МГРИ, gandzhumyanra@mgri.ru)	224
Транспортирование шлама в стесненных условиях. Тунгусов С.А. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), tungusovsa@mgri.ru)	228
Оценка экологической безопасности применения промывочных жидкостей на основе акриловых полимеров при бурении скважин в пределах Сургутского нефтегазоносного района. Ярмиева К.И.* (МГРИ, kariyarm@mail.ru).....	232
Секция № 12. Гидрогеология.....	235
Результаты гидрогеологических исследований, выполненных при инженерно-геологических изысканиях под различные объекты. Белов К. В*.(МГРИ, Кафедра гидрогеологии им. В.М. Швеца, г. Москва, belovkv@mgri.ru), Волошин В. Р.(МГРИ, Кафедра гидрогеологии им. В.М. Швеца, г. Москва, voloshin4456@gmail.com), Роженчиков В. Г. (МГРИ, Кафедра гидрогеологии им. В.М. Швеца, г. Москва, vov_roh@mail.ru).....	235
Гибридная сульфитно-ультразвуковая технология выделения золота из гидроминерального сырья. Гафуров Т.А. (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», timur-02151980@mail.ru) соавтор Аллабергенев Р.Д.* (ard@mail.ru), соавтор Исмаилов Б.Ж. (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», bakytiyr.ismailov@bk.ru),соавтор Хасанбаев Х.Ф. (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», 584hasanbaev@gmail.com)	239
Мировой опыт изучения воздействия водохранилищ на геологическую среду. Акрамов Б.А.* (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО»), botir-akramov@mail.ru)	242
Методика оценки состояния режимных пьезометрических скважин плотин гидротехнических сооружений с помощью экспресс-наливов. Алентьев Ю.Ю.* (ФГБОУ ВО РГГРУ (МГРИ), alentev49@mail.ru).....	246
Сорбент для извлечения лития из гидроминерального сырья. Аллабергенев Р.Д.* (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», ard@mail.ru), соавтор Гафуров Т.А. (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», timur-02151980@mail.ru), соавтор Хасанбаев Х.Ф. (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО»,584hasanbaev@gmail.com).....	250
Методические аспекты преподавания дисциплины «Физическая химия» на гидрогеологическом факультете МГРИ. Бадаев Ф.З. * (Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), badaevfz@mgri.ru)	253
Кинетика взаимодействия алюминия и алюминиевого сплава Д16 с водным раствором гидроксида калия. Бадаев Ф.З.* (Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), badaevfz@mgri.ru)	256
Опыт использования видеоматериалов в учебном процессе в рамках дисциплин «Водоснабжение и инженерная мелиорация», «Гидрогеологическое моделирование». Барымова В.А.* (МГРИ, Barimovava@mgri.ru).....	259

Оценка качества противокарстовых мероприятий на участке скоростной автодороги. Белов К. В.* (МГРИ-РГГРУ, Кафедра гидрогеологии им. В.М. Швеца, г. Москва, belovkv@mgri.ru), Волошин В. Р. (МГРИ-РГГРУ, Кафедра гидрогеологии им. В.М. Швеца, г. Москва, voloshin4456@gmail.com), Роженчиков В. Г. (МГРИ-РГГРУ, Кафедра гидрогеологии им. В.М. Швеца, г. Москва, vov_roh@mail.ru)	263
Анализ информации по изменению водоотбора и режима уровней водоносных горизонтов и комплексов восточной части Московской области. Егоров Дмитрий Викторович* (ГПБУ «Мосэкомониторинг», degorov79@yandex.ru)	267
Обоснование размера расчетного блока при оценке прогнозных ресурсов подземных вод на примере гидрогеодинамической модели Усинского района. Егоров Т.С. (ФГБУ «Гидроспецгеология», tsegorov@mail.ru).....	271
Особенности и результаты гидрогеологического картографирования листа Q-41 – Воркута. Ершов В.В.* (ФГБУ «Гидроспецгеология», ifsm@mail.ru), Егоров Т.С. (ФГБУ «Гидроспецгеология», tsegorov@mail.ru), Кашина Н.П. (ФГБУ «Гидроспецгеология», kashin-nin@yandex.ru), Козлов Ю.А. (ФГБУ «Гидроспецгеология», tarh2009@mail.ru).....	275
Химическая и изотопная характеристика капли Кунгурской Ледяной пещеры. Казанцева А.С.* (Горный институт УрО РАН, kazanalena@bk.ru)	279
Методика создания комплекса математических моделей источника загрязнения, зоны аэрации и насыщенной зоны. Кононченко Е.В.* (ФГБУ «Гидроспецгеология», lena.konon@mail.ru), Петраш А.Б. (ФГБУ «Гидроспецгеология», A.B.Petrash@yandex.ru)	283
Захоронение жидких промышленных отходов. Котович А. Д. (ФГБУ «Гидроспецгеология», anastasiya.sirotova@yandex.ru)	287
Перспективы комплекса мезозойских отложений Республики Татарстан в отношении минеральных лечебных вод. Мусин Р.Х.* (Казанский федеральный университет, Rustam.Musin@kpfu.ru) Хамитов А.Д. (Казанский федеральный университет, khamitov07.03@gmail.com)	291
Оценка изменения запасов подземных вод в бассейне реки Гильменд (Афганистан) с использованием спутниковых данных GRACE. Назари Ареф* (МГРИ, aref.nazary41@gmail.com), Заряб Абдулхалим. (Кабульский политехнический университет, a.zaryab@kpu.edu.af)	295
Особенности формирования скандия при наличии урана в рассолах артезианского бассейна. Гафуров Т.А.* (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», timur-02151980@mail.ru), Исмаилов Б.Ж. (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», bakytiyr.ismailov@bk.ru, Турсунметов Р.А. (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», tv_98@mail.ru), Тё В.С. (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», tv_98@mail.ru).....	299
Исследование процесса длительного насыщения шахтной водой образцов горных пород угленосного массива. Гузев О.А.* (ГБУ «Институт физики горных процессов», oleg.coip@mail.ru), Борисенко Э.В. (ГБУ «Институт физики горных процессов», ehd1207@yandex.ru), Корвякова Н.П. (ГБУ «Институт физики горных процессов», nata_in2020@mail.ru), Подрухин А.А. (ГБУ «Институт физики горных процессов», alex-1981p@mail.ru).....	302
Модельное обоснование направления потока вод верховодки. Петраш А.Б.* (ФГБУ «Гидроспецгеология», A.B.Petrash@yandex.ru), Кононченко Е.В. (ФГБУ «Гидроспецгеология», lena.konon@mail.ru)	306
Исследование фильтрационной неоднородности подольско-мячковского карбонатного водоносного горизонта, используя методику фильтрационной томографии. Смирнов К.Д.* (1. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Кафедра гидрогеологии. 2. ИБРАЭ РАН, лаборатория геомиграционного моделирования, atomicks96@mail.ru).....	310

Комплексирование методов при изучении субмаринной разгрузки на примере Геленджикской бухты. Тимошина В.А.* (Кубанский государственный университет, Valeriatimosina708@gmail.com), Любимова Т.В. (Кубанский государственный университет, TV-Luy@yandex.ru)..... 313

Интерпретация откачек в полузакрытых пластах. Фисун Н.В.* (Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ)), fisunnv@mgri.ru), Малков А.В. (ООО «НАРЗАН-гидроресурсы, anatol.malkov@yandex.ru)..... 316

О состоянии и роли мониторинга подземных вод в городе Москве. Несынова Е.А.* (ГПБУ «Мосэкомониторинг», lesekn09@yandex.ru)..... 320

Оценка возможности использования подземных вод для водоснабжения Сергиево-Посадского учебно-научного производственного полигона МГРИ. Овсянникова И.В.* (МГРИ, ovsyannikovaiv@mgri.ru), Белов К.В. (МГРИ, belovkv@mgri.ru) 324

Секция №13. Инженерная геология. 328

Сверхнормативные деформации зданий и сооружений. Методы и технологии защиты объектов. Белоусов А.М.* (РУТ(МИИТ), andrey.belousov.64@mail.ru), Серебряков Я.Э.* (РУТ(МИИТ), serebyasha@mail.ru), Кунеевский А.А. * (a.kuneevskiy@ikon-pm.ru), Телятникова Н.А. * (РУТ(МИИТ), sharklike@mail.ru)..... 328

Выделение шпиров льда в массиве мерзлых грунтов методом статического зондирования. Блажко А.В.* (ООО "ГЕОИНЖСЕРВИС", bav@fugro.ru), Волков Н.Г (ООО "ГЕОИНЖСЕРВИС", ngv@fugro.ru) 332

К вопросу о несущей способности валунных фундаментов памятников русской архитектуры на примере ц. Петра и Павла в дер. Переслегино Тверской области. Буфеев.Ф.К. (ИГЭ РАН, fbufeev@mail.ru), Гудошников.К.О. (МГРИ, gudoshnikov-k@mail.ru.) 336

Оценка изменения сопротивления грунта срезу по поверхности смерзания с материалом фундамента при повторном промораживании. Володин А.В. * (Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ), andreymnenravitsa@gmail.com), Гречищева Э.С. (Заведующий сектором лабораторных исследований мерзлых грунтов НИИОСП им. Н.М. Герсевича, sruoerika@mail.ru), Алексеев А.Г. (руководитель центра геокриологических и геотехнических исследований ЦГГИ НИИОСП им. Н.М. Герсевича, adr-alekseev@yandex.ru) . 340

Методы статистической обработки результатов испытаний. Анализ методов изучения геодезического мониторинга в сейсмоопасных районах. Володин А. А.* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, volodin.a.a.2002@gmail.com), Дамрин А. Г. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, damrin79@mail.ru) 344

К вопросу о природе коррозии компонентов подземной среды к строительным материалам (на примере Санкт-Петербурга). Дашко Р.Э. (Санкт-Петербургский горный университет, regda2002@mail.ru), Гегенава М.В.* (Санкт-Петербургский горный университет, gegenava-02G@mail.ru) 348

Новые данные об изменении деятельного слоя вдоль региональной трансекты от северной тайги до южной тундры (Западная Сибирь). Голубкова Я.А.* (Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ), yana.golubkova.00@inbox.ru), Пономарева О.Е. (Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ), Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, o-ropomareva@yandex.ru), Губарьков А.А. (Тюменский индустриальный университет, agubarkov@rambler.ru), Гравис А.Г. (Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ), ag.gravis@gmail.com), Дроздов Д.С. (Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюменский Государственный Университет, ds_drozдов@mail.ru), Бердников Н.М. (Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, nikolaj-berdnikov@yandex.ru), Мельников В.П. (Тюменский индустриальный университет, sciensec@ikz.ru), Устинова Е.В. (Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН,sciensec@ikz.ru),

Лешневская Е.Ф. (Тюменский индустриальный университет, leshnevskajaef@tyuiu.ru), Гравис М.В. (Московский Государственный Университет kamillavalorius@gmail.com)	352
Влияние современных инженерно-геологических условий на сохранение исторического комплекса города Дербент. Гончарова Е.И. (МГРИ, elvira.dragon.01@mail.ru), Вязкова О.Е. (МГРИ, wjask@yandex.ru)	356
Усиление фундаментов дополнительными вдавливаемыми сваями существующего здания по адресу: г. Нижний Новгород, ул. Вятская дом 9. Горлов А.А.* (МГРИ, andrey.gor10@yandex.ru), соавтор Кулешов А.П. (МГРИ, kyleshovap@mgrid.ru)	360
Обработка и анализ результатов мониторинга за оползневым телом, расположенным на левом берегу водохранилища р. Кубань. Гусев Д.Н. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, mein.2013@mail.ru)	364
Анализ причин преобразования водоупоров (морены) при их длительной контаминации (на примере Санкт-Петербурга). Дашко Р.Э. (Санкт-Петербургский горный университет, regda2002@mail.ru), Колосова Д.Л.* (Санкт-Петербургский горный университет, s225005@stud.spmi.ru)	368
Инженерная геология и сохранение архитектурно-исторических памятников (на примере Санкт-Петербурга). Дашко Р.Э. (Санкт-Петербургский горный университет, regda2002@mail.ru), Карпенко А.Г.* (Санкт-Петербургский горный университет, ange.karpenko2017@yandex.ru)	372
Физическое моделирование процессов выветривания известняков из районов Староладожской крепости и пещерного города Чуфут-Кале. Дубровин К.А.* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе» (МГРИ), kadubrovin@gmail.com)	376
Оценка оползневой опасности ПТС различного иерархического уровня (На примере в районе Шапа провинции Лаокай Вьетнама). Зыонг Ван Бинь* (МГРИ, Ханойский горно-геологический университет, duongvanbinh@humg.edu.vn), Фоменко И. К. (МГРИ, ifolga@gmail.com), Нгуен Чунг Киен (Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий, kien.mgrid@gmail.com), Ву Хонг Данг (Вьетнамский институт наук о Земле и минеральных ресурсов, hongdangbg@gmail.com), Сироткина О. Н. (МГУ им. М. В. Ломоносова, onsirotkina@mail.ru), Динь Тхе Хиен (Ханойский университет гражданского строительства, dinhthehien07@gmail.com)	380
Опасные экзогенные геологические процессы республики Гвинея. Камара А.С.* (МГРИ, aboubacarsidiki.camara@yandex.ru), Невечеря В.В. (МГРИ, nevecheryavv@mgrid.ru)	384
Определение мерзлого состояния грунтов путем анализа тепловых эффектов, возникающих при проведении статического зондирования. Кольцова В.М.* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), Москва, valeriakoltsova15@mail.ru), Блажко А.В. (ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС», bav@fugro.ru)	388
Оценка структурной неоднородности и прочности скальных грунтов экспериментальными методами. Кочанов А.Н. (ИПКОН РАН, kochanov@mail.ru)	392
Инъекционное укрепление грунта и свайного основания: решение проблем несущей способности фундаментов. Лисихина К.А.* (ПУТ (МИИТ), почта: kklisikhina@mail.ru), Серегин К.К. * (ПУТ (МИИТ), почта: sereginkiryxa@yandex.ru). Научный руководитель: к.т.н., доцент Телятников Н.А. (ПУТ (МИИТ), sharklike@mail.ru)	396
Инженерная гравиметрия, возможности и технологии. Лобанов А.М. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), г. Москва, Россия Lobannet@mail.ru)	400

- Влияние современных инженерно-геологических условий на создание, эксплуатацию и сохранение городища Иднакар в республике Удмуртия. Мамажанова А.Р. (МГРИ, agina.mamazhanova@yandex.ru), Вязкова О.Е. (МГРИ, wjask@yandex.ru) 404**
- Влияние хемолитотрофного сообщества на агрегацию и дезинтеграцию карбонатно-глинистых частиц. Маннапова Л.М. (Казанский федеральный университет, liaisan.mannarova@yandex.ru) . 407**
- Бетон, созданный с добавлением отходов горнодобывающей, и оценка его состояние деформации-напряжения при использовании в качестве засыпки при подземных работах. Медина Х.П.* (магистрант кафедры гидрогеологии ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», г. Москва, juanmedinageologia@gmail.com), соавтор Бейлон А. (Исследователь Национального университета Лохи, eisabelbailon@hotmail.com) 410**
- Специальные технические условия строительства тоннелей в зонах сейсмической активности, разработка обделок тоннелей с учетом сейсмостойкости. Митрофанова Д.О.* (ПУТ МИИТ, terrabia@mail.ru), Телятникова Н.А. (ПУТ МИИТ, sharklike@mail.ru), профессор, д.т.н. Пискунов А.А. (ПУТ МИИТ) 414**
- Анализ влияния инженерно-геологических условий на сохранность сооружений Снеготорского монастыря в г. Псков. Михайлин Е.Д. (МГРИ, mihailinev100@gmail.com), Вязкова О.Е. (МГРИ, wjask@yandex.ru) 418**
- Определение давления всасывания ненасыщенных грунтов методом фильтровальной бумаги. Рыжков А.О.* (МГРИ, Mr.Selch-AD@yandex.ru), Новгородова М.А. (МГРИ, novgorodovama@mgri.ru) 421**
- Изучение характеристик сдвиговой прочности мела лабораторными методами. Овчинников А.В.* (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ovchinnikov@bsu.edu.ru), Нестерова Л.Л. (Индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО ЮГУ, L_Nesterova@ugrasu.ru) 425**
- Метод ультразвуковой диагностики для оценки состояния свайного фундамента. Покусаев Е.В.* (ПУТ (МИИТ), erokusaev7@gmail.com), Шепитько А.А.* (ПУТ (МИИТ) Aleksashep@mail.ru). Научный руководитель: к.т.н., доцент Телятникова Н.А. (ПУТ (МИИТ), sharklike@mail.ru) 429**
- Районирование территории городского округа города Дзержинска по механизму провалообразования. Романова Е.Р.* (НИУ МГСУ, liza170298.romanova@yandex.ru) 433**
- Основы оптимизации методов оценки карстовой опасности городов на примере г.Москвы. Савельев П.М.* (МГРИ-РГГРУ, pivrav_sav@mail.ru) 437**
- Строение и особенности эрозионного разрушения насыпных грунтов города Иннополис. Салихова Э.Н.* (Казанский федеральный университет, e-mail salikhova.en@gmail.com), Королёв А.Э. (Казанский федеральный университет, e-mail albert-korolev-kpfu@mail.ru) 441**
- Безопасное выполнение тоннелепроходческих работ с применением буро-инъекционных технологий и инъекционных систем. Сергеев С. В.* (ПУТ(МИИТ), ses.nmsk@yandex.ru), Андронников Ф.О.* (ПУТ(МИИТ), filippandronnikov@yandex.ru), Кунеевский А.А. * (a.kuneevskiy@ikon-pm.ru). Научный руководитель: д., к.т.н. Телятникова Н.А. (ПУТ(МИИТ),sharklike@mail.ru)..... 445**
- Возможности создания 3D моделей местности и ортофотопланов при помощи аэрофотосъёмки с беспилотных летательных аппаратов. Силина А. Р.* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, silinaanastasia011@mail.ru), Дамрин А. Г. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, damrin79@mail.ru) 449**
- Оценка особенностей мониторинга динамических процессов поверхности земли с помощью спутниковых систем. Собченко А.А.* (Российский государственный геологоразведочный**

университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, Vambi.201202@gmail.com), Дамрин А. Г. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, damrin79@mail.ru) 453

Возможности использования программного обеспечения RSLog в инженерно-геологических целях. Тошева Ю.О. (Российский государственный геологоразведочный университет МГРИ, elsukova-01@mail.ru) 457

Оценка возможностей использования беспилотных летательных аппаратов в геологических изысканиях. Федорова А. Р.* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, angelinka.fedorova.02@mail.ru), Дамрин А. Г. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, damrin79@mail.ru) 461

Схематизация опасных природных и природно-техногенных процессов под влиянием деятельности микроорганизмов в подземном пространстве мегаполиса (на примере Санкт-Петербургского региона). Дашко Р.Э. (Санкт-Петербургский горный университет, regda2002@mail.ru), Ходус В.Р.* (Санкт-Петербургский горный университет, victoria.khodus@gmail.com) 465

Секция №11. Бурение скважин.

Совершенствование конструкции разбуриваемого бурового башмака. Белокоровкин С. А. (АО «Самарский резервуарный завод», s.belokorovkin@yandex.ru), Борейко Д. А. (ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», dboreiko@ugtu.net), Сериков Д. Ю. (ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина», serrico@rambler.ru)*

Аннотация

В статье представлены результаты аналитических исследований достоинств и недостатков существующих конструкций разбуриваемых буровых башмаков. На основании анализа предложена принципиальная схема расположения вооружения разбуриваемого бурового башмака с отрицательным углом наклона режущих кромок зубков по отношению к радиусу долота, которая позволяет существенно упростить удаление разрушаемой режущей структуры башмака при его разбурировании последующим буровым инструментом, что способствует его более успешной эвакуации из зоны работы разбуривающего инструмента.

Ключевые слова

Буровое долото, PDC, разбуриваемый башмак, скважина, бурение, обсадная колонна.

Теория

В процессе строительства скважин различного назначения в определенных ситуациях применяются колонные разбуриваемые башмаки. Башмак колонный разбуриваемый предназначен для оборудования низа обсадных трубных колонн с целью направления по стволу скважины и защиты от повреждения при спуске. После цементирования колонны башмак разбуривается долотом PDC, которое используется для бурения следующей секции скважины. [1, 2]

Подбор башмака колонного осуществляется предприятием-изготовителем или предприятием-потребителем с учетом требований проекта строительства скважины. Эксплуатация башмака осуществляется в соответствии с эксплуатационной документацией и техническими условиями на оснастку обсадных колонн. На буровой на приемных мостках буровой при помощи цепного ключа башмак свинчивается с первой трубой обсадной колонны с использованием уплотнительной резьбовой смазки. Над устьем скважины башмак докрепляется машинным ключом с крутящим моментом, соответствующим диаметру обсадной колонны. Перед применением башмак колонный рекомендуется замачивать в пресной воде на три дня, не допуская его последующего замораживания. Спуск обсадной колонны с башмаком производить плавно без толчков со скоростью до 1,5 м/с. Башмак колонный разбуриваемый сохраняет работоспособность при воздействии механических нагрузок при эксплуатации в среде бурового и тампонажного растворов с плотностью до 2,4 г/см³. В процессе спуска не допускается разгрузка колонны на башмак более 10 тонн. В настоящее время известны различные конструкции разбуриваемых буровых башмаков.

Башмак разбуриваемый долотный 490,0 TSBRD 419SM S348 (рисунок 1) имеет разбуриваемый корпус из бронзового сплава. Геометрия лопастей и использование спирального калибра облегчает вынос шлама с забоя и стабилизирует работу долота при бурении. Наличие твердосплавных и PDC зубков на калибрующей части повышают ее износостойкость.

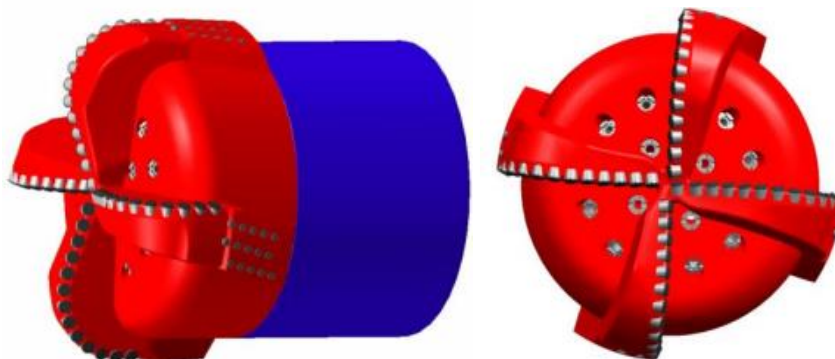


Рисунок 1. Башмак разбуриваемый долотный 490,0 TSBRD 419SM S348

Башмак с силовым приводом «БУЛАТ» (рисунок 2) предназначен для оборудования низа обсадной колонны с целью направления её по стволу скважины с возможностью проработки нестабильных участков ствола, осложненных обвалами, уступами, набухающими глинами, скоплениями шлама, и с целью защиты оборудования, входящего в компоновку колонны, от повреждения при спуске. Направляющая головка башмака изготавливается из легко разбуриваемого материала и любого диаметра. Рабочая среда, в которой работает башмак – буровой и тампонажный растворы, обработанные химическими реагентами, минерализованная пластовая вода, нефть и газ при температуре до 120°C. Вращающийся наконечник обеспечивает беспрепятственное доведение обсадной колонны до финального забоя. Дизайн наконечника исключает врезание башмака в стенки скважины. Исполнение наконечника может предусматривать армирование твердосплавными материалами, такими как карбид вольфрама и/или поликристаллическими алмазными резами (PDC).



Рисунок 2. Башмак разбуриваемый с силовым приводом серии «БУЛАТ»

Анализ конструкций разбуриваемых башмаков показывает, что одной из важных особенностей их конструкций является возможность их последующего разбивания долотом меньшего диаметра при продолжении проходки скважины. Однако, при этом существует несколько обстоятельств, затрудняющих этот процесс. Разбуриваемые башмаки, так же, как и обычные долота, оснащаются твердосплавным или алмазным вооружением, а промывочные узлы – твердосплавными гидромониторными насадками [4, 5].

Обладая высокой прочностью и износостойкостью, эти элементы разбуриваемого башмака представляют существенную угрозу целостности вооружения бурового долота, которое в дальнейшем разбуривает данную конструкцию. Особенно это касается разбуриваемых башмаков с развитой геометрией вооружения, используемого при бурении с обсадной колонной. В связи с этим, важным моментом при разработке и проектировании разбуриваемых башмаков является обеспечение быстрого и

эффективного удаления элементов их режущей структуры и гидромониторных узлов из зоны работы разбуривающего их бурового инструмента. [3] На рисунке 6 представлена принципиальная схема различного расположения режущих элементов башмака в начальный момент его разбуривания последующим долотом. Рассмотрены три основных варианта. Первый вариант – перпендикулярное расположения режущей кромки резца (в горизонтальной плоскости) по отношению к радиусу долота, второй – под отрицательным углом и третий – под положительным углом. В начальный момент воздействия (разрушения) башмака последующим долотом его вооружение, двигающееся согласно векторам скоростей \vec{V}_D , воздействует на откалывающиеся резцы башмака, задавая им относительное вращение. В первом и третьем случаях закручивание происходит по часовой стрелке и способствует движению разрушенных элементов башмака по направлению к оси скважины, что не способствует их успешному удалению из зоны работы последующего бурового инструмента и значительно повышает вероятность разрушения режущих элементов последующего долота о разрушенные твердосплавные и алмазные элементы вооружения разрушаемого башмака. Во втором случае результирующая скорости \vec{V}_R движения отделенного зубка разрушаемого башмака направлена от центра долота к периферии, что способствует его более успешной эвакуации из зоны работы разбуривающего инструмента. При этом, заднюю часть цилиндрической державки зубков необходимо выполнять под углом γ с ориентацией, показанной на рисунке 3. Эта конструктивная особенность позволяет более эффективно перемещать отломанный элемент вооружения башмака в сторону периферии скважины вооружением последующего разбуривающего долота.

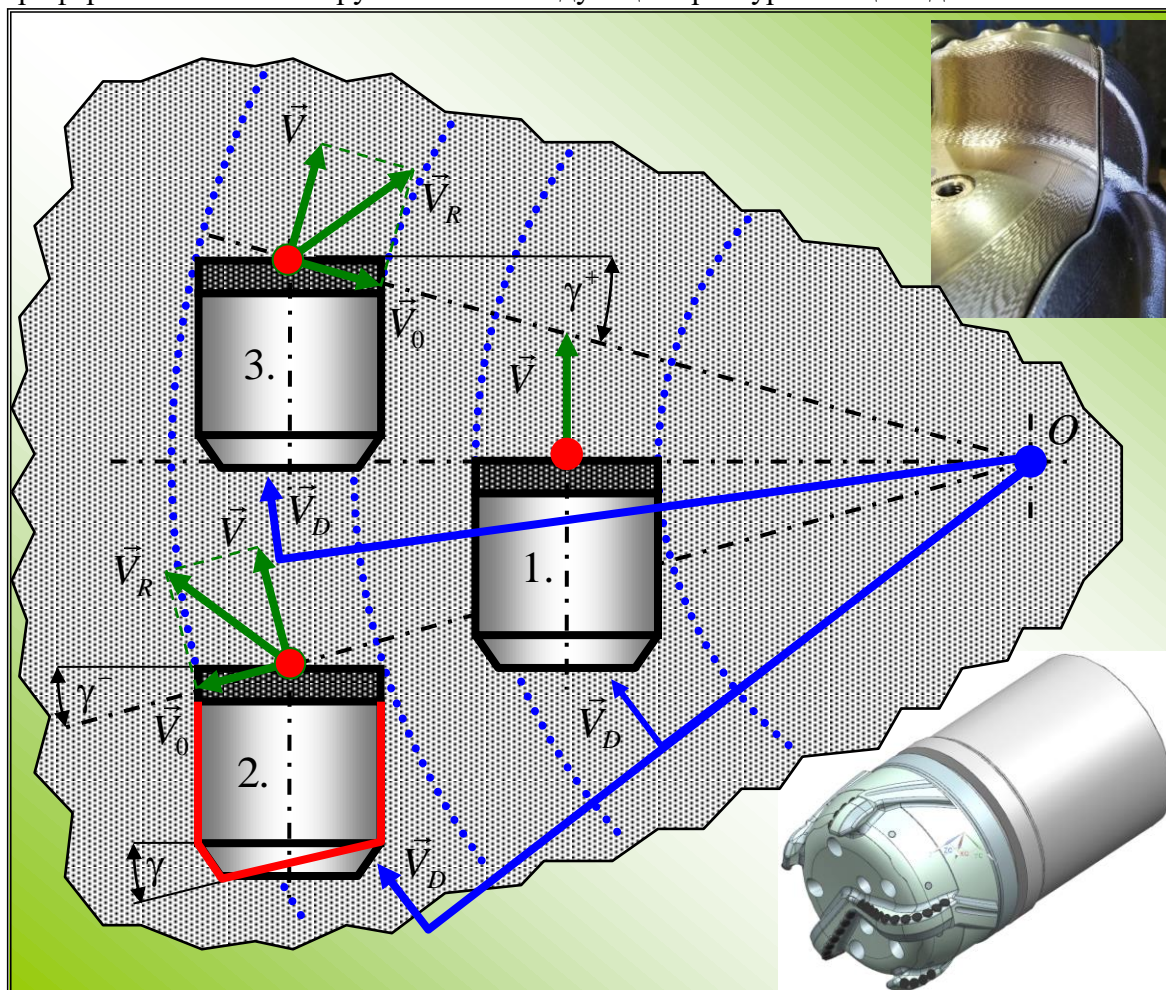


Рисунок 3. Принципиальная схема расположения вооружения башмака

Таким образом, расположение зубков на разбуриваемом башмаке с отрицательным углом наклона их режущих кромок по отношению к радиусу долота позволяет существенно упростить удаление разрушаемой режущей структуры башмака при его разбурировании последующим буровым инструментом.

Выводы

1. Проведён анализ существующих конструкций разбуриваемых буровых башмаков. Выявленных их преимущества и недостатки.

2. Предложена принципиальная схема расположения вооружения разбуриваемого бурового башмака с отрицательным углом наклона режущих кромок зубков по отношению к радиусу долота, которая позволяет упростить удаление разрушаемой режущей структуры башмака при его разбурировании последующим буровым инструментом, что способствует его более успешной эвакуации из зоны работы разбуривающего инструмента.

Библиография

1. Ищук, А. Г. Шарошечный буровой инструмент / А. Г. Ищук, Д. Ю. Сериков. – М. : «МДМпринт», 2021. - 303 с.
2. Новиков, А. С. Бурение нефтяных и газовых скважин / А. С. Новиков, Д. Ю. Сериков, Р. Ф. Гаффанов - М. : Нефть и газ, 2017. – 307 с.
3. Панин, Н. М. Совершенствование породоразрушающего инструмента для бурения с отбором керна / Н. М. Панин, Р. М. Богомолов, Д. А. Борейко // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2020. – № 12 (336). – С. 24-27.
4. Сериков, Д. Ю. Математическое моделирование геометрии калибрующих конусов шарошек со смещенными осями вращения / Д. Ю. Сериков, А. А. Лютоев, Д. А. Борейко // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И. М. Губкина. 2022. - №2 (307). - С. 136-146.
5. Сериков, Д. Ю. Совершенствование боковых гидромониторных насадок шарошечных буровых долот // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса: 2017. - №1. - С. 9-14.

Совершенствование систем смазки опорных узлов шарошечного бурового инструмента. Белокоровкин С. А. (АО «Самарский резервуарный завод», s.belokorovkin@yandex.ru), Сериков Д. Ю. (ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина», serrico@rambler.ru), Борейко Д. А. (ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», dboreiko@ugtu.net), Близнюков В. Ю. (академик РАН, yublzn@yandex.ru)*

Аннотация

В статье представлены результаты исследований, которые позволили разработать расчётные методы, а также установить основные оценочные критерии, необходимые при выборе основных конструктивных решений в процессе проектирования шарошечных буровых долот (ШБД) с маслonaполненными герметизированными опорами (МГО) с управляемой подачей смазочного материала. На основании аналитических и практических исследований была разработана новая система смазки опор шарошечного бурового долота с возможностью управления подачей смазочного материала. Также в работе были проведены предварительные опытные испытания, позволившие подтвердить эффективность предложенной смазочной системы.

Ключевые слова

Буровое шарошечное долото, система смазки, смазочные каналы, маслonaполненная опора, гидравлический аккумулятор

Теория

Для предупреждения схватывания и заклинивания герметичных опор шарошечных буровых долот в их конструкции предусматривается специальная система смазки [1-3]. В настоящее время не разработаны простые и вместе с тем эффективные конструктивные решения, гарантированно обеспечивающие повышение надежности и долговечности МГО скольжения для различных типов ШБД.

ШБД с МГО обладают высокой неустойчивостью работы заключающейся в большом разбросе различных показателей стойкости их опорных узлов. При этом известно, что в данных опорных узлах малые радиальные подшипники скольжения (ПС) изнашиваются гораздо быстрее, чем большие, поэтому решающей ресурсопределяющей ролью в МГО является износостойкость подшипников скольжения малого диаметра, главным образом определяющей стойкость ШБД в целом. Нарушение герметичности МГО и увеличенный износ породоразрушающих элементов вооружения, в большинстве случаев, связаны с увеличением расчетного изнашивания одного или нескольких ПС на начальных стадиях работы ШБД. Важно обеспечить постоянную подачу требуемого объема смазочного материала ко всем поверхностям трения подшипников опор. [4]

На основе проведенных исследований была создана новая конструкция смазочной системы МГО ШБД, обеспечивающая возможность управления процессом перемещения и смазывания основных зон трения смазочным материалом. Для внедрения предложенной конструкции не потребуется вносить существенные изменения в технологию изготовления различных элементов МГО, включая сборочные процессы и заправки МГО смазочным материалом (рисунки 1).

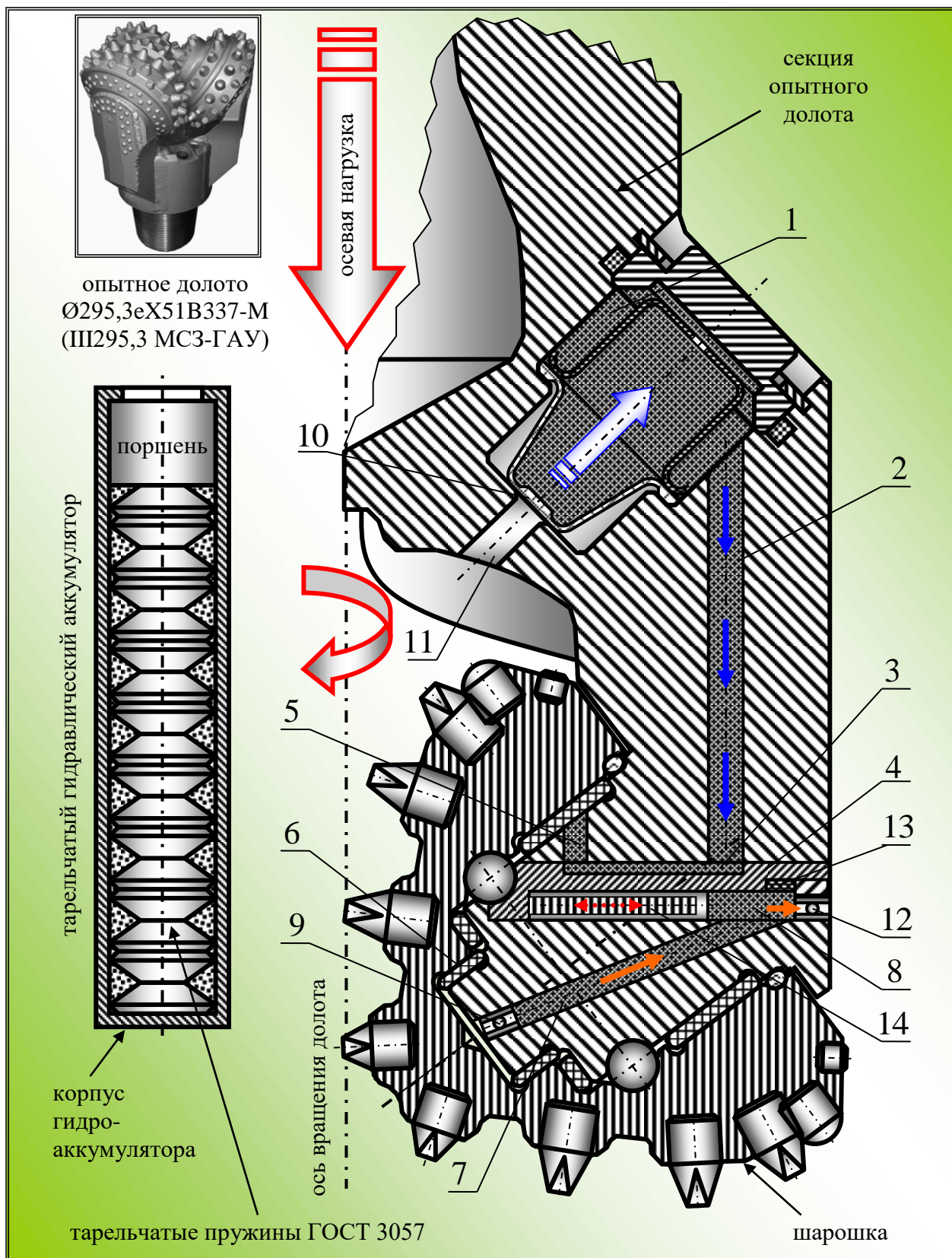


Рисунок 1. Схема опоры опытного долота Ø295,3eX51B337-M с управляемой подачей смазочного материала

Предложенная конструкция работает следующим образом. Масляной резервуар 1, а также длинный канал 2 заполняются смазочным материалом в процессе

изготовления и сборки шарошечного долота, равно как и полости верхней 3 пальца замкового 4, канал укороченного 5 и полости опоры малого ПС 6. Канал осевой цапфы 7 лапы и полость нижняя 8 пальца замкового 4 заполнены воздухом с атмосферным давлением, т. к. впускной клапан 9 не позволяет смазке туда проникнуть в процессе её вакуумного закачивания.

В процессе бурения скважины давление бурового раствора посредством канала 11 во внутренней части лапы передается на диафрагму 10, которая, деформируясь вытесняет смазку сквозь специально сформированные отверстия в смазочном резервуаре в удлиненный передаточный канал системы смазки 2, соединяющего резервуар со смазочным материалом с опорами ШБД. Далее смазка по удлинённому каналу перемещается в сторону верхней полости 3, образованной в замковом пальце 4 и затем сквозь канал 5 поступает в большую опору скольжения в основании цапфы. Таким образом давление бурового раствора позволяет обеспечить перманентное поддавливание смазки, перемещающейся от основания опоры сквозь внутренние пространства замкового подшипника в направлении упорной шайбы и второму ПС малого диаметра. В процессе перемещения смазочного материала в направлении верхней части опоры, он накапливается в районе впускного клапана специальной конструкции 9.

Для того, чтобы предотвратить использования смазки, прошедшей через опору, повторно, она проходит из рабочих зон узла трения клапан впускной 9 за счёт канала 7 внутри цапфы. В результате происходит течение материала смазочного по всей системе к основным элементам подшипника и подается порция свежей смазки. Смазка отработанная движется по каналу 7 и наполняет полностью внутренний объем полости 8 пальца замкового. Верхняя и нижняя полости пальца 3 имеют полную изоляцию, которая не должна допускать смешивания «потоков» свежего и отработанного смазочных материалов. Использованный смазочный материал накапливается в канале 7 и полости внутренней 8, осуществляя сжатие рабочих элементов гидроаккумулятора 14. При этом клапан 12 испытывающий избыточное давление бурового раствора - закрыт. Объем внутренней полости 8 наполняется отработанным смазочным материалом до момента, когда давление внутри системы смазки сравняется внешним давлением затрубного пространства.

Разработанная конструкция смазочной системы основывается на совместной синхронной работе входного 9 и выпускного 12 клапанов. Первый служит для отвода использованного смазочного материала в полость гидроаккумулятора, а второй – для эвакуации отработанной смазки в промывочную жидкость [5]. Необходимо, чтобы оба клапана имели наименьшую чувствительность срабатывания, чтобы транспортирование смазочного материала было максимально эффективным и он проходил через все основные рабочие элементы подшипниковых узлов. При этом, указанная чувствительность не должна допускать неконтролируемые пульсаций давления бурового раствора и не допускать произвольного срабатывания системы в процессе проведения спускоподъемных и наладочных работ. Проведенные исследования позволили установить, что численное значение величины пульсационного давления, в большинстве случаев, составляет не более 0,051 МПа, в связи с этим, давление, обеспечивающее срабатывание клапанов было выбрано именно этой величиной.

Выводы

Проведенные исследования позволили разработать расчётные методы, а также установить основные оценочные критерии, которые необходимы при выборе основных конструктивных решений в процессе проектирования шарошечных буровых долот с маслonaполненными герметизированными опорами с управляемой подачей смазочного материала. На основании аналитических и практических исследований была разработана новая система смазки опор шарошечного бурового долота с возможностью управления подачей смазочного материала. Также в работе были проведены предварительные опытные испытания, позволившие подтвердить эффективность предложенной смазочной системы.

Библиография

1. Богомолов, Р. М. Буровой инструмент. Энциклопедия изобретений. В 2-х частях / Р. М. Богомолов, Н. В. Носов – М. : Инновационное машиностроение, 2015. – 826 с.
2. Ищук, А. Г. Шарошечный буровой инструмент / А. Г. Ищук, Д. Ю. Сериков. – М. : «МДМпринт», 2021. – 303 с.
3. Панин, Н. М. Совершенствование породоразрушающего инструмента для бурения с отбором керна / Н. М. Панин, Р. М. Богомолов, Д. А. Борейко // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2020. – № 12 (336). – С. 24-27.
4. Сердюк, Н. И. Моделирование процессов разрушения подшипников скольжения в опоре буровых шарошечных долот / Н. И. Сердюк, О. Г. Блинков // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, 2017. – №2. – С. 4–7.
5. Сериков, Д. Ю. Совершенствование боковых гидромониторных насадок шарошечных буровых долот // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса: науч.-техн. журн. – М. : ОАО «ВНИИОЭНГ», 2017. – №1. – С. 9-14.

Лучшее из двух миров – гибридная роторная управляемая система. Белугин А. А.
(РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, SasaBelugin@yandex.ru), Гвоздяный С. Е.
(НИТУ МИСус, gvozduc@yandex.ru)*

Аннотация

Переход от вертикального бурения к горизонтальному был стимулирован развитием технологий, которые привели отрасль от потребности в традиционных забойных двигателях и силовых приводах к КНБК с роторными управляемыми системами. Последней инновацией является гибридная система PowerDrive Archer от компании Schlumberger, которая сочетает в себе эксплуатационные возможности поворотной управляемой системы с высокой производительностью забойного двигателя.

Ключевые слова

Роторная управляемая система, бурение, горизонтальные и многоствольные скважины, азимут, зенитный угол.

Теория

PowerDrive Archer – роторная управляемая система, предоставляющая возможность производить бурение нестандартных профилей, которые ранее можно было пробурить лишь с помощью винтовых забойных двигателей. Эта инновационная система обеспечивает непрерывную и высокую интенсивность набора кривизны из любого зенитного угла — испытания показали значение более $17^\circ/30\text{м}$. Все внешние детали PowerDrive Archer вращаются, что значительно снижает риск механического или дифференциального прихвата и улучшает качество ствола скважины и, тем самым, облегчает процесс их заканчивания. Система способна бурить сложные трехмерные скважины от башмака до башмака и забуривать новые стволы из любых точек в открытом стволе. В основе РУС PowerDrive Archer лежат проверенные и надежные технологии, используемые в РУС PowerDrive X6, а также уникальный блок гибридного управления, который максимально увеличивает дренирование пласта и снижает риски при бурении. [1]

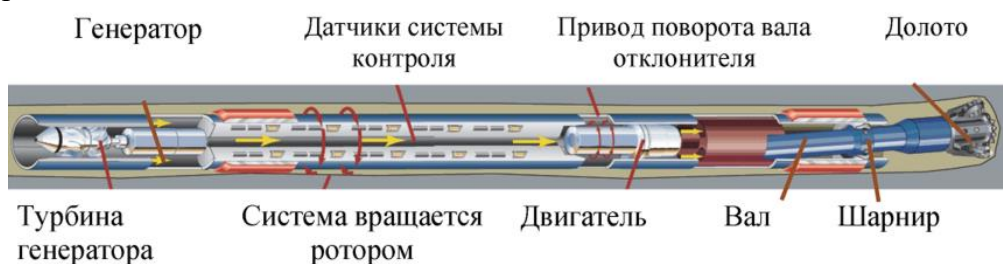


Рисунок 1. Внутренний клапан, удерживаемый геостационарно относительно поверхности инструмента, отводит небольшой процент бурового раствора к поршням. Буровой раствор приводит в действие поршни, которые давят на центральный вал. В нейтральном режиме поршни вращаются непрерывно, поэтому усилие долота равномерно распределяется вдоль стенки скважины, позволяя RSS удерживать свой курс.

Другой пример использования системы. Энергетическая компания Cimarex ведет бурение сланцевого месторождения Вудфорд. Компания Cimarex выбрала PathFinder, компанию Schlumberger, для использования PowerDrive Archer RSS при бурении участка

наклонной скважины Karrus 1-22H компании. Используя этот RSS для бурения 212,7 мм. Скважина интенсивностью набора угла 8°/ 30 футов, оператор добился увеличения интенсивности на 80% по сравнению с предыдущими скважинами, пробуренными с помощью ВЗД. Добившись плавного прохождения ствола скважины по кривой, оператор смог переключиться на PowerDrive X5 RSS, которая пробурила боковой ствол длиной 1385 м всего за один рейс. Быстрая скорость проходки в сочетании с высокой скоростью СПО и безаварийным процессом бурения бокового ствола привели к экономии 10 дней бурения. [2]

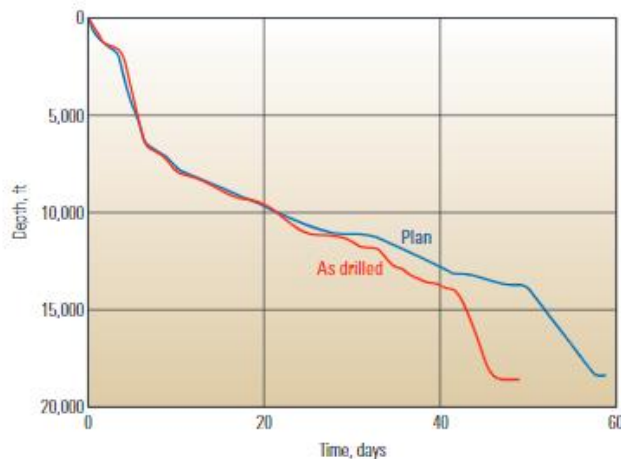


Рисунок 2. Для бурения скважины Karrus 1-22H в сланце Вудфорд компания Citarex использовала систему PowerDrive Archer. Оператор смог пробурить скважину за 49 дней вместо 59, сэкономив 10 дней времени бурения по сравнению с прогнозируемыми сроками.

В качестве первого шага работы системы инженеры Schlumberger по бурению получают от оператора информацию о фактическом положении долота и сосредотачиваются на проблемах бурения и данных о производительности долота. Инженеры используют интегрированное программное обеспечение DOX Drilling Office для проектирования траектории скважины в пределах пласта, оптимизируя при этом эффективность бурения. Этот программный пакет объединяет проектирование траектории со спецификациями бурильной колонны и конструкцией скважины, гидравликой, крутящим моментом и сопротивлениями при бурении.

Обширные испытания сыграли важную роль в разработке возможностей для бурения скважин высокого качества. Одно из таких испытаний включало серию блоков, каждый из которых имел разную прочность на сжатие. Эти тестовые блоки были расположены бок о бок, образуя прямоугольник длиной почти 45 м. PowerDrive Archer RSS пробурил блоки, используя различные комбинации долот и настройки мощности для имитации условий бурения в скважине. После того, как отверстия были просверлены, лазерный штангенциркуль измерил диаметр скважины в каждом блоке и последовательно не обнаружил шероховатости ствола скважины.



Рисунок 3. Плавное прохождение через тестовые блоки. Лазерные штангенциркули не выявили шероховатости в скважине, пробуренной PowerDrive Archer RSS.

Schlumberger выполнила анализ изгибающего момента, а также анализ компонентов PowerDrive Archer. После завершения проектирования РУС инженеры провели анализ на ударную нагрузку и вибрации, чтобы определить критические резонансные частоты и обороты в минуту, которых следует избегать при бурении. Для обеспечения целостности РУС было проведено моделирование крутящего момента и сопротивления при операциях бурения и промывки. Гидравлическое моделирование также проводилось в различных диапазонах плотности и расхода бурового раствора. [3]

Данные моделирования также использовались в качестве входных данных для системы управления усталостью, которая прогнозирует усталостный ресурс для каждого компонента КНБК. При вращении ОЦЭ КНБК будут испытывать большие изгибающие моменты. Усталостный ресурс уменьшается экспоненциально с увеличением скорости проходки и может сократить срок службы стандартных компонентов КНБК до нескольких часов. Моделирование усталости и отслеживание помогают бурильщикам избежать развинчиваний и других катастрофических аварий. Для определения напряжений использовалась формула фон Мизеса:

$$\sigma_m = \sqrt{0,5 \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]}$$

Мониторинг усталостной долговечности — задача не из простых: необходимо отслеживать положение каждого компонента вдоль траектории скважины и определять изгибающий момент наряду с частотой вращения и временем. Эти данные об усталости могут отслеживаться удаленно в центрах поддержки операций, где данные могут быть просмотрены экспертами по бурению, которые могут проконсультировать операторов, когда необходимо заменить критические компоненты. Schlumberger автоматически отслеживает усталостный ресурс, чтобы обеспечить целостность компонентов КНБК. С помощью программного обеспечения для оптимизации и анализа данных PERFORM Toolkit инженер может записывать обороты в минуту, интенсивность набора угла, осевую нагрузку и другие факторы, влияющие на усталость, предоставляя информацию об управлении усталостью в режиме реального времени и прогнозы усталостного ресурса. [4]

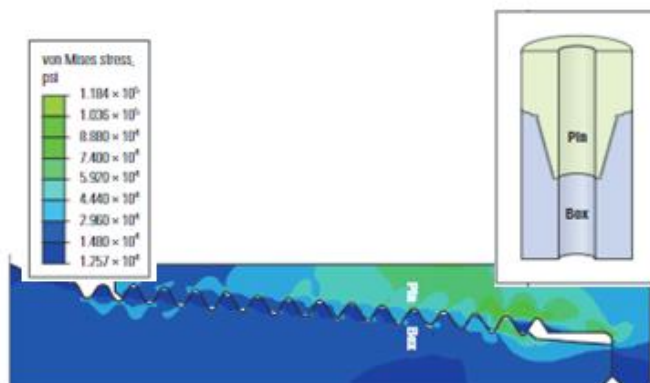


Рисунок 4. *Контуры напряжений в резьбе инструмента. Соединения между бурильными колоннами подвергаются различным нагрузкам, которые влияют на усталостную долговечность инструмента. Этот график указывает на более высокое напряжение фон Мизеса в ниппеле, чем в муфте, когда резьбовое соединение изготовлено и подвергается изгибающему моменту. Эта информация полезна для прогнозирования усталостного ресурса соединения.*

Выводы

Достижения в технологии направленного бурения помогают операторам получить доступ к углеводородам, которые иначе не могли бы быть добыты. Новейшее поколение РУС позволяет достичь траекторий скважин, которые ранее были невообразимы, обеспечивая при этом более низкие затраты на скважины и меньший риск, а также увеличивая дебит. Эти все более сложные траектории бурения скважин побуждают отрасль идти дальше в поисках новых месторождений.

Библиография

1. Бурение нефтяных и газовых скважин - Балицкий В.П., Оганов А.С., Симонянц С.Л., РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина, Москва, 2015 г., 53 стр., УДК: 622.24
2. Бурение нефтегазовых скважин - Нескромных В.В.. Сибирский федеральный университет, Красноярск, 2014 г., 400 стр., УДК: 622.24 (075.8), ISBN: 978-5-7638-3043-9
3. New Technology Delivers Results in Unconventional Shale Play, Auflick R and Naganathan S.; May 18–20, 2010
4. The IDEAS program was developed in the 1990s by Smith Bits, which was later acquired by Schlumberger : Garrett I, Teggart B and TetleyN: “Bit Design—Top to Bottom,” Oilfield Review 23, no. 2 (Summer 2017): 4–17.

Факторы и силы, влияющие на керн и выбор керноотборных устройств для бурения в различных геолого-технических условиях. Бондарев В.Н.* (МГРИ, anzhel.22@mail.ru),

Аннотация

В зависимости от характера геологических исследований к образцам пород и полезных ископаемых при бурении скважин предъявляют различные требования. Так, при геологоразведочном бурении количество получаемой пробы должно обеспечивать представительность пробы: образец должен иметь ненарушенную структуру, не быть загрязненным, содержать полезные компоненты – твердые, жидкие, газообразные. Качество бурения геологоразведочных скважин определяется, в первую очередь, представительностью получаемых геологических проб, которые являются основанием для получения данных о строении геологического разреза, качестве и количестве полезного ископаемого, форме и размерах рудных залежей и т. д.

С целью облегчения работы с керноотборными снарядами и турбодолотами используют специальные вспомогательные приспособления и устройства. Вспомогательный инструмент поступает с заводов вместе с керноотборным инструментом; иногда его изготавливают на буровых предприятиях.

Ключевые слова

Выход керна, факторы, геологическая информация, породоразрушающий инструмент

Теория

Различие горных пород, в которых отбирается керн, по литологическому составу, текстурным и структурным особенностям, а также физико-механическим свойствам может оказывать влияние на вынос керна. Вне зависимости от применяемых технических средств вынос керна особенно низок из песков, слабосцементированных пород, неустойчивых и сыпучих песчаников, конгломератов и пород, склонных к размыву. [1]

На вынос керна существенно влияет состав цементирующего вещества, а также силы взаимодействия между зернами и цементирующим веществом. Если силы взаимодействия малы, то керн в большей степени подвергается разрушению в процессе его образования и извлечения на поверхность.

Большое влияние на вынос керна оказывают слоистость породы и перемежаемость ее по литологическому составу и твердости.

На вынос керна отрицательно влияют большие углы падения пластов. Это объясняется тем, что при вскрытии такого участка разреза скважины долотом порода становится подвижной и при дальнейшем углублении колонкового долота разрушается и не попадает в керноприемную трубу.

Наряду с геологическими факторами, влияющими на условия кернообразования, сохранность керна в процессе бурения и извлечение его из скважины, значительную роль играют технологические особенности бурения с отбором керна.

Возрастающая механическая скорость проходки в подавляющем большинстве случаев способствует повышению процента выноса керна. Размыв керна промывочной жидкостью, растворение и переход его в раствор (соль, рыхлый известняк), а также вибрация породоразрушающего инструмента, как правило, являются результатом длительного их воздействия. Отсюда следует, что чем выше механическая скорость (рис. 1) бурения, тем слабее действие перечисленных факторов.

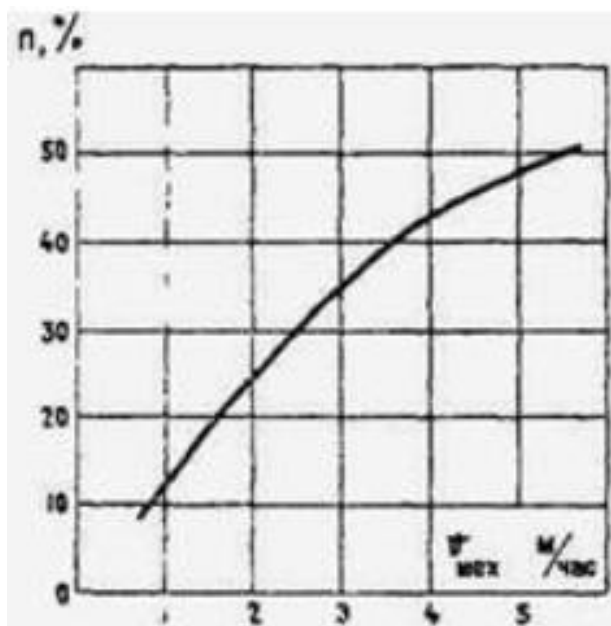


Рисунок 1. График зависимости процента выноса керна от механической скорости бурения [2]

Как видно из графика, увеличение механической скорости $V_{\text{мех}}$ влечет за собой повышение процента выноса керна. Однако прямолинейной зависимости здесь нет.

Наилучшим кернообразованием, особенно в слабоцементированных породах, обладают головки режуще-истирающего типа, армированные алмазами или твердыми сплавами. Предпочтение следует отдать головкам, рабочая часть которых имеет форму полукуполола, полукуполола с опережающим кольцом, и ступенчатым головкам, которые в процессе работы самоцентрируются и тем самым уменьшают вибрации в радиальном направлении. Для большей гарантии выноса керна в неизвестном разрезе в колонковом инструменте желательно иметь двойной ряд рвателей, для твердых и мягких пород, и специальный керно-держатель, чтобы гарантировать не только отрыв, но и удержание керна в керноприемной трубе. Таким образом, к колонковым снарядам предъявляются следующие требования:

- обеспечение достаточной прочности керна за счет максимально возможного увеличения его диаметра;
- предохранение керна от размывающего действия потока бурового раствора как в месте кернообразования, так и в колонковой трубе;

- устранение вращения колонковой трубы и продольного ее изгиба;
- устранение продольных и поперечных колебаний в процессе отбора керна;
- обеспечение надежности отрыва и удержание керна в колонковой трубе при подъеме инструмента;

Как показывает практика, несоблюдение хотя бы одного из этих условий резко снижает процент выноса керна. [4]

Выводы

С целью более эффективного отбора керна на разведочных скважинах, которые располагаются в сложных горно-геологических условиях необходимо выбирать керноотборный инструмент, способный работать на данных месторождениях. Также необходимо предусмотреть все риски и осложнения, которые могут возникнуть, для этого в стадии планирования работ следует подобрать оптимальные режимы бурения и спускоподъемных мероприятий.

На данный момент разработан широкий ассортимент бурового и керноотборного оборудования в различных геолого-физических условиях работа, к примеру отечественный производитель ВНИИБТ выпускает целый ряд керноотборных снарядов, в большом диапазоне диаметров (наружный 100-240 мм и диаметрами керна 52-110 мм соответственно), такие как «Недра» - не осложненные условия, «Кембрий» - отбор керна в рыхлых слабосцементированных породах и тд. [3] Применение данного оборудования значительно повышает выход керна, зависящий от представленных факторов и обеспечивает геологическую кампанию необходимой информацией о месторождении полезных ископаемых.

Библиография

1. ГОСТ 12071–2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. – М.: Стандартинформ, 2000. – 26 с.
2. И.Р. Захария, М. А. Бабец – Основы разведочного бурения, г. Минск, 2002г.
3. Каталог продукции завода ВНИИБТ «ИНТЕГРА», г. Пермь, 2022г.
4. Справочник бурового мастера /Под общей редакцией В.П. Овчинникова, С.И. Грачева, А.А. Фролова.- М.: «Инфра-Инженерия», 2006.- 608 с.

**Обоснование параметров зарезки бокового ствола скважины на примере
Самотлорского нефтяного месторождения. Крынин В.А.* (МГРИ,
kryninvictor@mail.ru), Соловьев Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgri.ru)**

Аннотация

В процессе разработки нефтяных скважин, часть из них перестает извлекать нефть, что способствует возможности возникновения убыточности предприятия. В связи с данной проблемой, была предложена и рассмотрена методика для восстановления бездействующих и повышение производительности малодебитных скважин за счет применения технологий бурения боковых стволов. Эффективное применение таких технологий в настоящее время является актуальной задачей для повышения дебита углеводородов для месторождений, находящихся на поздней стадии разработки, а так же для максимального использования возможностей пробуренного фонда скважин.

Рассматривается технология восстановления скважин методом бурения бокового ствола на Самотлорском месторождении, а также анализируется применяемое оборудование для этих целей.

Ключевые слова

Бурение, боковой ствол, добыча нефти, профиль, зарезка, отклонитель

Теория

Одна из основных причин бездействия скважин – авария, т.е. прекращение технологических процессов, вызванное поломками, прихватом инструмента, колонны труб и другого технологического оборудования с последующим оставлением их на забое. Значительный объём работ при ликвидации аварий в бурящихся и эксплуатационных скважинах занимает фрезерование аварийных металлических предметов с последующим их извлечением. Это наиболее распространённый и трудоёмкий процесс, зачастую приводящий к экономической нецелесообразности продолжения работ, тем самым, выводя скважину в бездействующий фонд.

Зарезка боковых стволов – это эффективная технология, позволяющая увеличить добычу нефти на старых месторождениях и коэффициент извлечения нефти из пластов, вернуть в эксплуатацию нефтяные скважины, которые не могли быть возвращены в действующий фонд другими методами.

Путём бурения боковых стволов в разработку вовлекаются ранее не задействованные участки пласта, а также трудноизвлекаемые запасы нефти, добыча которых ранее не представлялась возможной. Применение технологии зарезки бокового ствола (ЗБС) способствует увеличению нефтеотдачи пластов и фактически заменяет необходимость увеличения фонда скважин. Соответствующие технологии помогают сохранить скважину и сэкономить затраты на её освоение. [1]

В значительной степени это объясняется тем, что на разрабатываемых месторождениях накопился фонд аварийных, высокообводнённых, малодебитных скважин, требующих существенных затрат на проведение капитального ремонта. При этом экономическая эффективность других предлагаемых технологий незначительна, кратковременна или вообще отсутствует. Бурение же новых скважин для замены вышедших из эксплуатации в целях восстановления сетки скважин на большинстве

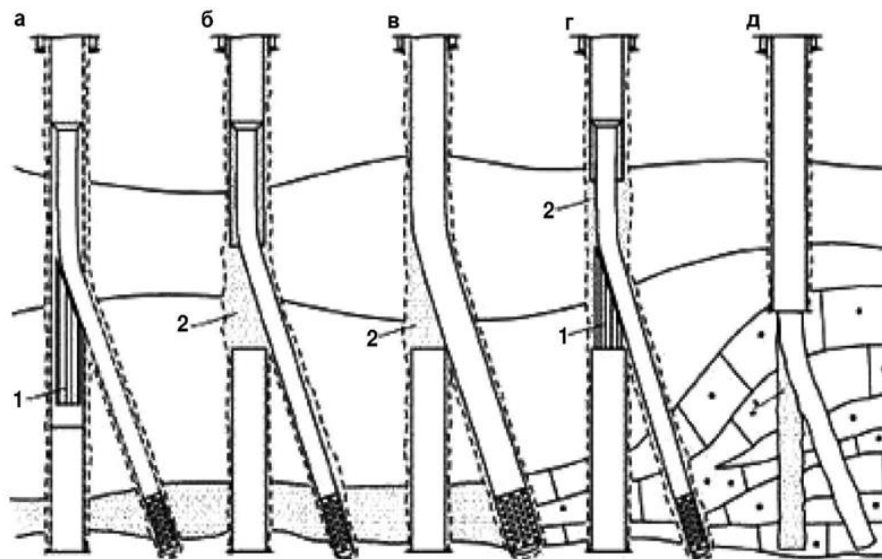
месторождений, находящихся на завершающей стадии разработки, является нецелесообразным. В этих условиях в качестве альтернативного решения может рассматриваться бурение второго дополнительного ствола из существующей скважины. [2]

Зарезка и бурение наклонно-направленных и горизонтальных боковых стволов скважин служат для интенсификации системы разработки месторождений, увеличения коэффициента извлечения нефти из продуктивных пластов и фондоотдачи капиталовложений. Бурение боковых стволов осуществляется в соответствии с технологическими решениями проектных документов на разработку месторождения и с учётом текущего состояния структуры остаточных запасов нефти.

К зарезке боковых стволов пригодны практически все скважины. При этом можно выделить следующие цели зарезки:

1. Вывод скважин из бездействия.
2. Выработка недренируемых участков т.е. краевых зон месторождений. В основном запасы, расположенные в краевых зонах месторождений или вблизи границы выклинивания пласта, характеризуются малыми толщинами при высоких коэффициентах нефтенасыщенности. Как правило, заложение на этих участках новых скважин экономически нецелесообразно.
3. Интенсификация добычи из малопроницаемых коллекторов. Бурение горизонтальных боковых стволов из старых наклонно-направленных скважин показало высокую эффективность по малопроницаемым юрским отложениям.
4. Снижение обводнённости продукции. В высокообводнённых пластах остаются участки с высокой нефтеносностью. При разбуривании боковыми горизонтальными стволами подкровельной части таких пластов удаётся существенно повысить коэффициент извлечения нефти. Фактически проводится уплотняющее бурение, но с более низкими затратами.
5. Уход от фронта обводнения (нагнетания). В большинстве случаев не удаётся надёжно изолировать обводнённые интервалы пласта, поэтому зарезка бокового горизонтального ствола с уходом от фронта нагнетания в данном случае является самым эффективным методом.
6. Переход на другой (нижележащий) пласт, доразведка.

Основной вариант зарезки бокового ствола заключается в вырезании "окна". Для чего в скважину спускается клин-отклонитель (уипсток) с ориентирующим устройством и устанавливается на искусственном забое. Работы по спуску и установке клин-отклонителя производятся в соответствии с технологией фирм-производителей. [3]



а - вырезание окна в эксплуатационной колонне; б - вырезание части эксплуатационной колонны; в - извлечение верх-нейнезацементированной части эксплуатационной колонны; г - комбинированный способ бурения бокового ствола; д - бурение бокового ствола с открытого забоя; 1 - клин-отклонитель; 2 - цементный мост

Рисунок 1. Технологические способы забуривания боковых стволов

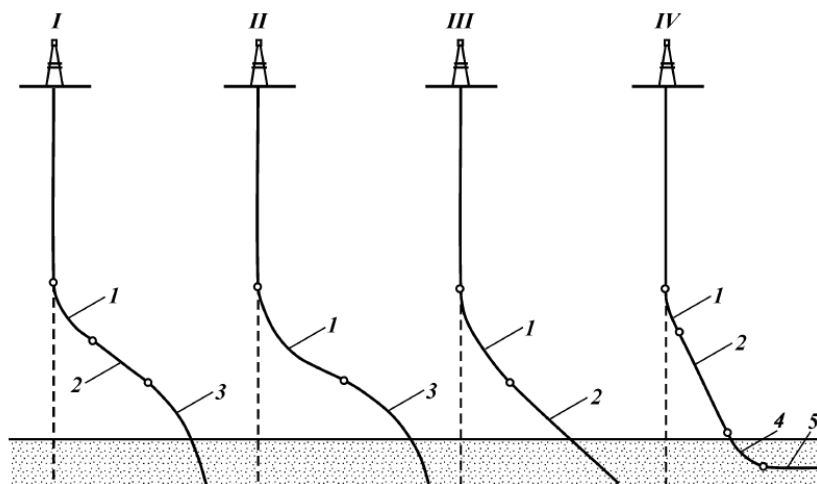
Одним из условий эффективности разработки месторождения боковых горизонтальных стволов (БГС) является качественное проектирование их траекторий. Проектирование профиля заключается в формировании регламентирующих параметров, выбора типа профиля, определении комплекса параметров, необходимых для его расчёта, построении и оптимизационной процедуры расчёта выходных параметров траектории БГС.

При определении профиля БГС необходимо руководствоваться:

- возможностью его выполнения, т.е. соответствием современному уровню техники и технологии;
- оптимальным сочетанием входных и выходных параметров.

Если зенитный угол составляет $55-75^\circ$, скважина считается пологой, если $75-97^\circ$ – горизонтальной (субгоризонтальной). Профиль БГС состоит из двух сопряжённых между собой частей: направляющей и горизонтального участка. Под направляющей частью профиля понимается часть бокового ствола скважины от её устья до точки, являющейся началом горизонтального участка. На стадии проектирования бурения началом горизонтального участка считается точка входа в заданный цилиндр допуска. Высота цилиндра – коридор проводки горизонтального участка, радиус окружности (круга допуска) – максимально допустимое отклонение фактического забоя от проектного. Эти параметры определяются с учётом технологических возможностей бурения, исходя из последствий в нарушении сетки разработки месторождения. [4]

Расчёт элементов профиля представляет собой оптимизационную процедуру, выполняемую в автоматизированном, а при необходимости процесса – в диалоговом режиме.



I – трехинтервальный; II, III – двухинтервальный; IV – четырехинтервальный; участки: 1 – набора зенитного угла; 2 – стабилизации; 3 – падения зенитного угла; 4 – выхода на горизонталь; 5 – горизонтальный

Рисунок 2. Типы профилей

Рекомендации по проектированию профилей ЗБС и их проводке предусматривают возможность корректирования их при использовании новых долот, забойных двигателей, телесистем, изменении способа и режима бурения.

Выводы

Бурение боковых стволов, как метод реанимирования старых скважин, является перспективной технологией извлечения остаточной нефти на Самотлорском нефтяном месторождении и других месторождениях РФ, находящихся на поздней стадии разработки.

Развитие технологии бурения БС позволит интенсифицировать добычу нефти, увеличить запасы нефти за счет вовлечения в разработку слабодренлируемых, низкопродуктивных пластов, залежей с узкими нефтяными оторочками, трудноизвлекаемых запасов нефти на уже открытых месторождениях и запасов охранных и краевых зон.

Библиография

1. Булатов А.И., Просёлков Е.Ю., Просёлков Ю.М. Бурение горизонтальных скважин : справочное пособие. – Краснодар : Издательство «Советская Кубань», 2008. – 419 с.
2. Бердин Т.Г. Проектирование разработки нефтегазовых месторождений системами горизонтальных скважин. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. – 199 с.
3. Зозуля Г.П. Особенности добычи нефти и газа из горизонтальных скважин. – М. : Издательство «Академия», 2009. – 176 с
4. Гауф, В.А. Разработка технологий реконструкции малодебитных скважин сооружением боковых стволов / В.А.Гауф.-Тюмень.-2014

**Исследование использования Нелинейной волновой технологии при бурении. Алабед
Алтаббал А.А.* (Уфимский государственный нефтяной технический
университет, azhartabbal@gmail.com), Алали А.М. (Уфимский государственный
нефтяной технический университет, ahmad95479@gmail.com)**

Аннотация

В тот день, когда мир стремится и успешные методы в области бурения и добычи нефти и газа. Волновые методы были открыты при бурении нефтяных и газовых скважин, особенно в илистых малоустойчивых породах.

Коллективом Научного центра нелинейной волновой механики и технологии РАН (НЦ НВМТ РАН) создана нелинейная волновая механика многофазных систем, являющаяся научной базой волновых технологий, не имеющих аналогов в мировой практике.[2]

Нелинейная волновая механика, волновые технологии и волновое машиностроение связаны единой научной идеологией, основанной на нелинейных волновых принципах. Таким образом, волновая механика (с ее новыми направлениями), волновые технологии, разработанные на волновых явлениях и эффектах, и соответствующие волновые машины и аппараты в настоящем виде носят комплексный характер и взаимно дополняют и развивают друг друга.[1]

Ключевые слова

Бурение, Нефтяные месторождения Центрального региона, Нелинейная волновая механика, волновые технологии, буровой раствор, Кольматация при бурении, цемент.

Теория

Отправной базовой научной основой является разработанная в ИМАШ РАН нелинейная волновая механика, имеющая Российский приоритет. В процессе разработки этой новой области нелинейной механики открыт ряд нелинейных волновых и колебательных явлений и эффектов, которые положены в основу наукоемких перспективных технологий, так называемых волновых технологий, получивших широкое распространение в России и за рубежом.[2]

Волновые технологии основаны на физико-математических исследованиях сложных гидромеханических систем, которые проводились в последние годы в Научном центре нелинейной волновой механики и технологии РАН: на оригинальных методах математического моделирования динамики гидромеханических, в частности, многофазных систем применительно к процессам обработки сред различной вязкости; на широком круге целенаправленных лабораторных и опытно-промышленных экспериментов в промышленных условиях на различных предприятиях СНГ и за рубежом.[3,4]

Один из идейных характерных (центральных) моментов заключается в том, что именно за счет управления (пассивно или активно) колебательными или волновыми движениями рассматриваемой системы в условиях нелинейных резонансов ставится задача существенного изменения динамических характеристик, т.е. создание мощных

дополнительных движений неколебательного характера (это только одна из постановок). При этом нелинейные резонансные соотношения имеют вид:

$$\lambda_1 m_1 + \lambda_2 m_2 + \dots + \lambda_n m_n - \omega_1 p_1 - \omega_2 p_2 - \dots - \omega_k p_k \approx 0,$$

где m_i, p_j – малые целые числа; λ_i – собственные частоты; ω_j – частоты вынуждающих сил. Например, $\lambda_i \pm \lambda_j = \omega_k, \lambda_i = \frac{\omega_k}{n}, n = 1, 2, \dots, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}$ [3]

Согласно статье, написанной Ривнера Фазылович ГАНИЕВ (действительный член (академик) РАН по Отделению проблем машиностроения, механики и процессов управления, заместитель директора Института машиноведения РАН), были опубликованы результаты применения волновых методов, из которых мы приводим результаты применения этого метода при интенсификации процесса бурения [4,5]:

В настоящее время работы по отработке волновой технологии бурения продолжают в направлении увеличения скорости проходки скважин. Имеются свидетельства того, что по сравнению с традиционным роторным бурением на технике, используемой в России, механическая скорость бурения может быть повышена на 40-60%. Для доработки технологии к тем условиям, которые имеются у заказчика, необходимо проведение ряда опытно-промышленных экспериментов именно с той техникой (насосы, долота и т.п.), которая используется на буровых заказчика. [3,4,5]

На рисунке (1) приведены результаты бурения добывающих скважин с помощью волновой технологии в сопоставлении с традиционным бурением. В качестве примера приведены две пары скважин. Скважины в каждой паре расположены близко друг относительно друга.

в абсолютно одинаковых геологических условиях. Однако пробурены они были различными методами: традиционным и волновым. Как видим, в обоих случаях производительность скважин, пробуренных с применением волновой технологии, оказалась выше. Это объясняется тем, что при вскрытии продуктивного горизонта по традиционной технологии происходит значительное загрязнение призабойной зоны глинистым раствором, а при бурении с использованием волнового устройства это загрязнение значительно меньше благодаря вышеописанному эффекту кольтации.[3,4,5]

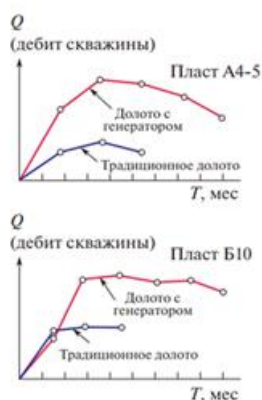


Рис.1. Результаты волнового процесса бурения и проводки скважин.

На рисунки (2,3), Кольматация при бурении, при волновом бурении (при кольматации) зона проникновения бурового раствора практически отсутствует и повышается дебит скважины.[4,5]

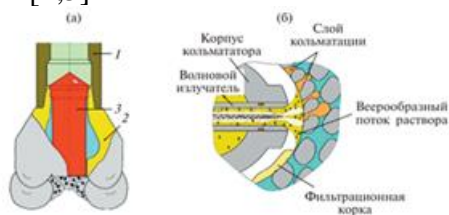


Рис.2. (а) Конструкция волнового долота-кольматор; 1- насосна компрессорная труб, 2- буровое долото, 3- волновой генератор; (б)- схема процесса волновой кольматации.

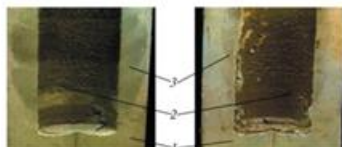


Рис.3. Фотографии среда породы после традиционного бурения (слева)и волнового бурения с кольматацией(справа); 1- образцы породы, 2- пробуренные отверстия, 3- зоны проникновения бурового раствора.

На рисунке (4) представлены данные по недоподъему цементного раствора в двух рядом расположенных скважинах, одна из которых бурилась традиционным методом, а другая с использованием волнового устройства. Как видим, недоподъем цемента в скважине, пробуренной с использованием волнового устройства существенно меньше.

Это обусловлено тем, что трещины в окружающей скважину породе были закупорены плотной глинистой коркой благодаря эффекту кольматации, и проникновение тампонажного цементного раствора в окружающую породу было значительно понижено в процессе волнового бурения.[4]

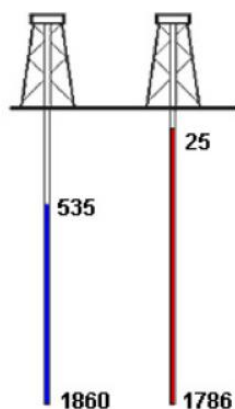


Рисунок 4. Высота неподъема цемента для скважин, пробуренных традиционным долотом (синяя) и долотом,

Выводы

Изучив и наблюдая результаты применения и успеха волновой техники во многих справочниках и экспериментах, проведенных во многих странах, что позволило:

- Предотвратить или снизить поглощения буровых растворов;
- Избежать или уменьшить интенсивность нефтегазовых проявлений;

- Предупредить появление или прекратить обвалы горной породы и прихваты бурового инструмента;

- Уменьшить зону загрязнения фильтратом и твердой фазой буровых и цементных растворов продуктивных пластов и повысить дебит скважин.

Эти результаты продемонстрировали преимущества данного метода в областях бурения, что открыло двери для попыток применения этих современных методов при бурении скважин в центральном районе, что открывает новые горизонты безопасного бурения и снижения проблем, возникающих при бурении в них.

Библиография

1. Ганиев Р.Ф., нелинейная волновая механика, волновые технологии и волновое машиностроение. Научные труды VI Международной научной конференции “Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении”. – М.: ИМАШ РАН. – 2019. – 458 с.
2. Ганиев Р.Ф., Украинский Л.Е. Нелинейная волновая механика и технология. Волновые и колебательные явления в основе высоких технологий. Изд. 2-е, доп. М.: Институт компьютерных исследований; Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. 780 с.
3. Ганиев Р. Ф., фундаментальные и прикладные проблемы не линейной волновой механики и машиностроения. Прорывные волновые технологии и волновое машиностроение., ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ И НАДЕЖНОСТИ МАШИН 2019, № 6, с. 3–33
4. СП "Энергомаш", СП "Энергомаш" - Основы технологии FLOX (narod.ru)
5. Шамов Н. А., применение волновой кольматации в бурении скважин., Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2013. №3, с. 66–74.

*Разработка мероприятий по устранению прихватов при бурении скважин.
Алимова М.М.* (МГРИ им. С. Орджоникидзе, munisaalimova999@gmail.com),
Соловьев Н.В. (МГРИ им. С. Орджоникидзе, solovyevnv@mgri.ru)*

Аннотация

Перспективы роста и добычи нефти и газа в России напрямую связаны с объемами и эффективностью буровых работ. Сохранение темпов развития топливно-энергетического комплекса России во многом определяется качеством вскрытия скважин, характеризующихся сложными горно-геологическими условиями, высокой интенсивностью набора зенитного угла при бурении скважины, увеличением глубины бурения и его протяженностью горизонтального участка, приводящие к возникновению осложнений и аварий. Одним из наиболее распространенных и тяжелых по последствиям видов осложнений при бурении наклонно-направленных скважин и скважин с горизонтальным участком является прихват бурильной колонны [1].

Ключевые слова

Прихват бурильной колонны, ликвидация осложнения, жидкие ванны, механический метод, ясс ударный, ясс ударно-вибрационный.

Теория

Прихваты бурильных колонн возникают при возникновении перепада давления, под действием которого происходит прилипание колонны бурильных труб и потеря их подвижности. Происходит это не только при наличии градиента давления, но и в местах сужения ствола скважины, заклинивания в самих желобах, по причине обвалов и осыпей стенок разбуриваемой скважины и сальникообразования в затрубном пространстве. Прихваты бурильных колонн – наиболее тяжкий и распространенный тип аварий. К группе тяжелых аварий прихваты относятся потому, что приходится ликвидировать забуриванием нового пласта практически треть прихватов, особенно это имеет актуальность в скважинах с большой глубиной забоя [1,4].

Возникновение прихватов и затяжек бурильного инструмента и обсадных колонн обуславливается различными факторами, на предупреждение и ликвидацию каждого из которых требуется отдельный подход.

Основные причины их возникновения:

1. Сложные горно-геологические условия;
2. Недостаточно полно обоснованный тип профиля по зенитному углу и направлению;
3. Несоответствие данному профилю технических возможностей буровой установки;
4. Есть не точности при компоновке бурильной колонны;
5. Негативное влияние промывочной жидкости и бурового ствола скважины;[4]

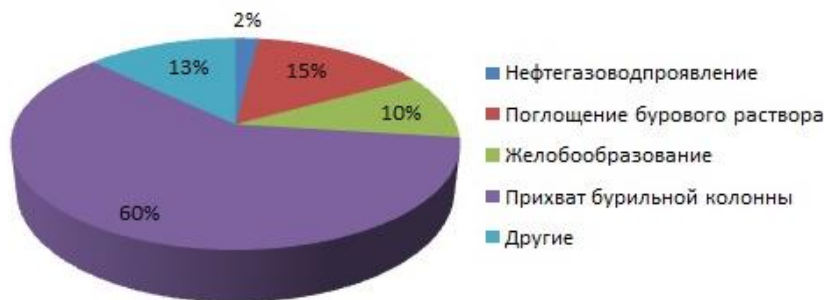


Рисунок 1. Диаграмма распределения возникновения осложнений и аварий при бурении скважин

Ликвидация прихватов базируется на совокупности накопленного опыта и имеющейся информации о причине происшедшего прихвата и заключаются в выборе наиболее эффективного способа для конкретного случая и последовательном применении или чередовании различных способов.

В сложной ситуации, особенно в условиях, характеризующихся неопределенностью обстановки в скважине при возникновении прихвата, не всегда удается принять оптимальное решение, обеспечивающее минимальные потери времени и средств.

Результативность известных способов ликвидации прихватов во многом определяется “состоянием природы”. Так, использование ванн наиболее результативно при ликвидации прихватов, происшедших под действием перепада давления, а устройства импульсного воздействия (яссы, вибраторы) наиболее эффективны при ликвидации прихватов, вызванных заклиниванием [2].

Критерием оценки сравнительной эффективности способов принимается T , затраченное на ликвидацию прихвата, которое определяется с учетом проведения необходимых операций при производстве работ (расхаживание и определение зоны прихвата, подготовки агента ванны, его закачивание и продавливание, время воздействия или сборка ясса, отвинчивание и объем свободной части колонны, спуск ясса, соединение с прихваченными трубами, промывка, работа яссом и т.д.).

Применение жидкостных ванн – распространенный и действенный метод при ликвидации прихватов, происшедших в интервалах проницаемых пород, вызванных действием перепада давления и не рекомендуется при ликвидации прихватов, происшедших вследствие заклинивания труб посторонними предметами или обрушившейся горной породой, в желобных выработках, в суженной части ствола скважины или в нарушенной обсадной колонне.

Нефтяная ванна должна быть установлена сразу после возникновения прихвата. Перед установкой ванны необходимо определить верхнюю границу прихвата по упругому удлинению колонны или с помощью специальной аппаратуры. Также следует проверить состояние противовыбросового устьевого оборудования, насосов и циркуляционной системы [3].

Применение ударных устройств. Ясс ударный — предназначен для освобождения прихваченной бурильной колонны приложением к ней ударных нагрузок при расхаживании.

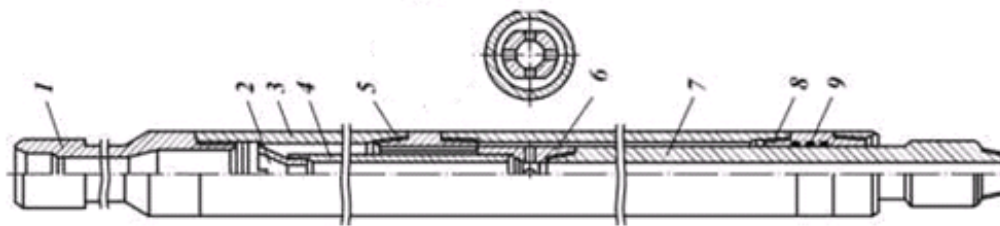


Рисунок 2. Ясс ударный

Ясс ударный (рис. 2) состоит из корпуса и шпинделя. Корпус сконструирован из переводника 1, двух кожухов 3, муфты соединительной 5 и нижней муфты 8, в которой помещены самоуплотняющиеся манжеты 9. Шпиндель состоит из квадратной штанги 4, головки 6 и направляющей трубы 7. На верхний конец квадратной штанги накинута воронка 2 для направления груза ДТШ. Двухметровый свободный ход ясса предотвращает распространение над ним прихвата [2].

Ясс ударно-вибрационный предназначен для освобождения прихваченной колонны буровых труб осевыми ударами, направленными сверху вниз, или же путем создания вибрации в колонне вращением буровых труб под натяжением. Ясс ударно-вибрационный (рис. 3) состоит из корпуса и шпиндельной части. Корпус соединяется с колонной буровых труб при спуске в скважину с помощью переводника 1 и служит для нанесения ударов ударником 9, а также для создания вибрации при вращении инструмента под натяжением с помощью наклонных кулачков ударника. В переводнике смонтированы кольцо 2, пружина 3, муфта отбойная 4 с квадратным сечением направляющей хвостовой части. Продольное перемещение отбойной муфты ограничивается двумя винтами 5, расположенными в нижней части переводника. Переводник и ударник соединены кожухом 6. Шпиндельная часть служит для захвата свободного конца прихваченной колонны с помощью ниппельного конца или накинутаго на него ловильного инструмента (метчика, колокола, седла, калибра и т.д.) и состоит из шпинделя 8 и закрепленных на нем головки 7 и наковальни 10. Головка имеет на одном торце прямые, а на другом наклонные кулачки. Для исключения возможного самоотвинчивания головки при левом вращении инструмента она соединяется штифтом со шпинделем. Уплотнение зазоров между корпусом и шпинделем достигается V-образными резиновыми манжетами. [2;3]

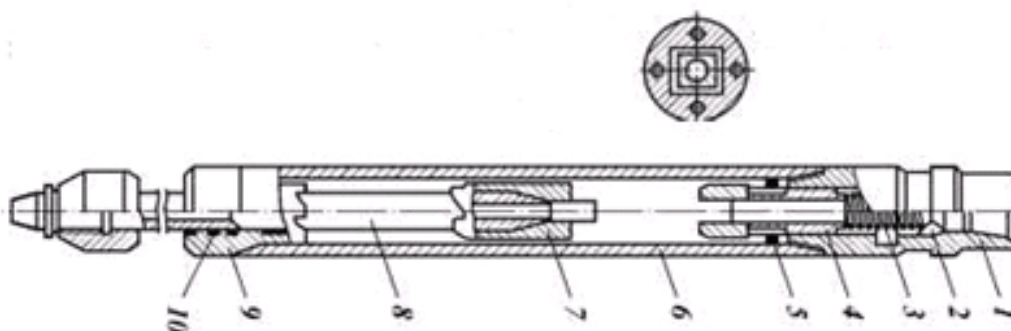


Рисунок 3. Ясс ударно-вибрационный

Выводы

Исходя из выше написанного можно сделать вывод о том, что, аварии при бурении разных по назначению скважин встречаются очень часто. Одна из них – прихват бурильной колонны. Для ликвидации прихвата необходимо знать о каком его виде идет речь, так как каждый из них требует индивидуального подхода к решению аварии. Стоит отметить, что для ликвидации прихвата необходимо определить интервал прихваченной зоны и как можно скорее приступить к его ликвидации. Использование жидких ванн, механический и гидроимпульсный – известные и распространенные методы ликвидации. Также не малую роль в предотвращении и ликвидации прихвата бурового инструмента играет человеческий фактор, который следит и несет ответственность за своевременное обнаружение осложнения.

Благодарности

Я, Алимова Муниса Музаффаровна, выражаю благодарность своему научному руководителю, д.т.н. профессору Соловьеву Николаю Владимировичу, а также преподавателям кафедры современных технологий бурения скважин за помощь в развитии моей магистерской работы.

Библиография

1. Акчулпанов, Р. Р. Анализ современных способов и средств ликвидации прихватов при бурении скважин с большим отходом / Р. Р. Акчулпанов // ОБЩЕСТВО - НАУКА - ИННОВАЦИИ: сборник статей Международной научно-практической конференции, Самара, 02 декабря 2020 года. Том Часть 2. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2020. – С. 19-21. – EDN ITVAZJ.
2. А. К. Самоной - Прихваты колонн при бурении скважин. - Москва: Недра, 1984. - 204 с.
3. В. Г. Заливин, А. Г. Вахромеев - Аварийные ситуации при бурении на нефть и газ: Учебное пособие. – Москва-Вологда – Инфра-Инженерия – 2018. – 508 с.
4. Яляев Анвар Ринатович, Маршев Виталий Игоревич, Сафиуллина Карина Ильфатовна, Булатова Камила Ахсяновна - АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПРОФИЛАКТИКИ ЗАТЯЖЕК И ПРИХВАТОВ БУРИЛЬНЫХ КОЛОНН // Столыпинский вестник. 2022. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sposobov-profilaktiki-zatyazhek-i-prihvatov-burilnyh-kolonn> (дата обращения: 06.02.2023).

***Применение экологической чистой добавки для буровых растворов. Аль-Шаргаби
Мохаммед (Инженер ТПУ, al_shargabi@tpu.ru)***

Аннотация

В ходе ряда исследований было установлено, что химические и традиционные добавки, используемые для снижения потерь бурового раствора, могут оказывать как немедленное, так и долгосрочное негативное воздействие на окружающую среду, среду обитания и экосистемы. В связи с этими недостатками выбор добавок для рецептуры бурового раствора становится все более сложным как с экологической, так и с экономической точки зрения. В данном исследовании высушенный порошок лепестков пурпурного шафрана в качестве экологически чистой зеленой добавки был включен в буровой раствор на основе бентонита, после чего была проведена оценка влияния SPP на реологические свойства, фильтрационные характеристики и эффективность ингибирования коррозии буровых растворов. Результаты ротационной вискозиметрии и RMS показали выраженное улучшение реологических свойств буровых растворов, наполненных SPP, где индекс консистенции и предел текучести в присутствии 3 масс% порошка SPP увеличились на 94,4% и 233,4%, соответственно.

Ключевые слова

Буровой раствор, фильтрация бурового раствора, реологические свойства бурового раствора, коррозия, экологическая добавка.

Теория

Сохранение экологии и экосистем стало превалировать над разработкой углеводородов. В результате использование натуральных, биоразлагаемых, нетоксичных и экологически чистых "зеленых" материалов стало приемлемой альтернативой для снижения негативного воздействия буровых растворов на суше и в чувствительных морских средах обитания. Первоначальное применение натуральных, местных, экологически чистых ингредиентов в буровых растворах было направлено на предотвращение потери циркуляции [1,3]. В качестве примеров добавок для снижения фильтрации, которые были предложены или использованы в буровых растворах, можно привести волокна ствола финикового дерева, кокосовую койру, фракции риса и скорлупу какао-бобов. Успешное применение этих природных добавок для снижения фильтрации в буровой промышленности повысило интерес к использованию подобных недорогих зеленых отходов для других целей, таких как управление потерей жидкости, подавление набухания сланцев и изменение реологии жидкости. Кроме того, были проведены некоторые исследования по эффективности предотвращения коррозии металлических поверхностей в жестких кислотных и соленых условиях с помощью экологически чистых зеленых отходов [2]. Таким образом, в данной работе было исследовано влияние высушенных лепестков шафрана пурпурного (SPP) на реологические характеристики, потери жидкости и ингибирование коррозии буровых растворов на основе бентонита. Наиболее важные химические компоненты, содержащиеся в порошке SPP, показаны на рис. 1 [2,4].

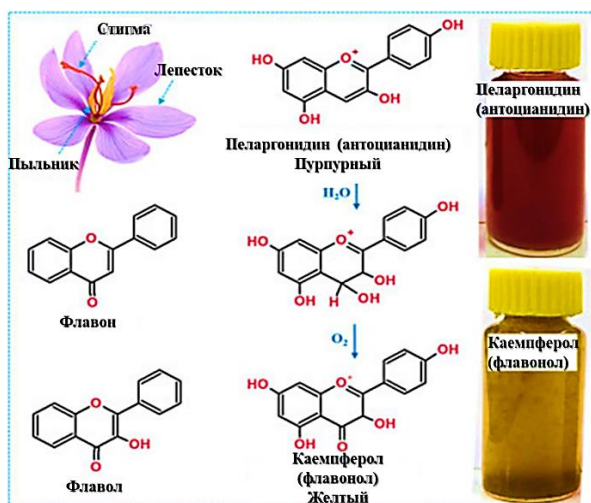


Рисунок 1. Химические компоненты структуры SPP.

Экспериментальная часть:

Материалы:

В таблице 1 приведена рецептура образцов буровых растворов.

Таблица 1

Состав исследуемых буровых растворов

Компонент	Образец бурового раствора			
	Основной раствор	1 масс% SPP	2 масс% SPP	3 масс% SPP
Пресная вода (куб. см)	500	500	500	500
Кальцинированная сода	0.03	0.03	0.03	0.03
Каустическая сода	0.05	0.05	0.05	0.05
NaCl (масс. %)	3.5	3.5	3.5	3.5
Бентонит (масс. %)	10	10	10	10
SPP порошок (масс. %)	-	1	2	3

В данном исследовании высушенный порошок лепестков шафрана пурпурного (SPP) был использован в качестве экологически чистой зеленой добавки в буровой раствор на основе бентонита (EDX-изображения порошка SPP показаны на рис.2), и было изучено влияние SPP на реологические характеристики, поведение фильтрации и эффективность ингибирования коррозии буровых растворов. Бесформенные частицы порошка SPP имеют микроразмеры с широкой дисперсией размеров частиц, как показано на рис. 2а.

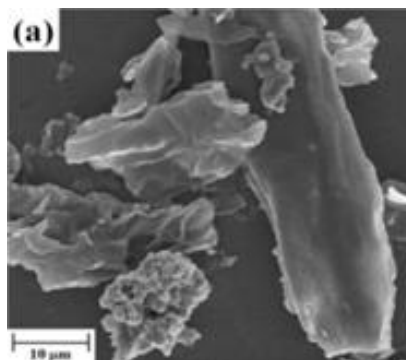


Рисунок 2. EDX-изображения порошка SPP.

Основными элементами в химической структуре SPP, согласно исследованиям EDX и элементного картирования, являются O (35,5 масс%) и C (60,8 масс%), Элементное картирование неорганических и органических компонентов для основного шлама и грязевого кека с 3 масс% порошка SPP показано на рис. 3. Основной шлам включает в себя элементы Mg, O, Si и Al, полученные из смектитов кристаллических глинистых минералов. как показано на рис. 3а. Волокнистая структура, показанная на рис. 3б, которая имеет высокую концентрацию C, является связана с порошком SPP. Элементное картирование и результаты FE-SEM подтвердили наличие волокнистых структур SPP в фильтрационной корке, создавая физическую сетевую структуру и заполняя пустоты, трещины и неровности в фильтрационной корке бурового раствора.

Результаты ротационной вискозиметрии и RMS показали значительное улучшение реологических характеристик буровых растворов, наполненных SPP, при этом индекс консистенции и предел текучести увеличились на 94,4% и 233,4%, соответственно, в присутствии 3 масс% порошка SPP. В результате превосходных реологических и фильтрационных характеристик буровых растворов, содержащих порошок SPP, SPP был представлен в качестве мощного вискозифицирующего агента для применения в буровых растворах. Фильтрационные характеристики буровых растворов в присутствии порошка SPP показали значительное снижение, при этом включение 1-3 масс% порошка SPP привело к уменьшению объема фильтрата на 23-45 процентов по сравнению с базовым раствором (см. рис. 3, 4 и 5). Порошок SPP продемонстрировал свою эффективность в качестве экологически чистого реологического модификатора и регулятора потери жидкости в тестах ротационной вискозиметрии, RMS и фильтрации. Более того, в присутствии порошка SPP все буровые растворы продемонстрировали эффективность предотвращения коррозии более 94 %. Электрохимические эксперименты и наблюдения FE-SEM показали, что порошок SPP представляет собой зеленый ингибитор смешанного типа, который снижает скорость коррозии пластин из мягкой стали, образуя ингибирующий слой на металлической поверхности в анодном и катодном местах.

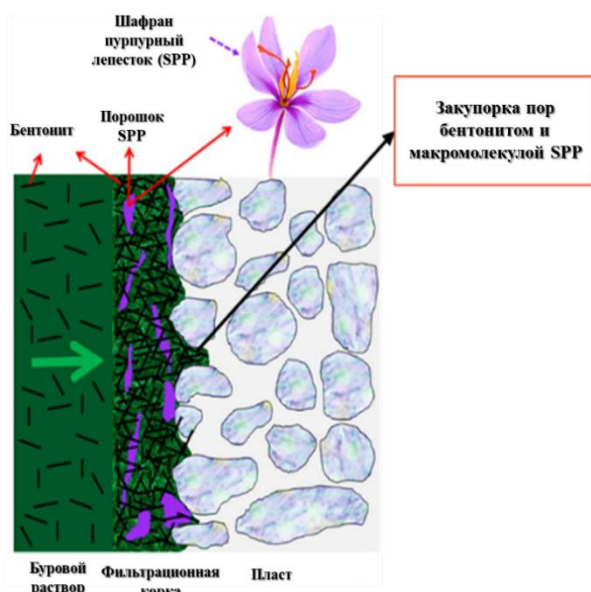


Рисунок 3. Схематично изображено образование корки в присутствии порошка SPP.

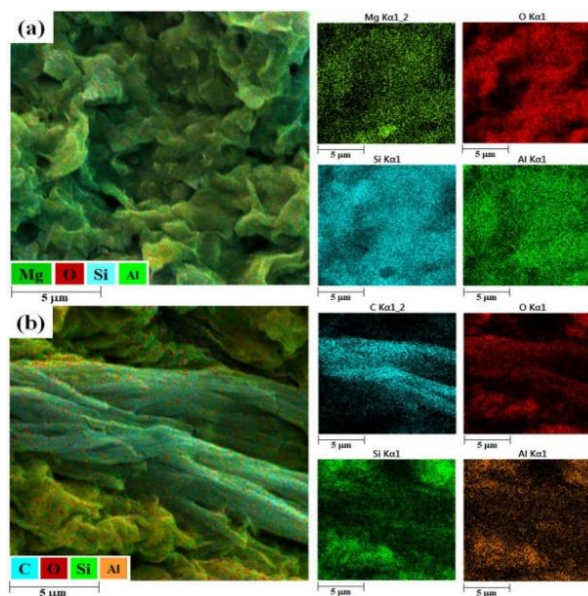


Рисунок 4. Фотографии элементного картирования для основного шлама (а) и шлама с 3 масс% порошка SPP, а также фильтратных кеков (б).

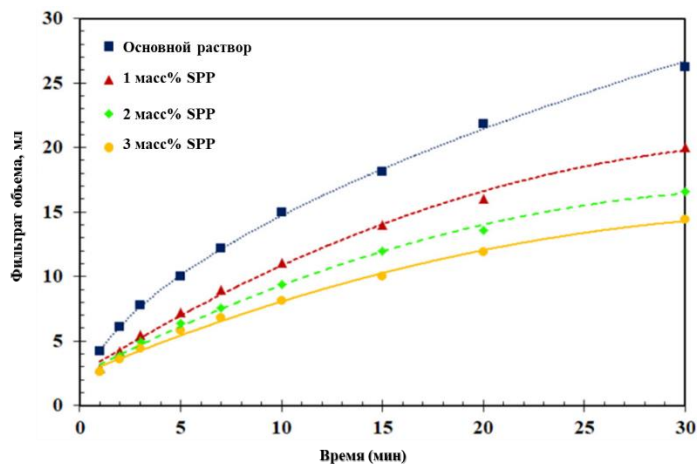


Рисунок 5. Результаты фильтрации подготовленного базового бурового раствора и буровых растворов, содержащих 1, 2 и 3 масс% порошка SPP.

Выводы

Присутствие 3 мас.% порошка SSP в жидкости значительно повысило предел текучести и индекс консистенции жидкости на 223,3% и 94,4%, соответственно, по сравнению с базовым буровым раствором. Результаты фильтрации и образования корки подтвердили, что жидкость, содержащая 3 мас.% порошка SPP, на 45% улучшила барьер проницаемости. Морфология пластин из мягкой стали, погруженных в жидкости, наполненные SPP, продемонстрировала образование ингибирующих коррозию слоев на металлической поверхности, которые препятствовали анодным и катодным реакциям, в то время как на пластине, погруженной в базовый раствор, образовалось значительное количество ржавчины и продуктов коррозии. Кроме того, использование SPP в качестве органической экологически чистой добавки не оказывает вредного воздействия на окружающую среду и экосистему.

Библиография

1. Аль-Шаргаби МА, Альмусаи АХ, Вазеа АА. Стадии и механизм набухания глин при бурении скважин. In Научное сообщество студентов XXI столетия. Естественные науки 2018 (pp. 47-52).
2. Полозов М.Б., Аль-Хамати А.Х.М.А., Аль-Шаргаби М.А.Т.С. Анализ причин снижения фильтрационных характеристик призабойной зоны пласта // Материалы 45-й Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. 2018. Р. 158-161.
3. Al-Shargabi MA, Al-Musai AH. Review of application of materials for controlling and preventing lose circulation on water-based muds MATS. In Новые идеи в науках о Земле 2021 (pp. 147-150).
4. Al-Shargabi, M.A. T.S., and A.H. A. Al-Musai. "Comparative analysis of programs for assessing the risk of stuck drill pipes in an oil and gas well." Проблемы геологии и освоения недр: труды XXV Международного симпозиума имени академика МА Усова студентов и молодых учёных, посвященного 120-летию горногеологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 5-9 апреля 2021 г. Т. 2. – Томск, 2021 2 (2021): 502- 504.

***Разработка способа предупреждения поглощения бурового раствора при выполнении технологической операции в процессе бурения скважин. Ахундов Ф.А.*
(Институт Нефти и Газа, fataliaxundov@gmail.com)***

Аннотация

В работе рассматриваются существующие способы измерения сжимаемости тиксотропных сред и устройства их реализующие. При этом выявлены их многие недостатки, заключающиеся в основном в их малой точности и сложности их получения.

В этой связи в статье приводится новый способ измерения коэффициента сжимаемости бурового раствора, заключающийся в погружении пуансона поступательно вниз с постоянной скоростью в сосуд в виде колбы, заполненной буровым раствором до того момента пока жидкость не начнет подниматься в кольцевом пространстве. Причем начало перемещения цилиндрического пуансона в зазоре до момента начала движения тиксотропной жидкости (бурового раствора) называемом временем запаздывания выхода жидкости регистрируется секундомером (Т). Далее значение коэффициента сжимаемости бурового раствора определяют по приведенной простой формуле.

Ключевые слова

Буровой раствор, тиксотропная жидкость, коаксиальный зазор, сжимаемость бурового раствора, время запаздывания.

Теория

Процесс бурения нефтяных и газовых скважин сопровождается возникновением осложнений, среди которых основное место занимает поглощение бурового раствора. Причем данный вид осложнения существенным образом проявляется при выполнении технологически необходимых операций таких как спуск-подъем бурильной (обсадной) колонны промывка ствола скважины и др.

В этой связи в предлагаемой работе мы остановимся на решении вопросов предупреждения возникновения поглощения бурового раствора в процессе бурения скважины. Следует отметить, что используемые в процессе бурения газожидкостные жидкости, а также буровые растворы, обработанные различными реагентами в т.ч. нефтью, смазочными добавками имеющими достаточно высокую сжимаемость, невозможность учета которой может привести к повышению давления в стволе скважины, а в некоторых случаях к гидроразрыву пласта, ведущего к поглощению промывочной жидкости.

Хотелось бы отметить, что для определения коэффициента сжимаемости жидкости известны работы, связанные:

- с решением обратной задачи квазиодномерного движения вязкопластичной жидкости при использовании преобразования Лапласа и заданием необходимого количества дополнительных условий на устье скважины [3];

- с размещением исследуемой жидкости в пространстве созданном между внешним и внутренним сосудами, причем конец внутреннего сосуда оканчивается капилляром, погруженный в ртуть. Во внешнем сосуде создается высокое давление (для этого обычно прибор наполняют водой и присоединяют к гидравлическому прессу) и за счет сжатия объем жидкости во внутреннем сосуде уменьшается, а объем другого сосуда остается неизменным и ртуть поднимается по капилляру. По изменению высоты столба ртути определяется изменение объема жидкости. После чего по формуле рассчитывается коэффициент сжимаемости жидкости [4] .

- с измерением давления и температуры на забое скважины в момент отбора пробы, нагревании пробоотборника после подъема его на поверхность до создания давления в нем, превышающем давление насыщения, после чего определяют температурный коэффициент объемного расширения и по его значениям по формуле осуществляют вычисление коэффициента сжимаемости исследуемой жидкости [1] .

К недостаткам метода определения коэффициента сжимаемости бурового раствора [2] относится сложность проведения расчетов, а вместе с тем и низкая точность полученных результатов.

Недостатком способа [2] является сложность его исполнения, заключающаяся в изготовлении сосудов специальной формы, а также использование ядовитой ртути. К недостаткам способа [3] также относится сложность его осуществления и в этой связи, возникающая значительная погрешность при получении значений искомой величины происходит за счет неоднократного спуска и подъема пробоотборника в скважину, отбора пробы пластового флюида, ее подогревания до определенной температуры, измерение давления, превышающего давление насыщения, охлаждение контейнера с пробой и определение плотности жидкости и только после этого нахождения значения коэффициента температурного расширения после чего производится вычисление искомого значения коэффициента сжимаемости.

Таким образом, недостатками всех известных способов определения сжимаемости является большая погрешность в измерении значений коэффициента сжимаемости тиксотропных сред, в качестве которой при бурении скважин используются буровые растворы.

С целью повышения точности измерения значений коэффициента сжимаемости тиксотропных сред предлагается исследуемую жидкость помещать в сосуд с цилиндрическим горлом, равномерно погружать в него цилиндрический пуансон и измерять время от начала спуска пуансона до момента начала течения тиксотропной жидкости в коаксиальном зазоре между пуансоном и стенкой сосуда, которое называется временем запаздывания (Т).

Из [4] известно, что значение давления (ΔP), вызванного преодолением напряжения сдвига бурового раствора определяется по формуле:

$$\Delta P = \frac{4 \cdot \ell \cdot \tau_0}{D - d}, \quad (1)$$

где ℓ - глубина погружения бурильного инструмента, м;

τ_0 – статическое напряжение сдвига, Па;

D, d –соответственно, диаметры скважины и бурильных труб, м;

Однако из закона Гука известно также, что

$$\Delta P = K \frac{\Delta V}{V}, \quad (2)$$

Причем
$$\Delta V = \pi \cdot d^2 \cdot U \cdot T \quad (3)$$

Подставив выражение (3) в (2) и полученное выражение приравняв к (1), имеем:

$$\frac{4\ell \cdot \tau_0}{D-d} = K \frac{\pi \cdot d^2 \cdot U \cdot T}{V}, \quad (4)$$

Из формулы (4) определяем искомое значение коэффициента сжимаемости тиксотропной системы (K):

$$K = \frac{4\ell \cdot \tau_0 \cdot V}{\pi \cdot d^2 \cdot U \cdot T \cdot (D-d)}, \quad (5)$$

где U – скорость спуска внутреннего сосуда (пуансона), м/с; T – время запаздывания течения тиксотропной системы, с; D – внутренний диаметр наружного сосуда, м ;

d – наружный диаметр внутреннего сосуда (пуансона), м; S – площадь наружного сечения пуансона, м²; ℓ - длина кольцевого зазора, м; V - объем жидкости в кольцевом пространстве, м³.

Указанный способ реализуется устройством, состоящим из следующих элементов, схема которой приведена на рисунке (см. рис.): 1 – наружного сосуда (в форме колбы); 2–цилиндрического пуансона; 3–исследуемой жидкости; 4–штуки-центра, расположенного во внутреннем отверстии наружного сосуда; 5-роликов; 6 – электромотора; 7 – секундомера. Технология способа измерения коэффициента сжимаемости тиксотропной системы состоит в следующем.

Опустив цилиндрический пуансон (2) в наружный сосуд (1), заливаем буровой раствор в образовавшееся кольцевое пространство. Затем после выдержки тиксотропной системы в разные времена покоя включается электромотор (6), скорость вращения которого составляет 0,002 м/с. При этом, посредством роликов (5), установленных по наружному диаметру пуансона (2) начинается перемещение его в жидкости поступательно вниз до того момента, пока жидкость не начнет подниматься в кольцевом пространстве. Время от начала перемещения цилиндрического пуансона в зазоре до момента начала движения тиксотропной жидкости в кольцевом пространстве называемом временем запаздывания, определяется секундомером. Значения предельного напряжения сдвига бурового раствора измерялись на приборе СНС – 2.

Следует отметить, что при вытеснении тиксотропной жидкости в тонкий кольцевой зазор, отношение площади соприкосновения среды к вытесненному пуансоном объему составляет значительную величину тем большую, чем меньше зазор между пуансоном и сосудом. Это приводит к затягиванию момента начала течения жидкости и увеличивает указанное время (T). Увеличение последнего позволяет измерять значение

коэффициента сжимаемости (K) с более высокой точностью в связи с тем, что момент начала течения в предлагаемом способе регистрируется более точно так как в узком зазоре возникают значительные перемещения вдоль зазора даже при незначительном разрушении структуры тиксотропной среды (бурового раствора), то есть в самом начале процесса течения.

Помимо указанного положительным в этом способе является еще и то, что в случае отсутствия электроэнергии, т.е. если буровая находится в отдалении от линии электропередачи для определения времени запаздывания бурового раствора в кольцевом пространстве и оперативного вычисления коэффициента сжимаемости тиксотропной жидкости, в сосуд с цилиндрическим горлом, в котором размещена испытываемая жидкость спуск внутреннего пуансона можно осуществлять вручную.

Таким образом, оперативное определение значений коэффициента сжимаемости бурового раствора позволит впоследствии выбрать оптимальный режим спуска буровой колонны в скважину, что в свою очередь создаст условия для предупреждения осложнений, связанных с поглощением бурового раствора.

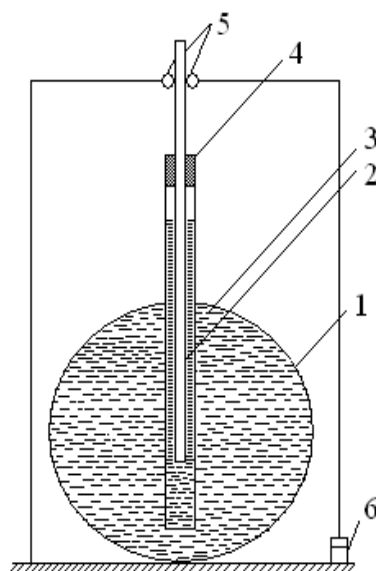


Рис.1. Схема устройства для измерения коэффициента сжимаемости тиксотропных сред

Библиография

1. А.С. СССР №1164407, М.кл. Е 21В 47/00. Способ определения коэффициента сжимаемости пластовой жидкости. / П.С.Варламов, А.В. Типугин, М.П. Снежко и др. Заявка 3599681/22-03 от 03.06.83. Оpubл. В Б.И. № 24, 30.06.85.
2. Басарыгин Ю.М., Булатов А.И., Проселков Ю.М. Осложнения и аварии при бурении нефтяных и газовых скважин. М.: Недра.-2000, -677с.
3. Гасанов Г.Т., Махмудов Р.Н., Керимзаде Э.А. К определению коэффициента сжимаемости глинистого раствора по устьевой информации. АЗИНЕФТЕХИМ. Нефть и газ 1973. № 2, с.23-27.
4. С.Э. Хайкин. Физические основы механики. Ozon. ru, 2008, - с.768.

*Технология борьбы с дифференциальными прихватами. Донченко Д.С. *(Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, donchenko_dar@mail.ru), Третьяк А.Я. (Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, 13050465@mail.ru), Кузнецова А.В. (Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, alvitkuz@yandex.ru)*

Аннотация:

Приведена общая характеристика прихватов. Показано, что наибольшее число осложнений происходит по причине дифференциальных прихватов. Подробно рассмотрен дифференциальный прихват и способы его ликвидации. Разработан высококатионно-ингибированный буровой раствор и специальная смазочная добавка для борьбы с дифференциальными прихватами.

Ключевые слова:

Дифференциальный прихват, адсорбция меди, высококатионно-ингибированный буровой раствор, смазочная добавка.

Теория:

Проблема дифференциального прихвата была впервые поднята Hayward в 1937 г. Однако в последнее время появилось множество технических статей, где утверждается, что этой проблемой не занимались до 1955 г. Обычно в этих статьях приоритет отдается Helmick и Longley. Вероятно, это обусловлено тем, что Helmick и Longley использовали термин «прихват под действием дифференциального давления», в то время как раньше этот феномен называли «прилипание к стенке».

Доля дифференциальных прихватов составляет 80 %, а 20 % приходится на прихваты, обусловленные механическим взаимодействием и неисправностью оборудования.

Основной причиной дифференциальных прихватов является наличие фильтрационной корки на стенке скважины, а также разность давлений гидростатического, образующегося за счет бурового раствора, и пластового. Сообразно с выше изложенным методы борьбы с дифференциальными прихватами будут зависеть от оптимально подобранного бурового раствора и возможности снизить разность давлений гидростатического, сформированного в стволе скважины, и давления непосредственно в нефтегазовом пласте. Изменить пластовое давление не представляется возможным, следовательно, основным элементом борьбы с дифференциальными прихватами является регулирование качества бурового раствора путем изменения параметров.

В случае прекращения вращения бурильной колонны происходит вдавливание ее в фильтрационную глинистую корку, образовавшуюся на стенках ствола скважины. При этом резко возрастает трение между бурильной колонны и породой ствола скважины, а выполнить вращение или перемещение колонны становится невозможным. В этом случае практически 100 % происходит дифференциальный прихват. [2]

Репрессия больше других факторов влияет на силу, прижимающую колонну к стенке скважины с фильтрационной коркой. Эта сила равна произведению дифференциального давления на площадь поверхности контакта:

$$F_{\text{пр}} = P_{\text{диф}} \cdot S, \quad (1)$$

где $F_{\text{пр}}$ – прижимающая сила Н, $P_{\text{диф}}$ – дифференциальное давление, Па, S – площадь поверхности контакта, м².

Раскрывая природу прижимающей силы (1), усилие дифференциального прихвата можно определить как:

$$F_{\text{пр}} = (P_1 - P_2) \cdot S \cdot K, \quad (2)$$

где: $(P_1 - P_2)$ – разница давлений между забойным (гидростатическим) давлением в проницаемом коллекторе, K – коэффициент трения, равен 0,1–0,2 для раствора на углеводородной основе.

Сечение ствола с находящейся в нём бурильной колонной и действие возникающих сил показано на рис. 1.

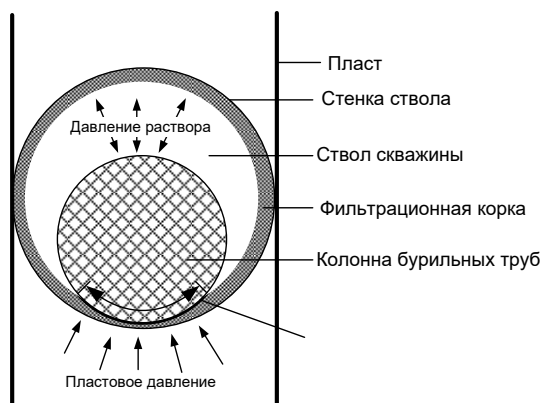


Рисунок 1. Сечение ствола с находящейся в нём бурильной колонной

С целью борьбы с дифференциальными прихватами на кафедре «Нефтегазовые техника и технологии» Южно-Российского государственного политехнического университет (НПИ) имени М.И. Платова разработан высококатионно-ингибированный буровой раствор (патент RU №2768340) имеющий следующий состав, масс. %: мраморная крошка (CaCO_3) – 5–10, полианионная целлюлоза (ПАЦ 85/700) – 5–10, сульфенол – 2–5, хлористый калий (KCl) – 2–5, метилсиликонат калия ($\text{CH}_2\text{SiO}_2\text{K}$) – 1–4, ацетат калия (CH_3COOK) – 1,5–4, бишофит ($\text{MgCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) – 2–5, феррохромлигносульфонат (ФХЛС) – 1–5, ГКЖ-11 – 2–5, жидкая фаза – отходы растительного масла и воды в соотношении - 55/45–80/20, барит (BaSO_4) – 0,5–5, пеногаситель – 0,5–1, алюминат калия ($\text{K}_2\text{Al}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) – 1–5, нанодисперсная медь (CuSO_4) – 0,5–4, форминат калия ($\text{K}(\text{HCOO})$) – 1–5, хлорид кальция (KCl) – 1–5, двухлористый магний (MgCl_2) – 1–5.

Оригинальность предлагаемого состава бурового раствора заключается в комплексном выполнении сразу нескольких функций: укрепление стенок скважин;

обеспечение высоких показателей фильтрации и смазывающей способности; препятствование возникновению дифференциальных прихватов.[3]

Высокое качество раствора достигается за счет наличия в составе раствора дисперсной меди, ингибирующих химреагентов и смазки. Технический результат улучшение крепящих свойств бурового раствора на углеводородной основе при одновременном улучшении коэффициента восстановления первоначальной проницаемости продуктивного пласта путем повышения ингибирующей способности фильтрата раствора, и как результат – отсутствие образования желобов и дифференциальных прихватов в стволе скважины, повышение устойчивости ствола наклонно-направленных и вертикальных скважин.

Улучшение ингибирующего качества раствора возможно за счет повышения его крепящего действия. Достигается это за счет введения реагентов-ингибиторов набухания глин: хлористый калий (KCl –определяющий ингибитор), ГКЖ-11 (ингибитор, гидрофобизатор), метилсиликат калия (CH_2SiO_2K), ацетат калия (CH_3COOK), феррохромлигносульфат (ФХЛС-дополнительный ингибитор), алюминат калия ($K_2Al_2O_4 \cdot 3H_2O$), бишофит ($MgCl \cdot 6H_2O$), двухлористый магний ($MgCl_2$), формиат калия $K(HCOO)$.

В качестве растительных масел могут использоваться отходы, получаемые при изготовлении соевого кукурузного, рапсового и других масел.

Сульфенол выполняет функцию эмульгатора, который представляет собой синтетический ПАВ. Мраморная крошка является структурообразователем. Полианионная целлюлоза ПАЦ 75/700 является понизителем фильтрации.

Нанодисперсная медь имеет размер частиц – 40–80 нм, плотность 5 г/см² и выполняет в буровом растворе роль антифрикционной противоизносной добавки и совместно с синергетически подобранными в растворе химреагентами решает задачу уменьшения дифференциальных прихватов. Молекулы меди адсорбируются на поверхности, пластифицируют стенки скважины по всему стволу, обеспечивая низкое сопротивление сдвигу при нахождении наночастиц между буровой колонной и стенками скважины. Поэтому. Чем меньше размер частиц, тем больше снижается коэффициент трения и интенсивность изнашивания. Наночастицы меди обладают собственным электрическим зарядом, который приобретают в процессе трения буровой колонны о стенки скважины. Под действием электрического поля наночастицы вокруг нее формируются оболочки из поляризованных и упорядоченных расположенных молекул диэлектрической компоненты смазочного материала (сульфенол и растительное масло). Толщина этой оболочки может достигать размеров граничного слоя на поверхности трения сопрягаемых тел между буровой колонной и крышкой корки ствола скважины. Это способствует их более полному разделению. [1]

Предложенный буровой раствор с высокими антиприхватными, наноструктурированными, ингибирующими, фильтрационными и смазывающими свойствами имеет параметры: фильтрация раствора 0,5–0 см³/за 30 мин., липкость корки равна 0,1 (коэффициент трения меньше 0,1, толщина корки меньше 0,5 мм), отношение масло/вода в % составляет 80/20, плотность раствора от 1,1 до 1,2 г/см³, условная вязкость по СВП-5 – 35–40 секунд, пластическая вязкость – 20–40 МПа×С, СНС 1/10 минут – 15–20/20–30 дПа, содержание песка меньше 0,5 %.

Одним из методов уменьшения вероятности дифференциальных прихватов является применение специальных смазочных добавок. На кафедре «Нефтегазовые техника и технологии» Южно-Российского государственного политехнического университет (НПИ) имени М.И. Платова разработана и прошла лабораторные испытания, антиприхватная с высокой смазывающей способностью, ингибирующая добавка к буровым растворам, имеющая следующий состав: графит (0,5–2 %), ПАВ-ОП-10 – 1–5 %, хлористый калий – 1–5 %, формиат калия – 1–5 %, бишофит – 1–5 %

Лабораторно-экспериментальные исследования антиприхватной, ингибирующей добавки показали, что она не оказывает отрицательного действия на основные свойства буровых растворов, применяемых в буровых компаниях.

Для достижения оптимальных технологических параметров буровых растворов в случае применения порошкообразной антиприхватной ингибированной добавки целесообразно использовать пеногаситель – Пентор-2001 в количестве до 0,1%.

Предлагаемая добавка предназначена для улучшения смазочных, ингибирующих и антиприхватных свойств, увеличения срока службы бурового оборудования, а также в целях снижения расхода, требуемых для этих целей химреагентов. [1].

Выводы

1. Предложен многофункциональный наноструктурированный, высокоингибированный буровой раствор для бурения скважин в сложных горно-геологических условиях.
2. Экспериментально подтвержден синергетический эффект действия компонентов раствора – комплекс реагентов работает лучше, чем каждый компонент в отдельности.

Библиография

1. Кошелев З.Н. Общие принципы ингибирования глинистых пород и заглинизированных пластов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2004. – № 1. – С. 13–15.
2. Третьяк А. А., Рыбальченко Ю. М., Лубянова С. И., Турунтаев Ю.Ю., Борисов К.А.. Буровой раствор для строительства скважин в сложных условиях // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 2. – С. 28-31.
3. Третьяк А.Я., Рыбальченко Ю.М., Лубянова С.И., Турунтаев Ю.Ю. Способы борьбы с дифференциальными прихватами. Coiled tubing times Время колтюбинга. № 3, С. 56.
4. Третьяк А.Я., Рыбальченко Ю.М. Проблемы бурения скважин в неустойчивых глинистых отложениях на суше и шельфе // Neftegaz RL. – 2018. – № 1. – С. 80–85.

Проектирование профиля наклонно-направленной скважины с горизонтальным окончанием на Астраханском газоконденсатном месторождении. Задваев Н.Б.* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», nauan.zadvaev.01@mail.ru), Вайнерман Б.П. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», bwinerman@yandex.ru)

Аннотация

В работе рассматривается комплексный подход, который позволяет намечать бурение первоочередных скважин с учетом геологического строения месторождения. Перед началом проектирования ствола новой скважины предлагается построить или использовать имеющуюся трехмерную геологическую модель для всесторонней оценки геологической ситуации и выбора оптимального профиля новой скважины.

Ключевые слова

Газоконденсатное месторождение, скважина, профиль скважины, трехмерная геологическая модель.

Источники финансирования

Источники финансирования отсутствуют

Теория

Проектирование ствола наклонно-направленной скважины рассмотрено на примере Астраханского газоконденсатного месторождения.

Месторождение расположено в 60 км к северу от областного центра г. Астрахани.

Астраханское газоконденсатное месторождение (АГКМ) открыто в 1976 году и в 1986 году введено в опытно-промышленную эксплуатацию. С 1994 года месторождение находится в промышленной эксплуатации.

На Левобережной части Астраханского ГКМ в пределах залежи пробурено 285 скважин.

Месторождение с залежью массивного типа. Продуктивные карбонатные коллекторы Башкирского яруса среднего и верхов нижнего карбона (рис. 1) [4].

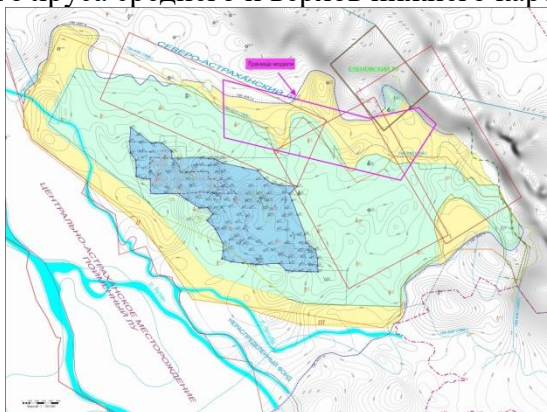


Рисунок 1. Структурная карта по кровле коллекторов продуктивной толщи

Астраханское газоконденсатное месторождение приурочено к верхней части мощного карбонатного массива позднедевонско-башкирского возраста, занимающего центральную часть одноименного свода. Оно контролируется крупным валообразным

поднятием, размеры которого по изогипсе -4200 м равны 110×45 км и амплитуда более 400 м.

Продуктивные объекты Астраханского ГКМ – отложения S_2b характеризуются неравномерным распределением по площади и по разрезу фильтрационных и емкостных свойств. Это подтверждается большим объемом, геофизических, гидродинамических исследований и продолжительной историей разработки данного месторождения. При этом коллекторы представляют собой преимущественно поровый тип. В связи с этим возникает вопрос выделения наиболее перспективных высокопродуктивных участков на территории АГКМ, обеспечивающих продолжительные высокие дебиты добывающих скважин.

Продуктивными являются органогенные карбонатные отложения башкирского яруса. Роль основной покрышки выполняет толща глинисто-кремнисто-карбонатных пород ассельско-артинского возраста.

Размеры залежи в контурах газоводяного контакта (ГВК) составляют 60×30 км.

Пористость рассматриваемых отложений S_2b выдерживается по площади залежи достаточно равномерно, варьируя в интервале $10-13\%$.

Внутреннее строение продуктивной башкирской толщи характеризуется пластовым распространением пористых, слабо пористых и, в меньшей степени, плотных разностей карбонатных пород с тонкими прослоями аргиллитов. Вся толща пород пронизана макро- и микротрещинами.

Начальное пластовое давление АГКМ на абсолютную отметку -4100 м составило $61,73$ МПа, АВПД на АГКМ составляет около $1,50$, при вертикальном градиенте $0,487$ МПа/ 100 м.

Механизм образования АВПД в Прикаспийской впадине представляется следующим. В процессе формирования впадины мощная толща соленосных осадков кунгура, погрузившись на определенные глубины в область высоких температур, подверглась внутренней перестройке и приобрела свойства идеальной покрышки. Соль, как порода, не имеющая скелета, оказывает максимальное давление на нижележащие отложения. Поэтому мощность соли играет значительную роль. Под действием соли и вышележащих пород максимальное сжатие испытывают терригенные и глинисто-карбонатные отложения нижней перми. Напряжение в этой толще усиливается еще тем, что она залегает на жестких уступах карбонатного комплекса карбона, представленного органогенными и рифогенными известняками, степень уплотнения которых ограничена. Благодаря тому, что терригенный комплекс перекрыт надежной соленосной покрышкой, флюиды отжимаются главным образом вниз по разрезу в пористые и проницаемые песчаные и карбонатные породы-коллекторы.

Относительно высокая скорость погружения впадины и соответственно темп отжатая флюидов, а также вертикальные перемещения их вниз в неравномерно пористые и проницаемые карбонатные отложения палеозоя предопределили образование АВПД.

Иными словами, главным механизмом образования АВПД явилось уплотнение подсолевых пород под действием возрастающего в процессе соленакопления геостатического давления в обстановке резко затрудненного оттока элизонных вод.

Вертикальному оттоку препятствовал соленосный барьер. Латеральному — громадные размеры впадины, а также наличие вдоль бортовой зоны геосинклинальных и грабенообразных прогибов, неотектонических блоков, литологических экранов. Все это способствовало формированию в бортовой зоне гидравлического барьера.

На геологическом профиле по северной части месторождения показано строение продуктивной толщи (рис. 2).

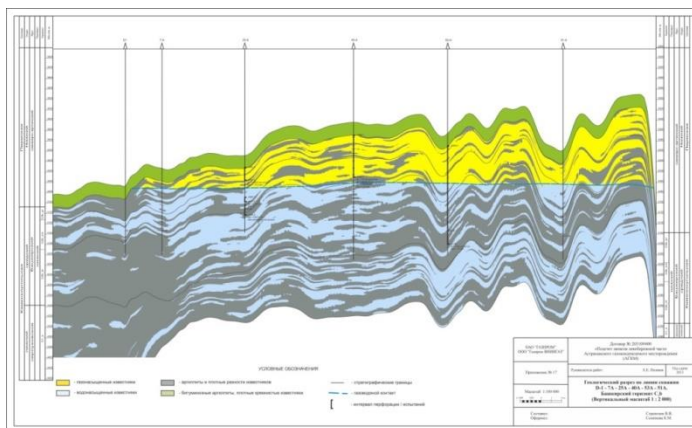


Рисунок 2. Геологический профиль по линии скв. D1-51a

В целях интенсификации разработки Левобережной части Астраханского газоконденсатного месторождения предлагается пробурить наклонно-направленную эксплуатационную скважину с горизонтальным окончанием в районе между скв. 40a и 53a.

В границах модели (рис. 1) была построена трехмерная геологическая модель [3] и определена траектория проектной скв. 1 (рис. 3) [1, 2].

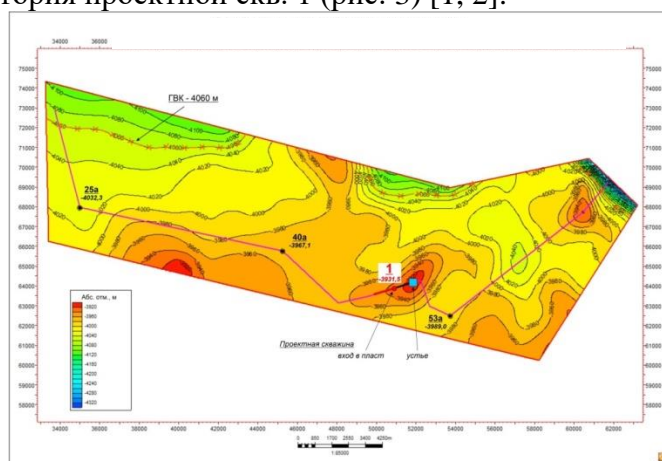


Рисунок 3. Структурная карта по кровле коллекторов с проектной скв. 1

Построенная трехмерная геологическая модель позволила выявить особенности строения рассматриваемой части залежи и наметить необходимый профиль новой добывающей скважины (№ 1).

Предусматривается бурение наклонно-направленной скв. 1 с горизонтальным окончанием. Угол входа в пласт – 87° , длина горизонтального участка ствола в продуктивной части – 1000 м. При таких параметрах забой скв. 1 будет находиться почти на 80 м выше газоводяного контакта (ГВК).

Такое положение ствола скв. 1 позволит вскрыть почти 600 м эффективных газонасыщенных толщин продуктивной толщи и получать значительные дебиты газа на малых депрессиях (рис. 4).

Удаленность (по вертикали) от ГВК ствола добывающей скв. 1 (80 м) обуславливает долговременный безводный период эксплуатации данной скважины.

Горизонтальное окончание скв. 1 представлено на рис. 4.

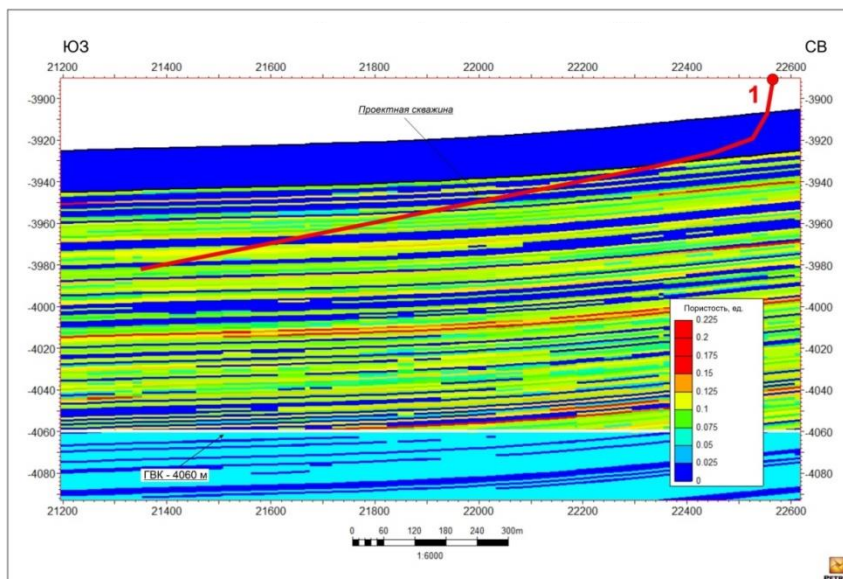


Рисунок 4. Горизонтальное окончание 55КВ. 1 (пористость коллекторов, неколекторы – синий цвет, водоносные коллекторы – голубой цвет)

Выводы

Для эффективного проектирования профилей проектных скважин целесообразно создавать трехмерные геологические модели исследуемых залежей.

Такой подход позволяет выбрать оптимальное направление проектируемого ствола с учетом всей имеющейся геолого-промысловой информации.

Библиография

1. Бастриков С.Н., Калинин А.Г., Повалихин А.С., Солодкий К.М. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин. ЦентрЛитНефтеГаз, Москва, 2011 г., 647 стр.
2. Близнюков В.Ю., Повалихин А.С., Кейн С.А. Расчёт проектного профиля направленных и горизонтальных скважин./ Метод. Указания / УГТУ, Ухта, 2014. – 40 с.
3. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование. ООО ИПЦ «Маска», Москва, 2009.
4. «Пересчет запасов газа, конденсата, серы и сопутствующих компонентов Левобережной части Астраханского газоконденсатного месторождения (АГКМ) (по состоянию на 01.01.2013 г.)». ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Московская обл., 2013.

Возможности интерактивного управления алмазным бурением. Зотов З.Г.*
(Сибирский федеральный университет, e-mail: zotovz2@bk.ru), **Попова М.С.**
(Сибирский федеральный университет, e-mail: alleniram83@mail.ru)

Аннотация

Описаны возможности оптимизации процесса бурения путем введения систем компьютерного программирования для автоматизации управления с целью повышения технико-экономических показателей. Основным направлением представленного исследования является разработка программного обеспечения интегрируемого в систему управления и сбора данных для дальнейшего проведения работ в интерактивном режиме. Объектом исследования выбран алмазный способ бурения как наиболее востребованный и перспективный. За основу принят алгоритм управления алмазным бурением, базирующийся на методике управления процессом бурения на основе комплексного анализа критериев.

В результате разработан программный продукт, позволяющий на основе анализа работы инструмента на забое, осуществлять выбор наиболее оптимальных для сложившейся технико-геологической ситуации параметров режима бурения с целью снижения интенсивности износа инструмента при наиболее возможных показателях скорости проходки. А также формирующий в процессе использования базу данных, отражающую совокупность факторов в той или иной ситуации, что ускоряет принятие решения в любой момент процесса бурения.

Ключевые слова

Управление процессом бурения; автоматизация; программное обеспечение; оптимальные режимы бурения

Теория

Основными требованиями к алмазному бурению выступают повышение скорости и качества проведения работ при низких материальных затратах. Помимо существующих методов повышения технико-экономических показателей бурения наиболее перспективным является управление процессом, основанное на оптимизации режима эксплуатации породоразрушающего инструмента [1, 2, 4]. Предложенный алгоритм управления алмазным бурением, учитывая механизм разрушения горной породы, реализуемый на забое, предлагает принятие научно обоснованного решения по выбору параметров режима бурения, что позволяет достигать достаточно высоких показателей механической скорости бурения при сохранении ресурса инструмента и снижении показателя энергоемкости [3].

Для реализации разработанного алгоритма необходим программный продукт, позволяющий снимать показатели, характеризующие разрушение забоя в режиме реального времени; собирать и обрабатывать полученную информацию. Для поставленных целей пригоден язык программирования *TouchDesigner*. Преимуществом данного языка является совместимость с датчиками различной комплектации. Разработанный на основе данного языка программный продукт позволяет преобразовывать данные о параметрах процесса бурения в математические модели. К тому же программный продукт обладает возможностью вывода на экран графической

интерпретации зависимостей механической скорости бурения, углубки за оборот и энергоёмкости от параметров режима бурения (частоты вращения, осевой нагрузки и подачи промывочной жидкости) [3]. Гибкость алгоритма программы позволяет по заданным граничным условиям выделять на графиках оптимальные области режимных параметров, придерживаясь которых реализуется наиболее эффективная эксплуатация породоразрушающего инструмента (см. левую часть рис. 1).

Для ускорения дальнейшего процесса переработки информации и охвата всей области оптимальных значений параметров бурения, в программе заложена функция сбора и хранения значений и результатов возможных откликов системы. Сбор и обработка базы данных, полученных из опыта проведенных работ, необходим для быстрого реагирования системы на геолого-техническое состояние забоя и своевременной оптимизации режима бурения. С этой целью в программу внедрен скрипт, позволяющий на выводе получать таблицу данных всех комбинаций $P_{ос}$ и w , входящих в оптимальную область значений с откликом на углубление за оборот (см. правую часть рис. 1).

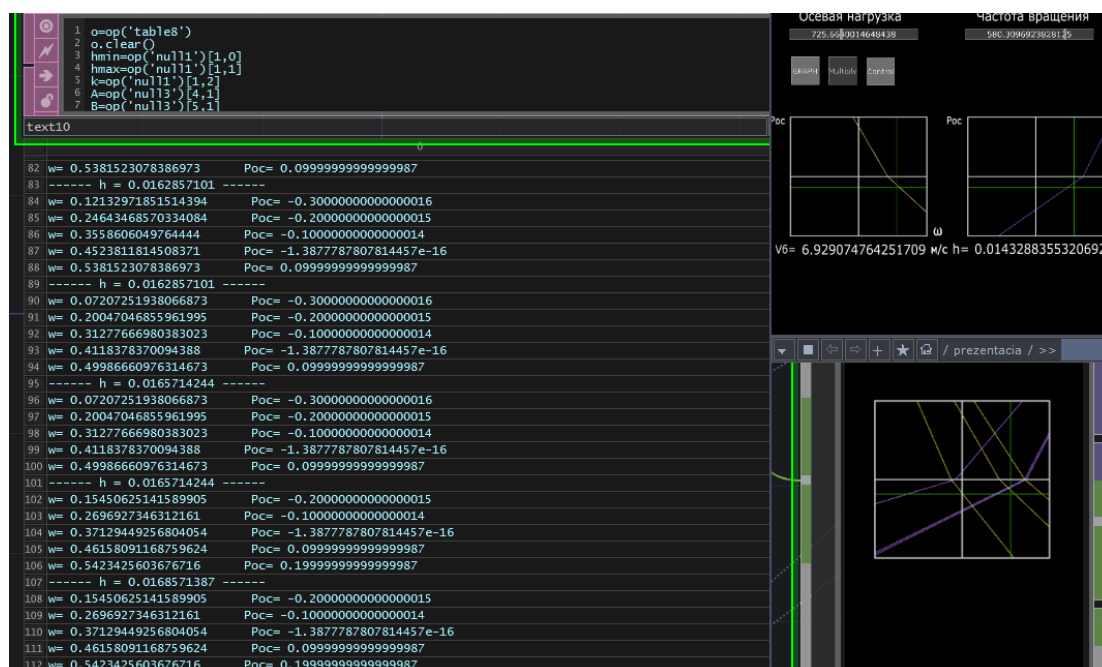


Рисунок 1. Интерфейс компьютерной программы управления алмазным бурением.

Выводы

Реализация алгоритма управления алмазным бурением ориентированного на оптимизацию технологии разрушения горной породы и основанного на комплексной оценке критериев возможно путем применения компьютерного программного обеспечения, например такого, как редактор интерактивных сред *TouchDesigner*. Автоматизированное управление алмазным бурением способствует организации работы бурового инструмента в наиболее оптимальных режимах, соответствующих сложившейся технико-геологическим условиям бурения, что способствует повышению технико-экономических показателей бурения.

Библиография

1. Нескоромных В.В. Оптимизация в геологоразведочном производстве: учебное пособие. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2013 г. 246 с.
2. Нескоромных В.В., Попова М.С. Разработка методики управления процессом бурения на основе комплексного анализа критериев // Записки Горного Института. – Том 240. – С. 701-704. DOI: 10.31897/rmi.2019.6.701
3. Нескоромных В.В., Попова М.С., Зотов З.Г., Лиу Баочанг. Алгоритм управления системой алмазного бурения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов – 2022. – Т. 333. – № 2.
4. Integrated FEA modeling offers system approach to drillstring optimization / H.Aslaksen, M.Annand, R.Duncan, A.Fjaere, L.Paez, U.Tran // Society of Petroleum Engineers / SPE Drilling Conference. 2006. 21-23 February. Miami, Florida, USA. P. 669-684. DOI: 10.2118/99018-MS 6. Huang H., Discrete element modeling of tool-rock interaction I: Rock cutting / Huang H., Lecampion B., Detournay E. // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. – 2013. – 37(13). – p. 1913-1929

Разработка и повышение эффективности динамически стабилизирующего породоразрушающего инструмента. Иванов Д.С. (Сибирский федеральный университет, e-mail: ivanov-mels@mail.ru), Петенев П.Г. (Сибирский федеральный университет, e-mail: pavel-whait@mail.ru), Нескоромных В.В. (Сибирский федеральный университет, e-mail: sovair@bk.ru)*

Аннотация

В настоящее время вопрос проводки ствола скважины по проектной траектории с подсечением рудного тела в заданной точке без применения отклонителей является актуальной проблемой, особенно учитывая непрерывно возрастающую глубину разведки недр. Одно из направлений решения этой проблемы предполагает использование динамически стабилизирующего породоразрушающего инструмента позволяющего осуществлять бурение скважин с меньшей кривизной ствола и исключить, или, по крайней мере, уменьшить число постановок отклонителей. Целью исследования является разработка конструкций эффективного породоразрушающего инструмента, обладающего динамической стабилизацией при бурении скважин.

Предметами исследования являются процессы гидродинамики породоразрушающего инструмента, а также их стабилизирующая способность.

Ключевые слова: Геологоразведочные работы, бурение, породоразрушающий инструмент, направленное бурение, стабилизация, моделирование, скважина

Теория

Работа динамически стабилизирующего породоразрушающего инструмента заключается в следующем: если условно разделить торец породоразрушающего инструмента на две части и при этом будет соблюдаться условие неравнозначности площадей режущих частей торца и числа резцов на них, при бурении за счет некомпенсированных сил сопротивления резания-скалывания возникнет результирующая сила, которая будет стремиться прижимать ПРИ к стенке скважины во время бурения. В результате буровой инструмент в процессе вращения описывает движение вокруг оси скважины, что при условии изгиба призабойной части компоновки минимизирует неравномерное фрезерование стенки скважины с формированием кривизны.

Рабочие прототипы динамически стабилизирующего инструмента могут быть изготовлены из серийно выпускаемого алмазного инструмента путем удаления определенных секторов матрицы коронки. Однако практика применения инструмента, изготовленного в производственных условиях, показала снижение ресурса. Дальнейшие исследования данного вопроса показали, что распределение потока промывочной жидкости и его давление в торце импрегнированной коронки динамической стабилизации изготовленной в производственных условиях путем удаления секторов матрицы, распределены не равномерно, что приводило к нагреву, спеканию шлама в промывочных каналах и как следствие – к повышенному износу инструмента. [1]

На рисунке 1 показан ряд запатентованных конструкций динамически стабилизирующего инструмента [2, 3, 4].

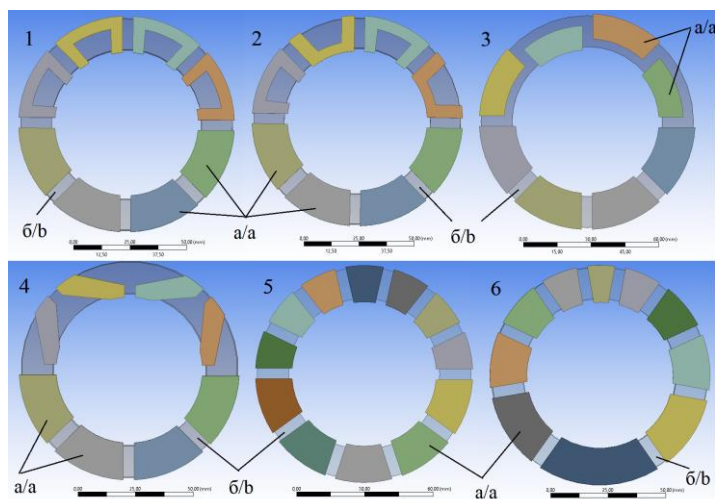


Рисунок 1. Исследуемые конструкции динамически стабилизирующего инструмента: а – сектора матрицы; б – промывочные каналы;

Моделирование процессов циркуляции очистного агента данных конструкций производилось в программе ANSYS 21.0. Результаты моделирования представлены на рисунке 2.

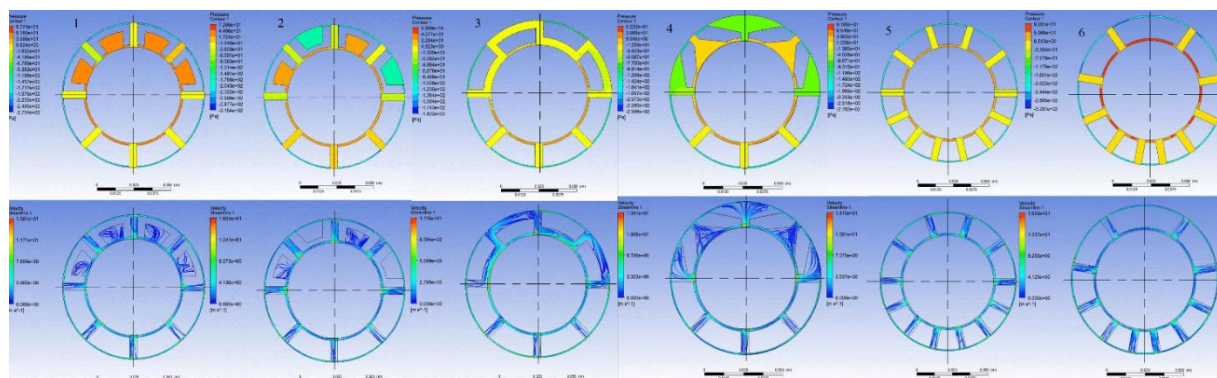


Рисунок 2. Результаты компьютерного моделирования. Давление и скорости течения жидкости в забойной зоне при бурении алмазными импрегнированными коронками конструкций № 1, 2, 3, 4, 5, 6

Стабилизирующая способность динамически стабилизирующего инструмента определяется величиной результирующей силы F , которая определяется как дисбаланс торца инструмента при условии равномерного распределения алмазных резцов во всех секторах матрицы с помощью следующего выражения: [5]

$$F = \frac{\pi(h + 0,25\sqrt{dh})^2}{2t\gamma_{ск}} \sigma_{ск}(n_{б} - n_{м}) + f \frac{P_{oc}}{S_m} (S_{б} - S_{м}),$$

где $S_{т}$ – общая площадь торца алмазной коронки, m^2
 $S_{б}$ – площадь алмазосодержащей матрицы на половине торца коронки с большей площадью (рис. 1);

S_m – площадь алмазосодержащей матрицы на половине торца коронки с меньшей площадью (рис. 1);

n_b, n_m – число алмазных резцов на половинах торцевой части матрицы, с большей и меньшей площадью соответственно.

$\gamma_{ск}$ – угол скалывания породы перед передней гранью резца, град;

h – глубина внедрения в породу алмазного резца, м;

d – диаметр алмазного резца, м;

$P_{ос}$ – осевая нагрузка, даН;

$\sigma_{ск}$ – предел прочности на скалывание породы, Па;

f – коэффициент трения резцов коронки о забой.

Результаты расчетов величины силы F для вышеописанных конструкций представлены в таблице 1.

Номер коронки	1	2	3	4	5	6
Результирующая сила $F, Н$	44,138	47,451	37,523	63,123	9,615	9,141

Таблица 1 - Результаты расчетов величины результирующей силы F

Выводы

Из полученных результатов следует, что максимальная равнодействующая сила F наблюдается у конструкций № 1, 2, 3, 4, а вот конструкции № 5, 6 хоть и имели полное гидравлическое равенство сопротивлений, показали низкие значения результирующей силы F , которая пропорциональна стабилизирующему эффекту при бурении.

Таким образом, удовлетворение двум критериям эффективности показали конструкции № 1, 2, и 3, что может являться основанием для дальнейшего их совершенствования, а также для рекомендации к промышленному внедрению.

Библиография

1. Нескоромных В. В. и др. Гидродинамика при бурении импрегнированным породоразрушающим инструментом с эксцентриситетом режущей части торца матрицы // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т. 331. № 11. – С. 176–185.
2. Спирин В.И., Будюков Ю.Е., Петенёв П. Г. и др. Алмазная коронка для бурения. Патент на полезную модель РФ №148333. Опубликовано 10.12.2014 г.
3. Алмазная коронка для бурения: пат. РФ № 171734 Российская Федерация, МПК Е 21 В 10/48. Заявл. 09.01.2017; опубл. 13.06.2017. – 7 с.
4. Алмазная коронка для бурения: пат. РФ № 161061 Российская Федерация, МПК Е 21 В 10/48. Заявл. 01.12.2015; опубл. 10.04.2016. – 6 с.
5. Нескоромных В.В. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ: учебное пособие / Сибирский федеральный университет. - 2. - Москва: ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2018. - 392 с

Влияние смазочных свойств промывочной жидкости на коэффициент трения буровой колонны о стенки скважины. Кривошеев К.В. * (Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, 13050465@mail.ru), Третьяк А.Я. (Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, 13050465@mail.ru), Карельская Е.В. (Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, ekaterina_karelskaya@bk.ru)

Аннотация

Выполнены экспериментальные исследования четырех буровых растворов с высокой смазывающей и ингибирующей способностью. Определены коэффициент трения и увлажняющая способность растворов.

Ключевые слова

Буровой раствор, прибор ФСК-2, коэффициент трения, параметры бурового раствора.

Теория

При разработке новых промывочных жидкостей с улучшенными смазочными свойствами для условий бурения горных пород долотами, армированными резцами PDS считается необходимым проведением в большом объеме предварительных лабораторных испытаний их рецептур на машинах трения. Испытания буровых растворов, обладающих улучшенными триботехническими свойствами, необходимы для определения качественного влияния того или иного компонента на свойства среды, уточнение рабочих гипотез при формировании состава промывочной жидкости.

В настоящее время значительная часть нефтяных и газовых скважин сооружается с применением горизонтальных скважин. Основным моментом для безаварийной проводки горизонтальной части скважины является применение промывочных жидкостей с высокой смазывающей способностью, способных значительно уменьшить количество дифференциальных прихватов [1].

Предложен метод испытания триботехнических свойств буровых промывочных жидкостей с добавками смазывающих материалов.

Рассмотрены контактные взаимодействия в системе трения металл-фильтрационная корка при реализации приближенного физического моделирования процессов изнашивания и взаимодействия соприкасающихся сред.

Химический состав промывочных жидкостей, в зависимости от условий и применения, количественного, а иногда и качественно влияет на фрикционные свойства корок. Исходя из этого, необходим периодический и тщательный контроль фрикционных свойств корок с целью уменьшения дифференциальных прихватов. С целью предотвращения прихватов очень важно применять жидкости, образующие на стенках скважины корки с низкими фрикционными свойствами. От свойств фильтрационной корки зависит коэффициент трения бурильной колонны о стенки скважины. Усилие сопротивления буровой колонны ее движению в скважине определяется как:

$$F_c = f \cdot N, \quad (1)$$

где: f – коэффициент трения, обусловленный свойствами фильтрационной корки; N – усилие прижатия буровой колонны к стенке скважины.

Известно, что сила прихвата буровой колонны и коэффициент трения возрастает с увеличением времени контакта и при определенной величине, его стабилизируются. Сила прихвата тем больше, чем выше перепад давления и меньше соотношение диаметров скважины и бурильных труб.

Для оценки влияния на прихватоспособность разработанных буровых растворов был использован прибор ФСК-2 (Рисунок 1) [2].

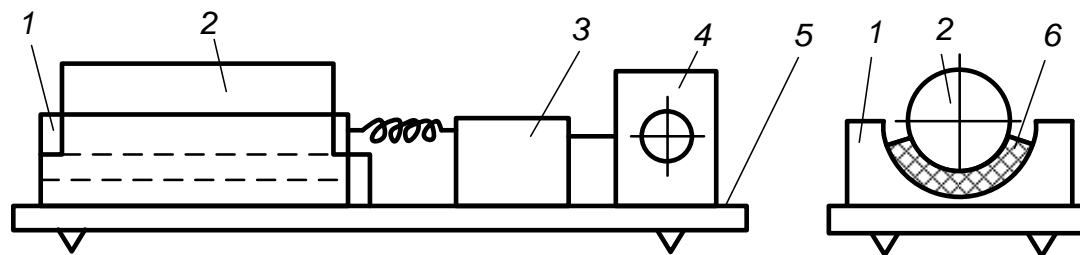


Рисунок 1. Схема прибора ФСК-2 для измерения коэффициента трения в паре сталь-корка

Методика изучения фильтрационных свойств корок 6 на приборе ФСК-2 заключается в следующем. Платформа 5 с помощью опор и уровня устанавливается в горизонтальное положение. Во вкладыше 1 размещается исследуемая корка (полученная на приборе ВМ-6), на которую помещается стальной цилиндр 2, соединенный через динамометр 3 с валом электродвигателя 4. Включается электродвигатель в сеть и по динамометру берутся два отчета: в момент страгивания цилиндра и при установившемся движении его по корке.

Коэффициент трения

$$\varphi_k = F_T / G_{ц}, \quad (2)$$

где F_T – тяговое усилие по динамометру в момент страгивания цилиндра при движении его по корке, Н; $G_{ц}$ – вес цилиндра Н.

Экспериментальные исследования высокоингибирующих буровых растворов выполняли по показателю скорости увлажнения (см/г) характеризующего ингибирующую способность раствора к высококоллоидальным глинам, с использованием «Методики контроля параметров буровых растворов» по РФ 39-00147001-773-2004, в том числе с использованием приложения 8 «Методика оценки ингибирующих свойств буровых растворов» (РФ 39-2-813МНП). В соответствии с указанными нормативными документами было выполнено тестирование разработанных нами четырех ингибирующих буровых растворов по методике HOT-ROLL DISPERSION TEST на эталонных глинистых столбиках с целью ранжирования по ингибирующей способности и определения путей их совершенствования.

Для лабораторных исследований были приготовлены ингибирующие буровые растворы, разработанные на кафедре «Нефтегазовая техника и технологии» ЮРГПУ(НПИ): высокоингибированный буровой раствор (ВИБР) (патент RU № 2303047), буровой раствор (БР) (патент RU № 2582197), наноструктурированный высокоингибированный буровой раствор (НВИБР) (патент RU № 2708849),

эмульсионно-ингибированный реверсивно-инвертный буровой раствор (ЭИРИБР) (патент RU № 2768357) [3].

Было выполнено сравнение этих растворов по величине показателя увлажняющей способности (ПУС, см/г) – чем меньше этот показатель, тем выше ингибирующая способность бурового раствора.

Для выполнения исследований были изготовлены эталонные цилиндрические столбики массой 20 грамм, спрессованные из высокоактивного бентонитового порошка марки ПБМА из глин Ильского месторождения Краснодарского края с содержанием монтмориллонита более 70 %.

Бентонитовый порошок представляет собой алюмосиликат, состоящий в основном из минералов монтмориллонитовой группы, и имеет характеристики: выход глинистого раствора – 24 м³/т, массовая доля влаги, не более 10%, содержание соды от 1 % до 5 %, коллоидальность – 80 %.

Прессование столбиков выполнялось в специальной пресс-форме. С целью тестирования 36 эталонных глинистых столбика помещали в прозрачные 200 мл. стаканчики, наполненные буровым раствором. Было выполнено девять опытов для каждого типа раствора на 36 эталонных глинистых столбиках.

Основным измеряемым параметром при оценке ингибирующих свойств буровых растворов являлась масса поглощенной жидкой фазы за время тестирования, равное четырем часам и скорость увлажнения [4].

Экспериментальные исследования позволили установить, что лучшим раствором в плане ингибирования и смазки является эмульсионно-ингибированной, реверсивно-инвертный буровой раствор (патент RU № 2768357) .

Раствор имеет состав мас. %: мраморная крошка (CaCO₃) 5–10; полианионная целлюлоза (ПАЦ 85/700) 5–10; хлористый калий (KCl) 2–5; метилсиликонат калия (CH₂SiO₂K) 1–4; ацетат калия (CH₃COOK) 1,5–4; феррохромлигносульфонат (ФХЛС) 1–5; кремнийорганическую жидкость ГКЖ-11 2–5; барит (BaSO₄) 0,5–5; пеногаситель (Пента 465) – 0,5–1; алюминат калия (K₂Al₂O₄·3H₂O) 1–5; поверхностно-активное вещество ПАВ-ОП-10 1–2; эмульгатор МР 1–5; реагент К-4 1–10; чешуйчатый графит 0,5–5; неол АФ-9-12 1–2, эмульгал – 1–5, отходы растительного масла – 1–10, вода – остальное.

Параметры раствора следующие: фильтрация раствора – 2 см³/30 минут, липкость корки – 0,1, коэффициент трения – 0,1, толщина корки меньше 0,5 мм; плотность раствора от 1,1 до 1,25 г/см³, условная вязкость по СПВ-5 – 35–40 секунд, пластическая вязкость – 20–40 МПа·с, СНС 1/10 минут – 15–20/20–30 дПа, содержание песка меньше 0,5%, содержание ионов K⁺ составляет 18000 мг/л [2].

Выводы

1. Разработанная на уровне изобретения новая промывочная жидкость с повышенной ингибирующей и смазывающей способностью может быть использована при сооружении нефтегазовых скважин в сложных геологических условиях.

2. Применение разработанного эмульсионно-ингибированного, реверсивно-инвертного бурового раствора позволит добиться значительного уменьшения коэффициента трения буровой колонны о стенки скважины, уменьшать вероятность возникновения дифференциальных прихватов, отказаться от применения нефти.

Библиография

1. Кошелев З.Н. Общие принципы ингибирования глинистых пород и заглинизированных пластов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2004. – № 1. – С. 13–15.
2. Мойса Ю.Н., Фролова Н.В., Бармотик К.С., Железнякова Е.А. Эффективность действия смазочных добавок в буровых растворах // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М., 2008. – № 9. – С. 14–18.
3. Третьяк А.Я., Онофриенко С.А., Гроссу А.Н. Высокоингибированный, инвертный буровой раствор для бурения в сложных условиях // Деловой журнал Neftegaz.ru. – М., 2009, № 4. – С. 104–107.
4. Третьяк А.Я., Рыбальченко Ю.М., Лубянова С.И., Турунтаев Ю.Ю. Способы борьбы с дифференциальными прихватами. Coiled tubing times Время колтюбинга. № 3, Сентябрь / September 2016.

Анализ технической целесообразности и экономической эффективности алмазного бурения с гидротранспортом керна. Кириков Д.В. (Сибирский Федеральный Университет, denis.kirikov.99@bk.ru), Нескоромных В.В. (Сибирский Федеральный Университет, sovair@bk.ru)*

Аннотация

На сегодняшний день при сооружении скважин все компании в первую очередь уделяют внимание технической целесообразности и экономической эффективности геологоразведочного бурения. Данные критерии привели к тому, что в настоящий момент наиболее востребованным и широко используемым способом бурения геологоразведочных скважин является технология проходки скважин с извлекаемым керноприемником (ССК). ССК характеризуется высоким качеством керновых проб, их сохранностью и низким временем их доставки на поверхность. В то же время применение ССК для бурения горизонтальных, полого-восстающих и полого-наклонных скважин приводит к появлению проблемы связанной с доставкой и извлечением керноприемника из колонны бурильных труб.

Одним из возможных методов решения обозначенной проблемы может являться технология бурения скважин с извлечением керна обратным потоком бурового раствора при проходке горизонтальных и полого наклонных скважин, в особенности в монолитных горных породах. Такое решение позволит увеличить скорость проходки скважин за счет сокращения времени, затрачиваемого на вспомогательные операции. Однако, на сегодняшний день данная технология не находит широкого применения в практике геологоразведочных работ, что диктует необходимость экономической оценки и анализа путей ее развития.

Ключевые слова

Бурение, скважина, керн, ССК, КГК, производительность, экономическая эффективность.

Теория

Задачи повышения производительности и качественных показателей геологоразведочного бурения при снижении его себестоимости настоятельно требуют не только ускоренного освоения и внедрения последних достижений научно-технического прогресса в этой области, но и разработки принципиально новых, энерго- и ресурсосберегающих технологий [1]. В нынешнее время при геологоразведочных работах в основном используется вращательное алмазное бурение комплексами ССК. Данная технология успешно себя зарекомендовала как высокопроизводительный способ бурения обеспечивающий высокий уровень опробования.

Тем не менее при бурении с комплексами ССК неизбежно присутствуют затраты времени на спуск-подъем керноприемника, что отражается на себестоимости метра бурения.

В технологии бурения с гидротранспортом керна, временные затраты на реализацию подъема и спуска керноприемника отсутствуют вследствие транспортирования керна восходящем потоком.

В работе были произведены расчеты себестоимости двух технологий в равных условиях. Расчет себестоимости был произведен по зависимостям из работы [4]:

Для ССК:

$$C_M = \frac{C_{ст}}{T} \left(\frac{1}{v_M} + \frac{T - T_6}{L} + \frac{2CH + t_4}{l_{ц}} \right) + \frac{Ц}{L}$$

где $C_{ст}$ – стоимость станкосмены, руб.; T – длительность станко-смены, ч; T_6 – время, затраченное непосредственно на углубление ствола скважины, ч; v_M – механическая скорость бурения, м/ч; $Ц$ – стоимость бурового инструмента, руб.; L – ресурс инструмента, м.; $2CH+t_4$ – время на спуск-подъем керноприемника

Для комплексов с гидротранспортом керна:

$$C_M = \frac{C_{ст}}{T} \left(\frac{1}{v_M} + \frac{T - T_6}{L} \right) + \frac{Ц}{L}$$

Расчет был произведен при условиях: стоимость станко-смены 55 тыс. рублей, время смены 8 часов, средняя скорость бурения 5м/ч, стоимость бурового инструмента 30 тыс. рублей, ресурс инструмента 100м, время на спуск-подъем керноприемника 1 час.

На основании расчетов был построен график зависимости себестоимости метра от глубины скважины (рисунок 1). Рост себестоимости взят с учетом удорожания метра бурения с глубиной, вызванный более крепкими породами, увеличением временных затрат на вспомогательные операции, уменьшением механической скорости.

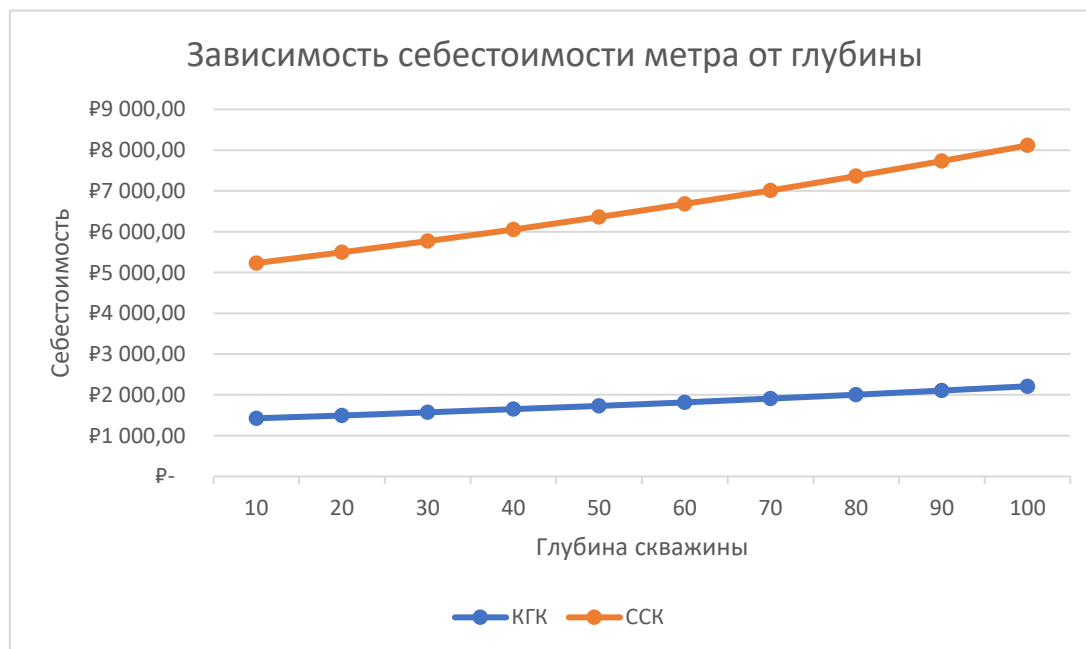


Рисунок 1. График зависимости себестоимости метра бурения от глубины скважины

Таким образом из расчетов можно сделать вывод, что способ бурения комплексами с гидротранспортом керна будет экономически более эффективен, чем бурение ССК и в зависимости от протяженности скважины экономический эффект будет увеличиваться. Также экономия времени на вспомогательных операциях составит 1 час, и если взять среднюю скорость бурения 5 м/ч, то за время, потраченное на

вспомогательные операции, при использовании технологии с гидротранспортом керна, возможно пробурить на 5 метров в смену больше, что значительно увеличивает производительность бурения.

Далее была рассчитана техническая возможность реализации технологии с обратной циркуляцией жидкости, с помощью зависимостей, представленных в работе [6].

Граничными условиями являлись: диаметр скважины 96мм, механическая скорость бурения 6 м/ч, длина откалываемого керна 15 см, скважина длиной 300 м, коэффициент трения = 0,5, плотность бурового раствора 1100 кг/м³, зенитный угол 15°, плотность породы 2300 кг/м³

Критическая скорость восходящего потока промывочной жидкости из следующего соотношения:

$$W_{кр} = \frac{F_3 \cdot V_M (\gamma_n - \gamma)}{F_T (\gamma_T - \gamma) \lambda} + ak \sqrt{\frac{\gamma_n - \gamma_T \cdot d_n}{\gamma_T}}$$

где $W_{кр}$ - критическая скорость восходящего потока; F_3 - площадь забоя; V_M - скорость углубки скважины; F_T - площадь поперечного сечения внутреннего канала бурильной трубы; γ_n - удельный вес частиц породы; γ - удельный вес промывочной жидкости, закачиваемой в скважину; γ_T - удельный вес промывочной жидкости в бурильных трубах; λ - коэффициент, учитывающий винтообразное движение частиц ($\lambda=1,25 \div 1,27$); a - опытный коэффициент, определяемый по методике А.С.Денисова ($a=1,14$); k - опытный коэффициент, зависящий от формы частиц и закона обтекания потоком, определяемый по методике Ф.А.Шамшева (для шара $k=5,11$); d_n - диаметр частицы,

Скорость углубки также поддерживают не более критической величины:

$$V_{мкр} = \frac{Q}{F_3} \sqrt[7]{\left(\frac{Q_T}{8F_T^3 \sqrt{d_T^6 \psi}}\right)^6}$$

где - $V_{мкр}$ критическая скорость углубки скважины; F_3 - площадь забоя скважины; Q - расход промывочной жидкости; Q_T - расход твердой фазы; F_T - площадь поперечного сечения внутреннего канала бурильной трубы; d_T - диаметр внутреннего канала бурильных труб; ψ - опытный коэффициент, определяемый по методике Р.Р.Чугаева ($\psi=2,0$)

Минимально допустимый расход промывочной жидкости исходя из условия предупреждения шламонакопления и пробкообразования в колонковых и бурильных трубах при бурении:

$$Q_{кр} = \frac{F_3 V_M}{K_0}$$

Критическая концентрация твердой фазы:

$$K_0 = \sqrt[7]{\left(\frac{Q_T}{8F_T^3 \sqrt{d_T^6 \sqrt{\Psi}}}\right)^6}$$

Таким образом были получены следующие значения, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Значение критических параметров бурения

Критическая величина	Расчетное значение
Скорость восходящего потока	0,5 м/с
Критическая скорость углубки	8 м/ч
Критический расход жидкости	80 л/мин
Критическая концентрация твердой фазы	7,7 г/см ³

Давление достаточное для перемещения керна в колонне бурильных труб рассчитывается из формулы:

$$\Delta P \geq \frac{G(1 + \mu)}{S}$$

где G — вес керна в жидкости, Н; μ — коэффициент трения керна о внутреннюю поверхность бурильных труб; S — площадь торцевой поверхности керна, м.

Вес керна в жидкости рассчитывался из зависимости [4]:

$$G = Vq = \frac{\pi d^2}{4} l_k q \cdot \sin \theta \left(1 - \frac{q_p}{q}\right)$$

где V — объём керна, м³; q — плотность горной породы керна, Н/м³; d — диаметр керна, м; l_k — длина керна, м; θ — зенитный угол скважины, град; q_p — плотность бурового раствора, Н/м³.

Для сравнительного анализа были произведены расчеты для разных диаметров керна, но глубина и зенитный угол остались без изменений (таблица 2).

Таблица 2. – Значения необходимого давления для разных диаметров.

Диаметр керна, мм	Значение ΔP , МПа
$d_k=85$	1,78
$d_k=95$	1,81
$d_k=65,3$	1,67
$d_k=75$	1,75

Расчёты показали, что при реальных значениях скоростей бурения вынос керна из наклонной скважины не составляет каких-либо технических трудностей.

Выводы

Основные выводы по проведенному исследованию:

1. При использовании технологии бурения с гидротранспортом значительно снижается себестоимость буровых работ, путем сокращения вспомогательных операций. Проведенные расчеты показали, что технически реализовать данную технологию не составит трудностей.

2. Данное направление является перспективным, для модернизации технологии необходимо компьютерное моделирование призабойной зоны, с помощью которого удастся решить проблемы гидродинамики на забое. Конструктивно изменив породоразрушающий инструмент, путем изменения наклона промывочных окон, можно будет добиться: качественной циркуляции раствора, эффективной очистки забоя и также лучшего транспортирования керна восходящим потоком.

Библиография

1. Альфред Жулиан, автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук «Совершенствование технологии разведочного бурения в осложненных условиях на основе пенотранспорта керна по одинарной бурильной колонне» // Санкт-Петербург-1999.-С.1-4.
2. Волков А. С., Волокитенков А. А. бурение скважин с обратной циркуляцией промывочной жидкости / Волков А. С., Волокитенков А. А. – М: Издательство «Недра», 1970.-184с.
3. Кардыш В. Г., Смирнов О. В., Техника и технология бурения с гидротранспортом керна и шлама: сборник научных трудов / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т методики и техники разведки; ред.: - Ленинград 1985. - 76 с.
4. Нескормных В.В., Современные технологии бурения на твердые полезные ископаемые: учебник / В.В. Нескормных, М.С. Попова, П.Г. Петенев - Красноярск: Сиб.федер. ун-т, 2020. – 340 с.
5. Ю.Е.Будюков, В.И.Спирин «Бурение скважин с гидротранспортом керна» // Санкт-Петербург-2012. – С. 1-3.
6. Пат. 2386005 СССР, МПК E21B 7/00 Способ бурения крепких пород с гидротранспортом керна и буровой снаряд для его осуществления / Ю.Е.Будюков, В.И.Спирин, А.А. Анненков; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Тульское научно-исследовательское геологическое предприятие – № 2007147527/03; опубл. 27.06.2009

Исследование гидродинамических процессов при бурении скважин различного назначения с применением наддолотного калибратора-эжектора. Борейко Д. А. (ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», dboreiko@ugtu.net), Сериков Д. Ю. (ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина», serrico@rambler.ru)*

Аннотация

В статье представлена разработанная конструкция наддолотного калибратора-эжектора, которая применяется в компоновке низа бурильной колонны для интенсификации процесса очистки забоя при бурении скважин различного назначения. Показана эффективность применения эжеционных устройств для создания областей вакуумирования в призабойной зоне пласта (ПЗП). Внедрение предложенного устройства позволит более эффективно и качественно очищать от шлама ПЗП в процессе бурения.

Ключевые слова

Калибратор-эжектор, скважина, бурение, разрушение породы, разрежение

Теория

Эффективность эксплуатации скважин в значительной мере зависит от технологии их строительства, которая, в свою очередь, определяется геолого-техническими условиями бурения и вскрытия продуктивного пласта, неминуемо сопровождаемыми различными осложнениями, такими как интенсивное поглощение бурового раствора, аномально высокое или низкое пластовое давление и другими. [2, 6] В процессе реализации технологии строительства скважин приходится постоянно бороться с указанными негативными факторами с целью поддержания требуемых режимов работы. Особое место в технологии строительства скважин занимает операция вскрытия продуктивного пласта. Существующие техника и технологии вскрытия, в основном, основаны на бурении на депрессии, когда поддерживается отрицательное дифференциальное давление на забое скважины. Также известно успешное применение для целей вскрытия нефтегазового пласта на депрессии струйных насосов в КНБК для создания дополнительного контура циркуляции промывочной жидкости у забоя скважины, что позволяет создавать местную депрессию на пласт. При бурении для борьбы с интенсивным поглощением бурового раствора, целесообразно производить кольматацию стенок скважины, что позволит не допускать поглощения жидкости промывочной в пласт или пластовых флюидов в скважину до окончания процесса бурения. [2] Эту задачу можно решить за счет применения наддолотных устройств в КНБК, которые способны обрабатывать стенку ствола скважины.

Пробуренные скважины могут иметь сложную структуру профиля, что создает проблемы поддержания требуемой траектории и проектного диаметра ствола. В этом случае над долотом устанавливаются калибратор, предназначенный не только для поддержания заданного диаметра ствола, но и для снижения колебаний колонны и инструмента [1, 2]. При этом, установка такого устройства повышает гидросопротивление в ПЗП и снижает скорость истечения.

Для увеличения скорости суммарного потока можно увеличить скорость её истечения из гидромониторных насадок или разогнать их с помощью эжекционного устройства (ЭУ), которое можно выполнить в теле самого калибратора, усовершенствовав его конструкцию. Разработанная конструкция наддолотного калибратора-эжектора (НКЭ), оснащенного ЭУ для очистки ПЗП показана на рисунке 1.

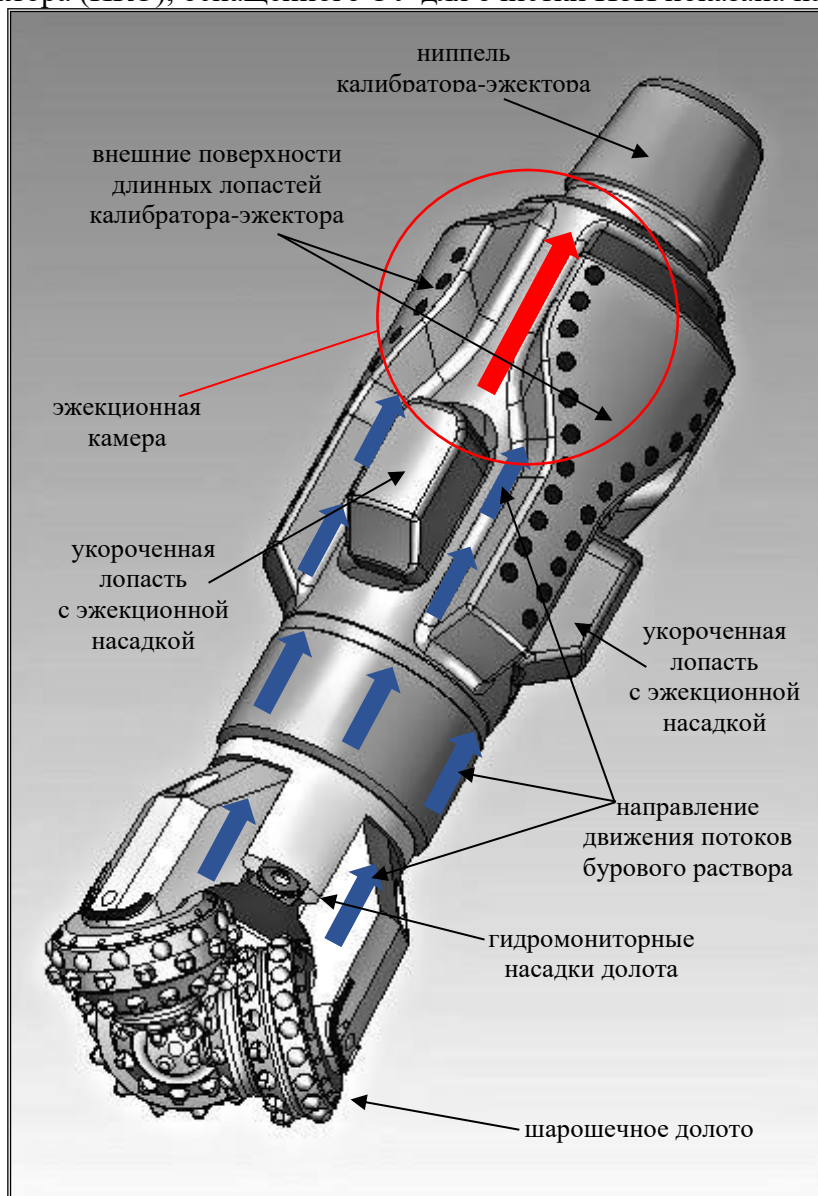
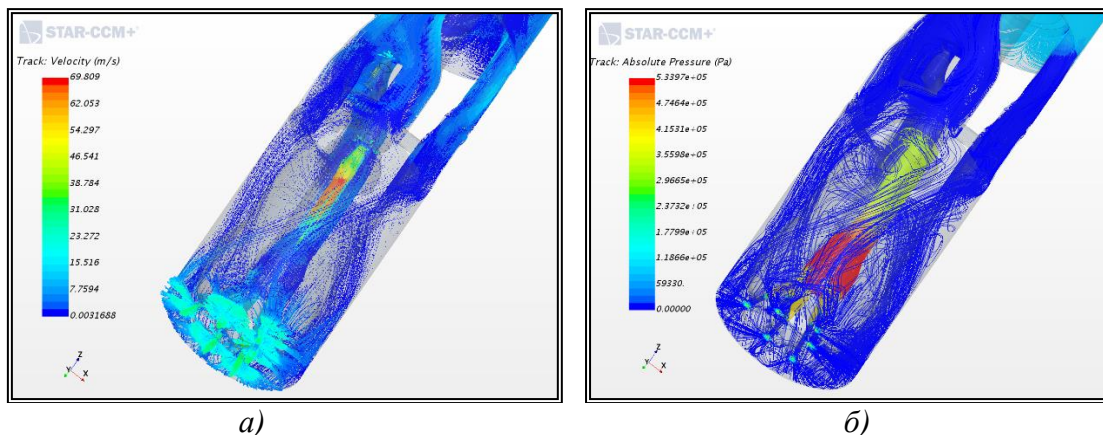


Рисунок 1. Конструкция НКЭ

Представленная конструкция НКЭ состоит из корпуса трубного со специальными каналами эжекционными. На поверхности корпуса наружной имеются длинные лопасти и короткие лопасти прямые, которые чередуются между собой и армированы элементами породоразрушающими. В лопастях укороченных имеются вертикальные и горизонтальные каналы эжекционные, расположенные под углом 90 градусов и сообщающиеся между собой. Вертикальные эжекционные каналы направлены вверх, а на их концах установлены насадки эжекционные.

В работе проведено моделирование в системе Star CCM+ двух вариантов исполнения НКЭ: при наличии ЭУ и при их отсутствии (рисунок 2).



а – распределение скоростей потока; б – распределение давлений

Рисунок 2. Результаты исследования гидродинамики потоков жидкости

Из рисунка видно, что после соударения с забоем часть кинетической энергии передается породе. Поток жидкости буровой перераспределяется в проёмах долота и имеет скорость около 2,5 м/с. На высоте 445 мм от забоя скважины скорость потока попадает в зону влияния потока их ЭУ и начинает быстро увеличиваться. На высоте 600 мм от забоя (высота расположения ЭУ) скорость достигает 37 м/с, что в 7,5 раз больше скорости для системы без ЭУ при прочих равных условиях. Увеличение скорости является положительным эффектом, т. к. способствует наилучшей очистке ПЗП от породы и повышению износостойкости инструмента [3-7]. Также по рисунку 26 установлено, что в интервале 0...560 мм возникает разряженная зона (величина абсолютного давления менее 0,1 кПа). Данная зона воссоздается, очевидно, потоками ЭУ и создаёт эффект «высасывания» шлама из ПЗП. На высоте от 560 до 600 мм следует повышение давления (до 90 кПа) - давление в зоне около выхода потока из ЭУ.

Выводы

В работе показана эффективность применения эжеционных устройств для создания областей вакуумирования в ПЗП. Внедрение предложенного устройства позволит более эффективно и качественно очищать от шлама ПЗП в процессе бурения.

Библиография

1. Богомолов, Р. М. Анализ конструктивных особенностей двухшарошечных буровых долот / Р. М. Богомолов, Д. Ю. Сериков, Д. А. Борейко // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2020. – № 5 (119). – С. 5-9.
2. Новиков, А. С. Бурение нефтяных и газовых скважин / А. С. Новиков, Д. Ю. Сериков, Р. Ф. Гафганов - М. : Нефть и газ, 2017. – 307 с.
3. Сериков, Д. Ю. Исследование взаимодействия калибрующих конусов шарошек со смещенными осями со стенкой скважины в многофункциональной системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D / Сериков Д.Ю., Борейко Д.А. // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2022. – № 3 (584). – С. 31-36.
4. Сериков, Д. Ю. Исследования взаимодействия периферийных венцов буровых долот с отрицательным смещением осей шарошек с забоем и стенкой скважины / Д. Ю. Сериков, Д. Н. Левитский, А. С. Кузничиков, Д. А. Борейко // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2022. – № 5 (353). – С. 21-28.
5. Сериков, Д. Ю. Математическое моделирование геометрии калибрующих конусов шарошек со смещенными осями вращения / Д. Ю. Сериков, А. А. Лютоев, Д. А. Борейко // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2022. – № 2 (307). – С. 136-146.

6. Шигин, А. О. К вопросу о повышении эффективности разрушения горных пород шарошечными долотами / А. О. Шигин, Д. А. Борейко, Д. Ю. Сериков // Территория Нефтегаз. – 2022. – № 3-4. – С. 24-31.
7. Шигин, А. О. Сравнительный анализ эффективности работы шарошечных буровых долот / А. О. Шигин, Д. А. Борейко, Н. Д. Цхадая, Д. Ю. Сериков // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКР. – 2021. – № S2. – С. 1-7.

Воздействие экологизации технологических процессов при строительстве скважин на окружающую среду. Губайдуллин С.Г. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», s.g1999@yandex.ru)*

Аннотация

В данной работе рассматривается влияние экологических решений на окружающую среду при современных технологических процессах.

Ключевые слова

Экологические решения, строительство скважин, технологические процессы.

Теория

Одной из крупных экологических проблем нефтяной отрасли является загрязнение природной среды отходами бурения, негативно влияющими на условия проживания людей, обитания животных, а также растительный покров.

Расходы нефтедобывающих предприятий на обезвреживание и утилизацию буровых шламов, рекультивацию шламовых амбаров ежегодно составляют миллиарды рублей. Однако, до сих пор не разработано технологических решений, позволяющих с высокой эффективностью и минимальным техногенным воздействием их обезвреживать и утилизировать.

Ситуация с обеспечением охраны окружающей среды при бурении скважин обострилась в связи с тем, что:

- 1) более 70% объема буровых работ приходится на экологические уязвимые регионы с неблагоприятным климатическим и гидрогеологическим условием. В этих условиях особую опасность представляют отходы производства. [4].
- 2) Нарушение добычи углеводородов на континентальном шельфе и территорий, характеризующихся малой устойчивостью. [3].

Актуальность сохранения окружающей среды состоит в том, что наращивание объема бурения не должно повлиять на сохранение биосферы. В условиях ужесточения требований природных охранных органов реализация этих требования часто недостаточно, поэтому одним из наиболее активных задач строительства скважин является соблюдение этих жестких экологических требований. Главный упор делается на предупредительных природно-охранных мероприятиях.

Некоторые экологические проблемы рассмотрены на примере бурения добывающей наклонно-направленной скважины с горизонтальным окончанием на Кошинском нефтяном месторождении (Оренбургская область).

В административном отношении Кошинский лицензионный участок расположен на территории Ташлинского района Оренбургской области (рис.1) [5].

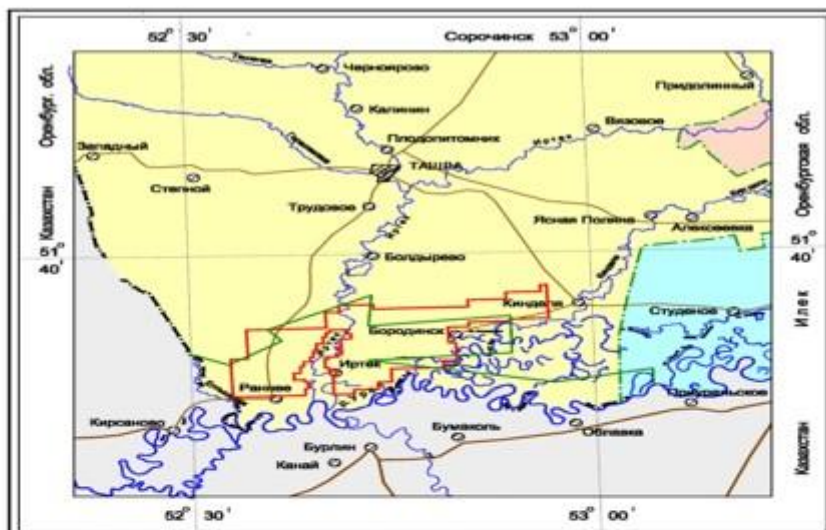


Рис. 1.1 Обзорная карта района работ

1 : 500 000
км 10 5 0 10 20 30км



Рисунок 1. Обзорная карта

В 65 км восточнее, расположено уникальное по запасам месторождение – Оренбургское, которое разрабатывается с конца 60-х годов, и рядом с которым работает газовый завод по подготовке и очистке сернистого газа производительностью до 40 млрд м³/год.

В 10 км к северу находится Сладковско–Заречное нефтяное месторождение.

В 40 км. южнее участка проходит железнодорожная магистраль Средняя Азия – Центральная Россия.

Дорожная сеть в районе проектируемых работ развита достаточно. Населенные пункты связаны между собой проселочными и грунтовыми дорогами, пригодными для передвижения автотранспорта в сухое время года.

Шоссе с асфальтированным покрытием соединяет г. Оренбург и с. Ташла.

На Кошинском месторождении предполагается пробурить эксплуатационную наклонно-направленную скважину с горизонтальным окончанием (№ 2) с целью добычи нефти из нефтяной залежи пласта Т (турнейский ярус) (рис. 2).

Структурная карта кровли коллектора пласта Т

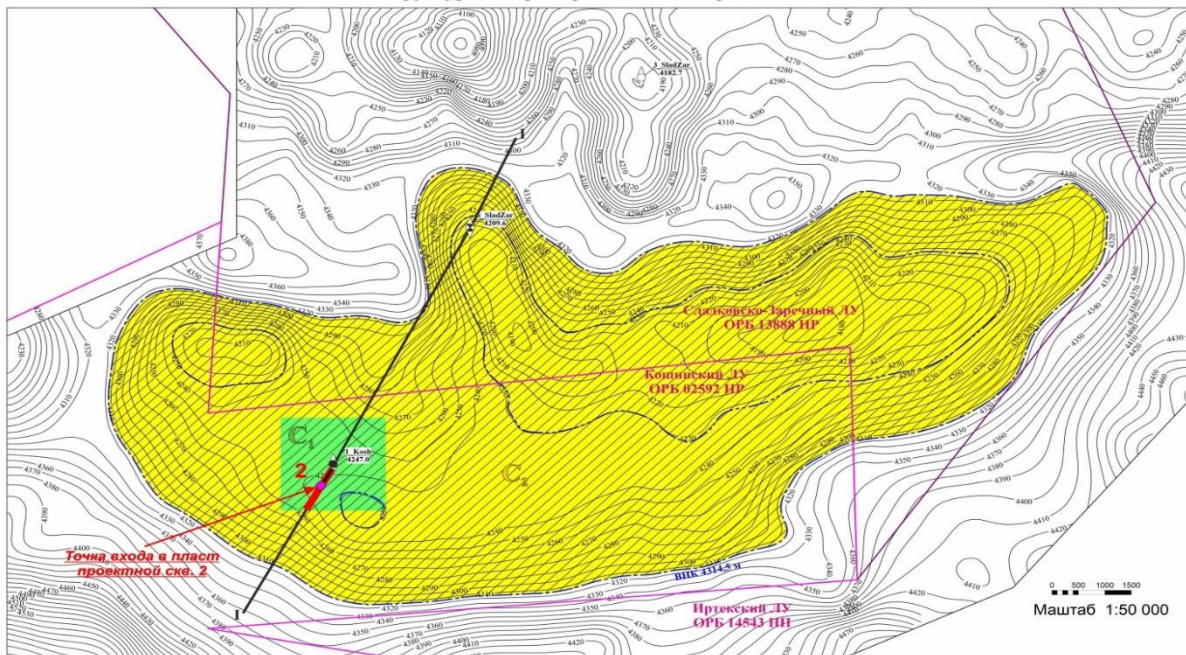


Рисунок 2. Структурная карта по кровле коллектора пласта Т

Точка входа в пласт расположена на расстоянии 500 м от пробуренной поисковой скв. 1-Кошинская, в которой при испытании получен фонтанный приток нефти (рис. 3).

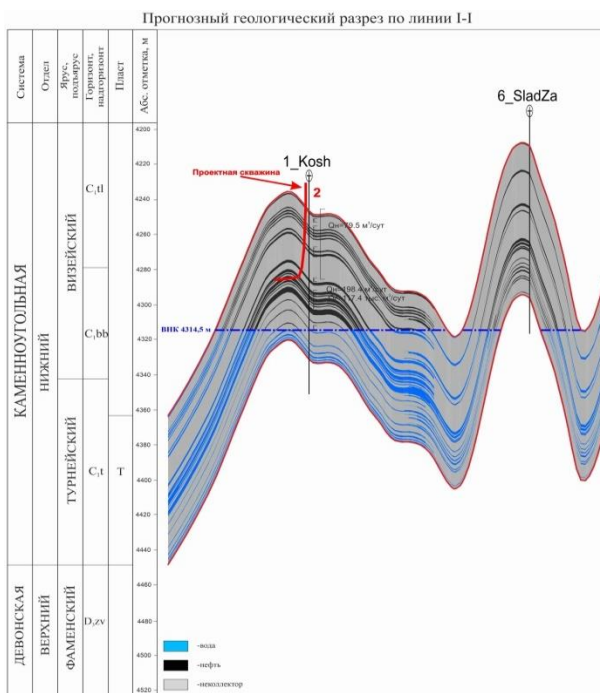


Рисунок 3. Геологический разрез по линии I-I

Проектный профиль скв. 2 представлен на рис. 4.

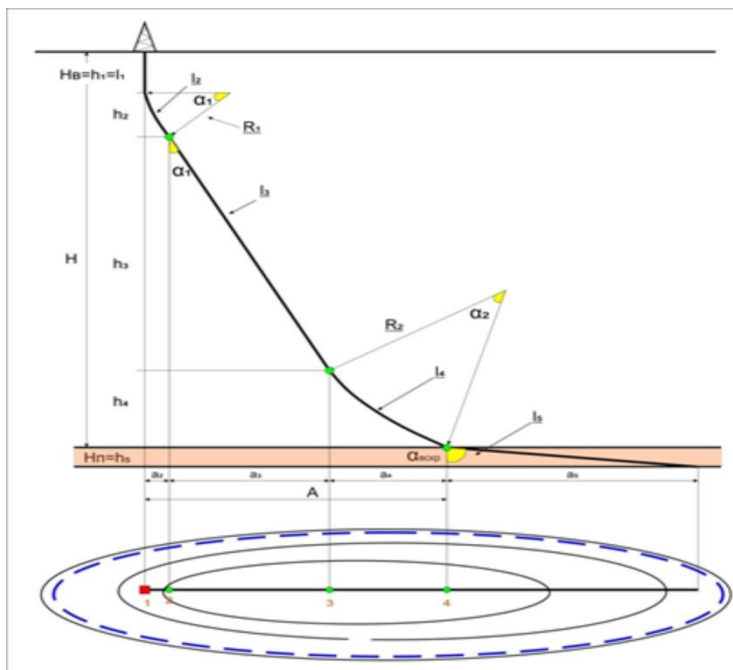


Рисунок 4. Проектный профиль скв. 2

Выводы

Для решения возникающих экологических проблем при бурении скважины предполагается:

- Повторное использование ОБР для бурения новых скважин. Это направление оправдано не только с экологической, но и с экономической точки зрения, так как обеспечивает значительное сокращение затрат на приготовление буровых растворов. [2].

- Регенерация некоторых химических реагентов из отработанных буровых растворов путем обработки их специальными микроорганизмами. Имеет ограниченное применение из-за селективности действия используемых микроорганизмов и высокой чувствительности их к составу утилизируемого раствора.

- Захоронение отходов бурения в специально отведенных местах. [1].

Библиография

1. Белицкий А.С. Охрана природных ресурсов при удалении промышленных жидких отходов в недра Земли. М., Недра, 1976. 144 с.
2. Брылов С.А. «Охрана окружающей среды», М.: Высшая школа, 1985. – 272 с.
3. Витт М.Б. Экономические проблемы рекультивации земель. М., Стройиздат, 1980, 161 с.
4. Ливчаг И.Ф. «Охрана окружающей среды», - М.: Стройиздат, 1988. - 191 с.
5. Материалы к оперативному подсчету запасов нефти и растворенного газа по пластам Т, Д1, Д3 Кошинского месторождения. ООО "Сладковско-Заречное", ОАО "ТАНДЕМ", Тюмень, 2015.

Использование безмуфтовых обсадных труб в процессе бурения. Гугля С.И.
(Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени
М. И. Платова, e-mail: 13050465@mail.ru), Онофриенко С.А. (Южно-Российский
государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, e-
mail 13050465@mail.ru)*

Аннотация

Обоснована и показана необходимость разработки и применения безмуфтовых обсадных труб в процессе бурения. У безмуфтовых обсадных труб повышены эксплуатационные характеристики, снижено количество резьбовых соединений. Применение таких труб позволяет значительно снизить металлоёмкость конструкции скважин, сэкономить материальные и технические средства при сооружении скважин, а кроме того – снизить риск аварий, связанных с недоброкачественным резьбовым соединением.

Ключевые слова

Обсадные трубы, безмуфтовые соединения, герметичность соединения.

Теория

Надобность разработки безмуфтовых соединений обсадных труб возникла из желания уменьшить затраты на строительство нефтяных и газовых скважин, а значит и увеличить прибыль. Это стало возможным за счет изменения конструкции скважин.

При использовании безмуфтовых соединений диаметр направления и эксплуатационной колонны не меняется, а, следовательно, дебит скважины остается прежним. Однако, диаметр кондуктора и промежуточной колонн становится меньше, что приносит ощутимую экономию материала, варьирующуюся от нескольких тонн, до нескольких десятков тонн металла.

Таким образом, возможно использование буровой установки меньшей грузоподъемности, что влечет за собой существенную экономию ресурсов, направленных на поддержание бесперебойной работы бурового оборудования (ДГСМ, электроэнергия и т. д.) [3].

В результате уменьшения диаметра обсадных колонн уменьшается и диаметр самого ствола скважины, что приводит к снижению себестоимости метра проходки скважины (уменьшение диаметра долота, уменьшение объема промывочного и тампонажного растворов и т.д.) [4].

Кроме того, значимым преимуществом безмуфтовых соединений обсадных труб является уменьшение количества резьбовых соединений труб в 2 раза, что на 50 % снижает риск аварий, связанных с некачественным резьбовым соединением. Надо заметить, что у безмуфтовых обсадных труб эксплуатационные характеристики повышены (табл. 1) [1].

В соединениях безмуфтовых обсадных труб любых типоразмеров применяется видоизмененная равнобочная трапецеидальная резьба с углом 12 градусов между сторонами профиля и плоскими вершинами, и впадинами всех витков, параллельными оси резьбы.

Таблица 1. – Сравнение эксплуатационных затрат при использовании безмуфтовых труб НКТ

Статья затрат	Стандартные, руб.	Безмуфтовые обсадные трубы, руб.	Экономический эффект, руб.
Стоимость труб	2 700 000	3 200 000	500 000
Затраты на спуск в год	7 200 000	6 600 000	600 000
Затраты на ремонт	1 800 000	0	1 800 000
Опрессовка перед спуском	400 000	0	400 000
Затраты на сменный комплект труб	2 700 000	800 000	1 900 000
ИТОГО	14 800 000	10 600 000	4 200 000

Резьбы труб всех типоразмеров, однако, не предназначены для обеспечения герметичности путем натяга. Резьба используется исключительно в качестве средства удержания от расстыковки труб при осевой растягивающей нагрузке. Для соединения КБТ используются высаженные концы труб, составляющие единой целое с телом трубы. Сопротивляемость осевому сжатию обеспечивается главным образом наружными упорными торцами или натягом (рис. 1) [1].

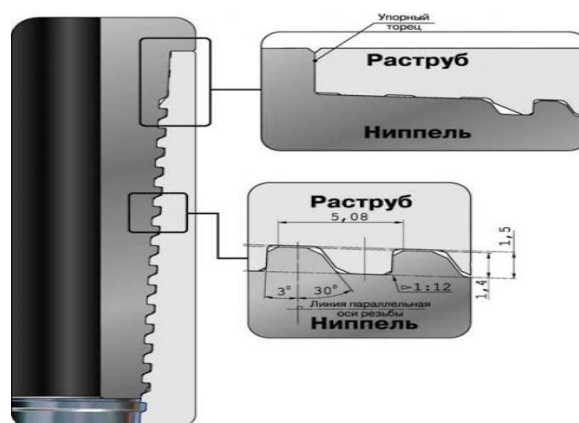


Рисунок 1. Раструбное соединение

Упор, состоящий из совпадающих конических поверхностей трубы и муфты, обеспечивает дополнительную герметичность и защищает соединение от чрезмерного момента свинчивания и сжатия.

Герметичность соединения так же соединения так же обеспечивается натягом «металл — металл» между криволинейной уплотнительной поверхностью на стороне наружной резьбы и конической уплотнительной поверхностью на стороне внутренней резьбы (рис. 2) [1].



Рисунок 2. Безмуфтовое соединение

Рассмотрим проектные характеристики скважины №3 Большого Ольховского месторождения (Нефтяное месторождение им. В. Н. Виноградова), находящегося в Тюменской области (табл. 2) [2].

Таблица 2. – Характеристики обсадных колонн

Характеристика обсадной колонны	Толщина стенки, мм	10	9,5	10
	Марка (группы прочности) материала труб	Д	Д	Е
	Номинальный наружный диаметр, мм	426	324	245
	Длина секции, м	374	860	1400
	Масса 1 м, кг	106,1	75,8	59,6
	Масса секции, т	39,7	65,2	83,4
Интервал установки равнопрочной секции, м	До (низ)	374	860	1400
	От (верх)	0	0	0
Номер колонны в порядке спуска		1	2	3

Возьмем характеристики существующих безмуфтовых обсадных колонн, используемых в отечественной практике. Выберем наиболее подходящие по наружному диаметру обсадные трубы (табл. 3) [2].

Таблица 3 – Характеристики безмуфтовых обсадных колонн.

Условный диаметр трубы, мм	Наружный диаметр D , мм	Толщины стенки s , мм	Внутренний диаметр d , мм	Масса 1 м, кг
377	377,0	10	357	90,5
273	273,1	8,9	255,3	51,9
194	193,7	9,5	174,7	43,3

Рассчитаем массу новых секций:

$$m_{\text{секц}} = m_{1\text{м}} * l_{\text{секц}},$$

где $m_{1\text{м}}$ – масса 1 м трубы, кг; $l_{\text{секц}}$ – длина секции, м.

Кондуктор:

$$m_{\text{конд}} = m_{1\text{мконд}} \cdot l_{\text{конд}} = 90,5 \cdot 371 = 33847 \text{ кг}$$

1-я промежуточная колонна:

$$m_{1\text{пром}} = m_{1\text{мпром}} \cdot l_{\text{пром}} = 51,9 \cdot 860 = 44634 \text{ кг}$$

2-я промежуточная колонна:

$$m_{2\text{пром}} = m_{2\text{мпром}} \cdot l_{\text{пром}} = 43,3 \cdot 1400 = 60620 \text{ кг}$$

Составим новую конструкцию скважины:

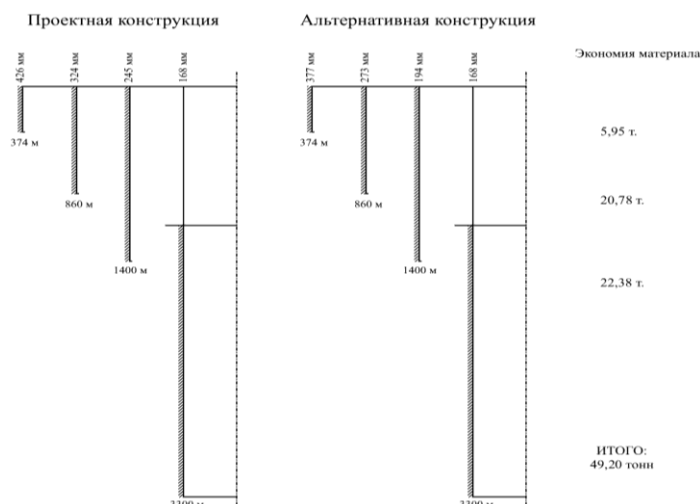


Рисунок 3. Конструкция скважины

Как можно видеть, кондуктор, 1 и 2-я промежуточные колонны в результате замены обычных обсадных труб на безмуфтовые, уменьшились в общей сложности на 161 мм, что приносит экономию материала в 49.2 тонн.

Выводы

Применение безмуфтовых труб при строительстве скважин имеет много преимуществ. К основным достоинствам применения безмуфтовых труб относятся: снижение металлоемкости конструкции, снижение нагрузки на оборудование при спуске обсадной колонны, уменьшение затрат на строительство скважины, уменьшение диаметров обсадных колонн без уменьшения дебита скважины.

Библиография

1. Иогансен К.В. «Спутник буровика»: Справочник – 4-е изд., переработанное и доп. – Симферополь, Бизнес-информ, 2012. – 416 с., ил.
2. Калинин А.Г. «Бурение нефтяных и газовых скважин»: учебник для вузов / А.Г. Калинин. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. – 846 с. ил.
3. Оценка риска выполнения проекта при сооружении нефтегазовых скважин / К. А. Борисов, Л. А. Татаркина // Булатовские чтения. – 2021. – Т. 1. – С. 291-293.
4. Повышение безопасности бурения наклонно-направленных скважин путем снижения прихватаопасности и разупрочняющей способности бурового раствора / А. Я. Третьяк, Ю. М. Рыбальченко, С. И. Лубянова [и др.] // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2017. – № 2. – С. 45-49.

Сравнительный анализ показателей процесса направленного бурения скважины АГКМ с применением РУС и ВЗД. Денисов Денис Александрович* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», denisovden677@yandex.com), Ганин Игорь Павлович (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», ganiqip@mgri.ru)

Аннотация

В работе проводится аналитическое сравнение технологии бурения скважин роторными управляемыми системами в различных горно-геологических условиях и ВЗД. В работе описаны основные типы роторных управляемых систем, проведен анализ роторных управляемых систем по механизму искривления, выявлены достоинства и недостатки каждого из механизмов.

Ключевые слова

Газоконденсатное месторождение, наклонно-направленные скважины, роторно-управляемые системы, винтовые забойные двигатели

Источники финансирования

Источники финансирования отсутствуют

Теория

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 [1].

Именно такие системы применяются последние года на Астраханском газоконденсатном месторождении. Оно расположено в 60 км от г. Астрахани. Оно открыто в 1976 году и на данный момент насчитывает уже 285 скважин.

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 [3].

Различают три типа РУС: реализующие механизм фрезерования стенки (push-the-bit – рис.1.), реализующие механизм асимметричного разрушения забоя вследствие перекоса долота (point-the-bit – рис. 2.), а так же РУС совмещающие эти два механизма.

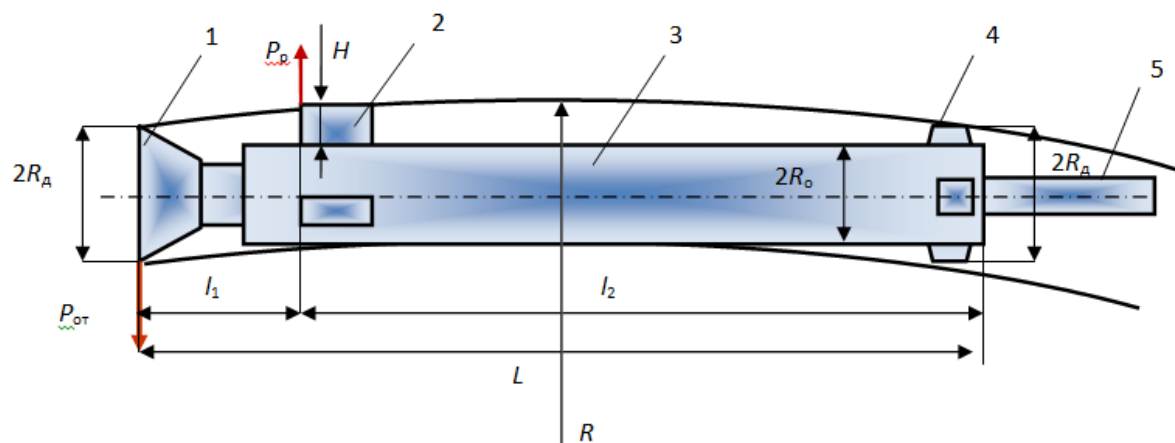


Рисунок 1. Схема для расчета радиуса искривления РУС с радиальным смещением долота (push-the-bit): 1- долото, 2 – выдвигающиеся лопатки, 3 – корпус, 4 – верхний стабилизатор, 5 – труба, $D_д$ – диаметр долота, H – выход лопатки из корпуса, $D_о$ – диаметр корпуса, $D_ц$ – диаметр стабилизатора

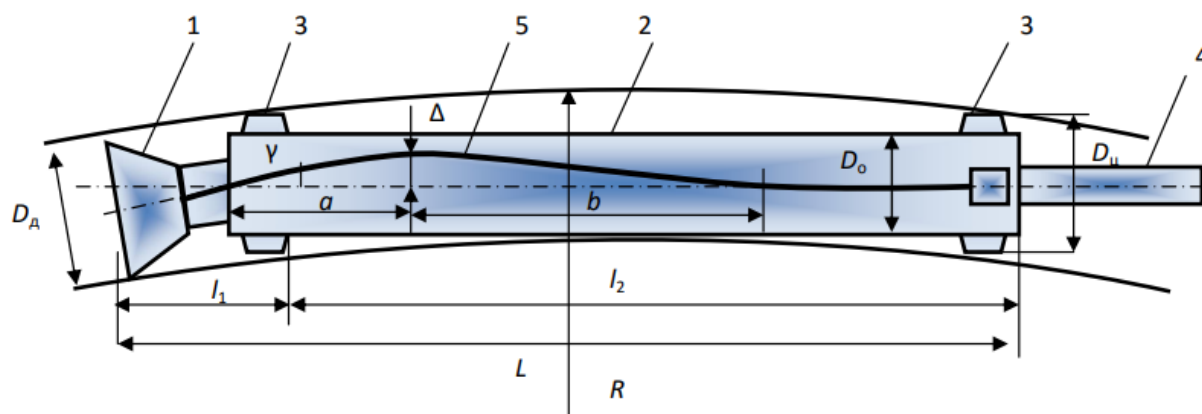


Рисунок 2. Схема для расчета радиуса искривления РУС с изменением направления перекоса долота (point-the-bit): 1- долото, 2 – корпус, 3 – стабилизатор, 4 – труба, 5 – вал отклонителя, $D_д$ – диаметр долота, $D_о$ – диаметр корпуса, $D_ц$ – диаметр стабилизатора

Исходя из практики бурения наклонно-направленных скважин, можно выделить следующие основные критерии выбора систем бурения [2] :

- механическая скорость проходки;

- реализация искривления в соответствии с проектом
- качество ствола скважины;
- эффективная длина горизонтальной секции;
- безаварийность проходки;
- стоимость оборудования.

На большинстве скважин, где применялись роторные управляемые системы, отмечают увеличение механической скорости бурения по сравнению с забойным двигателем [4]. На бурение 100 м с использованием РУС требуется вдвое меньше времени – 0,65 суток вместо 1,39 суток. Так, на упомянутом месторождении Марселлус, скорость набора кривизны составила $8^\circ/30$ м, что, по данным компании Ultra Petroleum, позволило оператору увеличить скорость проходки на 80% по сравнению со скважинами, пробуренными ранее при помощи объемных двигателей – рис. 3.

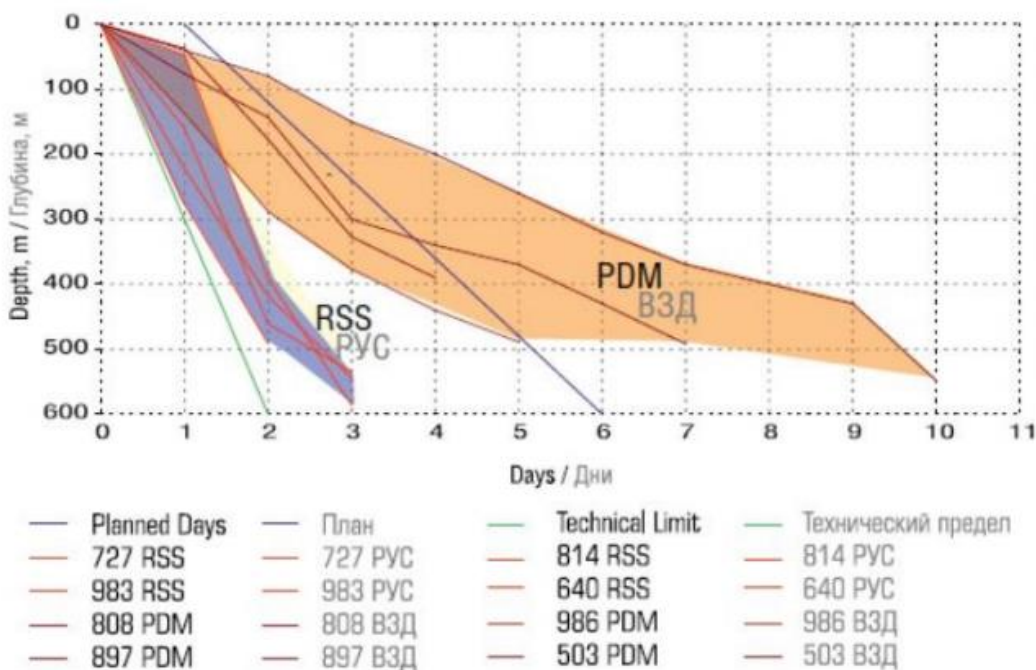


Рисунок 3. График «глубина-день» для секции диаметром 152,4 мм (без времени на спускоподъемные операции), по данным ОАО «Верхнеконскнефтегаз» для Верхнеконского нефтегазоконденсатного месторождения

Другим немаловажным показателем является качество ствола скважины. Бурение управляемым двигателем характеризуется низким качеством ствола, волнообразными неровностями и резкими изгибами, при этом они являются практически неустраняемыми недостатками метода. Причиной этого является «скользящий» режим бурения. В этом режиме вращается только долото, а бурильная колонна просто следует за направляющей компоновкой. Основные сложности в этом случае вызваны недостатком вращения колонны труб. В процессе проходки бурильная колонна скользит по лежащей стенке скважины, промывочная жидкость движется вокруг нее неравномерно, что уменьшает выносящую способность раствора и способствует повышению риска прихвата колонны.

Кроме того, повышается риск желобообразования и прихвата колонны [5]. На рисунке 4 представлены изображения, полученные с помощью каверномера.



Рисунок 4. Сравнение качества ствола скважины, построенного по данным каверномера: сверху – забойный двигатель с кривым переводником, снизу – роторная управляемая система

Выводы

Технология бурения скважин с роторными управляемыми системами имеет массу преимуществ перед остальными существующими технологиями направленного бурения, что было показано на примере бурения конкретных скважин в сравнении с бурением с применением других современных отклонителей. Так, при бурении с применением роторной управляемой системы механическая скорость бурения возрастает в среднем в 2 раза, по сравнению с бурением винтовым забойным двигателем, что обеспечивает существенную экономию времени бурения. Эффективная длина горизонтальной секции увеличилась на 40%, что в свою очередь позволило увеличить дебит скважин более чем вдвое. Так же было установлено, что в сравнении с забойным двигателем, роторная управляемая система позволяет бурить более гладкий ствол, что снижает риск аварийности.

Библиография

1. Акбулатов Т.О. Роторные управляемые системы : учебное пособие / Т.О. Акбулатов, Р.А. Хасанов, Л.М. Левинсон – Уфа : УГНТУ, 2006.
2. Нескоромных, В. В. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин: рукопись / В.В. Нескоромных. – Красноярск
3. Нескоромных, В.В. Направленное бурение и основы кернометрии: учебник / В.В. Нескоромных. – Москва: ИНФРА-М, 2015.
4. Нескоромных, В.В. Методологические и правовые основы инженерного творчества: учебное пособие / В.В. Нескоромных, В.П. Рожков – Москва : ИНФРА-М, 2015.
5. Шевченко И. А. Развитие технологии управляемого роторного бурения при строительстве скважин с субгоризонтальным профилем [Текст] // Технические науки в России и за рубежом: материалы III междунар. науч. конф. (г. Москва, июль 2014 г.). — М.: Буки-Веди, 2014.

ВМ-технологии в нефтегазовой отрасли. Ковалев Н.А. (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, kovalev_nikita2003@mail.ru), соавтор Карельская Е.В. (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, ekaterina_karelskaya@bk.ru), соавтор Хорохордина А.В. (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, purissenkova@mail.ru)*

Аннотация

Работа посвящена исследованию необходимости перехода нефтегазовыми компаниями на новую информационную модель проекта. ВМ – технологии, позволяют заниматься цифровым проектированием, что позволяет вносить в модель информацию о каждом элементе, связывать схемы по конструкциям и их расчетам, интегрировать разрозненные отделы команды в один механизм, выбирать единую стратегию моделирования, более точечное определение трудовых и ресурсных затрат, создание емкой и единой базы данных, которая пригодится при последующих проектах. Также новая модель будет полезна на этапах строительства и эксплуатации. Было приведено сравнение с существующим способом проектирования. Описаны положительные стороны технологии и трудности, которые имеются на данном этапе развития

Ключевые слова

ВМ-технологии, добыча, нефтегазовая отрасли, перспектива, преимущества, экономическая эффективность.

Теория

Российская Федерация занимает лидирующие позиции в мире по объемам добычи нефти и газа. И, как следствие, нефтегазовый комплекс является основным элементом развития экономики России. Влияние нефтегазового комплекса ощутимо во многих отраслях. Поэтому крайне важно, чтобы ведущая отрасль была максимально технически и технологически оснащена. Это позволит оперативно принимать управленческие решения на всех стадиях жизненного цикла объектов нефтегазового комплекса.

Стадии жизненного цикла объектов объединяет понятие ВМ-технологий. Существует мнение, что отрасль в целом консервативна. Однако все большее количество компаний осознает, что прогресс невозможно остановить, и он будет продолжать разворачиваться в сторону внедрения ВМ.

Развитие этой информационной модели безусловно будет происходить в России, так как план внедрения ВМ технологий был утвержден Минстроем 29.12.2014 года.

Данная технология как процесс основывается на 3D-модели, наполненной достоверной и актуальной информацией. Данная 3D-модель позволяет получать информацию на всех этапах жизненного цикла проекта рис.1.

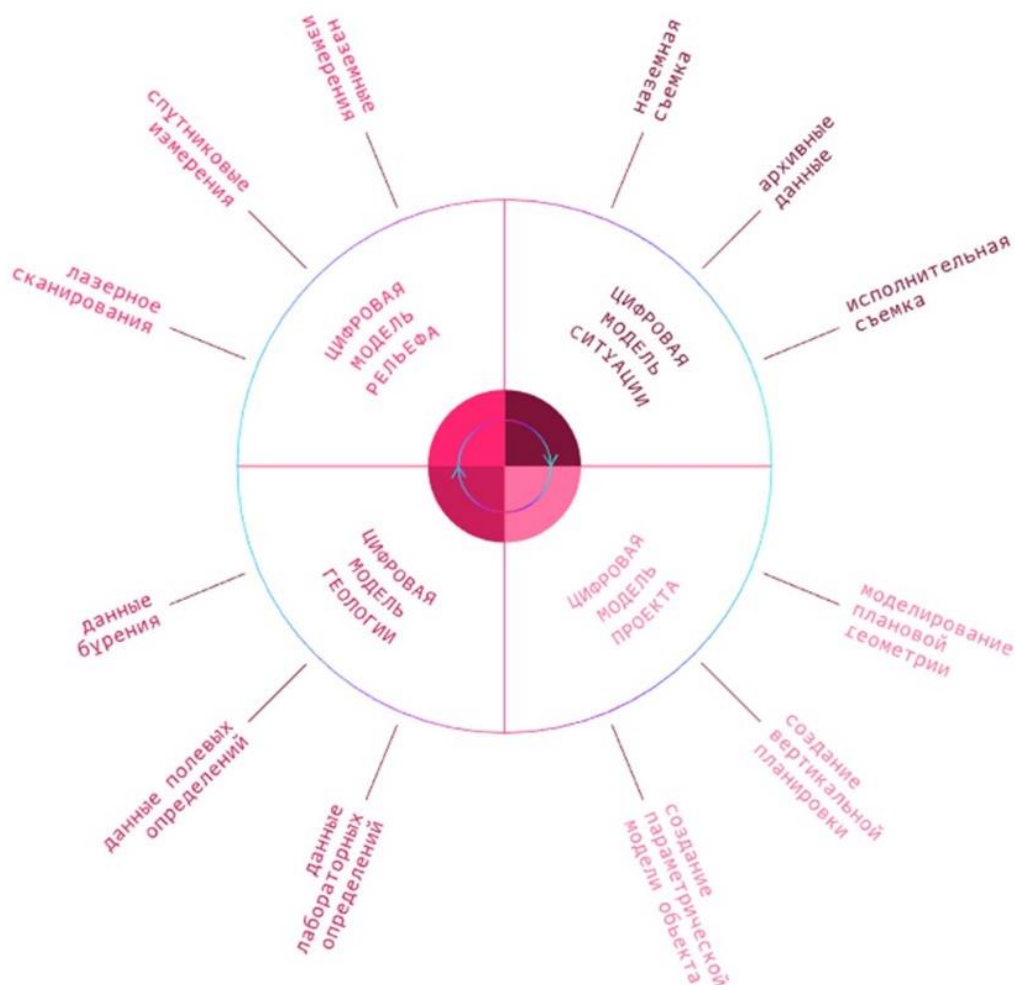


Рисунок 4. Жизненный цикл проекта в BIM-технологиях

Информационное моделирование сооружений (BIM) процесс коллективного создания и использования информации о сооружении, формирующий основу для всех решений на протяжении жизненного цикла объекта (от планирования до проектирования, выпуска рабочей документации, строительства, эксплуатации и сноса).

Рассмотрим BIM – технологию (building information modeling), что она из себя представляет, какое развитие получило в России, как может повлиять на нефтегазовую отрасль и какие трудности могут возникнуть при этом.[1]

BIM - создание трехмерной модель здания, содержащую всю информацию об объекте, необходимую не только для его проектирования и строительства, но и эксплуатации.

Отличие данной информационной модели от используемых до этого 2D и 3D чертежей проекта заключается в том, что теперь в едином поле есть информация не только о размерах и объемной визуализации модели проекта, но также появляется возможность вносить характеристику времени и стоимости. За счет этого создается единая база информации, которую можно менять в любой момент проектирования и получать более точную и актуальную информацию о времени на следующее строительство, необходимой сумме на капитальные затраты, времени и стоимости на ремонт какого-то узла объекта. [2]

Стоит отметить, что BIM это прежде всего проектирование отчетов и чертежей с помощью автоматизированного программного обеспечения (ПО), анализ и прогнозирование работы и эксплуатации, интегрированное в модель проекта, а не обычная графическая составляющая проекта.

Для создания таких современных проектов нужно подходящее ПО. На рынке уже имеются программы компании AutoDesk с требуемым функционалом.

На российском рынке компаний, использующих информационную модель проектирования и строительства, самым популярным ПО является Autodesk Revit. Его используют 61% компаний, вдвое меньше используют программное обеспечение ARCHICAD. Остальные программы пользуются намного меньшим спросом 1-7%. [3]

Проанализировав рисунок, можно прийти к следующему: новая модель проектирования позволяет существенно сократить продолжительность и стоимость проекта, а новая углубленная база данных очень сильно снижает количество запросов информации. Также чем больше глубина внедрения технологии, тем выше окупаемость инвестиций на 25% и более. [4]

Экономический эффект от внедрения данной технологии. На стадии проектирования он составил 20-30%, а при строительстве и эксплуатации несколько процентов. Учитывая, что проекты в нефтегазовой отрасли стоят миллионы долларов, то такой выигрыш в процентах очень заинтересует компании. [5]

Выводы

Среди всех этих плюсов есть и трудности, с которыми сталкиваются нефтегазовые компании в России на сегодняшний день. При сдаче проекта обязательным требованием является правильно оформленная проектная и нормативная документация по всем стандартам. К сожалению, базы информационной технологии пока не адаптированы под эти требования. Также сотрудники экспертной комиссии не имеют достаточной квалификации для анализа подобных проектов. И последним минус, который я могу выделить, так это дороговизна ПО, в котором возможно информационное проектирование, еще часть затрат уйдет на повышение квалификации персонала и подбора новых кадров.

Но переход на новую технологию позволит компаниям сократить затраты ресурсные и временные, повысить эффективность выполнения задач сотрудниками по контролю управления жизненных циклов проекта, а также создаст единый и слаженный механизм.

Применение технологий информационного моделирования в целом является актуальным для нефтегазовой промышленности. Их появление соответствует вектору риск-ориентированного подхода к задачам эксплуатации и инспекционного контроля за особо опасными, технологически сложными и уникальными объектами. Технологии информационного моделирования создают предпосылку для формирования инновационной деятельности газового комплекса на основе управления активами посредством модели. Для решения задачи отраслевого уровня необходимы консолидация участников инвестиционной деятельности, выработка единых подходов на уровне единых требований, норм, правил к вопросам поддержки, сопровождения, развития модели активов. Предстоит перевести пока небольшой опыт проектировщиков

в инструмент заказчика, обеспечив при этом поддержку разработчиков основных компонент программных продуктов.

Библиография

1. Айроян З. А., Коркишко А. Н. Управление проектами нефтегазового комплекса на основе технологий информационного моделирования (BIM-технологий) //Инженерный вестник Дона. – 2016. – Т. 43. – №. 4 (43).
2. Горлов И.В, Л.Г. Лунькова, А.Н. Гульков. Необходимость внедрения BIM - технологии в нефтегазовую отрасль// Материалы: III Международной научно-практической конференции. г. Владивосток. – 2021 г. С. 14-19.
3. Раховецкий Г. А., Коркишко А. Н. Информационная модель проекта-как основа оптимизации стоимости на всех стадиях реализации проектов обустройства, на примере компании «Газпром нефть» //Инженерный вестник Дона. – 2017. – Т. 44. – №. 1 (44).
4. Рашев В. С. и др. Анализ внедрения технологии информационного моделирования в Российских строительных компаниях по проектированию и строительству инженерных систем //Вестник евразийской науки. – 2020. – Т. 12. – №. 3. – С. 11-11.
5. Степанян А.А, М.А. Королев. Актуальность использования технологий информационного моделирования для повышения качества процессов создания и эксплуатации объектов нефтегазового комплекса// Газовая промышленность № 11 – 2017 г. С. 98-104.

***Разработка конструкции съемного отклоняющего комплекса. Комаровский И. А.*
(Сибирский федеральный университет, igorkomarovskij702@gmail.com)***

Аннотация

В процессе бурения все скважины искривляются в большей или меньшей степени из-за различной твердости горных пород и различных форм залегания. Для контроля траектории скважины используют различные технические средства такие как отклонители. К наиболее распространённым относятся отклонители непрерывного действия (ОНД). Основным недостатком данных отклонителей является затрачиваемое время на проведения цикла работ по искусственному искривлению скважин, что сказывается на себестоимости скважин. Для решения данной проблемы был предложен отклоняющий комплекс для работ со съемными керноприемниками.

Ключевые слова

Направленное бурение, отклонитель, искусственное искривление скважин.

Теория

Бурение один из основных способов поиска полезных ископаемых, но при бурении скважины не обходимо придерживаться проектной траектории, иначе большие отклонения могут привести к погрешности оценки перспектив месторождения и соответственно к большим экономическим затратам. Для сохранения траектории направления скважины существуют различные технические средства. Одним из основных является средство для искусственного изменения скважин в любом заданном направлении (отклонитель). Отклонитель нужен для создания дополнительных стволов скважины, для изменения направления скважины, а также для её корректировки. Так как в геологоразведке требуется как можно точнее придерживаться проектной траектории скважины, большое значение будет иметь корректировка направления скважины. Отсюда возникает проблема, связанная с затратами времени на спускоподъемные операции потому что существующие средства мало эффективны оперативной корректировки направления скважины. Поэтому возникает вопрос о создании технического средства, которое позволяло бы сократить затраты времени на спускоподъемные операции [1].

На сегодняшний день современным техническим решением в области направленного бурения является снаряд направленного бурения для ССК Компании Devico [2]. Данный снаряд способен производить бурение с одновременным отбором керна, так же снаряд способен изменять направление скважины в процессе бурения. Снаряд может применяться с серийным снарядом типа NQ. Данный снаряд обеспечивает интенсивность искривления 0,3 град/м. Принцип работы устройства Devidrill заключается в использовании ведущего вала (бурильной колонны), проходящего через эсцентриктовую втулку, смещенную от центральной оси устройства, что обеспечивает изгиб колонкового набора под действием осевого усилия и перекося коронки. В верхней части набора, на расстоянии 2 м устройство имеет выдвижной ползун, который работает под давлением промывочной жидкости и воздействует на стенку скважины. Ползун выдвигается за пределы поверхности колонкового набора и, упираясь в стенку скважины с усилием, фиксирует плоскость изгиба колонкового набора. Внутренние составляющие снаряда включают в себя средства ориентирования отклонителя, съемный

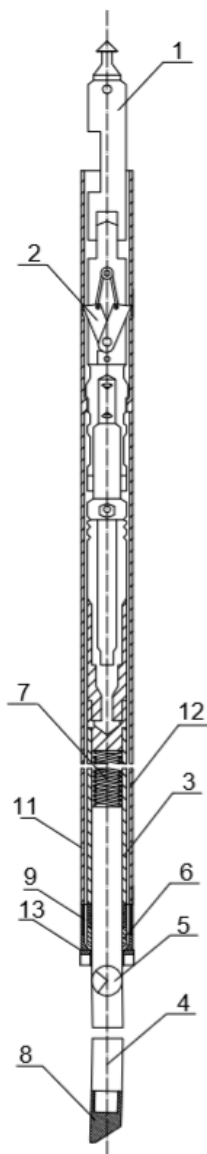


Рис.1 Схема конструкции съемного отклоняющего комплекса

керноприёмник, систему переводников, трубу с инструментом для инклинометрии, который фиксирует данные с последующей их передачей на компьютер. Информация записывается внутри устройства и загружается на компьютер после каждого рейса. Недостатком данного снаряда является необходимость подъема всей бурильной колонны для замены стандартного колонкового набора на специальный колонковый набор с отклонителем, так же керн имеет меньший диаметр в отличие от стандартного колонкового набора. Так же стоит отметить что компания Devico не продает данный снаряд, а лишь оказывает услуги по бурению геологоразведочных скважин [4].

Исходя из этого, предлагаем устройство для направленного бурения скважин включающее отклонитель с ориентирующим устройством и корпус с механизмом блокирования устройства внутри колонны бурильных труб с коронкой. Данный снаряд позволит оперативно производить корректировку направления скважины, путем исключения спускоподъемных операций.

Съемный снаряд направленного бурения (рис. 1) состоит имеет скос, на торце которого имеются резцы 10. Над штоком установлен шарнир 5, который фиксирует угол отклонения штока 4. Шток 4 закреплен в корпусе отклоняющего модуля 3. Так же имеется фиксирующая втулка 6, которая повторяет внутреннюю форму коронки 13 за счет этого плотно прилегает к ней, за счет этого отклонитель надежно зафиксирован в колонне бурильных труб 12, так же втулка 6 снижает вибрации штока 4. В фиксирующую втулку 6 впрессована металлическая резьба 11 для соединения с корпусом 3, так же в втулке 6 имеются промывочные каналы 9, общая площадь которых примерно равна зазору между керноприемной тубой (не показана на чертеже) и колонной бурильных труб 12, ориентатор 1 и механизм блокирования 2. Отклоняющий модуль включает в себя направляющий шток 4 с профильным башмаком 8.

Принцип работы устройства заключается в следующем: перед началом работ из скважины извлекают керноприемник, затем колонну приподнимают на длину штока отклонителя, спускают отклонитель внутри колонны бурильных труб. В процессе спуска отклонителя, он самоориентируется. В дальнейшем отклонитель закрепляется в скважине посредством механизма блокирования 2, после чего начинается процесс искривления скважины. Шток 4 служит направляющей для коронки 13. Таким образом мы производим искривление скважины колонной бурильных труб 12 и коронкой 13. После завершения процесса искусственного искривления отклонитель извлекают на поверхность без подъема бурильной колонны. [3]

Для обоснования экономической эффективности был произведен расчет стоимости метра направленного бурения отклонителем непрерывного действия (ОНД) по формуле:

$$C_M = \frac{C_{ст}}{T} \cdot \left(\frac{1}{v_M} + \frac{2H \cdot K}{l_p} + \frac{2H \cdot K + S}{l_p} + \frac{2H \cdot K}{n \cdot l_p} \right),$$

где $C_{ст}$ – стоимость станко смены, тыс. руб, T – Время станко смены, час, H – глубина скважины, K – время затрачиваемое на спуск 1м колонны l_p – длина рейса, S –

время затрачиваемое на ориентацию отклонителя, n – число проработок интервала искривления, v_m – механическая скорость бурения.

Так же произведен расчет для съёмного отклоняющего комплекса (СОК) по формуле:

$$C_M = \frac{C_{ст}}{T} \cdot \left(\frac{1}{v_m} + \frac{2H \cdot C + S}{l_p} \right),$$

где C – время на спуск 1 метра съёмного отклоняющего комплекса. После проведения расчетов были построены графики зависимости стоимости одного метра бурения от глубины

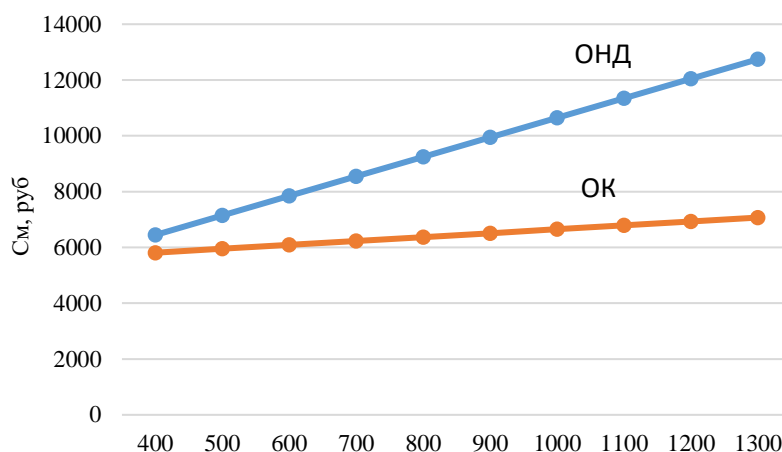


Рис. 2 График зависимости стоимости одного метра бурения от глубины

Выводы

1. Теоретически обосновано что решить проблему с временем затрачиваемым на искусственное искривление скважин можно решить с помощью отклоняющего комплекса разработанной конструкции;

2. Соотношения себестоимости метра бурения 2-мя видами отклонителей представлено на рисунке 2. На исследуемом интервале забуривания нового направления от 400 до 1300 метров съёмный отклоняющий комплекс показывает разную экономическую эффективность причем она возрастает с ростом глубины забуриваемого направления.

Библиография

1. Нескоромных В.В. Оптимизация в геологоразведочном производстве. Москва: ИНФРА-М. – 2015. – 41 с.
2. Нескоромных В.В. Направленное бурение и основы кернометрии. Москва: ИНФРА-М. – 2015. – 179 с.
3. Пат. 2714998 РФ, СПК E21B 7/06. Устройство для направленного бурения скважин /Нескоромных В.В. Комаровский И.А.; заявитель и патентообладатель федерально государственное автономное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет»; опубл. 21.02.2020.
4. Костицин Ю. С., Соловьев Ю. Г., Нескоромных В. В., Закиев Р. Б., Блохин Ю. Ф., Современные методы и технологии по управлению траекториями геологоразведочных скважин. Иркутск: Изд-во. ИрГТУ, 2004 стр. 221-223

Обзор перспективных интеллектуальных технологий и сценариев их применения в строительстве нефтегазовых скважин. Коноплянников А.В.* (Санкт-Петербургский Горный Университет, konoplyannikovaleksandr@gmail.com)

Аннотация

В данном обзоре представлены актуальные проблемы интеллектуальных технологий, моделирования, сбора и аналитики данных в нефтегазовой промышленности на примере строительства скважины, которая была выбрана как одна из наиболее финансово затратная операция, и в связи с ростом сложности проектов требующая значительной модернизации. Проведена оценка ключевых перспективных направлений научных и прикладных исследований и выявлены наиболее значимы проблемы применения интеллектуальных технологий, моделирования и анализа данных. На основе проанализированных работ в рамках обзора были сформулированы потенциальные варианты решения этих проблем. В том числе и перспективная технология оценки качества, повышения качества и рисков по технологическим параметрам на основе моделирования и нейронных сетей. Так же в конце работы приведены обоснованные выводы относительно перспектив объекта научного исследования.

Ключевые слова

бурение, интеллектуальные технологии, алгоритмы, цифровизация, машинное обучение

Теория

В последние годы наблюдается стремительное развитие искусственного интеллекта (ИИ) и технологии больших данных, что в свою очередь привлекло большое внимание со стороны различных отраслей промышленности [5].

Стратегия развития искусственного интеллекта, цифровизации и большие данные, позволяют применять новые технологии, разрабатываются странами по всему миру. Нефтегазовая отрасль как капиталоемкая и высокотехнологическая имеет большой спрос на цифровую трансформацию. Интеллектуальное бурение подразумевает активное применение больших данных, искусственного интеллекта, информационной инженерии, теории управления и других передовых трансформационных технологий.

Интеллектуальные технологии в строительстве скважин можно разделить на две категории: интеллектуальные алгоритмы и интеллектуальное оборудование. Интеллектуальные алгоритмы используют алгоритмы искусственного интеллекта для решения не линейных сложных задач и обеспечивают оптимизацию управленческих схем, помогают принимать решения. Интеллектуальное оборудование представляет собой источники данных и аппаратную поддержку для создания и проверки интеллектуальных моделей [7].

Интеллектуальную модель проектирования и планирования можно представить и понимать в следующем виде [4]:

1. Поиск: процесс поиска кейса, хранящегося в базе данных кейсов, который удовлетворяет всем требованиям для проектирования новой скважины.

2. Адаптация: в этом процессе данные адаптируются к требованиям, которые ранее не удовлетворялись, учитывая ошибки в проектировании и планировании, НПВ, осложнение и т.д.

3. Моделирование: процесс моделирует осложнения и использует полученные результаты для диагностики рисков. Если моделирование не диагностирует осложнения, то система предлагает вариации кейса в качестве основы нового планирования; в противном случае предлагается процесс снижения рисков.

4. Возмещение: процесс отвечает за устранение осложнений, непроизводительного времени, не эффективных технологий, которые были диагностированы с помощью моделирования.

5. Мониторинг бурения: оценивает параметры бурения, свойств буровых растворов, для предотвращения возможных проблем при бурении скважины.

6. Хранение: после завершения строительства скважины этот процесс оценивает выполнение плана. И даёт оценку для возможности применения в будущем.

Совокупность всех методов и подходов к системам интеллектуального бурения, искусственного интеллекта, машинного обучения, анализа больших данных, интеллектуального планирования способно увеличить продуктивное время бурения и сократить расходы на строительство, проектирование и планирование [4].

Сценарии применения искусственного интеллекта при строительстве скважин относятся к использованию технологии ИИ в определённых инженерных процессах, включая технические условия, источники данных и алгоритмы [3]. Интеллектуальное бурение и заканчивание можно условно разделить на семь сценариев, основанных на основных технологических операциях и объектах строительства (рис 1.) Основной целью оптимизации бурения является сокращение времени и стоимости. Для этого существует два основных метода: сокращение времени бурения путём выбора оптимальных параметров бурения до начала работ на этапе проектирования и сокращение времени путём выбора оптимальных практики и оптимизации параметров бурения в режиме реального времени. Для оптимизации параметров должна быть точная прогностическая модель. Согласно исследованиям С. Соарес и К. Грея проводивших сравнение аналитических модели и моделей, основанных на машинном обучении с одинаковыми входными параметрами. Анализ моделей показал, что аналитические модели более производительные, а модели, основанные на машинном обучении, демонстрируют более низкую погрешность [6]. Прогнозирование и оптимизация механической скорости нераздельно связаны, поскольку результаты прогнозирования являются важным ориентиром для оптимизации. Оптимизация механической скорости является расширением прогнозирования, при котором оптимальные параметры бурения получаются в режиме реального времени с использованием алгоритмов оптимизации [2].



Рисунок 1. Схема возможных сценариев и технологических оптимизаций для применения интеллектуального бурения.

Интегрированная модель должна быть динамичной и служить основой для оптимизации бурения. Модель должна быть ограничена параметрами и данными, которые возможно получить из наземных систем, а также учитывать риски при бурении. Последнее подразумевает, что эксплуатационные параметры не должны вести к осложнениям и авариям таким как прихваты, поглощения, ГНВП и другим технологическим рискам при проведении работ [1].



Рисунок 2. Общая оптимизация процесса бурения.

Интеллектуальное бурение и заканчивание в настоящее время быстро развиваются, а интеграция ИИ углубляется. Повышение стабильности моделей данных и уменьшение погрешности, применение оценки и дополнения входных данных еще одна из существующих задач.

Выводы

По результатам обзора можно сделать следующие выводы.

Внедрение систем больших данных для сбора и аналитики данных для обучения модели и алгоритмов остаётся актуальной.

Для разработки динамических моделей часто не хватает исторических данных по ранее пробуренным скважинам по причине сложности получения информации и низкого уровня цифровизации.

В рамках сбора данных необходимо внедрять сетевые архитектуры с высокой пропускной способностью на промыслах что часто связано со сложностями удалённости и недостаточной инфраструктуры.

Применение ИИ для оптимизации процессов бурения, цементирования и заканчивания является одной из наиболее актуальной на сегодняшний день технологий для повышения эффективности и сокращения затрат.

Физическое моделирование применяется для проектирования дизайна бурового инструмента, конструкции обсадных колонн и аналитики геофизических исследований.

Проведённые исследования показывают высокую точность моделей для прогнозирования показателей рисков.

На текущий момент моделирование выполняется без связи с техническими установками и часто без системного сбора данных, что делает его менее привлекательным.

Модели оценка рисков и анализа больших данных используется для оптимизации производства и определения наилучших практик для снижения непроизводительного времени что в целом влияет на снижение затрат и повышение производительности.

Библиография

1. Cayeux E., Daireaux B., Ambrus A., Mihai R. and Carlsen L. (2021). Autonomous Decision-Making While Drilling. *Energies*, 14, 969. 969; <https://doi.org/10.3390/en14040969>
2. Chiranth H., Ken G. (2018). Evaluation of coupled machine learning models for drilling optimization. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 56, 397-407. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2018.06.006>
3. Gao K., Xu X., Jiao Sh., Li Z. (2022). Modeling and experimental research on temperature field of full-sized PDC bits in rock drilling and coring. *Energy Reports*, 8, 8928-8938. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.07.016>
4. Mirza M., Ghoroori M., Chen Z. (2022). Intelligent Petroleum Engineering. *Engineering*. Article in press. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.06.009>
5. Mohammadpoor M., Torabi F. (2020). Big Data analytics in oil and gas industry: An emerging trend. *Petroleum*, 6, 321-328. <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2018.11.001>
6. Soares C., Hildebrand K. (2019). Real-time predictive capabilities of analytical and machine learning rate of penetration (ROP) models. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 172, 934-959. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.08.083>
7. Sumbal M. S., Tsui E. and Eric W.K. (2017). Interrelationship between big data and knowledge management: an exploratory study in the oil gas sector. *Journal of knowledge management*, 21, 180-196. DOI <https://doi.org/10.1108/JKM-07-2016-0262>

Причины снижения герметичности крепи скважины в условиях аномально-высоких пластовых давлений. Коптева А.И. (Санкт-Петербургский горный университет, anas.kopteva2017@yandex.ru), Шаньшиеров А.В.* (Санкт-Петербургский горный университет, mr.shansherov@mail.ru), Сидоркин Д.И. (Санкт-Петербургский горный университет, sidorkin_di@pers.spmi.ru)*

Аннотация

В работе рассматриваются причины возникновения газопроявления в затрубном пространстве, а также проблемы, встречающиеся при цементировании газовых скважин в условиях аномально-высоких пластовых давлений. Одной из причин миграции газа в заколонное пространство, является снижение гидростатического давления тампонажного раствора, оказываемого на стенки скважины, до значений пластового давления и ниже. Проведены лабораторные исследования цементного раствора с использованием различных добавок для определения времени переходного периода. Испытания показали, что при добавлении химических реагентов, регулирующие реологические характеристики суспензии, в базовых цементный раствор, время переходного периода снизилось на 18 минут.

Ключевые слова

Цементирование скважин, аномально-высокие пластовые давления, миграция газа, время переходного периода.

Теория

При строительстве и заканчивании скважин на нефть и газ, одной из главных и сложных задач является цементирование скважин для качественного разобщения пластов [1]. Некачественное цементирование скважин может быть причиной миграции газа в затрубное пространство, которая приведет к серьезным последствиям, а именно: грифонообразованию, открытому фонтанированию скважины, а также к другим осложнениям связанных с газопроявлением, на ликвидацию которых уйдут огромные финансовые ресурсы. Особенно серьезна проблема газопроявления для скважин, находящихся в условиях с аномально-высокими пластовыми давлениями (АВПД).

Решением данного вопроса уже много лет занимаются отечественные и зарубежные нефтедобывающие компании. Однако проблема миграции газа остается не решенной, о чем свидетельствуют результаты мониторинга межколонного пространства различных месторождений Западной и Восточной Сибири, месторождений Прикаспийской нефтегазоносной провинции, а также других районов с высоким коэффициентом аномальности. Одним из условий для предотвращения проблем связанных с газопроявлением, является качественное цементирование и герметичность заколонного пространства [2]. Качество цементирования скважин – это многофакторный процесс, зависящий от целого комплекса технико-технологических параметров, в том числе и от контроля времени переходного периода цементного раствора из фазовых состояний жидкость-гель-твердое тело [3, 4]. Недостаточно соблюсти все технико-технологические требования и регламенты в процессе цементирования для получения герметичной тампонажной матрицы.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что миграция газа в затрубное пространство наиболее вероятна, когда тампонажный раствор переходит из состояния «жидкости» в «гель», в период ожидания затвердевания цементного раствора (ОЗЦ). В этом состоянии происходит уменьшение объема за счет потери жидкости, вследствие чего цементный раствор теряет свою способность передавать гидростатическое давление, и может произойти проникновение газа в скважину. Это происходит в связи с изменением градиента пластового и порового (гидростатического столба раствора) давления, когда значения первого превышают значения второго. Процесс перехода от жидкого состояния раствора в гелеобразное и в конечном итоге в цементный камень представлен на рисунке 1. В состоянии «жидкость» (а) происходит полная гидростатическая передача <50 Па (100 фунтов/100 футов²). Возможен риск миграции газа в цементный раствор из-за низкой плотности; далее (б) раствор переходит в агрегатное состояние «геля» с статическим напряжением сдвига в диапазоне 50 – 250 Па (500 фунтов/100 футов²). Происходит уменьшение объема за счет потери жидкости (водоотдача), как следствие снижение гидростатического давления. В таком состоянии существует высокий риск миграции газа, поэтому необходимо уменьшить время переходного периода (<30 минут) и усадку цемента; в процессе (в) гидратации цемент больше не поддается деформации при повышении прочности, поровое давление в цементе падает. Риск миграции при высокой проницаемости; цементный камень (г) набрал достаточную прочность на одноосное сжатие и имеет низкую проницаемость.

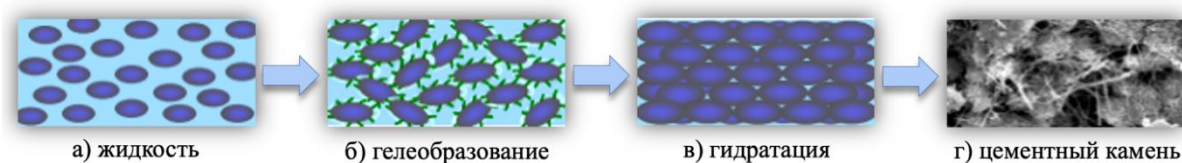


Рисунок 1. Переходные фазовые состояния жидкость – гель – твердое тело.

Контроль миграции газа необходимо проводить на всех этапах цементирования, таких как: первичная закачка тампонажного раствора (контроль давления), после цементирования, когда цементный раствор переходит в состояние геля (переходное время) и третий этап, когда раствор затвердел и продолжает набирать прочность (контроль оставшегося жизненного цикла цементной колонны).

Существующие стандарты регламентируют методы лабораторного тестирования по API 10B-2/ISO 10426-2/ГОСТ 34532-2019, используемые для цементного раствора (жидкости) и в последствие твердого тела (цементного камня), но не оказывается должного внимания «переходному периоду», когда суспензия уже не является раствором, но еще и не камень – состояние геля. В ходе анализа проблемы выявлено, что не все технологические инструкции проведения работ по цементированию содержат требование по необходимости тестирования на время переходного периода по API 10B-6.

Статическое напряжение сдвига является важным параметром для разработки подходящей рецептуры тампонажного раствора, предназначенного для цементирования скважины в сложных условиях. Время переходного периода определяется как время, необходимое цементному раствору, чтобы статическое напряжение сдвига от критического в 50 Па достигло 250 Па и должно проверяться для всех тампонажных суспензий, размещенных в зонах потенциальной миграции флюида в скважину. По стандартам API STD 65 часть 2 время переходного периода цементного раствора не должно превышать 45 минут. Однако ряд специалистов считают, что это слишком

условный временной диапазон и его необходимо сокращать. В зависимости от условий скважины нижний предел критической статической прочности геля (CSGS) может рассчитываться по формуле:

$$CSGS = \frac{OBP \cdot 300}{\frac{L}{D_{eff}}}$$

где CSGS (Critical Static Gel Strength) – критическая статическая прочность геля, lb/100 sqft; OBP (Hydrostatic overbalance Pressure) – избыточное давление (гидростатическое давление минус поровое давление), psi; L – длина интервала цементирования, ft; D_{eff} – эффективный диаметр (диаметр открытого ствола минус наружный диаметр), inch; 300 – безразмерный коэффициент пересчета.

Критическая статическая прочность геля характеризуется значением статического напряжения сдвига цементного раствора, при котором величина гидростатического давления в затрубном пространстве равна пластовому давлению в интервале зоны вероятного возникновения перетока.

В связи с тем, что время переходного периода будет варьироваться в зависимости от различных факторов, таких как: геометрия ствола скважины, термобарические условия, глубина зоны, плотность и высота растворов, тестирование необходимо проводить для всех скважин для минимизации риска миграции газа.

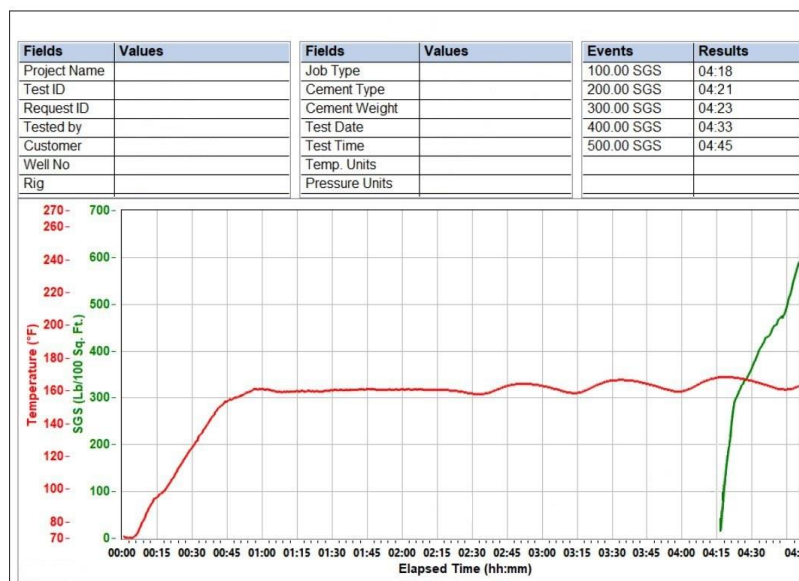


Рисунок 2. Переходные фазовые состояния жидкость – гель – твердое тело.

Существуют специальные добавки, которые влияют на время переходного периода. В лабораторных условиях был проведен ряд экспериментов на влияние времени переходного периода различными добавками. Было получено снижение значения переходного периода с 27 минут (рисунок 2) до 9 минут (рисунок 3). Вследствие чего снизилось и время загустевания цементного раствора, однако снижение времени загустевания не привело к несоответствию отраслевым стандартам времени загустевания, и таким образом, цементный раствор остается пригоден для использования в работе.

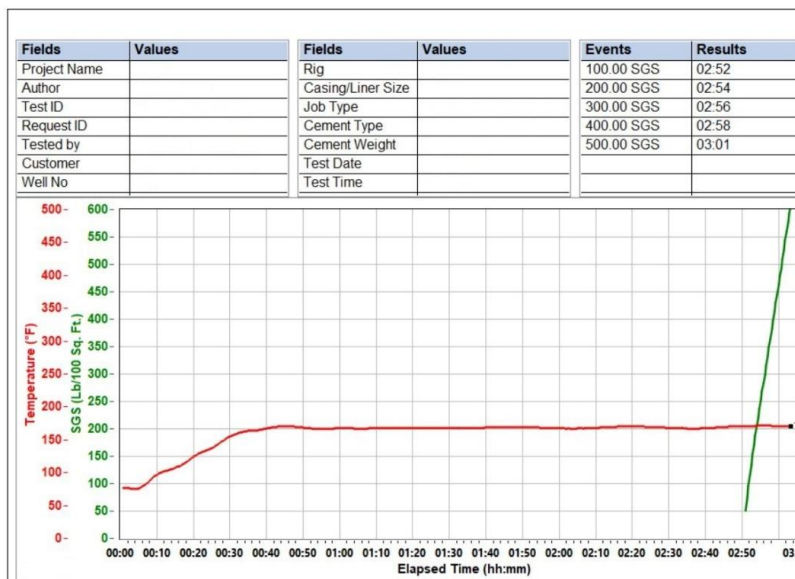


Рисунок 3. Переходный период базового цементного раствора со специальной добавкой.

Выводы

В ходе анализа приведенных исследований процесса твердения цементного раствора в скважинных условиях с АВПД выявлена необходимость сокращения времени переходного периода для минимизации риска миграции газа в период ОЗЦ.

Проведенные испытания цементного раствора показали удовлетворительные значения результатов для сопоставления их с международными стандартами. Для повышения функциональных характеристик суспензии и контроля времени переходного периода необходимо использовать различные добавки, с помощью которых возможно отрегулировать свойства цементного раствора до необходимой консистенции для условий АВПД.

Библиография

1. Блинов П.А., Садыков М.И. Оценка упруго-прочностных свойств цементно-эпоксидных систем // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 1. – С.97-105.
2. Булатов А. И. Качественное разобщение пластов определяет здоровую жизнь скважин, или Поэзия крепи // Бурение и нефть. – 2013. – №. 12. – С. 4-9.
3. Сидоркин, Д. И. Определение времени переходного периода при цементировании газовых скважин в условиях аномально-высоких пластовых давлений / Д. И. Сидоркин, А. И. Коптева, А. В. Шаньшеров // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2022. – № 4. – С. 8-12.
4. Плиева Е. Б., Капитонов В. А., Спиридонов П. Ю. Предупреждение заколонных перетоков путём применения газоблокирующих составов // Булатовские чтения. – 2019. – Т. 3. – С. 92-96.

Моделирование свойств горных пород на основе комплексной геолого-геофизической информации. Кирисенко О.Г.* (Институт нефти и газа НАН Азербайджана, oleg.kirisenko@gmail.com), Пиривердиев И.А. (Институт нефти и газа НАН Азербайджана, igorbaku@yandex.ru), Бунятов А.А. (Ближневосточный технический университет, adnan.buny@gmail.com)

Аннотация

Известно, что от качества полученной при бурении информации во многом зависит эффективность и качество бурения скважин. Качество принимаемых в процессе бурения решений также существенно зависит от качества информации. Низкое качество получаемой информации является одной из причин принятия ошибочных решений, что в свою очередь приводит к осложнениям, авариям и в целом к снижению технико-экономических показателей бурения скважин. Вышеизложенное, а также опыт бурения скважин и многочисленные исследования свидетельствуют о необходимости использования соответствующих методов обработки данных и анализа информации. В связи с этим, данный доклад посвящен эффективности изучения геологических разрезов и улучшению качества информации, получаемой в процессе бурения скважин с использованием вероятностно-статистических методов и методов нечеткой логики, что в свою очередь способствует повышению качества принимаемых решений.

Ключевые слова

Геологический разрез, классификация, принятие решений, неопределенность, нечеткая логика

Теория

За последние годы накопилось большое количество исследований процесса взаимодействия породоразрушающего инструмента с горной породой, в которых предложены методы и средства определения физико-механических свойств и абразивности горных пород. К ним относятся экспериментальные исследования, исследования, основанные на анализе геолого-геофизической информации, а также на основе классификационных методов. В целом, анализ выполненных работ показывает, что в настоящее время появилась возможность повышения уровня принимаемых решений за счет использования комплексной геолого-геофизической и технологической информации, лежащей в основе технологических решений. Информация такого характера может быть получена различными способами, но для получения и использования такой информации также необходимо использовать современные методы обработки данных и анализа информации. При анализе геолого-технологической информации о бурении скважин, в частности, и данных измерений в целом, приходится иметь дело с ошибками, неопределенностью и неустойчивыми корреляционными зависимостями между изучаемыми параметрами. Такие трудности присущи технико-технологическим, геолого-геофизическим исследованиям в связи со сложностями, связанными с созданием и применением более точных приборов для измерения производительности бурения, характеристик пластов, особенно со сложным геологическим строением, режимных параметров и т. д. Становится весьма сложным проведение сравнительного анализа между значениями одного и того же параметра, измеренными разными способами. Например, при анализе работы долот целесообразно разделить разрез на однородные интервалы и рассмотреть закономерности изменения

технико-технологических и экономических показателей бурения в них. Для этих целей были предложены различные методы классификации. Одним из простых методов, позволяющих выполнить эту операцию, является метод Д.А. Родионова, известный из геологии, который применялся в бурении [7]. По этому методу массив на всей глубине сначала предполагается однородным, а затем вычисляется критерий Родионова для каждого интервала по предложенному автором выражению (1):

$$V(r_0^2) = \frac{n-1}{n(n-K)K} \sum_{j=1}^m \frac{[(n-K) \sum_{i=1}^k \chi_{ij} - K \sum_{i=k+1}^n \chi_{ij}]^2}{\sum_{i=1}^n \chi_{ij}^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n \chi_{ij})^2} \quad (1)$$

Согласно анализу [3], значения критерия Родионова распределяются по закону χ^2 Пирсона. Поэтому программа обеспечивает сравнение каждого расчетного значения с табличным для заданного уровня значимости в пределах каждого интервала. Интервалы, соответствующие превышению расчетного значения критерия над табличным значением χ^2 Пирсона, являются границей между двумя однородными пачками, которые неоднородны друг с другом. Было разработано множество теоретических моделей для прогнозирования или корреляции конкретных физико-механических свойств пород. Большинство теоретических моделей построено на упрощенных физических представлениях и на свойствах идеальной пористой среды. Однако по сравнению с реальными горными породами эти модели всегда упрощены и чреватые погрешностями. Расчленение разреза на однородные по комплексу свойств горных пород интервалы и построение моделей в пределах каждого однородного интервала позволит повысить эффективность этих моделей. Следует отметить, что принятие оптимальных решений при бурении скважин требует анализа качественных и количественных связей различных геолого-технологических факторов, влияющих на показатели этого процесса, исследования и выявления взаимосвязей между геологическими, геофизическими, механическими и технологическими характеристиками разреза [1].

Как показывают исследования, при практическом использовании результатов бурения скважин требуется учитывать наличие шума. В связи с этим возникает необходимость изучения одних случайных процессов на фоне других (импульсные помехи). Одним из наиболее эффективных методов является метод автоматической селекции, который применялся в [2] для оценки полезного сигнала в рабочих параметрах. Программа, которую мы использовали, включает фильтрацию шумов при обработке d-экспоненты, а изменение статистики L позволяет судить о том, является ли рассматриваемая система однородной, т.е. значение L, рассчитанное для показателя бурения, можно использовать для определения однородных интервалов [8, 4]. В [5, 6] для оценки и уточнения свойств горных пород с применением методов математической статистики и нечеткой логики по измеренным характеристикам породы (в наших примерах взята твердость P_{Sh}), которые можно оценить по керну, ГТИ или ГИС, определяется нечеткая вероятность $F(P_{Sh},f)$. Задача в данном случае заключается в том, чтобы установить, к какому литотипу принадлежит порода с данной пористостью. Предложена расчетная схема, основанная на методах математической статистики и нечеткой логики. Выполняя расчеты отмеченной нечеткой вероятности для одной породы и одной характеристики свойств, данный процесс поочередно повторяется для другого параметра, например, пористости K_{nop} . Этот шаг позволяет нам получить $F(K_{nop},f)$, нечеткую возможность того, что измеренная пористость K_{nop} принадлежит литотипу f . Этот процесс повторяют для других признаков, характеризующих данную породу, после чего для каждого литотипа пород получают $F(x_f)$. На данном этапе у нас

есть пять нечетких вероятностей ($F(x_f)$, $F(y_f)$, $F(z_f)$...), которые основаны на нечетких возможностях, относящихся к различным характеристикам породы ($K_{пор.}$, $K_{пр.}$, P_{Sh} , A , $\Delta\sigma$). Затем указанные нечеткие возможности гармонично осредняются (2) для получения совокупной нечеткой возможности.

$$C_f = \frac{5}{\frac{1}{F(K_{пор.})} + \frac{1}{F(K_{пр.})} + \frac{1}{F(P_{Sh})} + \frac{1}{F(A)} + \frac{1}{F(\Delta\sigma)}} \quad (2)$$

Как уже отмечалось, этот процесс повторяется для каждого литотипа f . Литотип, связанный с наиболее высоким C_f , принимается как наиболее вероятный для данного набора признаков. Такой подход был использован в настоящем докладе, так как он делает литологический прогноз более надежным. В данном докладе отмеченные теоретические предпосылки рассматриваются на примере прогноза литологии пород разреза четырех скважин, пробуренных в Азербайджане, по комплексу признаков (твердость, абразивность, показатель литологии, пористость, проницаемость), полученных в результате ГИС и ГТИ при бурении скважин. Анализ распределения показал (рис. 1), что для каждого из перечисленных признаков, за исключением проницаемости, оно подчиняется нормальному закону (проницаемость подчиняется логнормальному закону, поэтому в качестве ее значений принимаются логарифмы).

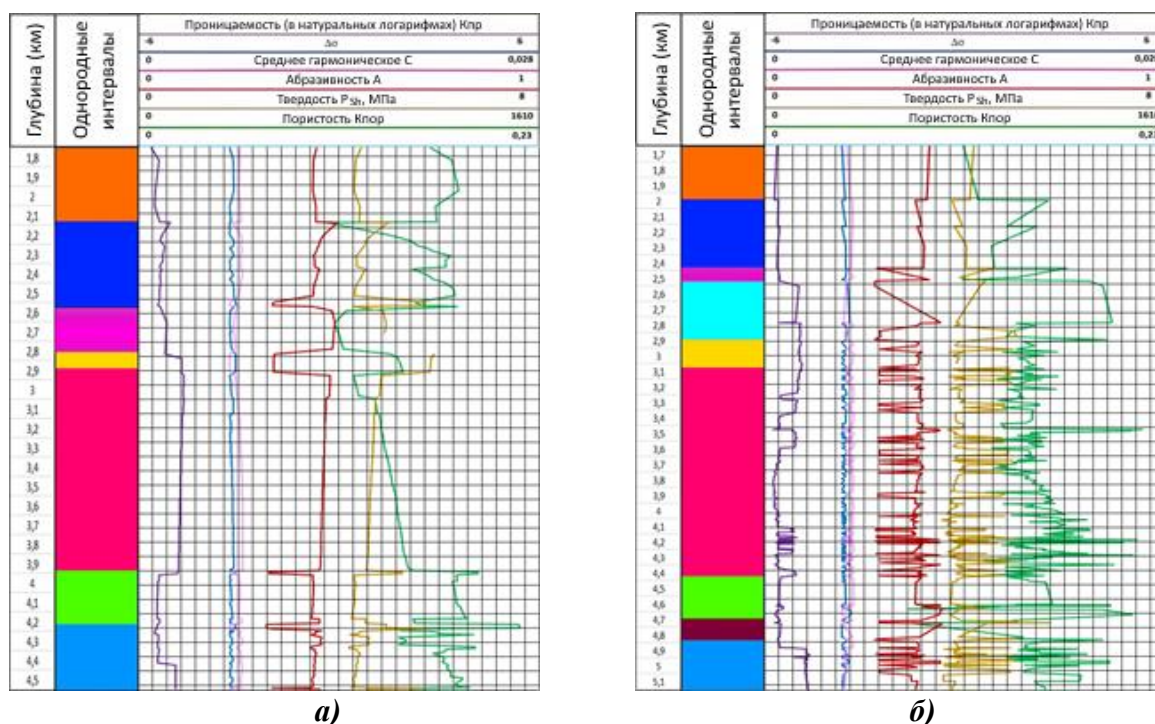


Рисунок 1. Результаты анализа данных о бурении скважин на месторождении Бахар: а) скв. 8; б) скв. 40

Выводы

Исследования, представленные в данной работе, позволяют оценить свойства горных пород, знание которых необходимо для бурения, за счет интеграции информации, полученной по результатам геофизических исследований скважин и

экспериментальных исследований. Это позволяет получить более полную информацию о разрезе бурящейся скважины и, как следствие, с помощью статистических методов можно разбить разрез на однородные интервалы, оценить интервалы возможных осложнений, а нечеткая логика помогает идентифицировать горные породы по литологии. Это показано на рис. 1.

Библиография

1. Джанзаков И.И., Пиривердиев И.А., Гулизаде К.П. и др. Анализ состояния методов и средств принятия решений при бурении скважин по комплексной геолого-технологической информации. Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, Т. 111, No. 3, 2019, с. 51-59.
2. Мирзаджанзаде А.Х., Агаев С.Г., Алимамедов А.Ф. и др. Руководство по применению математической теории эксперимента при исследовании свойств горных пород и процесса их разрушения. Недра. Москва, 1973, 98 с.
3. Родионов Д.А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. Недра. Москва, 1968, 158 с.
4. Эфендиев Г.М., Кулиев Г.Г., Пиривердиев И.А. и др. Методы и средства повышения качества информации при принятии решений в управлении процессом бурения скважин. Сборник научных трудов: Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Киев, ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, Т. 22, 2019, с. 52-62.
5. Brown D.F., Cuddy S.J., Garmendia-Doval A.B., McCall J.A.W. The prediction of permeability in oil-bearing strata using genetic algorithms. In: Materials of the Third IASTED International Conference Artificial Intelligence and Soft Computing, Banff, Alberta, Canada, July 24-26, 2000, https://www.researchgate.net/publication/220909228_The_Prediction_of_Permeability_in_Oil-Bearing_Strata_using_Genetic_Algorithms.
6. Cuddy S.J. and Glover P.W.J. The application of fuzzy logic and genetic algorithms to reservoir characterization and modeling. Soft Computing for Reservoir Characterization and Modeling, No. 1, 2002, pp. 219-241.
7. Efendiyev G.M., Djafarova N.M., Djevanshir R.D. The optimum decision in cutting-type drillingbits selection with regard to their operating conditions and the vagueness of the task posed. Energy sources, V. 13, No. 2, 1991, pp. 243-250
8. Efendiyev G.M., Mammadov P.Z., Piriverdiyev I.A. Modeling and evaluation of rock properties based on integrated logging while drilling with the use of statistical methods and fuzzy logic. 10th International Conference on theory and application of soft computing, computing with words and perceptions – ICSCCW-2019. Advances in intelligent systems and computing book series (AISC), V. 1095, 2019, pp. 503-511.

Повышение коррозионной стойкости тампонажных материалов в условиях сероводородной агрессии. Курамышина Э.Р.* (МГРИ, evelina.kuramshina.02@gmail.com)

Аннотация

Сероводород является коррозионноактивным кислым газом, оказывает интенсивное разрушающее действие на металлические конструкционные материалы (трубы, оборудование и т.д.), на многочисленные неметаллические материалы, к которым относятся тампонажные цементы. Это создает серьезную опасность для окружающей среды на поверхности (ввиду высокой токсичности сероводорода), а также экологическому равновесию, как на поверхности, так и в недрах в широком смысле этого слова.

Применяемые в настоящее время тампонажные материалы на шлаковой основе отличаются повышенной стойкостью к воздействию сероводорода. В этой связи особенно актуален комплексный подход к решению проблемы: создание таких способов повышения сероводородостойкости цементного камня в заколонном пространстве скважин, что они одновременно будут обеспечивать эффективную защиту обсадных колонн от поверхностной коррозии.

Улучшение качества крепи скважин с сероводородсодержащей продукцией применением тампонажных составов с повышенной коррозионной стойкостью и защитными свойствами является одной из основных целей данной работы.

Ключевые слова

Тампонажные материалы, коррозия, цементирование, сероводородный состав.

Теория

Своего совершенствования требуют уже ранее существующие методы исследований цементного камня в агрессивных сероводородсодержащих средах. Поскольку проведение таких испытаний в натуральных условиях, особенно в настоящее время, сопряжено с рядом трудностей, создание методик испытаний на коррозию в соответствии с термобарическими условиями скважин и концентрацией сероводорода в агрессивной среде является не менее актуальным вопросом для определения устойчивости тампонажного камня к коррозии в скважинных условиях. [3]

Для повышения сероводородостойкости цементного камня и его защитных свойств может быть применен комплекс наиболее простых мер, замедляющих процессы коррозии камня и поверхности обсадных колонн. К таким мероприятиям относятся выбор тампонажного цемента с наиболее благоприятным минералогическим составом клинкера, тщательная подготовка ствола скважины, эффективные способы химической обработки тампонажного раствора.

Цементный камень постоянно контактирует с пластовыми флюидами, но в то же время цементное кольцо должно защищать металл обсадных труб от агрессивного воздействия содержащегося в газе сероводорода. Все ранее известные случаи коррозии металла под цементной оболочкой связаны с тем, что по некоторому ряду причин поверхность металла остается активной, так как она не полностью пассивируется при цементировании скважины или теряет пассивность в процессе эксплуатации.

Применение коррозионностойких цементов с высокой степенью защиты металлоконструкций способствует повышению надежности эксплуатации скважин в условиях сероводородной агрессии, что является важным фактором обеспечения промышленной и экологической безопасности, увеличения объемов добычи газа и имеет большое значение для газовой промышленности.

Благодарности

Выражаю благодарность сотруднику Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ) за помощь в развитии научного проекта: заведующему кафедрой современных технологий бурения скважин, доктору технических наук, профессору Соловьеву Николаю Владимировичу.

Библиография

1. Карабалин У.С. Повышение коррозионной стойкости цементного камня одно из направлений повышения экологической безопасности работ в нефтегазовой промышленности // Электронный башкирский химический журнал - 2009.
2. Осадчая И.Л. Повышение коррозионной стойкости тампонажных материалов в условиях сероводородной агрессии: автореферат дис. - Ставрополь, 2013. - 25 с.
3. Саляев В.В. Исследование процесса сероводородной коррозии в тампонажных материалах // Электронный научный журнал «Записки горного института» - 2003.
4. Эрнандес Р.Д. Обоснование и разработка коррозионностойких тампонажных составов для крепления обсадных колонн в условиях агрессивных пластовых флюидов и горных пород: автореферат дис. - Санкт-Петербург - 2019. - 122 с.

Оценка интенсивности поглощений бурового раствора на Среднеботуобинском месторождении. Левенец Н.А. (Тюменский индустриальный университет, nlevenetc@mail.ru)

Аннотация

Одним из важнейших факторов повышения качества бурения является обеспечение проведения наклонно-направленных скважин в четком соответствии с разработанным проектом. Так, для определения конкретных глубин и объемов поглощений бурового раствора был проведен анализ данных по осложнениям на различных глинах по четырем скважинам Среднеботуобинского месторождения, которая позволила сделать выводы по наличию в горных породах проницаемых каналов (например, трещин, пустот, каверн), где происходят поглощения и следовательно появление возможности дальнейшей разработки способов борьбы с ними. Конечный итог исследования поглощающего пласта обязан состоять в выяснении геологического строения каждого поглощающего горизонта, характера его каналов, интенсивности поглощения.

Ключевые слова

Месторождение, поглощения, осложнения.

Теория

При бурении скважин одним из самых распространенных геологических осложнений является поглощение промывочной жидкости. Удельный вес непроизводительных затрат времени и средств на предупреждение и борьбу с поглощениями в общем балансе рабочего времени достаточно велик и составляет 20-30%.

Наибольшие трудности в процессе проводки скважины вызывают полные потери циркуляции промывочной жидкости (поглощения) в пластах, имеющих большие трещины, пустоты и каверны [4].

Поглощения – это одни из самых явных осложнений, которые очень сильно портят процесс бурения. Иногда последствия бывают настолько колоссальны, что приводят к невозможным как экологическим, так и финансовым потерям [1].

Во время бурения трапповой интрузии в интервале 923-925 м. зафиксировано поглощение бурового раствора без выхода циркуляции. Во время бурения в интервале 933-949 м. наблюдается рост интенсивности поглощения бурового раствора с 10 до 16 м³/ч, что представлено на рисунке 1.

Индекс стратиграфического подразделения	Интервал по вертикали, м		Максимальная интенсивность поглощения м ³ /час	Имеется ли потеря циркуляции (да, нет)	Условия возникновения
	от	до			
Є ₂ mt - Є ₂ ic	175	380	до 100	да	Повышенная репрессия на пласты, превышение допустимой скорости СПО, отклонение параметров раствора от проектных
Є ₂ cr	380	621			
Є ₁ tb (траппы)	856	1001	до полного	да	
Є ₁ tb ₁ - Є ₁ el	1003	1213	до 60	нет	
Є ₁ bl осинский горизонт	1510	1570	до 100	нет	
V-Є ₁ jurh	1570	1646	до 30	нет	
Телгеспитский и ботубобинский гор-ты	1924 1954	1944 -	до полного	да	

Рисунок 1. Геологические особенности Среднеботубобинского месторождения

Также был проведен анализ промысловых данных об интенсивности поглощений бурового раствора при бурении пяти скважина №6018, 6802, 6602, 6705 и 6019 на Среднеботубобинском месторождении. При помощи программы для обработки электронных таблиц MSExcel и специальной функции визуализации и анализа данных «сводная таблица» обработаны более 4 000 значений интенсивности поглощений.

В результате анализа была построена сводная диаграмма, характеризующая интенсивность поглощений на всех интервалах бурения до глубины забоя (рис.2).

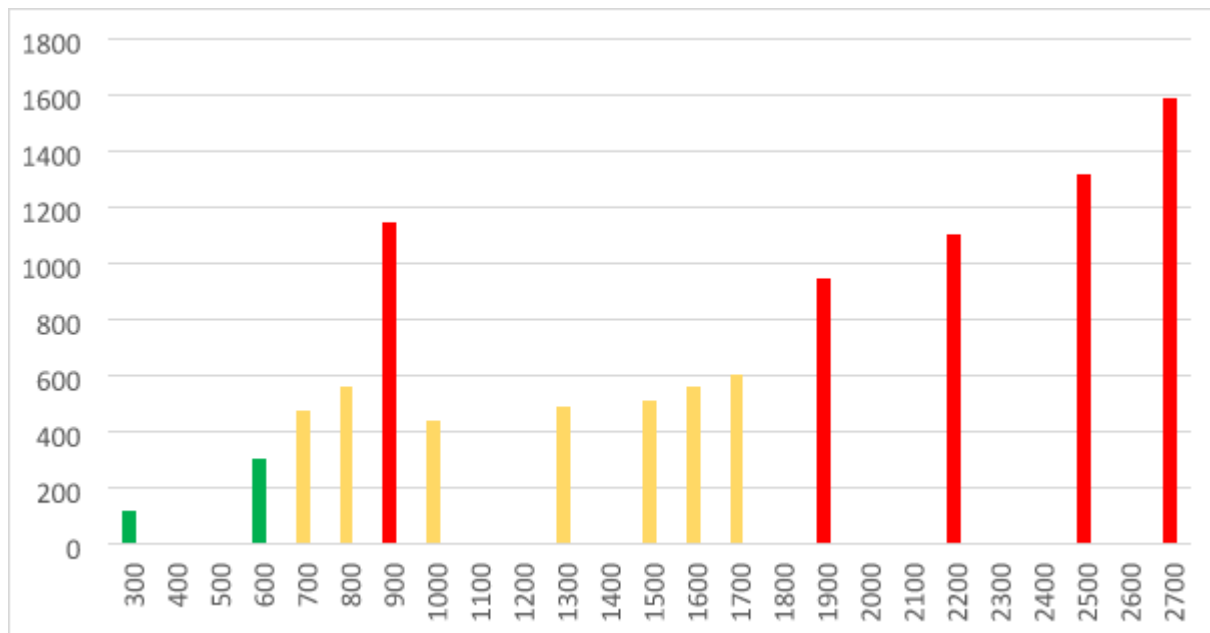


Рисунок 2. Поглощения бурового раствора по 4 скважинам Среднеботубобинского месторождения

На основании полученных диаграмм можно наглядно выявить интервалы зон интенсивного поглощения. На скважине 6018 они соответствуют интервалу глубин от 600 до 1007 метров, имеют расход бурового раствора свыше 20 м³, что позволяет

определить классификацию поглощения (полное и на некоторых глубинах – катастрофическое, когда выход жидкости на поверхность полностью прекращается).

Таким образом, очевидно, что строительство скважин в данном регионе сопровождается комплексом проблем, в результате которых происходит снижение скорости проходки, быстрый износ долота, материальные затраты на борьбу с поглощениями промывочной жидкости, а также аварии (прихват инструмента) [2].

Во многих случаях потерю циркуляции невозможно предотвратить в буровых породах, которые являются кавернозными, трещиноватыми или рыхлыми. Истощенные пласты низкого давления (обычно пески) аналогичны близки к потере циркуляции. Грубые рыхлые пласты могут иметь достаточно высокую проницаемость, чтобы весь буровой раствор проникал в скелет пласта, вызывая потерю циркуляции при бурении. Такая высокая проницаемость часто присутствует в неглубоких песках и гравийных пластах [3].

Выводы

Анализ фактических данных эксплуатационного бурения выявил что количественный прогноз поглощения бурового раствора крайне необходимо для контроля потери циркуляции: если глубина залегания траппов увеличивается, то увеличиваются и объемы поглощений, которые доходят до катастрофических (более 60 м³/ч) в интервалах нижнетолбачанской и юрегинской свит.

Библиография

1. Грынив, О. Б. Основные негативные факторы, осложняющие работу скважин / О. Б. Грынив, К. А. Шумская, Н. М. Шумский. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2020. — № 25 (315). — С. 23-24. — URL: <https://moluch.ru/archive/315/71855/>
2. Липатов А. В., Ибятуллин И. М. Анализ применяемых систем и рецептур буровых растворов для бурения интервала майкопских глин. — Текст : непосредственный // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «АШИРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ». — 2015. — С.74-81
3. Турсунмухамедов С. Ф. Причины потери циркуляции при бурении. — Текст : непосредственный // MODERN SCIENTIFIC RESEARCH: сборник статей II Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2023. – С.27-30
4. Черников А. Д. Инновационные технологии предупреждения поглощения бурового раствора при строительстве скважин / А. Д. Черников, Н. А. Еремин, А. В. Замрий, С. П. Черных. — Текст : непосредственный // Известия ТулГУ. Науки о Земле — 2022. — № 2. — С. 299-414.

Математическая модель определения расчетной нагрузки буровой установки с учетом глубины бурения геологоразведочной скважины. Ломаев С.С. (МГРИ, serrega300491@mail.ru), Головин С.В. (МГРИ, golovinsv@mgri.ru), Меркулов М.В. (МГРИ, merkulovmv@mgri.ru)*

Аннотация

Прогнозирование электрических нагрузок является первым этапом проектирования систем энергоснабжения производственного объекта. Правильный выбор расчетных нагрузок определяет степень экономичности систем электроснабжения и уровень эффективности проводимых работ.

Применительно к буровым установкам колонкового бурения, анализ детерминированных и вероятностных методов определения расчетных электрических нагрузок показывает, что для определения расчетной нагрузки буровой установки целесообразно применять вероятностные методы определения расчетной мощности, базирующихся на статистических данных.

Проведенные замеры мощности и снятие графиков нагрузки на буровых установках показали, что наибольшее влияние на энергопотребление оказывает глубина бурения скважин. Анализ этой зависимости выразился в виде уравнения регрессии, которое было оценено с точки зрения корреляции коэффициентов регрессии, признано точным, адекватным и значимым, и может быть использовано в качестве математической модели для определения удельной максимальной мощности буровой установки в зависимости от глубины бурения геологоразведочной скважины.

Ключевые слова

Бурение геологоразведочных скважин, буровая установка колонкового бурения, глубина бурения, расчетная электрическая нагрузка, математическая модель.

Теория

Определение расчетных нагрузок систем электроснабжения геологоразведочных работ (ГРР) можно производить рядом методов [2]. Эти методы можно разделить на 2 группы – детерминированные и вероятностные. К группе детерминированных методов можно отнести метод удельного расхода электроэнергии, метод наложения графиков нагрузки, метод коэффициента спроса и метод коэффициента использования и максимума (метод упорядоченных диаграмм). Группа вероятностных методов представлена статистическим методом. Методы первой группы используют нормы и эмпирические зависимости, а второй – статистические данные [5].

Однако, сложные условия проведения геологоразведочных работ (ГРР) – множественность горно-геологических условий разведки, разнообразие технических и технологических факторов, – обуславливают случайное изменение нагрузок буровой установки [1, 3, 4, 6], что определяет необходимость разработки статистических методов их определения [2, 5]. Для выявления такого рода зависимостей, в производственных условиях были проведены исследования с замерами мощности и снятием графиков нагрузки буровых станков СКБ-4, ЗИФ-650А и ЗИФ-650М при бурении с поверхности

геологоразведочных скважин в экспедициях Северо-Восточного и Якутского производственных геологических объединений.

Анализ данных, полученных в результате серии замеров, выявил, что из всех основных энергетических показателей только удельная максимальная мощность $P_{уд}$ имеет более устойчивую зависимость от глубины скважины H , график $P_{уд} \sim f(H)$ имеет вид гиперболы (рисунок 1) и может быть описан уравнением регрессии [8]

$$P_{уд} = aH^k \quad (1)$$

где a и k – коэффициенты уравнения; H – глубина скважины, м;

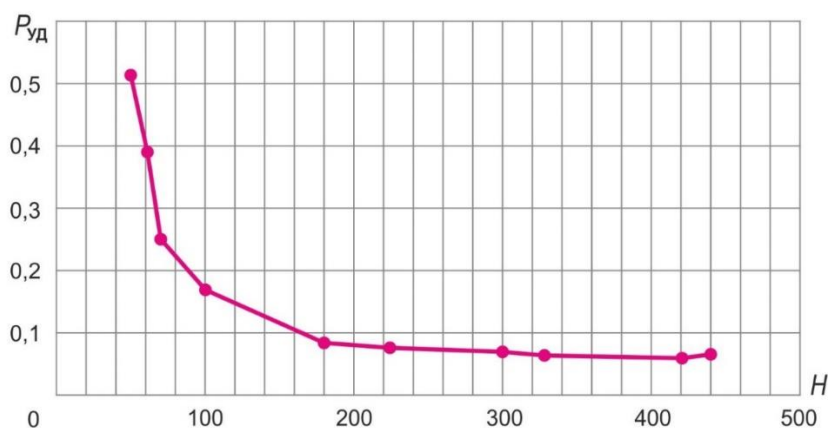


Рисунок 1. Зависимость удельной мощности ($P_{уд}$) от глубины скважины (H)

Для разработки математической модели и получения уравнения регрессии, логарифмируем обе части уравнения (1), получим

$$\ln P_{уд} = \ln a + k \ln H \quad (2)$$

Введем новые переменные $\ln P_{уд} = y$, $\ln a = A$ и $\ln H = x$, и уравнение регрессии (2) примет вид

$$y = A + kx \quad (3)$$

Определим коэффициенты уравнения регрессии, используя метод наименьших квадратов, что позволит снизить случайную ошибку.

Угловым коэффициентом прямой k определяется следующим образом:

$$k = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{(\overline{x^2}) - (\bar{x})^2}$$

где \bar{x} и \bar{y} – средние значения параметров; $\overline{x^2}$ – среднее значение квадрата x ; \overline{xy} – среднее значение произведения параметров.

Уравнение регрессии можно записать в виде

$$\begin{aligned} y - \bar{y} &= k(x - \bar{x}) \\ y &= kx + \bar{y} - k\bar{x} \end{aligned}$$

где $A = \bar{y} - k\bar{x}$

Лианезированное уравнение регрессии с установленными значениями коэффициентов регрессии примет вид

$$y = -0,779x + 1,8299$$

После обратной замены, перейдя от логарифмов к истинным значениям уравнения, получим уравнение регрессии удельной максимальной мощности от глубины скважины

$$P_{уд} = 1,83h^{-0,779}, \text{кВт/м} \quad (4)$$

где h – текущая глубина скважины, м.

Для использования полученного уравнения регрессии в качестве математической модели необходимо оценить:

- 1) точность модели;
- 2) адекватность модели;
- 3) значимость модели;

а также определить область применения модели [11].

1) Точность модели τ характеризуется отношением среднеквадратичного отклонения σ_p к среднему значению $\overline{P_{уд}}$, не превышающим 10 %

$$\tau = \sigma_p / \overline{(P_{уд})} \times 100 \% < 10 \%$$

Результаты расчетов показали точность модели 9,2 %, что является вполне приемлемым результатом.

2) Адекватность модели подтверждается высоким коэффициентом корреляции $r = 0,983$, свидетельствующим о сильной связи параметров в уравнении регрессии.

3) Значимость модели оценивается отношением расчетного значения критерия Фишера F_p к его критическому табличному значению $F_{кр}$. В нашем случае

$$F_p = (n - 2) \times R^2 / (1 - R^2) = 475,$$

$F_{кр} = 3,23$ – полученное из справочных таблиц [12] при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

где n – это число замеров; R – коэффициент детерминации.

Соотношение $F_p > F_{кр}$ подтверждает гипотезу о значимости модели [11].

Проведенное обоснование позволяет заключить, что уравнение регрессии (4)

$$P_{уд} = 1,83h^{-0,779}, \text{кВт/м}$$

является точным, адекватным и значимым, то есть может быть использовано в качестве математической модели для определения удельной максимальной мощности буровой установки в зависимости от глубины бурения геологоразведочной скважины.

Уравнение получено на основе статистических данных на интервале глубин скважины от 33 до 432 метров. Поэтому, предложенная модель адекватно описывает мощность на этом интервале глубин и может быть использована с вероятностью отклонения 0,9, не превышающим 10 % от истинных значений на интервале до 450 метров. Это ограничение и является областью применения данной модели.

Выводы

Исследования с замерами мощности и снятием графиков нагрузки, проведенные по разработанной методике в производственных условиях, составили базу статистических исследований. Корреляционный анализ показал, что наибольшее влияние на электрические нагрузки оказывает глубина бурения скважин, а предпочтительным параметром для определения расчетной нагрузки является

использование удельной мощности, связь между которыми описывается уравнением регрессии, которое после линеаризации и обратного перехода от логарифмов к истинным значениям приняло вид, позволяющий использовать полученное уравнение регрессии в качестве математической модели для определения удельной максимальной мощности буровой установки в зависимости от глубины бурения геологоразведочной скважины.

Направлением дальнейших исследований должна стать оценка влияния потерь мощности в технологическом оборудовании буровой установки на величину расчетной мощности, а также влияния электронагревательных приборов на энергетические показатели буровых установок.

Библиография

1. Головин С.В., Меркулов М.В., Косьянов В.А. Повышение энергоэффективности разведочного бурения посредством автоматического регулирования работы теплоутилизационных установок // Горный журнал. 2018. № 11. С. 51-55.
2. Грачева Е.И., Наумов О.В. Оценка точности расчета электрических нагрузок промышленных предприятий // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2018. № 3 (53). С. 3-12.
3. 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. 2014. № 4. С. 81-85.
4. 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. 67-70.
5. Ломаев С.С., Головин С.В., Меркулов М.В. Основные методы определения расчетных нагрузок буровых установок при ведении геологоразведочных работ. XV Международная конференция «Новые идеи в науках о земле», Доклады конференции, Москва, 2021, с.91-94.
6. Лимитовский А.М., Марков Ю.А., Меркулов М.В. и др. Электро- и теплоснабжение геологоразведочных работ. Справочное пособие. М., Недра, 1988, с. 368.
7. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок. Введен с 01.01.1993г. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект».
8. Самарбеков Э.С. Графики электрических нагрузок, их назначение и классификация // Наука и инновационные технологии. 2020. № 3 (16). С. 117-123.
9. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий // Промышленные энергетические сети, изд.2-е перераб. и доп. Под общ. ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. М., «Энергия», 1980, с. 576.
10. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий. Под общ. редакцией С.И. Гемадия, Б.И. Кудрина, С.А. Цырука. М., Изд. дом МЭИ, 2010, с. 747.
11. Fereidoon P. Sioshansi. Behind and Beyond the Meter: Digitalization, Aggregation, Optimization, Monetization. Academic Press, 2020, p. 440.
12. Бронштейн И.Н., К.А. Семендяев. Справочник по математике. М. «Наука» 1986.

Анализ условий и обоснование эффективных областей применения технологии вскрытия пласта с управляемым давлением. Лукманов С.М.* (МГРИ, lukmanov.sergey@mail.ru)

Аннотация

Применение традиционной технологии бурения нефтяных и газовых скважин, как правило, предполагает создание существенной репрессии на пласт с целью предупреждения проявлений, сохранения устойчивости стенок скважины и др. Использование такой технологии сопровождается снижением механической скорости проходки и ухудшением коллекторских свойств. [4]

Вскрытие продуктивных отложений является одним из самых ответственных этапов при строительстве скважин на месторождениях и подземных хранилищах газа (ПХГ). Кольматация призабойной зоны скважины (ПЗП) в процессе бурения обуславливает снижение дебита после освоения скважины, а следовательно, увеличение срока ее окупаемости, снижение коэффициента газоотдачи пласта, ухудшения параметров разработки месторождения, ПХГ в целом. Одним из перспективных направлений повышения качества строительства скважин является вскрытие продуктивных отложений с аномально низкими пластовыми давлениями (АНПД) с регулируемым забойным давлением, что позволяет производить бурение как на равновесии, так и с управляемым притоком газа в результате создания и поддержания заданной величины дифференциального давления в системе скважина–пласт. [2]

Данная работа предназначена для анализа условий и обоснование эффективности применения технологии вскрытия пласта с управляемым давлением. Было рассчитано аналитически допустимые значения газонасыщения промывочной жидкости, создаваемое устьевое давление, допустимое снижение давления на стояке, а также текущее газонасыщение раствора при вскрытии газоносного пласта.

Ключевые слова

Вскрытие пласта с управляемым давлением, система скважина-пласт, призабойная зона пласта, газонасыщение бурового раствора.

Теория

Метод регулирования давления в скважине, обеспечивающий управляемый приток газа, базируется на расчете допустимого газонасыщения промывочной жидкости по выражению (1.1), текущего газонасыщения промывочной жидкости при бурении по выражению (1.2), сопоставлении их значений и проведении технологических операций согласно алгоритму изменения устьевого давления (1.3), (1.4), (1.5). Полученные функциональные зависимости для расчета допустимого газонасыщения промывочной жидкости и объема газа, поступающего в скважину в процессе бурения, выведены аналитически, что требует иллюстрации их применения к условиям практики бурения. [1]

$$[a_0] = \min \{a_{\text{выб}}, a_{\text{уст}}\} \quad (1.1)$$

$$a_{оф} = \frac{V_{н.у.}(t_6)}{Q \cdot t_6} \quad (1.2)$$

$$[\Delta P_T] = P_3 - \sqrt{P_{пл}^2 - \frac{[a_0]}{a_{оф}}(P_{пл}^2 - (P_3 - P_T)^2)} \quad (1.3)$$

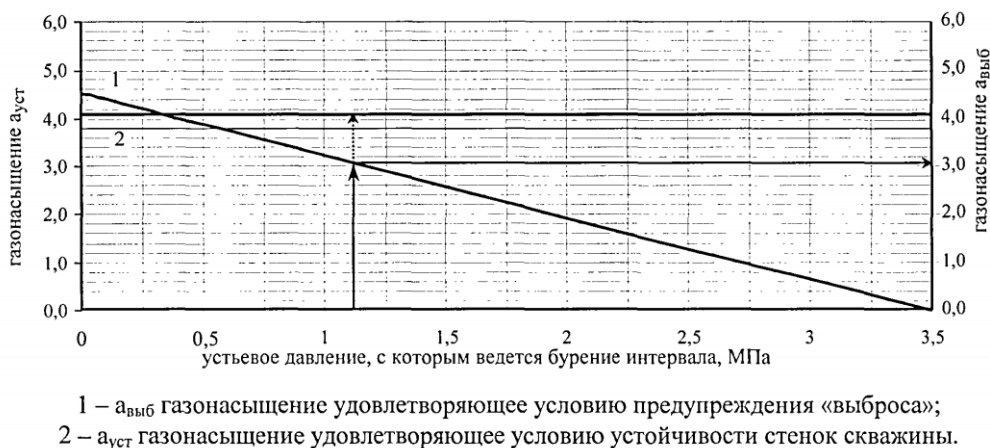
$$\rho_k = \frac{\sqrt{P_{пзф}^2 - \frac{[a_0]}{a_{оф}}(P_{пл}^2 - (P_3 - P_T)^2) - (P_{ус} + P_{кп})}}{gH_k} \quad (1.4)$$

$$P_{yi} = P_{y1} - \rho g \sum_{j=1}^{i-1} h_j \quad (1.5)$$

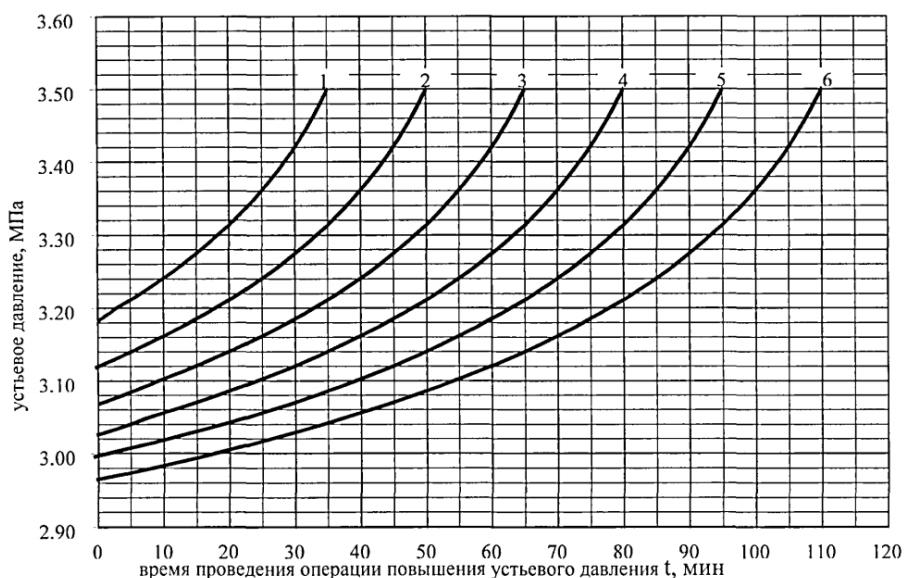
С этой целью нами выполнен численный пример углубления скважины с управляемым притоком газа в условиях гибкого регулирования дифференциального давления путем изменения устьевого давления. Данный пример позволяет более подробно пояснить сущность разработанного метода регулирования забойного давления, а также проанализировать соответствие расчетных формул физическим процессам. В примере рассмотрены следующие варианты поинтервального бурения газоносного пласта с управляемым притоком газа (интервал бурения определяется величиной создаваемого устьевого давления). При вскрытии пластов с АНПД эффективным является использование пенных систем при изменении коэффициента аномальности пластового давления в пределах 0,7–0,1 [3].

Бурение первого интервала пласта в случае притока газа и при выполнении условий: - текущее газонасыщение промывочной жидкости при бурении равно допустимому значению газонасыщения; - текущее газонасыщение промывочной жидкости при бурении превышает допустимое значение; - текущее газонасыщение промывочной жидкости при бурении меньше допустимого значения. Для каждого интервала и случая бурения представлены расчеты допустимого газонасыщения промывочной жидкости и газонасыщения при бурении, допустимого снижения давления на стояке, повышения давления на устье, величины допустимой депрессии в кровле и репрессии на подошве пласта. Газоносный пласт вскрыт на депрессии до глубины, обусловленной допустимым газонасыщением промывочной жидкости, а оставшаяся часть до подошвы пласта — на минимальной репрессии с сохранением допустимой депрессии в кровле. В результате, воздействие промывочной жидкости на ПЗП незначительно, что позволяет обнаружить и оценить продуктивный пласт, а также максимально сохранить его естественную проницаемость. Использование устьевого давления для регулирования забойного давления обеспечивает оперативность и простоту в реализации, т.к. не требуется существенных дополнительных затрат на приготовление утяжеленного раствора и изменение гидравлической программы промывки скважины. В итоге повышается качество и безопасность вскрытия пласта. В практических целях помимо прямых расчетов по формулам можно использовать предварительно построенные графики для конкретных условий бурения интервала газоносного пласта. На рисунке 1 приведены графики для определения допустимого газонасыщения промывочной жидкости $[a_0]$ (по исходным данным примера) в зависимости от величины устьевого давления, с которым начинается бурение интервала газоносного пласта. На рисунке 2 представлена номограмма для определения текущего газонасыщения промывочной жидкости $a_{оф}$ в процессе бурения (по исходным данным примера) в

зависимости от прироста расхода выходящей промысловой жидкости и времени вскрытия интервала газоносного пласта с заданным устьевым давлением. На рисунке 3 приведена номограмма создаваемого устьевого давления во время проведения операции повышения давления (по исходным данным примера) при достижении текущего газонасыщения промысловой жидкости $a_{оф}$ допустимого значения $[a_0]$ по истечении времени бурения интервала газоносного пласта. На рисунке 4 представлена номограмма для определения допустимого снижения давления на стояке $[\Delta P_T]$ (по исходным данным примера) в зависимости от величины текущего снижения давления на стояке в случае бурения интервала пласта с притоком газа, обеспечивающего газонасыщение раствора меньше допустимого значения.



Р и с у н о к 1. Допустимое значения газонасыщения промысловой жидкости в зависимости от устьевого давления



Р и с у н о к 2. Текущее газонасыщение раствора при вскрытии газоносного пласта

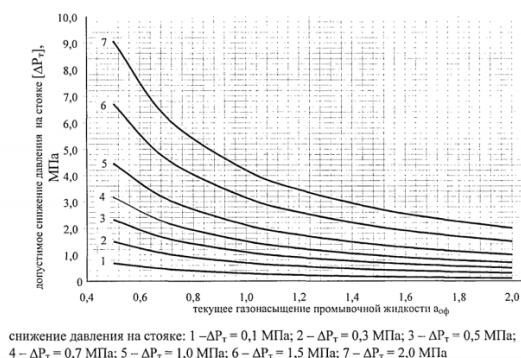
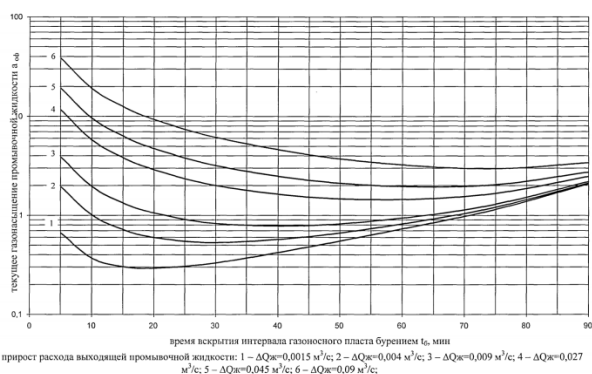


Рисунок 3-4. Создаваемое устьевое давление во время проведения операции повышения давления на устье. Допустимое снижение давления на стояке

Выводы

Анализ представленных графиков подтверждает, что полученная зависимость для определения газонасыщения промывочной жидкости при бурении до момента выхода газожидкостной смеси на устье не противоречит физическому смыслу. Кроме того, полученные графики могут быть использованы и при решении обратной задачи: выбор управляемых технологических параметров, обеспечивающих допустимое газонасыщение раствора.

Библиография

1. Димитриади Ю.К. Вскрытие газоносного пласта бурением с управляемым притоком газа. – 2003. – 67 с.
2. Димитриади Ю.К., Бекетов С.Б. Вскрытие продуктивных отложений с управляемым притоком газа (с использованием метода регулирования давления в скважине). // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. – 2004. – 82 с.
3. Тагиров К.М., Гноевых А.Н., Лобкин А.Н. Вскрытие продуктивных нефтегазовых пластов с аномальными давлениями. М. – 1996. -
4. Чернухин В.И. Разработка технологии бурения скважин с регулируемым давлением на забой. - 2005. – 3 с.

*Исследование влияние добавки наночастиц на свойства буровых растворов.
Кривошеев К.В.* (Южно-Российский государственный политехнический
университет имени М.И. Платова, 13050465@mail.ru); Третьяк А.А. (Южно-
Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова,
13050465@mail.ru); Карельская Е.В. (Южно-Российский государственный
политехнический университет имени М.И. Платова, ekaterina_karelskaya@bk.ru)*

Аннотация

Статья посвящена исследованию актуальности применения разработанного авторами наноструктурированного, высокоингибированного бурового раствора для сооружения скважин в сложных условиях. Присутствие нанодисперсной меди в буровом растворе способствует повышению антиприхватных и ингибирующих свойств буровых растворов.

Ключевые слова

Буровой раствор, нанодисперсная медь, ингибирующие и антиприхватные свойства раствора.

Теория

Выбор оптимального бурового раствора по составу и свойствам является важным моментом во всей технологии сооружения скважин на нефть и газ в сложных геологических условиях. С учетом этого перспективными являются разработки новых, эффективных буровых растворов с применением наноструктурированных материалов.

Применяемые в настоящее время для сооружения нефтегазовых скважин буровые растворы обладают самыми разнообразными свойствами, на которые могут влиять добавки наночастиц.

Большой интерес к наночастицам появился более 30 лет тому назад. За прошедшее время интерес к этой проблеме значительно возрос, растет число публикаций по этой проблеме. Так как наночастицы имеют очень малый размер, то в отличие от макроскопических частиц они имеют целый ряд необычных свойств. Все это обуславливает широкий спектр применения наножидкостей в различных отраслях промышленности [1–2].

В нефтегазовой отрасли наножидкости начали применяться значительно позднее, и только в последнее время их применение внедряется довольно активно. Современные буровые растворы, которые применяются для сооружения нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях, в том числе и с горизонтальным окончанием до 3000 метров, имеют много различных свойств, на которые в той или иной степени могут влиять добавки наночастиц.

Различные наночастицы начали использовать, в том числе, и для предотвращения прихвата буровой колонны. В работе показано, что может значительно улучшить свойства буровых растворов.

Целью нашей работы является комплексное исследование по изысканию такого бурового раствора, который бы одновременно обладая синергетическим, входящим в его состав химреагентов, обладал ингибирующими, смазывающими и антиприхватными

свойствами, при этом способствовал улучшению реологических, фильтрационных свойств и приготавливался бы на водной основе [3].

Выполнив целый ряд экспериментальных исследований на кафедре «Нефтегазовая техника и технологии» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова был разработан наноструктурированный, высокоингибированный буровой раствор обладающий этими свойствами и имеющий состав: мраморная крошка (CaCO_3) – 5–10, полианионная целлюлоза (ПАЦ 75/700 (полимер 75-степень замещения / 700 степень полимеризации) – 5–10, сульфенол – 2–5, хлористый калий (KCl – определяющий ингибитор) – 2–5, метилсиликат калия ($\text{CH}_2\text{SiO}_2\text{K}$) – 1–4, ацетат калия (CH_3COOK) – 1,5–4, бишофит ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) – 2–5, феррохромлигносульфат (ФХЛС) – дополнительный ингибитор) – 1–5, ГКЖ-11 (ингибитор, гидрофобизатор) – 2–5, пеногаситель (Пента-465) – 0,5–1,0, барит (BaSO_4 – утяжелитель) – 0,5–5, алюминат калия ($\text{K}_2\text{Al}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) – 1–5, нанодисперсная медь (CuSO_4) – 0,5–1, жидкая фаза (растительное масло и вода) – 55/45–80/20 [4].

Раствор имеет следующие параметры: водоотдача – 0–0,5 cm^3 за 30 мин., плотность – 1,1–1,25 g/cm^3 , условная вязкость по СПВ-5 – 35–40 с, СНС 1/10 мин – (статическое напряжение сдвига) – 15/20–20/30 дПа, липкость фильтрационной корки (на приборе КТК-2) – < 0,1 отношение масло/вода – 80/20 %, толщина корки < 0,5 мм, содержание песка – 0,5 %, содержание ионов K^+ > 18000 мг/л, содержание песка – < 0,5 %, содержание ионов Ca^{++} – > 16000 мг/л, содержание ионов Cl – > 30000 мг/л, коэффициент трения < 0,1.

В настоящее время получен патент № 2708849 на изобретение – наноструктурированный, высокоингибированный буровой раствор.

Ингибирующие или крепящие стенки скважины свойства поддерживаются входящими в состав раствора реагентами-ингибиторами набухания глин: хлористый калий, метилсиликат калия, ацетат калия, бишофит, феррохромлигносульфат, ГКЖ-11, алюминат калия. Мраморная крошка способствует структурообразованию раствора, сульфенол выполняет функцию эмульгатора, полианионная целлюлоза является регулятором фильтрации, пеногасителем является пента 465, барит является утяжелителем.

Нанодисперсная медь имея размер частиц от 40 до 80 нанометров решает в буровом растворе задачу уменьшения вероятности дифференциальных прихватов. Молекулы меди адсорбируются на поверхности, пластифицируют стенки скважины по всему стволу, обеспечивая низкое сопротивление сдвигу при нахождении наночастиц между буровой колонной и стенками скважины, при этом в лабораторных условиях было установлено, что чем меньше размер частиц меди, тем больше снижается коэффициент трения.

Добавка нанодисперсной меди улучшает реологию, уменьшает фильтрационные потери, улучшает ингибирующие свойства бурового раствора. При добавлении в раствор ингибирующих химреагентов от 1 % до 5 % и наночастиц меди от 0,5 % до 1 % глинистая фаза превращается в наполнитель, что способствует повышению кинематической устойчивости и глиноемкости наноструктурированного, высокоингибированного бурового раствора.

Качество разработанного бурового раствора оценивалось по методике ВНИИКРнефти, в которой главным параметром является показатель увлажнения. В соответствии с этой методикой, чем меньше увлажнение глины, тем больше ее степень ингибирования. Испытаниям подвергались изготовленные в штампах образцы кернов высотой 30 мм и диаметром 20 мм. экспериментальные исследования позволили установить, что показатель увлажнения, после добавления частиц нанодисперсной меди в объеме от 0,5 % до 1 %, уменьшается до 20 %..

Выводы

1. Добавки наноструктурированной меди с размером частиц от 40 до 80 нанометров в концентрации от 0,5 % до 1 % способствует повышению ингибирующих и противоприхватных свойств буровых растворов.

2. Экспериментальные исследования по применению наноструктурированного, высокоингибированного бурового раствора при бурении скважин в Южном Федеральном округе позволили установить, что раствор обладает синергетическим эффектом, высокой смазывающей, антиприхватной и ингибирующей способностью.

3. Необходимо продолжить исследования по выявлению влияния металлических наночастиц, в частности нанодисперсной меди, на свойства буровых растворов со сложными рецептурами.

Библиография

1. Евдокимов И.Н. «Наножидкости» и «умные жидкости» в технологиях разработки нефтегазовых месторождений. Учебное пособие для вузов. М.: ООО «Издательский дом Недра», 2016.
2. Минаков А.В., Михиенкова Е.И., Жигарев В.А., Неверов А.Л., Рудяк В.Я. Исследование влияния добавки наночастиц на свойства буровых растворов. // Коллоидный журнал, 2018, том 80, №4, С. 435–444.
3. Мойса Ю.Н., Фролова Н.В., Бармотик К.С., Железнякова Е.А. Эффективность действия смазочных добавок в буровых растворах // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М., 2008. – № 9. – С. 14–18.
4. Третьяк А.А., Онофриенко С.А. Наноструктурированный, высокоингибированный буровой раствор. // Патент на изобретение RU 2708849 С1, 12.12.2019. Заявка № 2019101894 от 24.01.2019.

Оценка качества очистки ствола скважины с целью оптимизации режимов промывки на Фестивальном месторождении. Магсумов Б.Р.* (МГРИ, magsumov.br@gmail.com)

Аннотация

Предлагаемый проект связан с бурением горизонтальной скважины на Фестивальном месторождении и ориентирован на анализ очистки ствола скважины при применении оптимизированной программы промывки. В данной программе промывки скважины подразумевается использование раствора на углеводородной основе (РУО) ENVIROMUL[©]. Необходимость в оптимизации программы промывки вызвана тем, что в данном районе буровых работ систематически происходят прихваты инструмента, посадки и затяжки при СПО, что в свою очередь увеличивает время работ, тем самым увеличивается стоимость скважины.

При применении РУО ENVIROMUL[©] вместо привычного калий-хлор полимерного раствора на водной основе исключается набухание глин, которое и приводит к прихватам, посадкам и затяжкам, а также появляется возможность нивелировать негативные изменения в геометрии ствола скважины.

Оценка очистки ствола скважины будет производиться в специализированной программе DFGTM от компании «Halliburton International, Inc», которая специально разработана для моделирования процесса бурения в полевых условиях.

Ключевые слова

Бурение горизонтальных скважин, оптимизация программы промывки скважины, оценка очистки ствола скважины, раствор на углеводородной основе ENVIROMUL[©]

Теория

Непрерывность бурения возможна при сохранении устойчивости стенок скважины. Устойчивость будет зависеть от напряженного состояния горных пород и физико-химического взаимодействия с ними бурового раствора и его фильтрата [3].

Нестабильность ствола скважины определяется:

1. механическими напряжениями;

- растяжениями, разрывами или пластическим течением;
- разрушениями при сжатии – растрескиванием;
- разрушениями вследствие трения, сотрясения и ударов;

2. физико-химическим взаимодействием с буровыми растворами и их фильтратами;

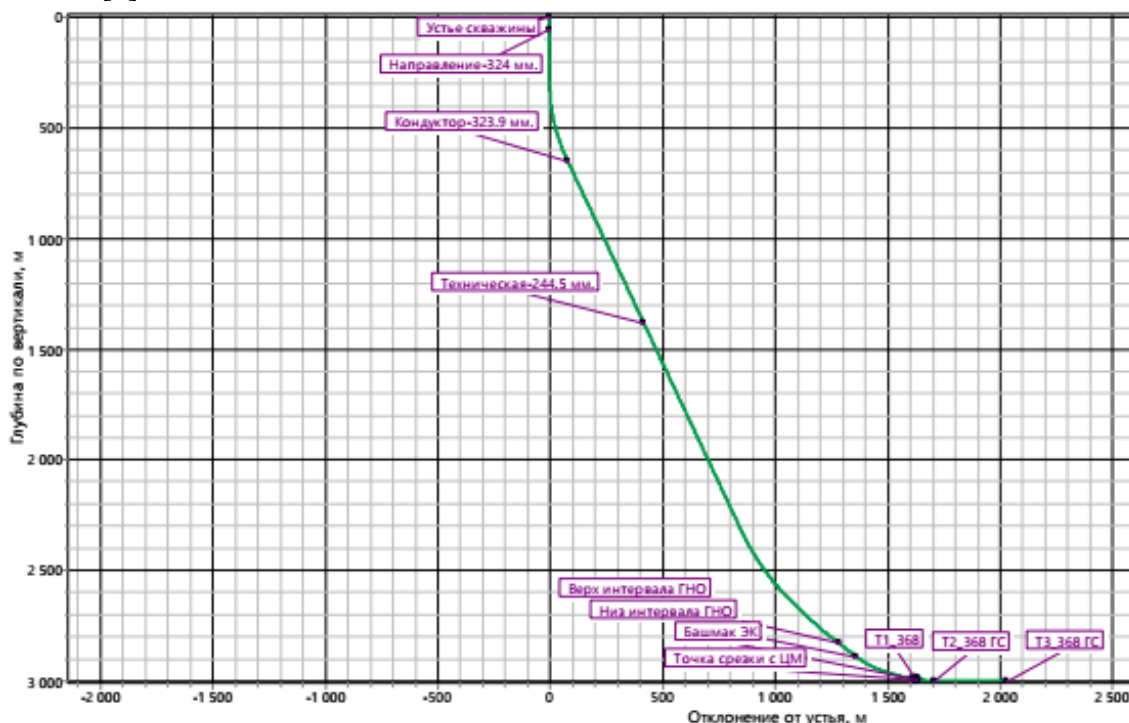
- гидратацией, набуханием и диспергированием;
- диффузией, осмосом и капиллярной пропиткой;
- растворением пород;

По мнению исследователей, наибольшее снижение механической прочности пород связано с адсорбцией воды глинистыми минералами. Это приводит к набуханию глин, снижает структурные связи и ослабляет предельное напряжение сдвига. Механизмы набухания глинистых частиц связаны с расклинивающим действием сольватных оболочек воды, формирующихся в процессе гидратации глины и при взаимодействии её диффузных слоев [1].

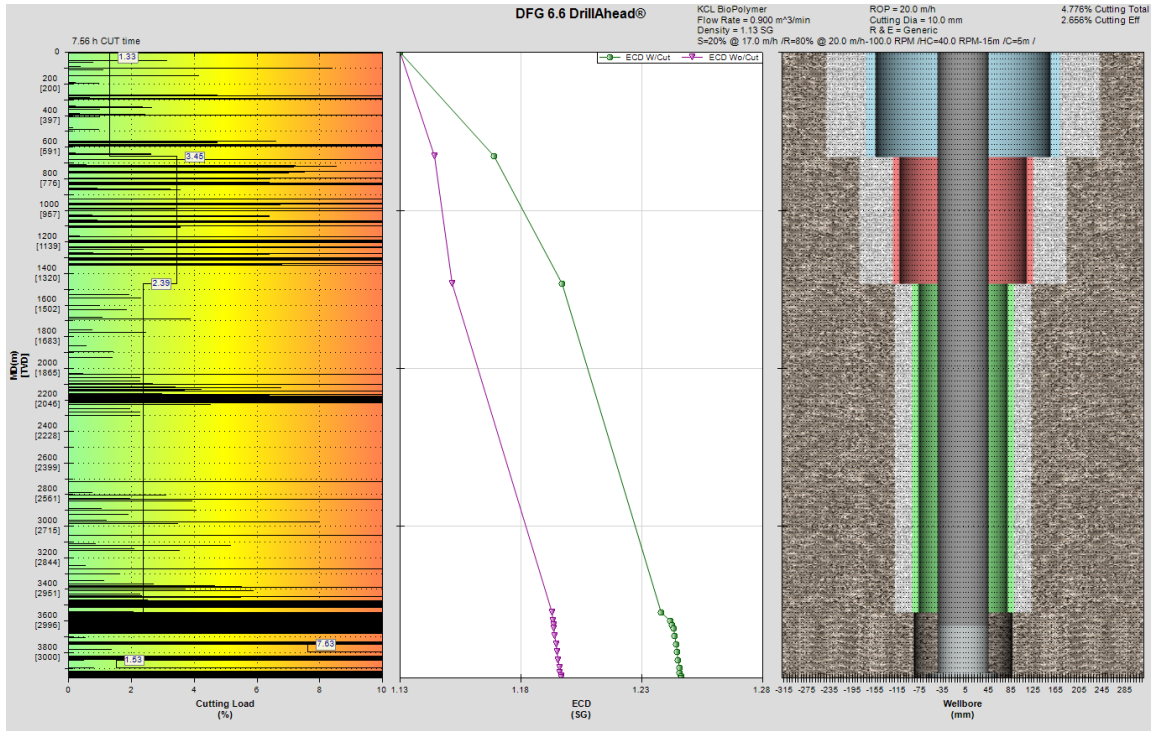
ENVIROMUL[©] - система РУО, разработанные компанией «Halliburton International, Inc». Активно применяются на месторождениях Западной Сибири. Базовая жидкость первой – минеральное масло высокой очистки, второй – дизельное топливо. В состав этих систем входят: смесь окисленного талового масла и полиаминированной жирной кислоты EZ-MUL (эмульгатор 1-го рода), органophilная глина (загуститель), органophilный леонардит, асфальтит (понижители фильтрации), дисперсия жидкого лецитина DRILTREAT (смачивающий агент – гидрофобизатор). Для увеличения реологических характеристик используется модифицированная жирная кислота RM-63.[2]

Система бурового раствора ENVIROMUL[©] обладает исключительными ингибирующими и фильтрационными свойствами, позволяющими снизить вероятность осложнений, вызванных осыпями и обвалами стенок скважины. Минеральное масло обеспечивает снижение крутящего момента и сил трения, возникающих при бурении скважин с большими отходами забоя от вертикали.

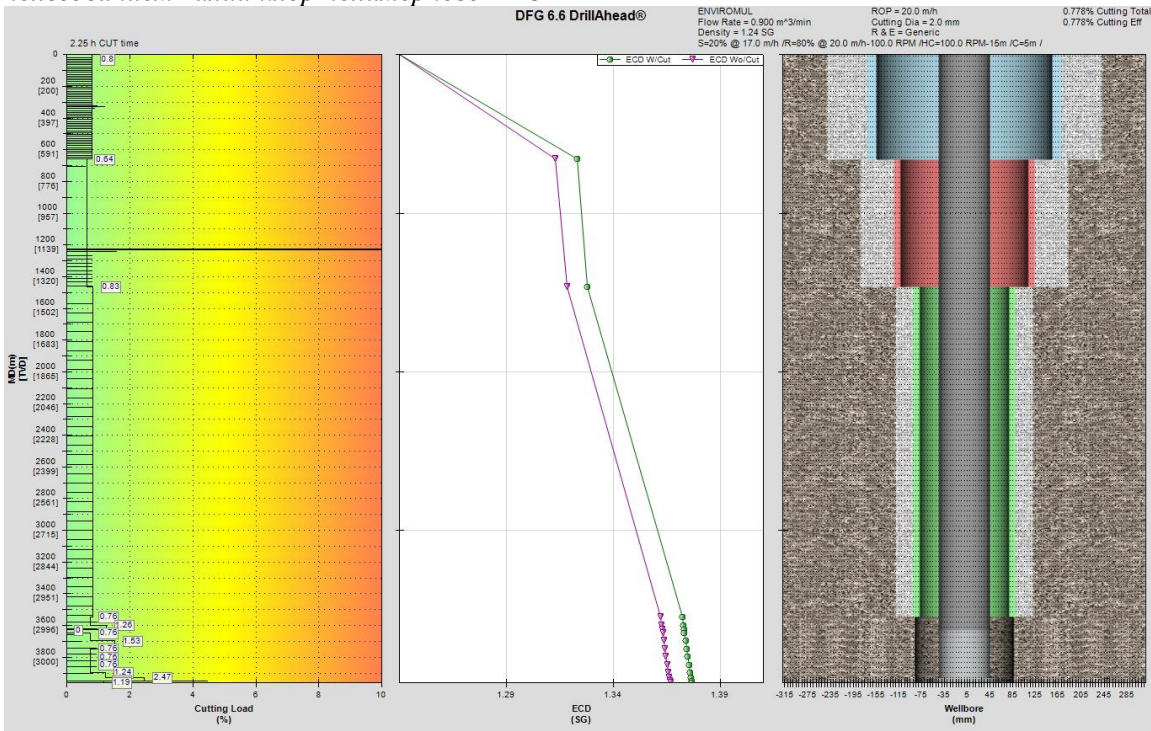
Произведем сравнение классического калий-хлор полимерного раствора на водной основе и бурового раствора ENVIROMUL[©] в специализированной программе DFG[™]. DFG[™] – программное обеспечение для моделирования гидравлики в полевых условиях [4].



Р и с у н о к 1. Проекция скважины на Фестивальном месторождении



Р и с у н о к 2. Моделирование процесса бурения в интервале хвостовика с использованием калий-хлор полимерного РВО



Р и с у н о к 3. Моделирование процесса бурения в интервале хвостовика с использованием РВО ENVIROMUL®

Проведя анализ Рисунков 1-3, можно подвести итог, что применение калий-хлор полимерного РВО приводит к сильной зашламованности интервалов хвостовика и набора зенитного угла. В свою же очередь при использовании РВО ENVIROMUL® не наблюдается зашламованности на всех интервалах.

Выводы

Моделирование симуляции бурения в программе DFG™ показало, что применение РУО ENVIROMUL[©] показало существенное преимущество в качестве очистки ствола скважины по сравнению с калий-хлор полимерным РВО. Раствор на углеводородной основе снижает зашламованность в интервале хвостовика. Применение РУО снизило время бурения на 42% за счет уменьшения времени СПО и повышением механической скорости. Система ENVIROMUL[©] хоть и на порядок дороже чем РВО, но ее можно использовать повторно, а также стоит отметить, что дополнительные затраты на НПВ практически исключаются.

Библиография

1. Булатов А.И., Пеньков А.И., Проселков Ю.М. Справочник по промывке скважин. - М.: Недра, 1982. - 336 с.
2. Буровые растворы на углеводородной основе. Демонстрационный материал компании «Halliburton International, Inc»
3. Коваль М.Е. Обоснование и разработка технологии приготовления буровых растворов на углеводородной основе методом ультразвукового воздействия. 2020. – 10-11 с.
4. Drilling Fluids Graphics (DFG™) User Guide Version 5

*Нефтегазовая отрасль в эпоху индустрии 4.0. Матеха А.Е. * (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, matehasacha@yandex.ru) Борисов К.А. (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, e-mail 13020165@mail.ru)*

Аннотация:

В статье представлен обзор актуальных направлений и инструментов, предназначенных для трансформации нефтегазового комплекса, при переходе от индустрии 3.0 к индустрии 4.0. Рассмотрены основные этапы перехода к новой концепции производственной деятельности по направлениям: управление эффективностью; цифровые двойники; геологоразведка (углеводороды); Бурение нефтяных и газовых скважин; транспортировка углеводородов; нефтепереработка.

Ключевые слова:

Индустрия 4.0; цифровой двойник; нефтегазовое дело.

Теория

Если обратиться к истории, то переход на механизированное производство более 200 лет назад кардинально изменил мир, сформировав новые отрасли промышленности и обеспечив ускорение технологического развития. С тех пор в мире произошло четыре промышленных революции, включая обозначенную «Индустрию 4.0». Первая революция «Индустрия 1.0» — это переход от ручного труда к машинному, появление фабричного производства, распространение парового двигателя. «Индустрия 2.0» ознаменовалась созданием конвейерного производства и электрификацией. «Индустрия 3.0» возникла с развитием электроники, появлением компьютеров и успехами автоматизации. Понятие «Индустрия 4.0» было введено в оборот после международной промышленной выставки в Ганновере в 2011 г. Формально четвертая промышленная революция была одним из 10 приоритетных направлений в рамках государственной хай-тек стратегии Германии до 2020 г. «Индустрия 4.0» представляет собой переход на полностью автоматизированное цифровое производство, управляемое интеллектуальными системами в режиме реального времени в постоянном взаимодействии с внешней средой, выходящее за границы одного предприятия, с перспективой объединения в глобальный промышленный интернет вещей (IoT). То есть если в контексте «Индустрии 3.0» речь шла о фрагментарной автоматизации отдельных стадий или производств, то в случае четвертой революции предполагается, по сути, онлайн-управляемое предприятие. Часть технологий, лежащих в основе «Индустрии 4.0», начала развиваться и внедряться еще в начале 2000-х годов. Фактически мы уже пожинаем плоды цифровизации – компании-революционеры изменили облик привычных нам отраслей или создали новые [4].

Так что же такое «Индустрия 4.0»? Это работа с данными, мобильность, интернет вещей, облачные технологии, дополненная реальность, использование автономных роботов. Данные технологии позволят обходиться без присутствия человека, а значит, защитить его от целого ряда вредных воздействий, исключить человеческий фактор, обеспечить возможность работы в прежде труднодоступных районах. Кроме того, с их помощью достигается максимальная эффективность производства за счет единого информационного пространства, позволяющего принимать оптимальные решения.

Нефтегазовую отрасль часто и незаслуженно воспринимают как очень консервативную, хотя сегмент разведки и добычи всегда шел в ногу с научно-техническим прогрессом. Так, появление новой электроники и ИТ-продуктов, способных решать сложные задачи, привело к технологическому буму в отрасли 1970–2010-х гг.: появлялись новые методы повышения нефтеотдачи, создавались программы моделирования и интерпретации данных ГРП и т.д. Одним из стимулов развития отраслевых технологий в мире стало ухудшение сырьевой базы с 1990-х гг. из-за истощения части крупнейших месторождений (Рисунок 1). Если с 1980-х по 1990-е гг. мировые запасы выросли на 60%, то за период с 1990-х по 2000-е гг. – всего на 4 %.

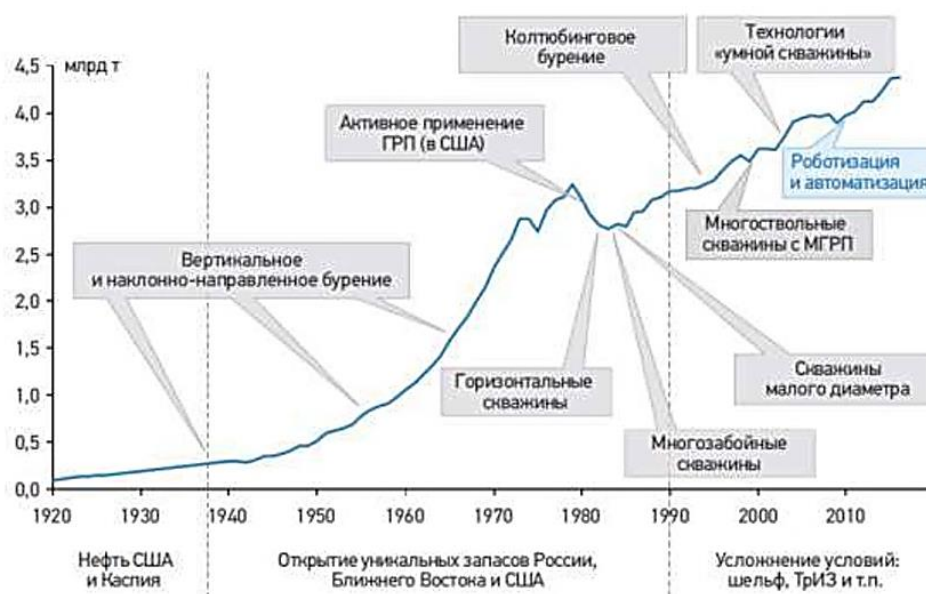


Рисунок 1. Эволюционное развитие технологий бурения скважин

Нефтегазовый бизнес в числе первых начал использовать достижения ИТ-отрасли. С внедрением цифровых технологий родилась и получила развитие идея создания «умных скважин». «Индустрия 4.0» в последнее время стала одной из самых обсуждаемых тем.

Многие отечественные предприятия уже достигли необходимого уровня зрелости для применения технологий «Индустрии 4.0». ITPS реализует эти инновационные технологии в семействе собственных продуктов AVIST (Asset Visualization Smart Technology), они позволяют оптимизировать бизнес-процессы, повысить экономическую эффективность производства, что в итоге способствует увеличению объема извлекаемых запасов углеводородов. В частности, программный продукт AVIST.Operation успешно работает на одном из крупнейших в мире месторождений нефти Западная Курна-2. Еще один программный продукт из этого семейства – AVIST.Oil & Gas Basis – включен в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных [1].

Несмотря на потерю первых строчек среди самых дорогих компаний мира, энергетические гиганты активно внедряют технологии «Индустрии 4.0». Пионерами являются BP и Shell, осваивающие данное направление с начала 2000-х гг. На сегодня

уже все крупнейшие нефтегазовые корпорации включили цифровизацию в стратегии развития своих бизнес-сегментов, активно сотрудничают с ИТ-компаниями и создают собственные центры соответствующих компетенций. Такой интерес обусловлен тем что в перспективе внедрение цифровых решений ведет к значительному увеличению добычи нефти и повышению экономической эффективности.

Ключевые технологические направления нефтегазовой отрасли в «Индустрии 4.0»:

– Большие данные – инструменты и методы организации, хранения, обработки, работы и осуществления вычислений с огромными массивами данных (более 1015 байт). Сюда также относятся такие направления, как машинное обучение и искусственный интеллект.

– Промышленный интернет вещей – система объединенных компьютерных сетей и подключенных физических объектов (вещей) со встроенными датчиками и ПО для сбора и обмена данными, с возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме.

– Роботы (в т.ч. дроны), помогающие автоматизировать процессы, выполнять опасные работы, а также проводить визуальное или «тактильное» исследование труднодоступных объектов, например, подводных скважин (или оборудования для подводной добычи).

– Цифровые двойники (вкл. визуализацию) – модель месторождения, скважины, оборудования или элементов инфраструктуры, которая позволяет тестировать и предсказывать эффекты применения тех или иных опций / решений, а также визуализировать полученные результаты в удобном для пользователя виде.

– Умные материалы (в т. ч. нанопокртытия и умные жидкости) – класс различных по агрегатному состоянию материалов, которые сохраняют или приобретают заданные физико-химические характеристики при изменении внешних условий, вплоть до экстремальных.

– 3D-печать, используемая в добыче для прототипирования проектов разработки и схем обустройства месторождения, а также для создания новых комплектующих для датчиков и контроллеров, насосов и прочего негабаритного оборудования [2].

– Распределенный реестр (блокчейн) – это децентрализованное приложение общего пользования, которое позволяет вести учет и обеспечивает высокий уровень безопасности системы.

Другой связанной технологией является визуализация, позволяющая представить информацию с датчиков в удобной для восприятия форме. Роботов оснащают датчиками и контроллерами (входят в интернет вещей), а генерируемые ими данные собираются, хранятся и обрабатываются опять же с помощью решений больших данных. При наличии интернета вещей на объекте цифровые двойники могут в реальном времени описывать текущее состояние актива и прогнозировать динамику.

Оценка потенциального влияния Индустрии 4.0 на нефтегазовую отрасль. Рассмотренные примеры показывают, что цифровые технологии могут принести значительную потенциальную выгоду отрасли. Так, пионер по внедрению

интеллектуальных решений, компания BP оценила эффект от цифровизации как увеличение своей операционной выгоды на 2–4%. Важно понимать, что цифровизация для отрасли – это не просто повышение операционной эффективности благодаря снижению затрат, но и рост продуктивности посредством вовлечения большего количества запасов в разработку, снижения рисков поиска УВС. Международные компании и консалтинговые агентства также прогнозируют, что активное внедрение интеллектуальных решений значительно повлияет на сегмент нефтедобычи.

- BP Technology Outlook, 2015 г.: технологии интерпретации данных позволят увеличить добычу на 10%, а затраты снизить на 4%, эффект от применения других цифровых технологий составит +4% к добыче и -13% к затратам. Технически извлекаемые запасы (ТИЗ) УВС могут вырасти на 35% до 4,8 трлн б.н.э. к 2050 г., а общая себестоимость добычи снизится на 25%.

- Digital Transformation Initiative, Accenture/ВЭФ (Давос), 2016 г.: нефтяная отрасль выиграет 220 млрд долл. от роста автоматизации процессов и 425 млрд долл. за счет применения новых технологий анализа данных, моделирования и прогнозирования

- IDC FutureScape: Worldwide Oil and Gas Predictions, 2017 г.: к 2019 г. – 40%, а к 2020 г. уже 80% нефтегазовых компаний будут использовать цифровые технологии в своем бизнесе, что повысит их эффективность на 10–50%.

- BP Technology Outlook, 2018 г.: развитие всех технологий позволит увеличить ТИЗ УВС на 30% до 7,3 трлн б.н.э. к 2050 г., а общая себестоимость добычи снизится на 30% [3].

Выводы

В действительности прогнозируемые результаты от внедрения цифровых решений можно достичь только при комплексном подходе к разработке и внедрению таких технологий, а не в единичных случаях их применения. Причем, чтобы к 2035–2050 гг. выйти на ожидаемый уровень, уже сейчас необходимо инвестировать во внедрение и разработку умных технологий. Хотя по объемам вложений в цифровые решения нефтегазовая отрасль пока значительно отстает от лидеров трансформации – банков, телекомов и ИТ-компаний, – инвестиции все же осуществляются активно.

Библиография

1. Индустрия 4.0: революция или эволюция? Группа компаний ITPS // Нефть. Газ. Новации. 2017. № 4. С. 6-10.
2. Перспективы применения аддитивных технологий в нефтегазовом комплексе / К. А. Борисов // Актуальные проблемы недропользования - 2020: Материалы Международной научно-практической конференции, Новочеркасск, 18 декабря 2020 года. Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2021. С. 35-38.
3. Тренды технологического и организационного развития в нефтяной и газовой промышленности. Ершова А.Н. Т.: 3, № 5 (14), 2019, С. 225-229.
4. VYGON.Consulting. Цифровая добыча нефти: тюнинг для отрасли. 2022 [Электронный ресурс] // URL: https://vygon.consulting/upload/iblock/d11/vygon_consulting_digital_upstream.pdf. (дата обращения: 11.12.2022).

Анализ использования геонавигационных технологий и задачи, решаемые с их применением на примере бурения нефтегазовых скважин в Ямало-Ненецком автономном округе. Молотков Д.А. (МГРИ, steamapr@gmail.com), соавтор Сырчина А.С. (МГРИ, syrchinaas@mgri.ru)*

Аннотация

При строительстве скважин на углеводороды геонавигация, в рамках которой ставятся и решаются технологические, программные и аппаратные задачи управления траекторией ствола скважины, а также параллельное исследование околоскважинного пространства – важный инструмент исследований и освоения недр подземного пространства огромной протяженности.

Главным элементом управления данным процессом является забойная телеметрическая система – которая является коллаборацией геофизического оборудования и компоновки низа буровой колонны.

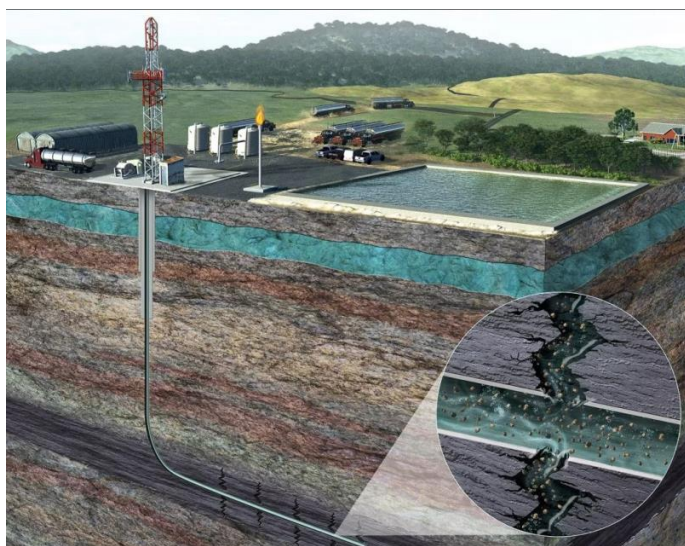
Ключевые слова

Геонавигация, траектория скважины, геомоделирование

Теория

Геонавигация или геологическая проводка скважины – изменение положения ствола скважины в пласте, основанное на анализе геологической и геофизической информации, данных инклинометрии получаемых в процессе бурения.

Успешность строительства скважины определяется не только краткосрочными показателями, которые отображаются в ходе бурения, но и долгосрочными – которые становятся очевидны в ходе эксплуатации.



Р и с у н о к 1. Положение горизонтального ствола скважины

Так можно выделить несколько задач геонавигации:

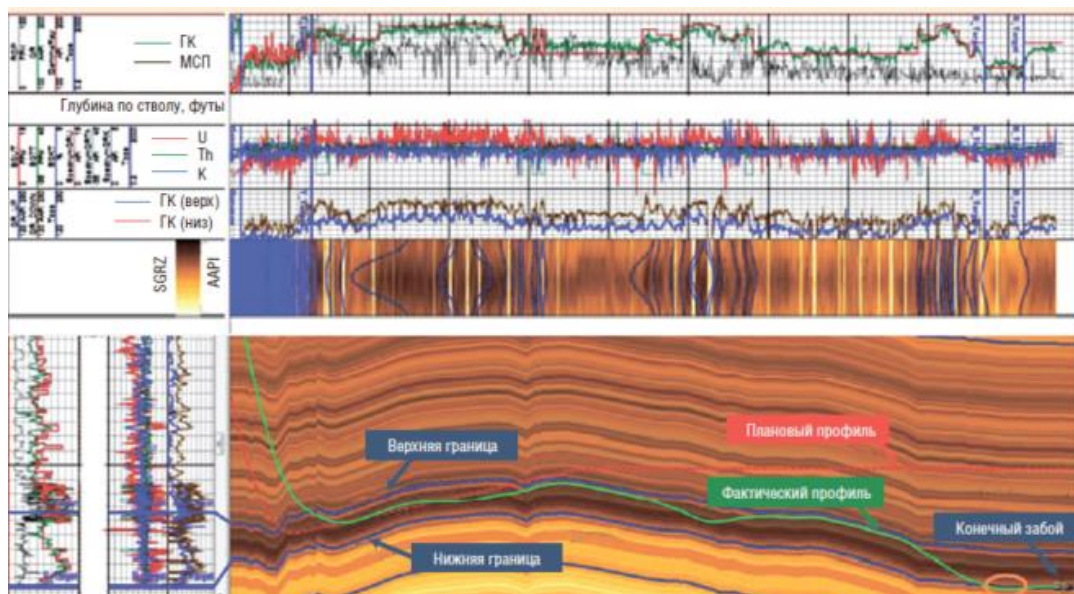
- оптимизация положения скважины в пласте;
- продуктивность скважины;

- проводка скважины с минимизацией рисков;
- своевременная реакция на изменение литологии.

Процесс геонавигации начинается до вскрытия целевого интервала. Вся подготовка к проводке должна быть завершена на этапе бурения транспортного ствола – секции, предшествующей участку, имеющему главной целью обеспечение успешной геонавигации в целевом интервале.

Основная цель геонавигации или геологического сопровождения бурения горизонтальных стволов – достижение максимальной эффективной длины горизонтального ствола скважины $L_{эф}$ путем его размещения в наиболее продуктивной нефте-газонасыщенной части пласта с учетом геологических особенностей и технических ограничений [2]. В результате обеспечиваются наиболее полная выработка извлекаемых запасов рассматриваемого объекта разработки и максимальная продуктивность скважины. Эффективная длина горизонтального ствола – это суммарная длина участков ствола, вскрывших коллектор по результатам интерпретации данных каротажа. В этом случае эффективность проводки скважины (бокового ствола) оценивается как отношение $L_{эф}/L_{общ}$ ($L_{общ}$ – общая длина горизонтального ствола – длина от башмака эксплуатационной колонны (или цементировочной муфты хвостовика) до забоя) [1].

Так выглядит окно для геонавигации. Различные компании используют разное ПО, однако все они имеют схожий вид и выглядят следующим образом.



Р и с у н о к 2. Графическое изображение окна геонавигации [3]

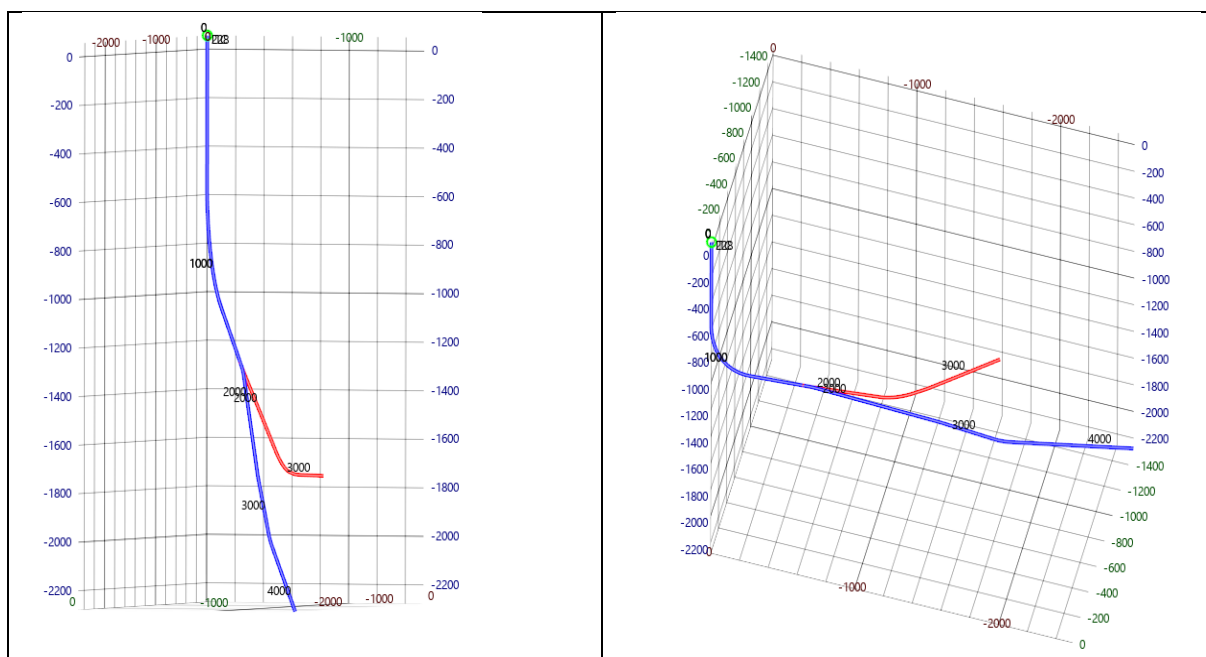
На изображении можно увидеть плановую траекторию ствола, которая обозначена красным цветом и заложена в геологическом проекте. Зеленым обозначена фактическая траектория, она меняется в зависимости от поступающих данных инклинометрии. Так же важно заметить, что вместе с данными о положении ствола поступают и данные от каротажных зондов, на основе которых и строится предполагаемая литология. И по мере поступления новых данных, геонавигатор интерпретирует эти данные с помощью различного программного обеспечения, определяя истинное положение целевого интервала, его верхней и нижней границ, на основе чего вносит корректировки в план введения буровых работ, чтобы добиться

наивысшей эффективности проходки в горизонтальном участке, и как следствие большей продуктивности скважины при эксплуатации.



Р и с у н о к 3. Цикл геонавигации [4]

Благодаря данным, полученным в результате интерпретации геонавигационных данных можно контролировать процесс проводки скважины, а самое главное следить за профилями наклонно-направленных и горизонтальных скважин. Например, данные профили скважин, на одном из месторождений Ямало-Ненецкого автономного округа.



Р и с у н о к 4. 3D профили скважин

Средства геонавигации помогают контролю строительства не только «материнских стволов», которые послужат основой для будущих разветвленных наклонно-направленных и горизонтальных скважин, но и для контроля за бурением боковых стволов.

Опыт эксплуатации горизонтальных нефтяных и газовых скважин, а также боковых горизонтальных стволов в отработанных, нерентабельных скважинах у нас в стране и за рубежом показывает, что горизонтальные скважины и боковые горизонтальные стволы позволяют решать следующие задачи:

1. Повышать нефтеизвлечение из недр за счет увеличения площади фильтрации и интенсификации перетоков нефти и газа из залежи, а также за счет повышения эффективности процессов воздействия на пласт.

2. Значительно повышать дебиты нефти и газа в сравнении с вертикальными скважинами за счет увеличения площади фильтрации.

3. Продлевать безводный или малообводненный период нефтяных скважин.

4. Восстанавливать продуктивность месторождений на поздней стадии разработки.

5. В бездействующих и малодебитных скважинах, не только восстанавливать, но и значительно увеличивать, по сравнению с первоначальным (при вводе месторождения в разработку), дебит нефти и газа и другие [1].

Выводы

Таким образом, процесс геонавигации можно заключить в так называемый геонавигационный цикл. В начале этого процесса геологу поступают новые данные от буровой, на основе которых производится оценка литологии с последующим определением позиции ствола скважины в пласте, с определением структуры пласта. Далее принимается решение о необходимости или отсутствии таковой в корректировке траектории и передается соответствующая команда на буровую. Буровая следует переданным рекомендациям, получает новые данные, передает их геологу и цикл повторяется.

Библиография

1. Кульчицкий В.В., Григашкин Г.А., Ларионов А.С., Щebetов А.В. Геонавигация скважин. Учебное пособие М.: МАКС Пресс, 2008. – 312 с.
2. Кульчицкий В.В. Геонавигация пологих и горизонтальных скважин в западной сибире. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2010. № 8. С. 4-8.
3. Ронжин К.В., Куваев И.А., Уваров И.Б., Пайразян К.В. Современные технологии геонавигации. мировой опыт. В сборнике: ГеоЕвразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии. Труды Международной геолого-геофизической конференции. 2018. С. 378-383.
4. Стишенко С.И., Сабирова А.Н. Геонавигация в 5 кликов. – М.: ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2018. – 161 с.

*Результаты построения 3D моделей геологических структур месторождений углеводородов. Мусин.И.Р. * (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», ilyas.musin.172001@mail.ru), Вайнерман Б.П. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», bwinerman@yandex.ru)*

Аннотация

Данная работа показывает некоторые аспекты построения трехмерных геологических моделей для использования в проектировании скважин на месторождениях углеводородов.

Ключевые слова

Геологическая модель, проектный профиль скважины, месторождение.

Источники финансирования

Источники финансирования отсутствуют

Теория

Для успешного бурения скважин на открытых и разрабатываемых месторождениях углеводородов необходимо использовать всю геолого-промысловую информацию и осуществлять построение 3D моделей геологических структур.

Трехмерное моделирование залежей — это многоступенчатый, сложный процесс оценки месторождения по целому ряду признаков, хотя на первый взгляд может показаться, что достаточно лишь определить, «откуда» и «докуда» и залегают углеводороды.

Зачем вообще нужны геомодели месторождения после старта добычи? Понятно, что классический процесс извлечения углеводородов из недр начинается с непосредственной разведки месторождения. Геологи строят его карту, на основе которой создается полная компьютерная модель всего резервуара. Делается это для того, чтобы выработать стратегию по разработке месторождения, наиболее выгодно размещать нефтяные скважины, минимизировать потери от смещения пластов и избежать аварий в ходе добычи.

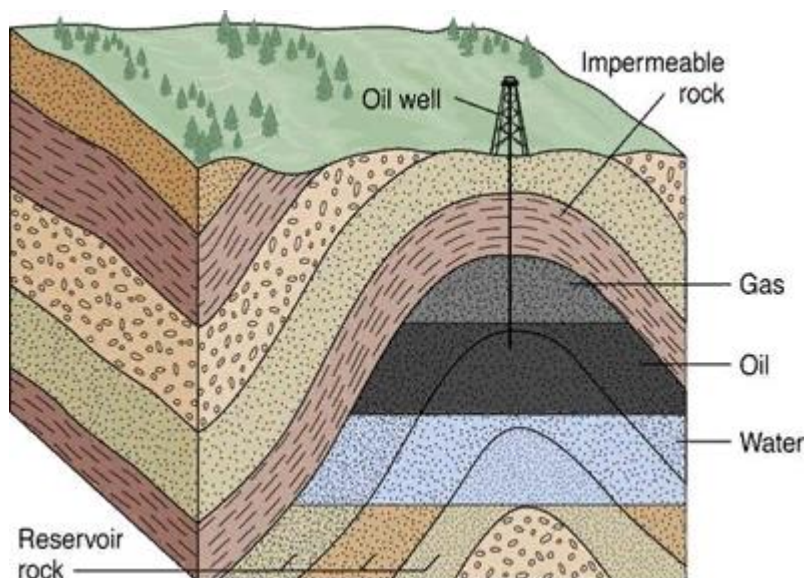


Рисунок 1. Схематическая иллюстрация наиболее выгодного расположения нефтяной вышки для добычи нефти.

Но ни одна модель не может со 100% точностью предсказать все изменения в структуре породы и самого месторождения в процессе добычи нефти. Выше приведен схематический пример нефтяного месторождения, но в реальности все намного сложнее (рис. 1). К примеру, Saudi Aramco занимается разработкой крупнейшего в мире нефтяного месторождения Гавар, открытого еще в 1948 году. В нем залегает до 10-12 млрд тонн нефти, а общая площадь месторождения составляет ~5300 квадратных километров.

То есть, мы приходим к тому, что даже разведанные активные месторождения требуют постоянного изучения и моделирования, хотя бы для того, чтобы понимать, где стоит бурить, а где это уже бесполезно либо слишком дорого. При этом нужно помнить, что залегают полезные ископаемые могут на гигантских площадях, то есть бурение и добыча происходят одновременно во множестве точек. Рассчитать и предсказать изменения в структуре месторождения вручную практически невозможно, поэтому задача по моделированию активных месторождений переходит в плоскость разработки IT-систем и обработки больших массивов данных.

Примерно с 1960-х нефтяные компании стали собирать массу данных о разрабатываемых месторождениях. С течением времени эта информация превратилась в огромный поток всевозможных данных, полученных как во время разведки, так и в процессе бурения и добычи. На основании этой информации специалисты хотят обучать нейросети для более быстрого и четкого моделирования поведения разрабатываемых месторождений в ближайшем будущем.

По итогу исследователи получают прогнозы по температуре, давлению, структуре и уплотнению породы и даже рекомендованному расстоянию между вышками. Кроме оценки самих месторождений подобные системы можно использовать и для прогнозирования проблем во время бурения и самой добычи, что предвосхищает аварии, поломки и возникновение незапланированных убытков.

Таким образом, создание трехмерных геологических моделей на современном этапе является необходимым элементом при проектировании, анализе и регулировании разработки нефтяных и газовых месторождений. Задача достоверного и качественного трехмерного моделирования является актуальной для подсчета запасов и составления проектных технологических документов.

На примере многопластового Харасавэйского месторождения рассмотрен подход к проектированию разведочной скважины с применением трехмерной геологической модели участка месторождения.

Харасавэйское газоконденсатное месторождение открыто в 1974 году.

В физико-географическом плане Харасавэйское месторождение находится на полуострове Ямал на западном побережье Карского моря.

В административном отношении участок находится на территории Ямальского района Ямало-Ненецкого автономного округа. (рис. 2) [4].



Рисунок 2. Обзорная схема

На Харасавэйском газоконденсатном месторождении утверждены запасы углеводородов по 24 подсчетным объектам – пласты ПК1, ТП1-4, ТП5, ТП6, ТП7-8, ТП100, ТП10, ТП11, ТП12, ТП13, ТП14, ТП15-16, ТП161, ТП21-23, ТП24, ТП26, БЯ1, БЯ2, БЯ5, БЯ6, БЯ7, БЯ8, Ю2, Ю3.

Структурная карта по кровле пласта Ю₃ приведена на рис.3.

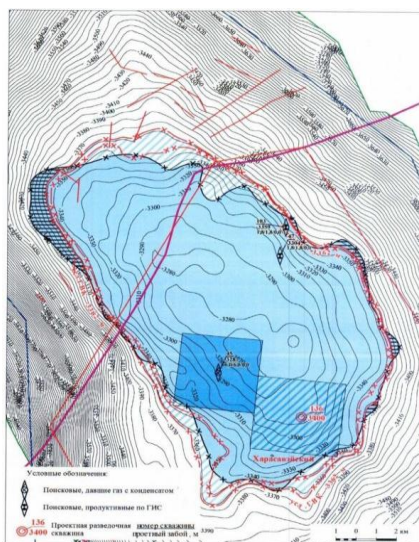


Рисунок 3. Структурная карта по кровле коллекторов пласта Ю₃

Предполагается пробурить разведочную скважину № 136 юго-восточнее скв. 45 (рис. 3).

Для уточнения геологического строения данной части месторождения и определения возможных интервалов перфорации в разведочной скв. 136 построена трехмерная геологическая модель [3].

Проектный профиль скв. 136 встроен в созданную геологическую модель [1, 2].

На рис. 4 отражен геологический профиль с выделением газоносных и водоносных интервалов и разведочным контуром (ГРК) в каждом пласте.

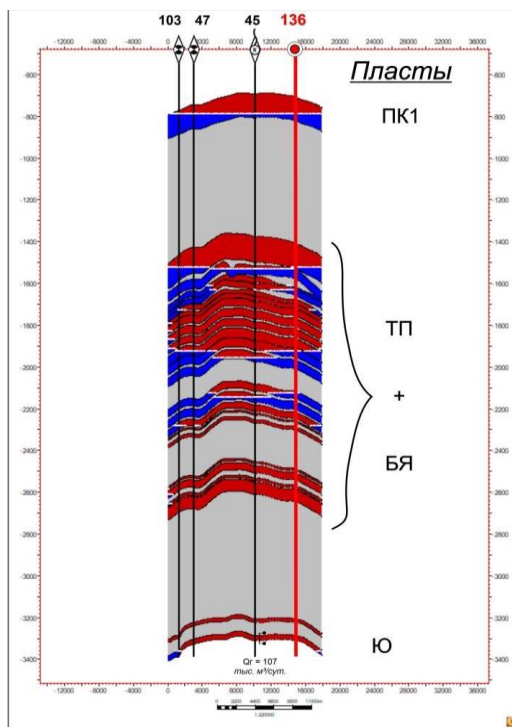


Рисунок 4. Геологический профиль

Выводы

Трехмерное геологическое моделирование позволяет уточнять геологическое строение изучаемого месторождения и помогает проектировать стволы разведочных и эксплуатационных скважин.

Библиография

1. Бастриков С.Н., Калинин А.Г., Повалихин А.С., Солодкий К.М. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин. ЦентрЛитНефтеГаз, Москва, 2011 г., 647 стр.
2. Близнюков В.Ю., Повалихин А.С., Кейн С.А. Расчёт проектного профиля направленных и горизонтальных скважин./ Метод. указания / УГТУ, Ухта, 2014. – 40 с.
3. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование. ООО ИПЦ "Маска", Москва, 2009.
4. Составление технологического проекта разработки Харасавэйского газоконденсатного месторождения. ООО "Газпром ВНИИГАЗ", Москва, 2012.

Разработка технологических и технических средств для предупреждения и ликвидации прихвата буровой колонны. Мухаметдинов Ю.И. (МГРИ, muhametdinovulaman@gmail.com), Соловьев Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgri.ru)*

Аннотация

Одним из возможных вариантов предупреждения и ликвидации прихватов буровой колонны является использование высокоэффективных буровых растворов, в составе которых есть достаточное количество смазывающих добавок.

Большинство растворов направлены на решение таких задач: снижение трения, сохранение устойчивости стенок скважины, сохранность коллекторских свойств, снижение вероятности возникновения прихвата.

Проблема устойчивости глинистых пород постоянно возникает при бурении в сложных горно-геологических условиях, когда пласты залегают несогласно геологическому времени, перемяты и т.д., а также с увеличением глубины, когда резко возрастает горное давление

Ключевые слова

Прихват, буровая колонна, промывочная жидкость, осложнения.

Теория

Прихват буровой колонны характеризуется невозможностью вертикальных перемещений и вращений инструмента в пределах допустимых нагрузок, а в некоторых случаях - потерей циркуляции.

На возникновение прихватов существенно влияют физические свойства фильтрационных корок (липкость, прочность структуры, связанность частиц, пористость, проницаемость), контактирующих с буровым инструментом. Действие других факторов (температура, противодавление, качество смазочной добавки к буровому раствору, искривление ствола скважины, тип бурового раствора, проницаемость породы и фильтрационной корки, характер циркуляции) или не исследовали, или исследовали недостаточно, хотя в возникновении прихватов они (в ряде случаев) играют решающую роль. [5]

Как правило, прихватам предшествуют затяжки бурового инструмента, связанные с обвалами пород или попаданием бурового инструмента в желоба, им же образованные и ликвидируемые без остановки технологического процесса. Природа прихватов различна, поэтому и методы ликвидации их отличаются друг от друга и имеют свою специфику. На возникновение прихватов колонн труб оказывает влияние множество факторов, дифференцировать которые с целью оценки их влияния трудно. Можно схематично разделить действующие при прихвате колонн труб силы на силы механического прижатия труб к стенке скважины, связанные с действием перепада давления и горизонтальной составляющей веса колонны труб, и адгезионные силы взаимодействия, зависящие от свойств фильтрационной корки, состояния контактной зоны и условий среды. Эти силы действуют совместно. В зависимости от условий в скважине их соотношение меняется.

Технические устройства для предупреждения прихвата бурильной колонны в последние годы занимают одну из первоначальных требований при выборе и расчетах компоновки бурильной колонны.

Наиболее применяемыми техническими средствами для предупреждения прихвата бурильной колонны являются винтовые УБТ, калибраторы, центраторы и т.д. При использовании винтового УБТ создается турбулентный поток бурового раствора, который способствует лучшему выносу выбуренного шлама из нижней части скважины, а в случае прихвата снижается вероятность потери циркуляции бурового раствора в стволе скважины, так как проточка на УБТ используется в качестве перетока бурового раствора в месте прихвата. [1,3]

Большинство растворов направлены на решение таких задач: снижение трения, сохранение устойчивости стенок скважины, сохранность коллекторских свойств, снижение вероятности возникновения прихвата.

Проблема устойчивости глинистых пород постоянно возникает при бурении в сложных горно-геологических условиях, когда пласты залегают несогласно геологическому времени, перемяты и т.д., а также с увеличением глубины, когда резко возрастает горное давление.

Эта проблема решается на основе исследований физикохимических процессов взаимодействия глинистых пород с буровыми растворами, изучения их ионно-обменных реакций и влияния на ингибирующую способность растворов. [4]

Основные функции промывочной жидкости – это обеспечение высокой механической скорости проходки, сохранение в устойчивом состоянии стенки скважины и коллекторских свойств продуктивных пластов.

Тенденция прихватов бурильной колонны не снижается [2]. Однако в результате значительного влияния геологических условий, которые очень трудно контролировать и которыми невозможно управлять, даже при соответствующей технологии имеется вероятность возникновения осложнений и аварий, иногда неизбежных. Поэтому необходимо не только прогнозировать осложнения и управлять технологией, но и снизить возникновение аварий, обеспечить возможность своевременного принятия мер по предупреждению и ликвидации аварии.

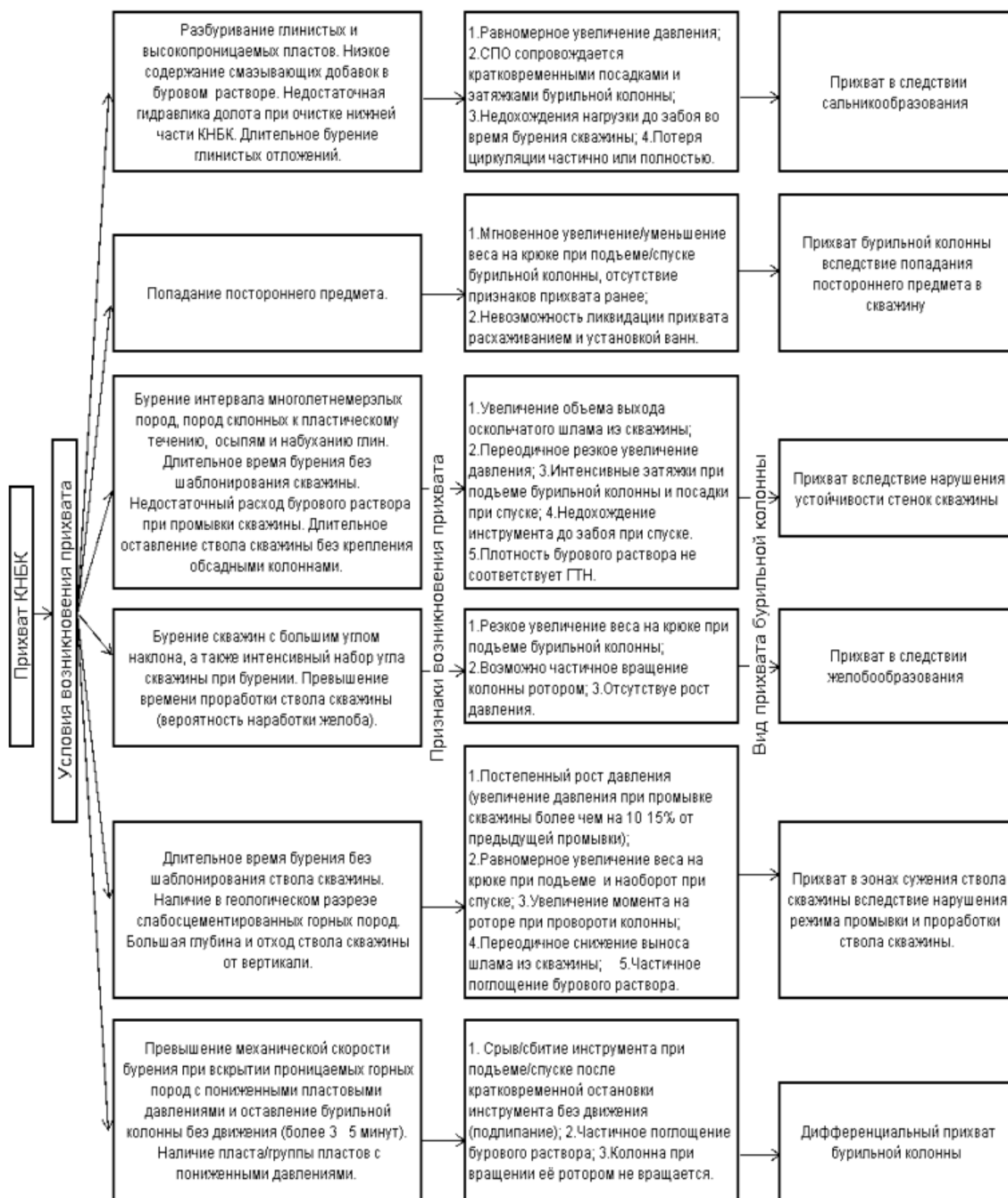


Рисунок 1. Схема определения вида прихвата буровой колонны [2]

Выводы

Основная причина прихватов заключается в действии перепада давления и гидростатического давления, адгезионных сил, а также вследствие скопления в скважине шлама в результате недостаточной промывки. В свою очередь, это связано с геологическими, технико-технологическими условиями, а также большими глубинами бурения скважин и углами отклонения от вертикали.

Одним из наиболее значимых недостатков промывочной жидкости на водной основе является ее повышенная проникающая способность, что ведет к набуханию глин и впоследствии к сужению скважины и прихвату бурительной колонны. Установлено, что влияющими параметрами буровой промывочной жидкости на предупреждение прихвата бурительной колонны являются: фильтрационные и смазывающие свойства.

Библиография

1. Липатов Е. Ю. Исследование и разработка технологии и технических средств для предупреждения и ликвидации прихвата бурительной колонны (на примере месторождений Среднего Приобья). – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 128 с.
2. Овчинников В.П. Справочник бурового мастера: научно-практическое издание / В.П. Овчинников, С.И. Грачев, А.А. Фролов. – Тюмень, 2006. – 691с.
3. Предупреждение и ликвидация осложнений, аварий и брака при строительстве скважин : учебное пособие / И. Г. Яковлев, В. П. Овчинников, А. Ф. Семенов, Т. М. Семенов. — Тюмень : ТюмГНГУ, 2014 — 156 с.
4. Самотой А.К. Прихваты колонн при бурении скважин: учеб. пособие для вузов. – М.: Недра. 1978. – 207с
5. Соловьев, Е.М. Заканчивание скважин [Текст]/ Е.М. Соловьев. – М.: Недра, 1979 – 303 с.

Применение гиперболы в энергосберегающих профилях геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые шельфа. Назаров А.П. (mgri, nazarov_ap.mgri.ru), Судоплатова А.А. (mgri, sudoplatovaaa@mgri.ru)*

Аннотация

Одним из направлений развития минерально-сырьевой базы России является выявление и добыча месторождений твердых полезных ископаемых на арктическом шельфе России. Разведка полезных ископаемых шельфа может производиться буровыми установками, расположенными на суше, что имеет ряд преимуществ по сравнению с бурением с морских оснований. При бурении наклонно-направленных скважин на шельфе необходимо обеспечить значительное смещение забоя скважины при сравнительно небольшой глубине залегания полезных ископаемых, что приводит к возникновению ряда проблем, связанных с возрастанием сил трения бурильных и обсадных колонн о стенки скважины.

Типовые профили наклонно-направленных скважин состоят из комбинаций сопряженных участков, представленных прямыми и дугами окружности. В месте сопряжения участков с различной кривизной в колоннах труб резко возрастают изгибающие напряжения, которые создают дополнительное сопротивление движению колонн и, кроме того, могут привести к различным аварийным ситуациям. Основным методом решения этих проблем является разработка типов профиля, в которых отсутствует такой тип сопряжения. С этой целью были предложены профили скважин, состоящих из одного интервала с плавно изменяемой кривизной (цепная линия, трактрисса). Разработана методика, предлагающая сопрягать стандартные участки различной кривизны при помощи участков переменной кривизны на основе некоторых трансцендентных математических кривых (клотоида, брахистохрона). В данной работе предложена и разработана методика расчета участков переменной кривизны, положение которых в пространстве описывается уравнением гиперболы.

Ключевые слова

шельф, разведочные скважины, профиль, кривизна

Теория

Одним из направлений развития минерально-сырьевой базы России в соответствии с распоряжением правительства РФ [11] является выявление и добыча месторождений твердых полезных ископаемых на ее континентальном шельфе. Разведка и разработка полезных ископаемых шельфа может производиться по двум схемам: бурение скважин с морских оснований различной конструкции и бурение наклонно-направленных скважин с суши. Бурение скважин буровыми установками, расположенными на суше, имеет ряд преимуществ: отпадает необходимость сооружения дорогостоящих морских оснований; сокращается влияние метеорологических условий и полностью исключается воздействие штормов и сложной ледовой обстановки; упрощается транспортировка персонала и грузов; значительно облегчаются условия труда и повышается степень безопасности буровой бригады; полностью исключается угроза возможного загрязнения морской среды при бурении и эксплуатации скважин.

При бурении наклонно-направленных разведочных скважин на шельфе

необходимо обеспечить значительное смещение забоя скважины при сравнительно небольшой глубине залегания полезных ископаемых, что приводит к возникновению ряда проблем, связанных с возрастанием сил трения бурильных и обсадных колонн о стенки скважины: повышение нагрузки при подъеме колонны бурильных труб; доведение осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент; осложнения при спуске и расхаживании обсадных колонн; большие затраты мощности при роторном бурении.

Применяющиеся в настоящее время типовые профили наклонно-направленных скважин [6], состоят из комбинаций сопряженных прямолинейных участков и участков в виде дуги окружности [7]. Как показала теория и практика бурения наклонно-направленных скважин в точке сопряжения интервалов различной кривизны в колоннах бурильных труб резко возрастают изгибающие напряжения, которые создают дополнительное сопротивление движению колонны и, кроме того, могут привести к различным аварийным ситуациям [5, 10]. Основным методом решения этих проблем является разработка типов профиля, в которых сопрягающиеся участки имеют одинаковую кривизну. Первым шагом в этом направлении была работа американского инженера Эдварда Андреса, который в 1984 г. предложил тип профиля переменной кривизны в виде цепной линии, т.е. теоретически не испытывающей напряжения изгиба [8, 12]. Прорывным решением по созданию многоинтервальных профилей наклонно-направленных скважин, в которых сопряженные участки имели бы одинаковую кривизну, был предложенный в 2004 г. способ проводки скважины по плавной траектории [2]. запатентованная методика предлагала сопрягать стандартные участки различной кривизны дополнительными участками переменной кривизны на основе некоторых трансцендентных кривых.

В качестве участков переменной кривизны была предложена *клотоида* – спираль, кривизна которой пропорциональна длине [10]. В других кривых были предложены различные типы циклоид [1], в том числе кривая скорейшего спуска *брахистохрона* [9]. Для проектирования одноинтервального профиля, кривизна которого плавно изменяется в зависимости от длины скважины были предложены *цепная линия* [11] и *трактриса* [4]. В данной работе для сопряжения интервалов различной кривизны наклонно-направленной скважины, впервые предлагается и приводится методика расчета участка переменной кривизны, положение которого в пространстве описывается уравнением *гиперболы* (рисунок 1).

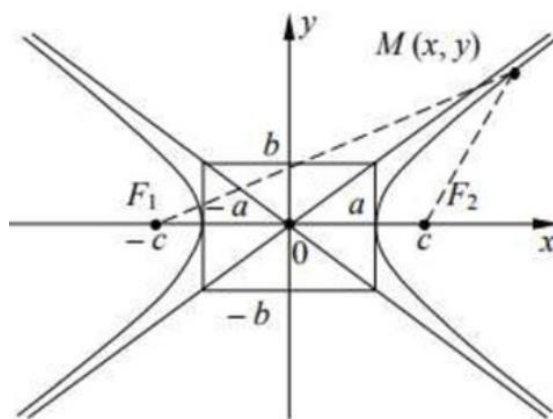


Рисунок 1. Гипербола: F_1 и F_2 – фокусы; a – действительная полуось; b – мнимая полуось

Каноническое уравнение гиперболы:
$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

$$\text{Первая производная: } y' = \pm \frac{b^2 x}{a^2 y} \quad (2)$$

$$\text{Кривизна: } K = \frac{y''}{(1+y'^2)^{3/2}} = \frac{ab}{\left(\frac{a^2}{b^2}y^2 + \frac{b^2}{a^2}x^2\right)^{3/2}} \quad (3)$$

$$\text{Максимальная кривизна при } y = 0: \quad k = \frac{a}{b^2} \quad (4)$$

Свойства гиперболы [3], которые позволяют рекомендовать ее для сопряжения участков с различной кривизной, в том числе прямолинейных: плавное изменение кривизны в значительно диапазоне значений, вплоть до величин близких к 0; соответствие первой производной y' зенитному углу скважины; симметрия гиперболы относительно оси X позволяет использовать ее для кривых различного типа.

Исходные данные:

- k – максимальная реализуемая отклонителем кривизна, м^{-1} ;
- K_0 – минимально допустимая кривизна в месте сопряжения с прямолинейным интервалом исходя из допустимой прочности труб, м^{-1} ;
- α – общий угол искривления, градус.

Методика расчета:

$$1. \text{ Координаты вершины, м: } a = \pm \frac{s/k+1}{k(\text{ctg}\alpha)^2 - s'} \quad (5) \text{ где } s = \frac{1}{\sqrt[3]{\frac{1}{kK_0^2} - \frac{1}{k}}}$$

$$2. \text{ Проекция расчетных элементов на вертикаль исходя из величины общего угла искривления } \alpha: \quad y_1 = \pm \frac{1}{\sqrt{(k \text{ctg}\alpha)^2 - \frac{k}{a}}} \quad (6)$$

$$3. \text{ Проекция расчетных интервалов на вертикаль исходя из допустимой минимальной кривизны ствола, м: } \quad y_1 = \pm \sqrt{\frac{\sqrt[3]{\frac{1}{kK_0^2} - \frac{1}{k}}}{k+1/a}} \quad (7)$$

В результате расчетов, произведенных для следующих значений: $K_0 = 0,002 \text{ м}^{-1}$; $k = 0,009 \text{ м}^{-1}$ (0,5 градус/м), с зенитными углами на концах расчетного интервала $\alpha = \pm 15$ градусов; получены следующие результаты: при использовании верхней ветви гиперболы ($y_1; 0$) для сопряжения прямого интервала скважины с криволинейным проекция на вертикаль составит 48,5 м, при этом зенитный угол изменится на 15 градусов, смещение забоя составит 23,7 м; нижнюю ветвь гиперболы ($0; -y_1$) с такими же параметрами можно использовать для сопряжения криволинейного участка с прямым; интервал ($y_1; -y_1$) при общем угле искривления 30 градусов и смещением забоя 25 м можно использовать для сопряжения двух прямолинейных интервалов скважины.

Выводы

Предложенная методика проектирования интервала скважины переменной кривизны, положение которого в пространстве описывается уравнением гиперболы, позволяет создавать энергосберегающие профили разведочных скважин на твердые полезные ископаемые арктического шельфа России. Создание многоинтервального гладкого профиля, в котором можно сопрягать участки различной кривизны с помощью предложенного промежуточного интервала переменной кривизны, позволит сократить затраты энергии на вращение колонн бурильных, увеличить поисковые и разведочные зоны шельфа. Отличием предложенной методики от существующих предложений проектирование интервалов на базе трансцендентных кривых заключается в простоте расчетов в стандартных компьютерных программах, особенно в полевых условиях.

Библиография

1. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д. Бикчурин Т.Н., Пиляев С.А., Студенский М.Н. Профиль наклонно направленной скважины. Полезная модель RU93447U1;
2. Барский И.Л., Оганов Г.С., Повалихин А.С., Урманчеев В.И. Способ проводки направленной скважины по плавной траектории. Патент RU2270907C1;
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 608 с;
4. Двойников М.В. Профиль наклонно направленной скважины. Полезная модель. RU RU145356U1;
5. Егоров П.П., Тунгусов А.А., Егоров Д.П. Нетрадиционные виды профиля направленных скважин // Научно-технический журнал Инженер-нефтяник, 2, 2018. – с. 27-32;
6. Инструкция по бурению наклонно-направленных скважин (РД-39-2-810-83). – М.: 1983. – 152 с;
7. Калинин А.Г., Никитин Б.А., Солодкий К.М., Повалихин А.С. Профили направленных скважин и компоновки низа бурильных колонн. – М.: Недра, 1995. – 303 с;
8. Повалихин А.С., Калинин А.Г., Бастриков С.Н., Солодкий К.М. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин. – М.: ЦентрЛитНефтьГаз, 2011. – 416 с;
9. Оганов Г.С., Пинскер В.А., Ширин-Заде С.А. Новые методы построения профилей наклонно-направленных скважин, разработанные на основе свойств некоторых трансцендентных математических кривых. Труды ВНИИБТ/ОАО «НПО «Буровая техника». – М.: Современные тетради, 2008. – с. 49-80;
10. Оганов Г.С., Барский И.Л., Гусман А.М., Лалаянц Б.Р., Прохоренко В.В. Построение нового класса энергосберегающих профилей наклонно-направленных скважин, соответствующих естественному изгибу бурильной колонны. Труды ВНИИБТ/ОАО «НПО «Буровая техника». – М.: Современные тетради, 2008. – с. 17-48;
11. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2018 г. № 2914-р;
12. Эдвард Андрес (Edward O.Anders). Патент США № 4440241, НКИ 175/61, МКИ Е 21 В 7/08.

К вопросу оценки процесса формирования и выхода керновой пробы при бурении геологоразведочных скважин (на примере месторождения «Тюбегатан»). Насимов Ж.А. (Государственное учреждение «Институт минеральных ресурсов», jnasimov@yandex.ru), Аширов Ф.У. (Государственное учреждение «Институт минеральных ресурсов», info@mridm.uz), Кобиллов З.М. (Государственное учреждение «Институт минеральных ресурсов», info@mridm.uz)*

Аннотация

Приведены некоторые аспекты проведения буровых работ на месторождении Тюбегатан, сложность отбора керновых проб и разделение по классам по степени кернообразования, предложен способ оценки и оптимального выбора комплекса технических средств и технологических подходов

Ключевые слова

Керн, шлам, калийные соли, классификация, избирательное истирание

Теория

Керн является основным видом буровой пробы при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. При получении 98-100% ориентированного керна поставленные геологические задачи решаются практически со все полнотой [4]. Однако по объективным геолого-техническим причинам не везде и не всегда удается получить такую пробу. Таким объектам и относится месторождение калийных солей «Тюбегатан» (сильвинит) на юго-западном отроге Гиссарского хребта Республики Узбекистан [2]. Геологическом строении Тюбегатанского месторождения каменных и калийных солей принимают участие породы юрских, меловых, палеогеновых и четвертичных отложений. В 26 и 45 метрах от основания разреза присутствуют 2 пачки пород, мощностью до 0,8м, представленных тонким переслаиванием (по 1-3см) ангидритов и известняков. В 100-200м выше подошвы разреза ангидритовой подсытки отмечаются ещё 2 выдержанных по простиранию слоя известняков.

Необходимо отметить, что вследствие недостаточно объективного выбора технологии и технических средств отбора керна для условий данного объекта участились случаи брака, некачественного опробования скважин, что привело к уменьшению запасов на более чем 50% при их переводе с категории С₁ из-за отрицательных результатов заверочных скважин [1]. Различие физико-механических свойств минералов и руд определяют избирательное истирание керна, что вызывает обеднение керновых проб. Это в свою очередь приводит к систематическим погрешностям при опробовании скважин. Основными факторами, определяющими избирательное истирание керна, являются перемежаемость пород по прочности и твердости, степень выветрелости, наличие прожилков отличного от основной массы состава и степень защищенности керна от самозаклинивания, истирания и выноса дробленной части керна и шлама.

Известно, что одним из главных показателей надежности керновой пробы является ее сплошность. При этом, занижение содержания полезных компонентов в рудах во многих случаях происходит в связи с тем, что рудные формации являются более хрупкими и во многих случаях более мягкие по сравнению с минералами включающих

их пород, особенно жильных, а также в связи с приуроченностью их к ослабленным зонам. Анализ проводимых совместно с ООО «Пермская геолого-геофизическая компания», ООО «Русская Буровая Компания» (РФ) и АО «Узбек геология разведка», АО «Узбек геофизика», ГУП «Узбек гидрогеология» (Узбекистан) геологоразведочных работ показали, что геолого-технические условия бурения осложнены тем, что до интервала опробования (350-400м) присутствуют зоны катастрофического поглощения промывочной жидкости, непосредственно в интервале отбора проб керн сильно размывается. При этом, применяется технология бурения Wireline типоразмера NQ (АК с торцевым отверстием) с гидрофицированной буровой установкой S-15 DBC Makina, химический реагент Tornado, РНРА, К-9, Well-gel, угол наклона скважин 90^0 , глубина бурения от 500м. до 1300м.

Анализ производственных данных показывает, что около 64% объемов бурения ведутся в неблагоприятных геолого-технических условиях по формированию надежной керновой пробы. С целью обеспечения оптимального выбора комплекса технических средств и технологических подходов, применимых к условиям месторождения «Тюбегатан» нами предлагается пересмотреть методику разработки проектных решений и организации буровых работ, предусматривающее:

1. Разделения отбираемых проб на классы по раздробленности, показатель P которого определяется по формуле (1). В таблице приводятся предельные значения показателя P и краткая характеристика трещиноватости горных пород.

$$\lg P = 0,3 \lg K - 1,4 \lg n \quad (1)$$

где, K -показатель кусковатости керна, определяемый количеством кусков в метре столбиков керна, т.е., $K = \frac{100}{l_{cp}}$, здесь $l_{cp} = \frac{B}{n}$; n -количество столбиков в рейсе, B -выход столбиков керна в рейсе, см.

Классы раздробленности керна

Классы раздробленности керна	Степень подверженности керна разрушению при бурении (степень раздробленности)	Предельные значения показателя раздробленности керна	Характеристика трещиноватости проходимых горных пород
I	Слабая	1,5	Монолитные, слаботрещиноватые
II	Средняя	1,51 - 2,25	Трещиноватые
III	Значительная	2,26 - 3,38	Сильнотрещиноватые
IV	Весьма значительная	3,38	Раздробленные

2. Оценки способности пробуриваемых пород к кернообразованию по показателю J , определяется по выражению: $J = 10^2 \frac{l_j}{al_n}$ или $J = \frac{P}{a}$ (2)

где, l_n -проходка за рейс, м; l_j -длина полученного керна, м; a -абсолютная кусковатость керна; P -относительный выход керна, %.

Ниже приводится разработанная классификация горных пород по способности к кернообразованию.

Классификация горных пород по способности к кернообразованию

Категория пород по кернообразованию	Степень кернообразования	Характеристика пород
1	100 - 65,1	Очень хорошие
2	65,0 - 40,1	Хорошие
3	40,0 - 25,1	Хорошие или средние
4	25,0 - 10,1	Средние или труднее
5	10,0 - 3,1	Трудные
6	3,00 - 00	Очень трудные

3. Критического анализа выбранной технологии бурения с точки зрения обеспечения полноты, равномерности и непрерывности выхода материала в пробе. Здесь могут иметь следующие (рис.1) три случая надежности и информативности керна [3]:



Рисунок 1. Полнота, равномерность и непрерывность выхода материала пробы (по горизонтали – длина рейсового ухода, см.)

Для практического решения проблемных вопросов, связанных с успешной проходкой скважин, обеспечения кондиционного выхода керна рекомендуется применить комбинированный способ бурения, т.е., на верхних интервалах бурение с применением газо-жидкостных смесей, при этом в качестве очистного агента использовать сжатый воздух, подающийся винтовым компрессором и полимерный буровой раствор из бурового насоса, соединяемые между собой через дозатор.

Выводы

Достоверность, представительность и надежность керновых проб при полном выходе материала и его достаточном весе, обеспечивающем сохранение всех компонентов в их естественном состоянии, не вызывает сомнений. Однако, при разведке месторождения калийных солей Тюбегатан необходимо принять к сведению способность горных пород по кернообразованию.

Библиография

1. Интернет источник www.uzkimyosanoat.uz
2. Минералогические технические свойства сильвинитов Тюбегатанского месторождения. Г.А.Исаева. Вестник Пермского университета. Том 16, №3. 2017.
3. Насимов Ж.А. Информационно-логическое моделирование новой методики по оценке качества результатов технологического процесса разрушения и бурения. Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. Том 8, №2. 2020.
4. Принципы выбора способов бурения и опробования скважин. А.А.Абдумажитов. Издательство Фан АН РУз. 1992.

Моделирование процесса разрушения горных пород при взаимодействии зубка шарошечного долота с забоем скважины. Нахангов Х.Н. (МГРИ, hoji79@mail.ru), Тошов Ж.Б. (ТГТУ, j.toshov@tdtu.uz)*

Аннотация

В тезисе рассматриваются напряженное и деформированное состояния горных пород на забое скважины, представлены математическая модель вдавливания зубка на забое скважины, зависимости относительного усилия разрушения горных пород при вдавливании зубка при различных расстояниях от стенки скважины.

Ключевые слова

Горная порода, бурение, математическая модель, забой скважины, деформация.

Теория

Интенсивный износ рабочего органа и увеличение энергоемкости процесса разрушения в процессе бурения наблюдается при их работе у контура стенки с плоскостью забоя скважины. Работа зубков и разрушение породы происходит в стесненных условиях. Поэтому показатели энергоемкости и параметры разрушения пород, при этих условиях, имеют более высокие показатели по сравнению с полученными при работе зубков на полуплоскости по Л.А. Шрейнеру [1, 2]. Они работают при максимальном напряженном состоянии, а иногда критическом, их периферийные венцы и зубки преодолевают сопротивление в 2 – 3 раза больше чем средние венцы, которые работают в благоприятных условиях, приближенных к условиям ровной поверхности. Исходя из изложенного, периферийные венцы, зубки претерпевают высокую сопротивляемость пород, особенно работающие в угловой области забоя скважины, что соответственно сопровождается их быстрым износом или поломками и приводит к выходу из строя долота в целом.

Взаимодействие рабочих органов долота с породой в условиях забоя скважины должно основываться с одной стороны на закономерностях процесса разрушения горных пород и с другой стороны кинематики движения зубков и венцов шарошки из которых состоит породоразрушающий инструмент.

Разработанная нами математическая модель на базе пакета конечно элементного моделирования Ansys Workbench позволила осуществить экспериментальные исследования механизма взаимодействия рабочих элементов породоразрушающего инструмента непосредственно в условиях забоя скважины [3, 4].

Для проведения расчета смоделирован однородный массив породы со скважиной и зубок со сферической головкой.

Зубок сделан с диаметром $d=6$ мм и высотой 30 мм.

Первая серия опытов проводилась при плоской форме забоя скважины, при котором исследовались закономерности изменения усилия разрушения горных пород в зависимости от расстояния зубка до стенки скважины,

Вторая серия опытов проводилась при вдавливании зубка по контуру стенки скважины, при котором исследовались закономерности изменения усилий и параметров разрушения горных пород в зависимости от формы поверхности скважины.

Третья серия опытов проводилась для установления закономерностей изменения усилий и параметров разрушения горных пород в зависимости от формы забоя скважины и различных углов вогнутости поверхности забоя, равных 900, 1000, 1200 и 1300.

Четвертая серия опытов проводилась для установления закономерностей изменения усилий и параметров разрушения горных пород в зависимости от углов атаки зубка.

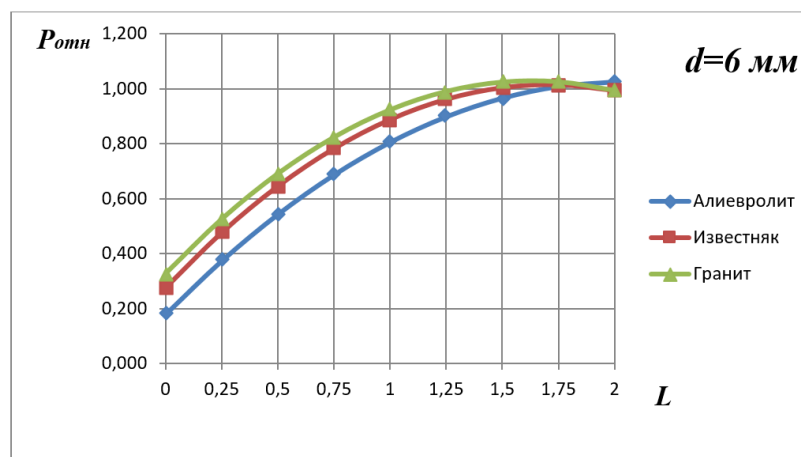


Рисунок 1. Закономерности изменения относительного усилия разрушения горных пород в зависимости от расстояния до границы открытой поверхности.

Выводы

Анализ полученных результатов вдавливания зубков в зависимости от места расположения на забое скважины позволили объяснить почему зубки работающие в угловой области забоя скважины быстро изнашиваются и ломаются, по сравнению расположенными близко к оси скважины.

Библиография

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. 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.
3. Нахангов Х.Н.,Тошов Ж.Б. Усовершенствования одношарошечных долот. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). –М., 2017.-№6. Отдельные статьи (специальный выпуск 13). Пути повышения эффективности бурения геологоразведочных скважин – С. 6-10.
4. Нахангов Х.Н.. Исследования оптимальных параметров расположения зубцов шарошечного долота в условиях забоя скважины. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск 9), М., 2017.-№5 – 8 с.

Разработка конструкции алмазного долота для направленного бурения. Лысаков Д.В. (Сибирский федеральный университет, Lysackovd@yandex.ru)*

Аннотация

. В современном направленном бурении наиболее эффективным, современным и активно используемым средством управления кривизной скважины являются отклонители непрерывного действия, опыт применения которых на различных месторождениях позволил установить горно-геологические условия, в которых их использование приводит к возникновению аварий. Так, при использовании отклонителей фрезерующего типа в твердых, очень твердых и абразивных горных породах, когда диаметр скважины имеет минимальную разработанность по диаметру приводит к заклиниванию породоразрушающего инструмента.

Проведенный анализ показал, что единственным способом решить проблему заклинивания долота существующими техническими средствами и технологиями можно за счет подготовки скважины к искривлению методом локального расширения диаметра, что требует больших затрат времени. В связи с этим можно сказать, что описанная проблема является актуальной и требующей разработки новых технических средств технологий, направленных на ликвидацию заклинивания породоразрушающего инструмента за меньший промежуток времени.

Ключевые слова

Отклонитель, фрезерование, направленное бурение, искривление скважин, заклинивание долота.

Теория

Скважины, пробуренные в твердых и очень твердых горных породах как правило имеют минимальные радиальные зазоры между вооружением алмазного инструмента и стенкой скважины. При этом нередки случаи, когда вследствие повышенного износа торцевого и бокового вооружения алмазного инструмента диаметр скважины может получать некоторое сужение. Считается, что для отклонителей фрезерующего типа характерно отсутствие прекоса породоразрушающего инструмента на забое в связи с тем, что набор кривизны осуществляется за счет создания отклоняющего усилия, под действием которого долото прижимается к стенке скважины и осуществляет ее фрезерование боковым вооружением. Это суждение не совсем верно, в первую очередь в связи с тем, что существуют конструкции отклонителей, например, конструкция ТЗ-3. При создании отклоняющего усилия, после прижатия бокового вооружения долота к стенке скважины происходит некоторый прогиб вала отклонителя, что приводит к наклону долота на забое [1,2,3].

Проведенное графоаналитическое исследование позволило установить, что при наклоне долота на 1; 2 и 3 градуса, диаметр его матрицы в плоскости перпендикулярной оси скважины увеличивается с 76мм, до 76,43; 76,71; 77,06мм соответственно, что в условиях суженного ствола скважины, когда зазор между боковым вооружением долота и стенкой скважины минимален, приводит к тому, что размер сечения долота при наклоне начинает превышать диаметр скважины и происходит заклинивание. Если сила сцепления долота с породой окажется выше чем у распорного механизма отклонителя,

то передача крутящего момента на заклинившее долото приведет к провороту отклонителя в скважине и нарушению ориентации снаряда. В более редких случаях при сильном заклинивании может произойти поломка вала отклонителя, что повлечет за собой сложную аварийную ситуацию. Способом, позволяющим решить проблему заклинивания породоразрушающего инструмента при использовании ОНД фрезерующего типа может стать внедрение «гибкого» соединения вала отклонителя и долота. Такое техническое решение позволит устранить перекося породоразрушающего инструмента вызванного прогибом вала-ротора.

Для реализации поставленной задачи была разработана и запатентована конструкция алмазного породоразрушающего инструмента (пат. №189409) в котором «гибкое» соединение с валом отклонителя реализуется за счет шарнира, выполненного в корпусе долота. Конструкция долота (рис. 1) включает алмазную матрицу 2 жестко соединенную с цилиндрическим корпусом 3. Корпус, за счет шлицевого соединения 4 взаимодействует с шарниром 5. Шарнир в верхней точке соединяется с валом-ротором отклонителя при помощи резьбы 7, а в нижней части опирается на сферическую проточку 6, выполненную в матрице долота. Для герметизации корпуса и центрации шарнира в корпусе между ним, гайкой 8 и корпусом размещен резиновый элемент 9.

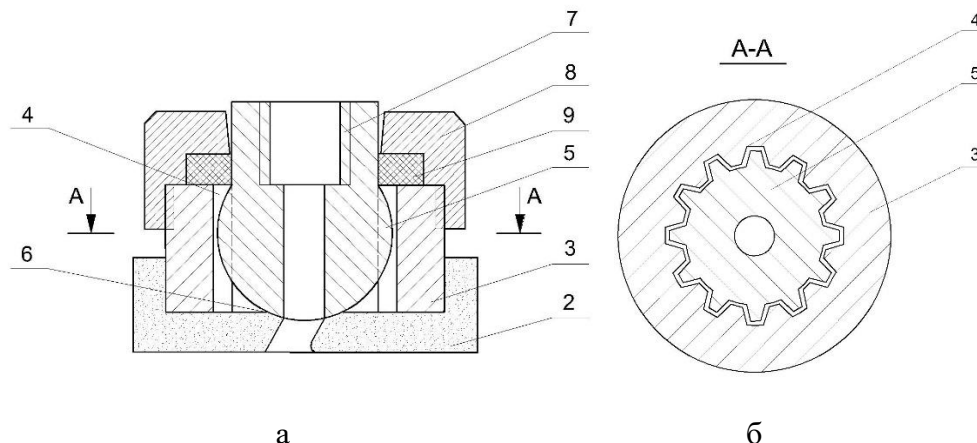


Рисунок 1. Алмазное долото с шарнирным соединением (а) с разрезом по линии А-А (б).

При раскреплении отклонителя под действием осевой нагрузки, долото прижимается к стенке скважины боковым вооружением. Одновременно с этим возникает сила сопротивления со стороны горной породы, в результате чего вал отклонителя получает некоторый прогиб в сторону противоположную действию отклоняющего усилия. В связи с тем, что вал отклонителя при помощи резьбы соединен с шарниром, опирающемся на сферическую проточку, корпус долота изменяет свое положение относительно оси шарнира и обеспечивает равномерную постановку матрицы на забой и передачу на стенку скважины отклоняющего усилия $P_{откл}$. При этом в процессе бурения шлицевое соединение обеспечит передачу крутящего момента от шарнира на корпус долота. За счет того, что корпус с гайкой соединены при помощи резьбового соединения имеется возможность замены изношенной алмазосодержащей матрицы с корпусом на новые, без замены шарнира [4].

С целью определения работоспособности долота, возникла необходимость компьютерного моделирования наиболее нагруженных элементов конструкции, а именно шарнира и шлицевого соединения на возникающие в них напряжения и деформации под действием осевой нагрузки и крутящего момента (рис. 2). Полученные

в ходе моделирования данные использовались для расчета коэффициента запаса прочности.

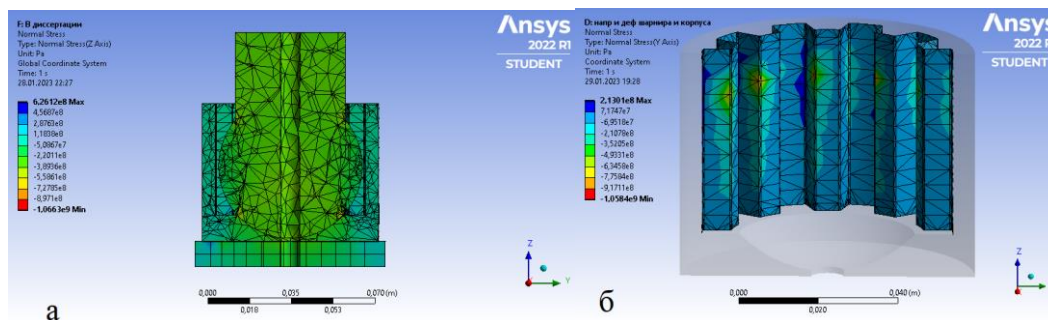


Рисунок 2. Напряжения, возникающие под действием осевой нагрузки в шарнире (а) и шлицах корпуса под действием крутящего момента (б).

Зависимость для определения коэффициента запаса прочности по напряжениям выглядит следующим образом:

$$n = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{\sigma_{\text{макс}}}$$

где $\sigma_{\text{пред}}$ – предельные напряжения материала, МПа; $\sigma_{\text{макс}}$ – максимальные напряжения полученные в ходе эксперимента, МПа.

В ходе моделирования найдено уязвимое место конструкции, а именно сферическая проточка выполненная в матрице. Осевая нагрузка передается от шарнира на забой через небольшую по площади сферическую проточку, в результате действия ударных нагрузок в процессе бурения это может вызвать разрушение матрицы и сложную аварийную ситуацию. В связи с этим конструкция была усовершенствована за счет переноса сферической проточки из матрицы в корпус долота. По результатам дальнейшего моделирования возникающих в усовершенствованной конструкции долота напряжений и деформаций были установлены максимально допустимые величины осевой нагрузки и частоты вращения при которых обеспечивается коэффициент запаса прочности шарнира и шлицевого соединения $n=2,5$ для каждого из подобранных материалов. Результаты проведенных исследований представлены на рис.3

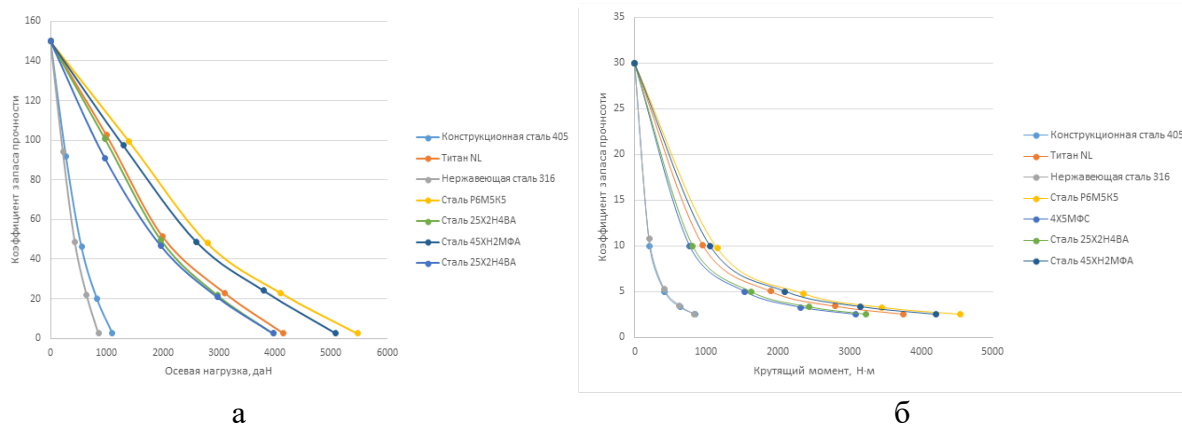


Рисунок 3. Зависимость коэффициента запаса прочности шарнира от величины осевой нагрузки (а) и шлицевого соединения под действием крутящего момента (б)

Выводы

На основе вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Теоретически обосновано что решить проблему заклинивания породоразрушающего инструмента при раскреплении отклонителей фрезерующего типа можно за счет использования долота разработанной конструкции;
2. Проведенное компьютерное моделирование показало, что долото из стали Р6М5К5 способно сохранить коэффициент запаса прочности на уровне 2,5 при осевой нагрузке и частоте вращения, не превышающей 5470 даН и 4550 Н·м соответственно, что соответствует максимальным нагрузкам создаваемым такими установками как Voart Longyear LF70, Christensen CS10 и другими сопоставимого класса

Библиография

1. Искривление скважин под действием постоянной по величине отклоняющей силы / Шраго Л.Г., И.М. Юдборовский. // Методика и техника разведки. – 1964. – С. 47-51.
2. Epikhin A., Zhironkin V. Method for determining the loads on the deflection module of the push-the-bit rotary steerable system // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. – 2021. – №1. – P. 1–7.
3. Wang M., Li X., Wang G., Huang W., Fan Y., Luo W., Zhang J., Shi X. Prediction model of build rate of push-the-bit rotary steerable system // Mathematical problems in engineering. – 2020. – P. 1–9.
4. Алмазное долото: пат. Рос. Федерация №189409, заявл. 11.03.2019; опубл. 22.05.2019. Бюл. №15. – 4 с.

Анализ технологии очистки призабойной зоны пласта нагнетательной скважины для повышения эффективности работ. Родин Я.С.* (МГРИ, yan.rodin@mail.ru)

Аннотация

Предлагаемый проект связан с анализом технологии очистки призабойной зоны пласта (ПЗП) нагнетательной скважины и ориентирован на повышении приемистости скважины. В предлагаемой технологии подразумевается использование способа очистки ПЗП низкоприемистых нагнетательных скважин на основе гидродинамического излива. Необходимость в этой технологии вызвана тем, что снижении приемистости ведет к нарушению заданного режима разработки пласта. Поэтому основным требованием к эксплуатации нагнетательных скважин является поддержание необходимой приемистости на протяжении всего периода разработки пласта.

Отличительными особенностями способа является то, что вода излива из низкоприемистых нагнетательных скважин очищается от содержащихся в ней в значительном количестве нефтяных частиц и ТВЧ, выносимых из продуктивного пласта, уловленные нефть и загрязнения утилизируются, а очищенная вода направляется по единой системе водоводов в соседние более высокоприемистые скважины, расход которых не ограничивают штуцерами, в соответствии с проведенным анализом допустимой для них величины загрязнения принимаемой жидкости.

Ключевые слова

Нагнетательная скважина, призабойная зона пласта, очистка ПЗП, низкоприемистые скважины, гидродинамический излив.

Теория

Эффективность разработки нефтяных месторождений, разрабатываемых с применением заводнения, во многом зависит от работы системы поддержания пластового давления (ППД). Одним из требований, определяющим эффективность системы ППД, является поддержание приемистости нагнетательных скважин.

Приемистость нагнетательных скважин зависит от ряда факторов и редко бывает стабильна. Как известно, снижение приемистости нагнетательных скважин ведет к нарушению заданного режима разработки пласта. Поэтому основным требованием к эксплуатации нагнетательных скважин является поддержание необходимой приемистости на протяжении всего периода разработки пласта. [5]

Рассматриваемый в данной работе способ очистки ПЗП низкоприемистых нагнетательных скважин на основе гидродинамического излива представляет собой дальнейшее развитие способа очистки ПЗП самоизливом скважин. Отличительными его особенностями является то, что вода излива из низкоприемистых нагнетательных скважин очищается от содержащихся в ней в значительном количестве нефтяных частиц и ТВЧ, выносимых из продуктивного пласта, уловленные нефть и загрязнения утилизируются, а очищенная вода направляется по единой системе водоводов в соседние более высокоприемистые скважины, расход которых не ограничивают штуцерами, в соответствии с проведенным анализом допустимой для них величины загрязнения принимаемой жидкости.

На рисунке 1 представлена предложенная [6] схема очистки ПЗП низкоприемистых

нагнетательных скважин динамическим изливом с закачкой вод излива в высокоприемистые нагнетательные скважины, опробованная на ряде КНС НГДУ «Альметьевнефть».

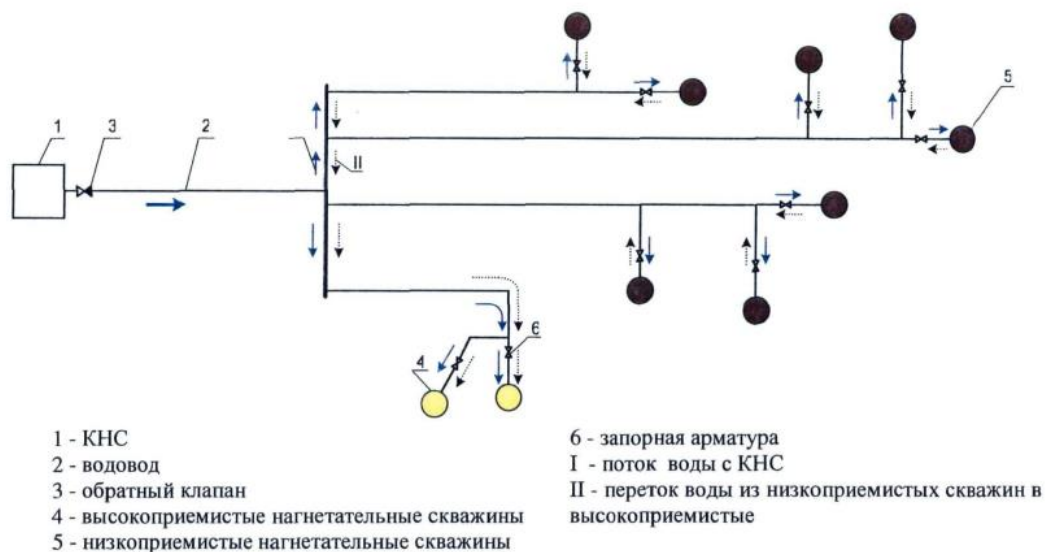


Рисунок 5. Схема очистки ПЗП низкоприемистой скважины динамическим изливом с закачкой его в высокоприемистые

Способ включает выделение групп низкоприемистых нагнетательных скважин 5 с низкопроницаемой ПЗП и высокоприемистых нагнетательных скважин 4 с высокопроницаемой ПЗП в единой гидродинамической системе 2. При работе КНС 1 через обратный клапан 3 манипулируют задвижками 6 водоводов, выдерживают паузу в течении одних-трех суток при закрытых высокоприемистых и открытых низкоприемистых скважинах, когда закачка ведется только в низкоприемистые скважины (поток I). Создают перепад давления регулировкой выкидной задвижки. Открывают высокоприемистые скважины, создают депрессию в единой гидродинамической системе. Происходит падение давления на устье низкоприемистых скважин и излив жидкости (поток II) из низкопроницаемых коллекторов в высокопроницаемые через высокоприемистые скважины. Осуществляют возврат в первоначальный режим работы КНС. Фиксируют параметры работы станции по величине изменения параметров делается заключение об эффективности очистки. При необходимости работы повторяются.

Особенностью данного способа очистки ПЗП низкоприемистых нагнетательных скважин методом динамического излива является то, что при этом решается проблема утилизации загрязненных вод излива путем закачки их в соседние высокоприемистые или поглощающие скважины.

Для оценки эффективности технологии был произведен эксперимент по очистке ПЗП нагнетательной скважины методом излива. Отличительная особенность его в том, что излив было решено проводить с регулируемой интенсивностью порядка $4 \text{ м}^3/\text{час}$. Это позволило бы избежать эффекта «схлопывания пласта» при резком сбросе пластового давления, увеличив соответственно продолжительность излива и его объем.

Пробы излива отбирались из специально оборудованного пробоотборника на обвязке устьевого арматуры нагнетательной скважины. Анализы проб на содержание нефти и твердых взвешенных частиц (ТВЧ) проводились по методикам [1-4].

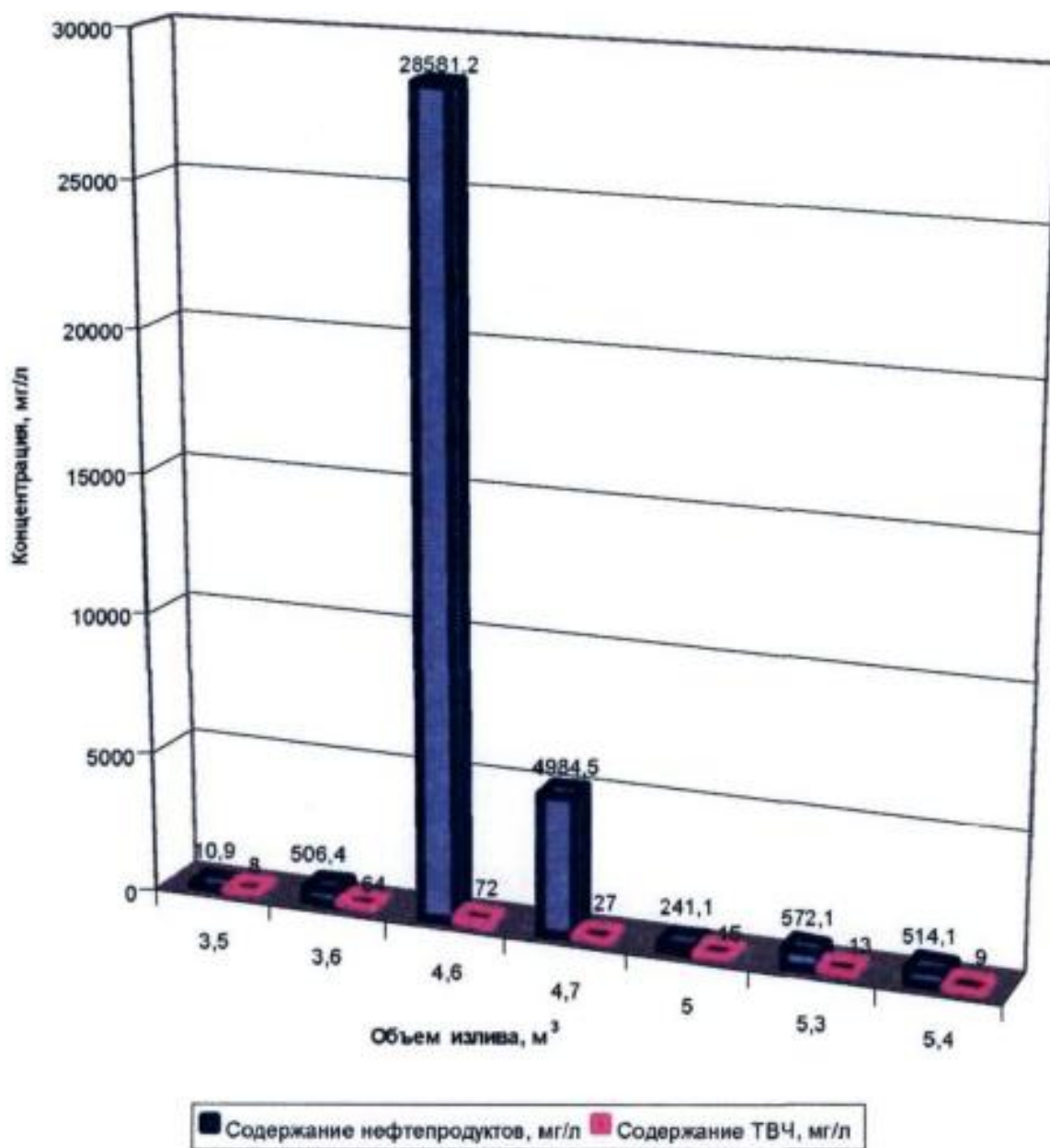


Рисунок 6. Содержание нефтяных частиц и ТВЧ в воде разлива.

Таблица 1

Результаты экспериментов по очистке ПЗП низкоприемистых нагнетательных скважин гидродинамическим изливом

Показатели	Значения, м ³ /сут
Приемистость до очистки	9
Необходимая приемистость	13
Приемистость после излива	73

Выводы

Анализируя Рисунок 2, можно сделать вывод, что изливающаяся из продуктивного пласта вода сильно загрязнена механическими примесями и нефтяными частицами.

Проведение работ по очистке ПЗП нагнетательной скважины методом динамического излива позволило увеличить приемистость скважины от пяти раз (Таблица 1) при изливе в высокоприемистую скважину по сравнению с первоначальной без вывода скважины в ремонт на КРС и проведения сложного и дорогостоящего комплекса работ по ОПЗ.

Библиография

1. Методика отбора проб, консервации и проведения анализа на содержание механических примесей в промышленных сточных водах. — Бугульма., 1996. — 35 с.
2. ОСТ 39-133-81 Фотоколориметрическое определение содержания нефтепродуктов в воде.
3. ОСТ 39-230-89 Определение содержания мехпримесей в речных и промышленных водах.
4. СТП 33-018-87 Методы анализа химического состава нефтепромысловых сточных вод.
5. Фадеев В.Г. Повышение эффективности работы скважин на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами нефти. – 2004. – 10 с.
6. Фадеев В.Г., Халиуллин Ф.Ф., Бойко В.П. / Пат. 2165012 РФ, Способ очистки призабойной зоны нагнетательных скважин / Заяв. 04.04.2000; Опубл. 10.04.2001, Бюл. №10; Приоритет 04.04.2000.

Способы предотвращения катастрофических поглощений бурового раствора на месторождениях республики Саха. Рожкова Д.С.* (Тюменский индустриальный университет, rozhkovaov@tyuiu.ru), Федоров Н.Г. (Тюменский индустриальный университет, thetime13@mail.ru)

Аннотация

Основным видом осложнений при строительстве скважин на нефтяных месторождениях Восточной Сибири являются поглощения бурового раствора, затраты, на борьбу с которыми составляют свыше 85% всего времени, затрачиваемого на борьбу с осложнениями. В процессе исследования способов предотвращения катастрофических поглощений бурового раствора, было выделено несколько способов, которые были рассмотрены.

Ключевые слова

Поглощения, траппы, геологические условия, поглощения, осложнения.

Теория

В процессе исследования способов предотвращения катастрофических поглощений бурового раствора, было представлено несколько способов, которые были поверхностно рассмотрены. В ходе обзора решений предотвращения катастрофических поглощений, были выделены пример кольматационной пачки бурого раствора, роторный КНБК, двухуровневый цементаж и проч.. В данной работе были проанализированы геологические условия месторождений республики Саха и предложены возможные методы ликвидации поглощений. Анализ показал, что данная имеется возможность дальнейшего изучения методов предотвращения катастрофических поглощений и более быстрого бурения скважины.

Месторождения Восточно-Сибирской провинции, являются основным и важным нефтегазодобывающим регионом России, на которой расположена одна из самых крупных трапповых отложений – Сибирские траппы.

Большинство из них характеризуется наличием в геологическом разрезе пластовых трапповых тел (силлов - интрузивных залежей) внутри осадочного чехла. Трапповые тела располагаются по всему разрезу отложений венда - нижнего палеозоя, на разных стратиграфических уровнях, имеют широкий диапазон по площади и по мощности. К таким месторождениям относятся Среднеботуобинское, Ковыктинское, Верхнечонское, Ярактинское, Даниловское, и другие [5]. К настоящему времени о нефтегазоносности Сибирского плоскогорья собрано много научных материалов. Особый интерес в геологических исследованиях представляет его западная часть, где, как уже говорилось ранее, в пределах Курейской синеклизы обнаруживается своеобразная насыщенность геологической области интрузиями траппов [2].

Трапповая интрузия пермо-триасового возраста на месторождениях республики Саха представлена долеритами, входящими в состав различных формаций в осадочных отложениях (интервал 720,32 – 846,32 м, мощность \approx 130 м), также отмечается повсеместное распространение вечной мерзлоты (ММП) в интервалах до 400 метров, далее отмечаются аномально низкие пластовые давления и естественные

трещины, присутствуют интервалы солей, эндогенной трещиноватости, что при строительстве скважин в таких условиях может вызвать различные осложнения [1].

Трапповый магматизм представляет собой особый тип континентального магматизма, для которого характерны огромные объемы извержения базальта в геологически короткий период (первые несколько миллионов лет) на больших территориях. Несколько исследований посвящено геологическому строению трапповых интрузий Сибирского Платформа М. М. Одинцова, И. И. Красновой, В. С. Обручев, В.С. Масайтис и др. Эти исследования предлагают несколько гипотез относительно проникновения ловушек, такие как:

- извержение ловушек, потенциально происходящее в условиях поднятия, с преимущественно центральным типом извержения;
- выход силлов долеритов по моноклиальному падению из Канско-Тасеевской впадины, что обозначено как зона локализованного траппового магматизма;
- зоны разломов кристаллического фундамента;
- глубинные магмопроводящие разломы, определяющие зоны максимальной мощности ловушек.

На нефтегазоконденсатных месторождениях Восточной Сибири мощность ловушечной интрузии различна и значительно отличается от одной кустовой площадки к другой в пределах от 140 до 450 м по стволу скважины как правило, в коллекторах интрузий отмечают относительно меньшие значения пластового давления флюидов, интервалы солей и эндогенной трещиноватости [3].

В зависимости от соотношения с вмещающими осадочными породами различают согласные (конкордантные) и несогласные (дискордантные) интрузивные тела. К согласованным интрузивам относятся сели, лаколиты, факолиты, лополиты и частично согласованные траппы – магматические диапиры. Непременным элементом согласованных тел является магматический канал, или "ножка" интрузива, которая имеет вид столбообразного или дайковидного тела. Обычно магматические диапиры активно воздействуют на вмещающие породы, деформируя их. Диапированная складка по А.К. Корсакову представлена на рис. 1.

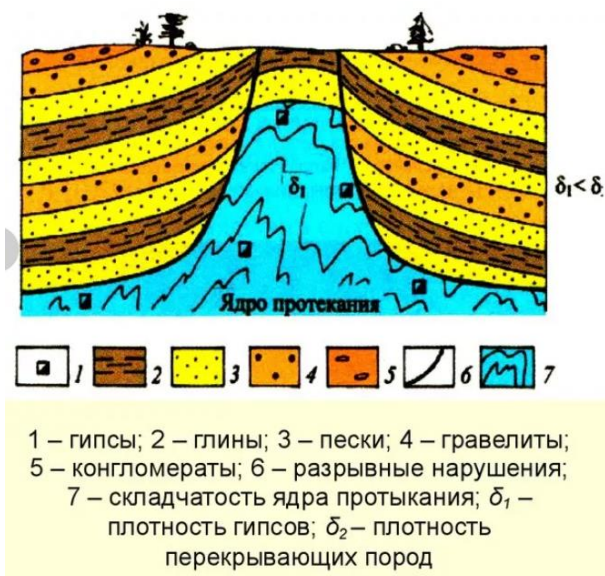


Рисунок 1. Диатировая складка

Траповый интрузии – это пластообразные тела, залегающие параллельно наслоению вмещающих пород, образуются на сравнительно небольших глубинах. Отдельные силы траповых формаций в Восточной Сибири достигают мощности 400 м, а площадь достигает нескольких тысяч километров. Интервалы траповых интрузий состоят из крепких пород и представлены долеритами с высокой физико-механической прочностью. Интрузии характеризуются аномально низкими пластовыми давлениями и высокой естественной трещиноватостью, бурение в таких интервалах осложняется зачастую потерями циркуляции бурового раствора.

Среди методов ликвидации осложнений, возникающих на месторождениях республики Саха можно определить следующие:

- подбор рецептур буровых растворов (применение смесей на цементной основе недопустимо, так как они долго застывают, сильно растекаются и очень подвержены температурным изменениям. Например, растворы на основе полиуретанов, т.к. они имеют хорошую вязкость, что позволяет проникать в любые трещины, закрывая их;
- бурение интервала начинать на пресном полимер-глинистом буровом растворе для перекрытия соленосных отложений и возможных зон поглощения (особую опасность представляют траппы, в которых возможно интенсивное поглощение ПЖ до полной потери циркуляции), исходя из опыта ранее пробуренных скважин, с целью предупреждения поглощений бурового раствора,
- бурение роторной КНБК с естественным падением зенитного угла с интенсивностью 0,3 град/10м до значения 22,84° в интервале залегания траповых интрузий 744-844м – по вертикали (753,8-863,7м – по стволу);
- разбуривание цементного стакана, ЦКОД и БКМ, а также работы в колоннах по разбуриванию устройств ступенчатого цементирования УСЦ, производить шарошечным долотом без боковой армировки твердосплавными вставками или со срезанными периферийными зубьями, при необходимости применения в компоновки

бурильной колонны утяжеленных бурительных труб, применять гладкие неармированные УБТ (ТБТ) без центрирующих устройств [4].

- для возможности очистки забоя скважины от посторонних предметов с промывкой и проработкой ствола скважины на буровой рекомендуется иметь металлошламоуловитель МШУ/195.;
- ограничить производительность буровых насосов и скорость проходки для предотвращения поглощений в интервале траптовых интрузий. Для ликвидации поглощений необходимо иметь на буровой разнофракционные инертные наполнители с возможностью их прокачки через КНБК, материалы для оперативного приготовления кольматационных и комбинированных пачек, а также цементных мостов.

Выводы

Вышеописанные геологические проблемы представляют собой приоритетную проблему, требующую решения, и разработки методологии решения проблемы, которая требует комплексного подхода к технологиям и оперативным способам достижения результата.

Также предполагается, что технология борьбы с поглощением в трещиноватой формации должна сосредоточиться и на развитии больших данных и интеллекта, а также адаптивных и эффективных интеллектуальных материалах для борьбы с поглощением, который должен постоянно разрабатываться, и закладывать теоретическую основу для повышения эффективности контроля поглощения в трещиноватом пласте.

Библиография

1. Акулов, Н. И. Особенности геологического строения Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения / Н. И. Акулов, Р. Р. Валеев. - Текст: непосредственный // Известия Иркутского гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. - 2016. - Т. 18. - С. 3-13.2.
2. Новиков Д. А., Гордеева А. О., Черных А. В., Дульцев Ф. Ф., Житова Л. М. Влияние трапвого магматизма на геохимию рассолов нефтегазоносных отложений западных районов Курейской синеклизы (Сибирская платформа) / Текст : непосредственный // Геология и геофизика. – 2021. - № 6. – С.861-881
3. Тузов Е.В., Кутузова Т.Ю. Технологические решения в бурении траптовой интрузии на Среднеботуобинском нефтегазоконденсатном месторождении (Восточная Сибирь). Текст : электронный // Науки о Земле и недропользование. 2021; №44(3). – С.261-270. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2021-44-3-261-270>.
4. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности». Серия 08. Выпуск 19.- М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2020.- 183с. - Текст : непосредственный
5. Фомин, А. М. Ботуобинский продуктивный горизонт (условия формирования, строение и перспективы нефтегазоносности) / А. М. Фомин, С. А. Моисеев - Текст : непосредственный // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2012. – № 1(2). – С. 19–23.

Обоснование эффективных методов кислотной обработки коллекторов с целью повышения нефтеотдачи. Садыкова А.Р. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», alinka.99.sadykova@mail.ru), Соловьев Н.В. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», solovyevnv@mgru.ru)*

Аннотация

В работе изучены основные методы кислотной обработки коллекторов. Разобраны основные этапы проведения кислотной обработки и различные механизмы воздействия на коллектор.

Ключевые слова

Кислотная обработка, повышение нефтеотдачи.

Теория

Кислотные обработки представляют собой технологии, увеличивающие приток флюида к забою добывающей скважины. При вскрытии пласта призабойная зона пласта теряет свои первоначальные фильтрационно-емкостные свойства. Нарушается структура порового пространства, происходит коагуляция поровых каналов, наблюдается вынос механических примесей. При длительной эксплуатации скважины за счет смешивания неодинаковых по составу пластовых и закачиваемых вод происходит изменение напряженно - деформируемого состояния призабойной зоны пласта, что также приводит к ухудшению фильтрационно-емкостных свойств.

Как правило, кислотные обработки в песчаниках протекают по одной и той же схеме и заключаются в нескольких последовательно повторяющихся стадиях:

1. Предварительная промывка. Осуществляется солевым раствором хлорида аммония, ксилолом или толуолом. Служит для вытеснения воды, содержащей несовместимые с кислотой катионы (натрия, калия и кальция), как можно дальше от ствола скважины для предотвращения осадкообразования.
2. Промывка. Производится раствором соляной кислоты или органической кислотой. Предназначается для удаления карбоната кальция из матрицы пласта во избежание выпадения осадка фторида кальция.
3. Закачка основного кислотного состава. Обычно его роль играет либо глинокислота (смесь соляной и плавиковой кислот), либо глинокислота (смесь соляной, плавиковой и борной кислот), или же их заменители. Основной кислотный состав удаляет илы и глины, загрязняющие пласт.
4. Закачка продавочной жидкости. Жидкость для продавки, в качестве которой обычно выступает нефть, вода или солевой раствор, вытесняет отработавшую кислоту из ПЗП вглубь пласта, предотвращая выпадение осадков вблизи ствола скважины.

Подбор оптимального состава для обработки коллекторов зависит от состава коллектора и типа обработки. Для карбонатных пород обычно используется раствор соляной кислоты, для терригенных рекомендуется применять глинокислотный раствор. Также помимо выбора кислоты необходимо уделить внимание выбору ингибиторов, стабилизаторов и ПАВ[4].

Для интенсификации кислотных обработок возможны различные технологические приемы, в том числе применение составов с регулируемыми физико-химическими характеристиками. Например, в зависимости от пластовой температуры, используются различные концентрации кислот, а также замедление скорости реакции кислотного состава с породой, с целью увеличения охвата кислотой зоны обработки, за счет использования дисперсных систем (пен, гидрофобных эмульсий, гелей) или за счет применения замедлителей скорости реакции кислоты с породой[5].

1. Обработка газированной кислотой. Она представляет собой смесь обычной для обработок кислоты с газом (природный газ, воздух, углекислый газ или азот). Делятся по содержанию газовой фазы на аэрозоли (преобладает газовая фаза) и газированные кислоты (преобладает жидкая фаза). По мере насыщения газа происходит рост проникающей способности кислоты, так как происходит снижение поверхностного натяжения на границе с породой. Это позволяет раствору проникать даже в самые мелкие трещины [2].
2. Обработка вспененной кислотой. Пенокислота обладает большей вязкостью, что обеспечивает более глубокое проникновение кислоты в пласт за счет снижения скорости реакции вспененной кислоты с породой. Время разветывания пены может быть увеличено за счет использования колтюбинговых установок, способных быстро доставлять кислотно - пенную систему в пласт[1].
3. Термопенная кислотная обработка (TFAT). Представляет собой метод физико-химического воздействия, подходящий для карбонатных пластов – известняков, доломитов и доломитизированных известняков. Кислота нагревается непосредственно в скважине рядом с зоной нагнетания, чтобы максимизировать тепловой эффект. Тепло плавит высокомолекулярные молекулы нефти, очищает поверхность породы от масляного блеска (остаточной нефти) и ускоряет разрушение HCl. Это разрушение помогает предотвратить преждевременное отложение дисперсных кольматантов, а также снизить скорость коррозии подземного оборудования. Образующаяся пена служит отводом для следующего импульса закачиваемой активной кислоты, предотвращая нежелательную стимуляцию высокопроницаемых прослоек и трещин. Поверхностно-активные вещества в кислотном растворе улучшают его способность проникать в поры и микротрещины. Механизм показан на рисунке 1.
4. Гелеобразные кислотные обработки. Когда желирующие агенты вводятся для получения вязкой кислоты, на поверхности образуется желеобразная кислота. Давление нагнетания при этой процедуре выше, чем при использовании загустевшей кислоты, из-за большей потери давления в колонне скважины. Гелеобразные кислоты представляют собой системы на основе полимеров, состоящие из раствора кислоты (в основном HCl), ингибитора коррозии, смешанного с полимером, сшивающего агента, буфера и деструктора[3].

5. Кислотный гидравлический разрыв пласта (КГРП). Глубина проникновения активной кислоты в пласт определяется, при прочих равных условиях, темпом ее нагнетания и скоростью реагирования с породой пласта. Увеличение темпа нагнетания и объемов кислотных растворов в карбонатных породах предполагает проведение кислотного гидроразрыва пласта. При закачке кислотного раствора с высоким расходом жидкости происходит раскрытие естественных или образование искусственных трещин в продуктивном пласте и при дальнейшей закачке кислоты – разъедание кислотным раствором образованных трещин с сохранением их высокой пропускной способности после окончания процесса и снятия избыточного давления. В результате реакции с кислотой поверхность трещины приобретает неровную форму. После кислотного гидроразрыва трещина представляет собой систему сообщающихся каналов.

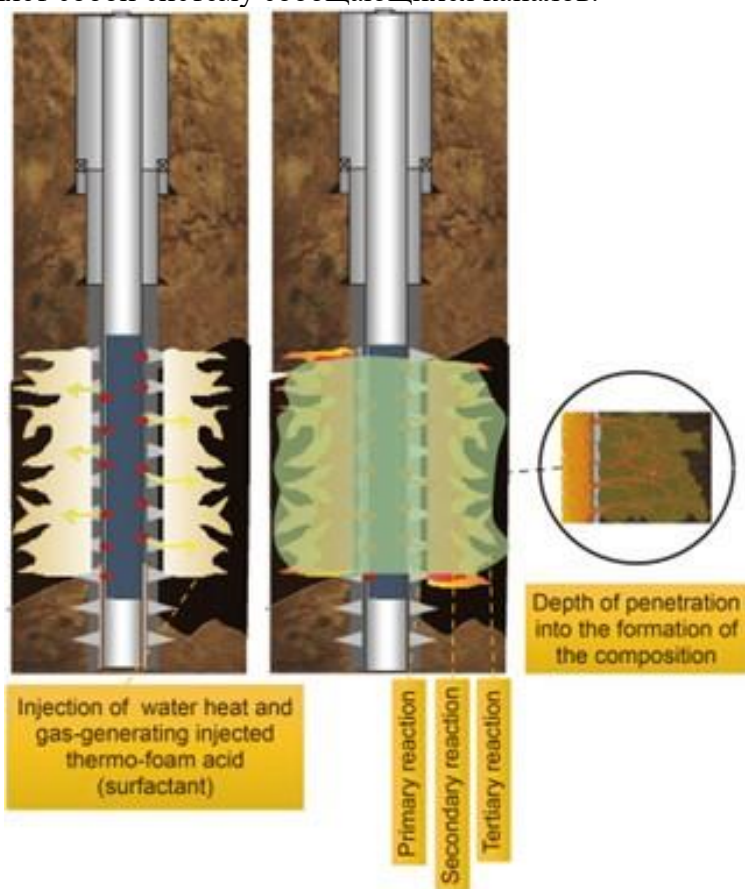


Рисунок 1. Механизмы, связанные с термокислотной обработкой скважин.

Выводы

В процессе разработки месторождения необходимо совершенствовать используемые технологии для того чтобы решать актуальные проблемы. По составам пород, свойствам пластовых флюидов, характеристикам строения продуктивных пластов и другим пластовым условиям происходит выбор метода воздействия на призабойную зону пласта. При проведении кислотной обработки необходимо рассматривать совместимость композиций породы и кислотных растворов и чувствительность этой породы к раствору [6].

Библиография

1. Силин М.А., Магадова Л. А., Цыганков В.А., Мухин М.М., Давлетшина Л.Ф. Кислотные обработки пластов и методики испытания кислотных составов: Учебное пособие для студентов. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. – 120 с.
2. C. Teodoriu, O. Bello, A review of cement testing apparatus and methods under CO2 environment and their impact on well integrity prediction – where do we stand? J. Petroleum Sci. Eng. 187 (2020), 106736.
3. I.S.O. ISO, 16530-1-Petroleum and Natural Gas Industries — Well integrity — Part 1: Life Cycle Governance, 2017, p. 124.
4. J.J. Marrugo-Hernandez, R. Prinsloo, J. Fischer, R.A. Marriott, Downhole chemical degradation of corrosion inhibitors commonly used in shale gas fracturing and stimulation, J. Nat. Gas Sci. Eng. 72 (2019), 103041.
5. NORSOK STANDARD, D-010-Well Integrity in Drilling and Well Operations, 2004.
6. R. Kiran, C. Teodoriu, Y. Dadmohammadi, R. Nygaard, D. Wood, M. Mokhtari, S. Salehi, Identification and evaluation of well integrity and causes of failure of well integrity barriers (A review), J. Nat. Gas Sci. Eng. 45 (2017) 511–526.

Буровое долото для бурения мягких пород с усовершенствованной геометрией калибрующего конуса шарошек. Сериков Д. Ю. (ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина», serrico@rambler.ru), Борейко Д. А. (ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», dboreiko@ugtu.net)*

Аннотация

В статье представлены результаты исследования новой конструкции шарошки бурового долота со смещёнными осями вращения шарошек относительно оси вращения долота. Предлагаемая конструкция отличается геометрическими характеристиками калибрующего конуса шарошки, выполненного в виде кривой четвёртого порядка. Кроме того, для реализации такой поверхности на практике предложено фрезерованное вооружение выполнять с наплавкой из карбида вольфрама для повышения износостойкости.

Ключевые слова

Буровое долото, ось вращения, калибрующая поверхность, разрушение породы, стенка скважины

Теория

Эффективность шарошечного бурения зависит от большого количества различных факторов, которые можно разделить на технологические и конструктивные [6]. Широко известно, что конструктивно долото представляет собой породоразрушающий инструмент с шарошками, которые вооружены зубьями и имеют возможность вращаться вокруг собственной оси [2]. В большинстве случаев в конструкциях долот отсутствует смещение осей вращения шарошек относительно оси вращения долота, что позволяет снизить износ вооружения при бурении крепких, твердых и пород средней твердости, а также пород, обладающих повышенной абразивностью. Однако, такие долота обладают не самой высокой механической скоростью бурения и проходкой на долото при бурении мягких пород. Для увеличения механической скорости бурения при бурении мягких пород используют смещение осей вращения шарошек, которое позволяет увеличить проскальзывание зубьев вооружения по всей площади забоя [1]. Однако, анализ износа вооружения шарошечных буровых долот со смещёнными осями вращения шарошек, после отработки в реальных условиях бурения нефтяных и газовых скважин, позволил установить важную особенность этого процесса – это «зализывание» угла, образованного пересечением периферийного основного и калибрующего конусов шарошек и увеличение площади площадки притупления зубьев периферийных рядов шарошек, что приводит к быстрой потере диаметра долота и, соответственно, диаметра самой скважины, снижению разрушающей способности [3, 4].

Предлагается внесение существенных коррективов в геометрию зубчатого вооружения шарошек, позволяющих обеспечить наиболее полноценный и длительный контакт основных и калибрующих конусов шарошек с поверхностью забоя и стенки скважины, что позволит снизить повышенный износ зубьев вооружения в зоне перехода образующей от периферийного основного к тыльному конусу шарошек и, в свою очередь, даст возможность зубчатому вооружению шарошек более длительный период

времени сохранять требуемое удельное давление на разрушаемую породу, диаметр долота и, как следствие, обеспечит увеличение механической скорости. [5]

Меньшее основание калибрующего конуса выполнено со стороны задней части шарошки, контактирующей с цапфой, оно имеет точку M_1 контакта со стенкой скважины, а большее основание проходит от калибрующей вершины периферийного ряда зубьев шарошки, имеющей вторую точку M_2 контакта со стенкой скважины. Образующие основного и калибрующего усеченного конуса тела каждой шарошки имеют прямые линии, при этом ряды фрезерованных зубьев шарошки образованы на основном конусе тела шарошки так, что режущие кромки их фрезерованных зубьев расположены на образующей основного конуса тела шарошки, причем смещенная ось вращения каждой шарошки выполнена с возможностью проскальзывания зубьев вооружения по всей площади забоя и образована параллельно по отношению к ее несмещенному положению оси вдоль радиуса долота, в сторону вращения долота, при этом расстояние от смещенной оси вращения каждой шарошки до ее несмещенного положения постоянно для каждой шарошки и имеет величину «у» поперечного смещения, кроме того смещенная ось вращения каждой шарошки смещена от несмещенного положения оси так, что вершина шарошки, лежащая на смещенной оси ее вращения, смещена от центра вращения долота вдоль несмещенного положения оси на постоянное для каждой шарошки расстояние в сторону от указанных точек контакта соответствующей шарошки со стенкой скважины, при этом указанное расстояние имеет величину «х» продольного смещения (рисунок 1).

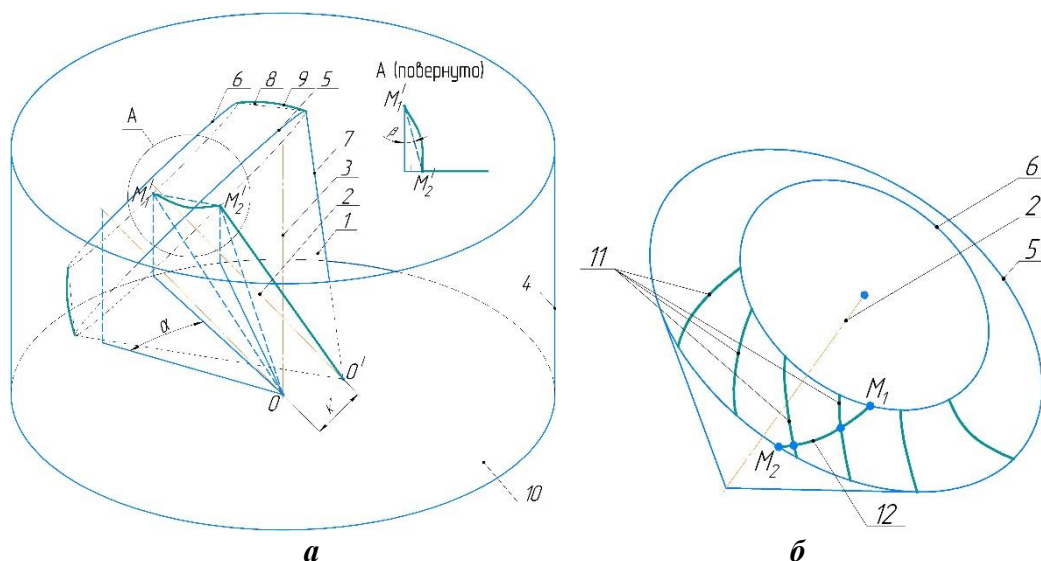


Рисунок 1. а) - шарошка со смещенной осью вращения с твердосплавным слоем;
б) - расположение режущих кромок

1 – шарошка; 2 – ось шарошки, 3 – ось вращения долота, 4 – стенка буровой скважины (пробуриваемого ствола), 5 – большее основание калибрующего усеченного конуса, 6 – меньшее основание калибрующего усеченного конуса, 7 – прямая образующая калибрующего усеченного конуса тела шарошки, 8 – твердосплавный слой; 9 – калибрующая поверхность твердосплавного слоя с профилем в виде выпуклой кривой, 10 – поверхность текущего забоя буровой скважины, 11 – режущие кромки ряда фрезерованных зубьев между большим и меньшим основаниями калибрующей поверхности шарошки, 12 – линия контакта стенки скважины с калибрующей поверхностью твердосплавного слоя

Рисунок 1. Усовершенствованная конструкция шарошки

Новизной конструкции шарошки является то, на внешнюю поверхность указанного калибрующего усеченного конуса металлического тела каждой шарошки нанесен твердосплавный слой 8 с возможностью образования калибрующей поверхности, при этом профиль внешней поверхности этого слоя выполнен с образующей в виде выпуклой кривой 9, каждая точка которой образована пересечением калибрующей поверхности твердосплавного слоя со стенкой скважины при перекачивании шарошки по забою во время вращения бурового долота. Форма выпуклой кривой представляет собой выпуклую кривую четвертого порядка. На меньшем 6 и большем 5 основаниях калибрующего усеченного конуса тела шарошки толщина твердосплавного слоя уменьшается до нуля, образуя соответствующие указанные первую и вторую точки (M_1 , M_2) контакта тела шарошки на меньшем и большем основаниях со стенкой скважины. Точка M_1 контакта тела шарошки со стенкой скважины расположена на меньшем основании на минимально возможном расстоянии от цапфы долота, рассчитываемом для образования стенки шарошки необходимой прочности у ее уплотнительного узла. Эта точка контакта тела шарошки со стенкой скважины образует угол выхода α , построенный в проекции горизонтального забоя скважины между двумя лучами, где один луч проходит от центра долота по радиусу скважины параллельно оси шарошки, а второй луч проходит от центра долота до проекции горизонтального забоя скважины точки M_1 . Вторая точка M_2 контакта тела шарошки со стенкой скважины расположена на большем основании со смещением от указанной первой точки M_1 контакта на угол отклонения β , построенный в проекции стенки скважины между лучом вдоль стенки скважины и лучом от точки M_1 контакта к проекции стенки скважины второй точки M_2 контакта тела шарошки со стенкой скважины. При этом указанные угол выхода α и угол отклонения β имеют установленную исследованиями зависимость друг от друга и связаны соотношением $\beta = (0,114\dots 0,293)\alpha$.

Твердосплавный слой представляет собой наплавку из карбида вольфрама. Именно нанесение на калибрующую поверхность твердосплавного слоя и выполнение калибрующей поверхности твердосплавного слоя в виде выпуклой кривой, у которой каждая точка контактирует со стенкой скважины, при этом тело шарошки контактирует со стенкой скважины на большем и меньшем основаниях, а в других местах контакт идет с твердосплавным слоем, приводит к повышению эффективности работы шарошечного бурового долота путем снижения износа переходной зоны от калибрующей поверхности к основному конусу. Между большим и меньшим основаниями калибрующего усеченного конуса выполнен ряд фрезерованных зубьев, режущие кромки которых расположены на образующей калибрующего усеченного конуса тела шарошки, при этом режущие кромки указанных фрезерованных зубьев выполнены так, что по меньшей мере две режущие кромки указанного ряда фрезерованных зубьев пересекают линию контакта стенки скважины с калибрующей поверхностью твердосплавного слоя, расположенную между указанными первой M_1 и второй M_2 точками контакта стенки скважины с калибрующей поверхностью твердосплавного слоя. Твердосплавный слой может представлять собой, например, наплавку из карбида вольфрама, как один из наиболее технологичных и точных методов нанесения твердосплавного слоя, что обеспечит дополнительное эффективное калибрующее воздействие.

При работе долота калибровка стенок скважины осуществляется одновременно по всем точкам контакта калибрующей поверхности шарошки, начиная от точки на меньшем основании калибрующего усеченного конуса тела шарошки, продолжаясь точками контакта твердосплавного слоя шарошки и заканчивая точкой контакта на большем основании калибрующего усеченного тела шарошки.

Выводы

Вышеописанная конструкция долота с конкретным вышеописанным расположением на его шарошке твердосплавного слоя в определенном месте калибрующего усеченного конуса позволяет существенно снизить интенсивность изнашивания калибрующих поверхностей смещенных шарошек так, чтобы многократно увеличить точки контакта не самим телом шарошки, а более износостойким твердосплавным слоем. Таким образом, предложенное буровое шарошечное долото со смещенными осями вращения шарошек обеспечивает повышение эффективности разрушения породы забоя.

Библиография

1. Богомолов, Р. М. Анализ конструктивных особенностей двухшарошечных буровых долот / Р. М. Богомолов, Д. Ю. Сериков, Д. А. Борейко // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2020. – № 5 (119). – С. 5-9.
2. Ищук, А. Г. Шарошечный буровой инструмент / А. Г. Ищук, Д. Ю. Сериков // Монография. – М : МДМпринт, 2021. – 302 с.
3. Сериков, Д. Ю. Исследования взаимодействия периферийных венцов буровых долот с отрицательным смещением осей шарошек с забоем и стенкой скважины / Д. Ю. Сериков, Д. Н. Левитский, А. С. Кузнечиков, Д. А. Борейко // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2022. – № 5 (353). – С. 21-28.
4. Сериков, Д. Ю. Исследование взаимодействия калибрующих конусов шарошек со смещенными осями со стенкой скважины в многофункциональной системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D / Сериков Д.Ю., Борейко Д.А. // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2022. – № 3 (584). – С. 31-36.
5. Сериков, Д. Ю. Математическое моделирование геометрии калибрующих конусов шарошек со смещенными осями вращения / Д. Ю. Сериков, А. А. Лютоев, Д. А. Борейко // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2022. – № 2 (307). – С. 136-146.
6. Шигин, А. О. К вопросу о повышении эффективности разрушения горных пород шарошечными долотами / А. О. Шигин, Д. А. Борейко, Д. Ю. Сериков // Территория Нефтегаз. – 2022. – № 3-4. – С. 24-31.

Механизм дифференциальных прихватов при бурении в активных шоколадных глинах. Соколенко С.С. (МГРИ, sokolstas25@gmail.com), Соловьев Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgi.ru)*

Аннотация

Механизм дифференциальных прихватов: если давление, оказываемое гидростатическим напором бурового раствора, превышает пластовое давление, а пласт является пористым, проницаемым или трещиноватым; также, если поверхностный контакт значителен и есть толстый осадок на фильтре, то труба прижимается к боковой стенке скважины и давление блокируется на месте.

Дифференциальное давление (перепад между гидростатическим и пластовым) прижимает колонну к стенке скважины.

Ключевые слова

Осложнения, прихваты, глины, давление, фильтрация.

Теория

Дифференциальный прихват возникает тогда, когда под действием разности давлений в скважине и в проницаемом пласте неподвижная буровая колонна вдавливается в фильтрационную глинистую корку, образовавшуюся на открытой поверхности этого пласта. Трение между буровой колонной и породой пласта возрастает настолько, что невозможно сдвинуть колонну с места. Такие прихваты возникают чаще всего в скважинах, пересекающих истощенные продуктивные пласты. И если буровая колонна долго остается неподвижной, то почти всегда возникает дифференциальный прихват.

Заклинивание на участках со сложной геометрией ствола происходит там, где форма КНБК не соответствует форме ствола. Иногда КНБК не может свободно пройти через такой участок. Если же КНБК продвигают в такой участок под большой нагрузкой, возможен прихват.

Есть несколько факторов, способствующих возникновению дифференциального прихвата: проницаемые пласты, репрессия на пласт, толстая фильтрационная корка, контакт колонны со стенкой скважины, неподвижное состояние буровой колонны, время, поперечное усилие в местах искривления буровой колонны, невнимательность бурильщика.

Одно из основных условий возникновения прихвата – превышение забойного (гидростатического) давления над давлением в проницаемом коллекторе, которое существует всегда, поскольку это неизменное условие безопасности бурения скважины. Второе неперемное условие возникновения дифференциального прихвата – нахождение инструмента в неподвижном состоянии (при наращивании и др. процессах) в интервале проницаемого пласта. В зависимости от величины показателя фильтрации бурового раствора дифференциальный прихват может возникнуть в течение нескольких минут при перечисленных выше условиях.

Другими условиями возникновения дифференциального прихвата являются образование липкой фильтрационной корки на стенке скважины, возникновение механической прижимающей силы в виде нормальной составляющей веса труб в наклонно направленных скважинах и в искривленных участках ствола вертикальных скважин, оставление бурильной колонны без движения на какое-то время. Обычно циркуляция бурового раствора при возникновении прихвата не прекращается.

Глинистая корка представляет собой структурированные агрегаты глинистых частиц, связанных между собой молекулярными и электростатическими силами сцепления по типу «карточный домик».

Характерной особенностью глинистых частиц является то, что они обладают избытком поверхностной энергии и за счет этого связывают значительное количество воды в объеме глинистой корки. Толщина пленок воды, связанной частицами монтмориллонита, достигает 50 нм. Связанную воду разделяют на близкую - прочносвязанную и дальнюю - рыхлосвязанную. Исследования свойств прочносвязанной воды на глинистых минералах показали, что в действительности это уже не физическая свободная вода, а адсорбционная связанная вода, входящая в кристаллизационные структуры элементарных пластинок (слоев) глинистых минералов.

Именно присутствие этой адсорбционной ориентированной воды в слоях на частицах глины определяет их способность к взаимодействию с другими контактными поверхностями, которая выражается в их адгезионной активности (липкости).

Степень сложности прихвата зависит от величины дифференциального давления, площади контакта колонны труб со стенками скважины и коэффициента трения между поверхностью колонны труб и глинистой коркой.

Профилактические меры - минимизировать время нахождения колонны бурильных труб в статическом положении (наращивание, ремонт, исследования); перед остановками увеличивать время промывки; обеспечить оптимальные параметры раствора; закупорить проницаемые зоны; ограничить скорость бурения, чтобы дать время для закупорки стенок скважины; максимально центрировать КНБК, применять спиральные УБТ; по возможности не проводить ГИС в зоне коллектора; сократить потери БР до минимума; информирование буровой бригады: члены вахты должны знать глубину проницаемых пластов и величину репрессии в этих зонах.

Принцип ликвидации дифференциального прихвата заключается в снижении градиента (перепада) давления на стенку скважины в направлении проницаемого пласта путем разупрочнения и разрыхления фильтрационной корки, находящейся в зоне дифференциального прихвата. Наиболее эффективный способ заключается в проникновении антиприхватной жидкости сквозь фильтрационную корку бурового раствора путем растрескивания, что позволяет сделать ее проницаемой для углеводорода за счет образования в ней каналов большого диаметра, и, как следствие, увеличения фильтрации жидкости в зоне прихвата. По образовавшимся каналам углеводородная жидкость поступает из скважины в поры пласта и снижает перепад давления в системе «скважина – пласт», что приводит к «освобождению» от дифференциального прихвата. Для ускорения растрескивания и фильтрации антиприхватной жидкости необходимы специальные поверхностно-активные добавки, позволяющие облегчить проникновение углеводородного носителя через фильтрационную корку.

В процессе компрессионного уплотнения глинистого материала прослойки связанной воды в коагуляционных контактах частиц твердой фазы между собой и с поверхностью металла приобретают упорядоченную кристаллическую структуру льда. Это как бы «отвердевшая» часть жидкости, находящаяся в ином термодинамическом состоянии под действием поверхностных сил. Существенно важно, что в отличие от «объемной фазы воды прочносвязанная вода практически не передает гидростатического давления.

Вышеизложенное позволяет объяснить факты, когда усилия прихвата труб в скважинах на больших глубинах достигают значений порядка 0,1- 0,5 МН и возрастают от продолжительности неподвижного контакта труб с фильтрационной коркой на стенках скважины. Применяемые буровые растворы должны иметь низкую водоотдачу с целью уменьшения толщины глинистой корки. Прилипание исключается при использовании буровых растворов на углеводородной основе.

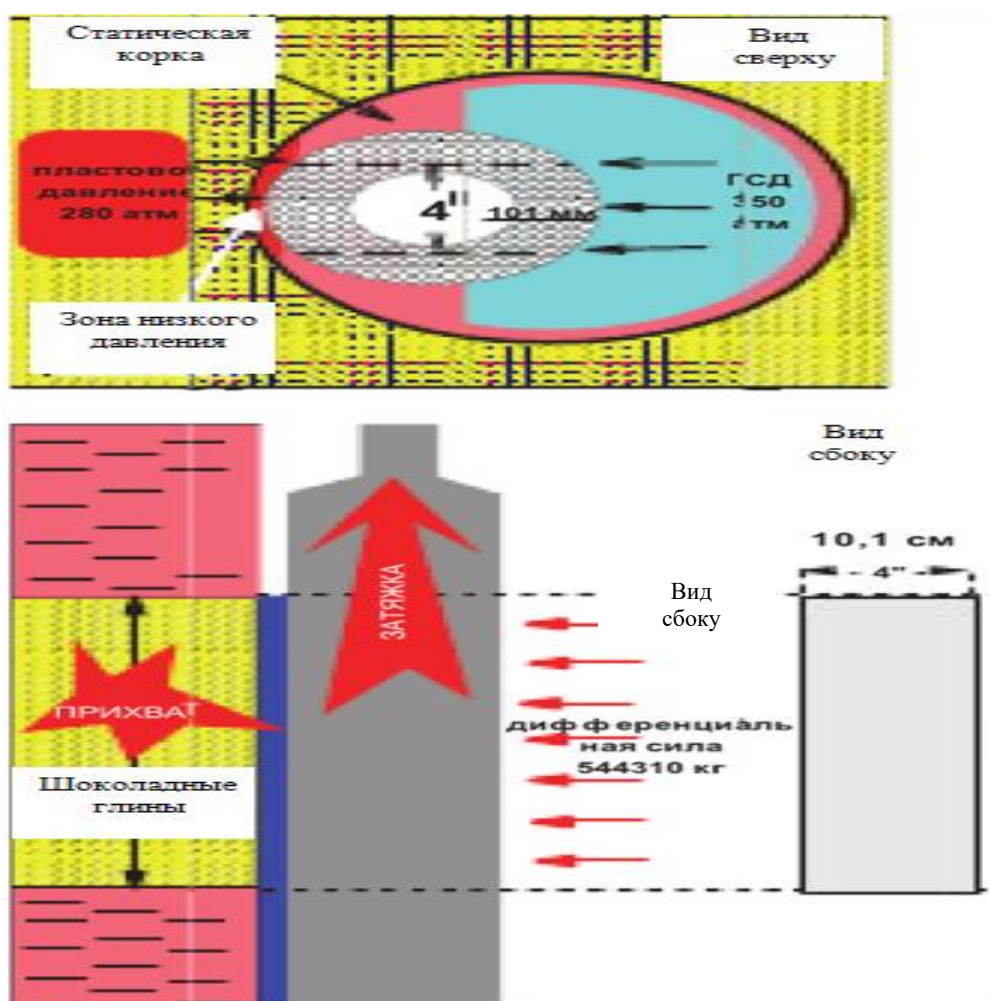


Рисунок 1. Механизм дифференциального прихвата

Выводы

Детальное изучение технологии бурения скважин, геологических осложнений и аварий на Уренгойском нефтегазоконденсатное месторождение (НГКМ) позволяет сделать вывод о том, что применяемый для промывки скважины буровой раствор не

удовлетворяет в полной мере высоким требованиям, необходимым для проходки активных шоколадных глин, особенно в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах. И, как результат, происходит образование на стенках скважины некачественной полимерглинистой корки, обладающей невысокими фильтрующими и ингибирующими свойствами, что приводит к дифференциальному прихвату.

Библиография

1. Булатов А.И., Проселков Е.Ю., Проселков Ю.М. Бурение горизонтальных скважин: Справочное пособие. – Краснодар: Советская Кубань, 2008.– 424 с.
2. Третьяк А.Я., Савенок О.В., Рыбальченко Ю.М. Буровые промывочные жидкости: учебное пособие ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова. – Новочеркасск, ЛИК, 2014. – 374с.
3. Третьяк А.Я., Рыбальченко Ю.М., Бурда М.Л., Онофриенко С.А. Биополимерный высокоингибирующий буровой раствор для бурения наклонно- направленных и горизонтальных скважин//Время колтюбинга. – 2011. – № 2–3 (36). – С. 13–20.

Применение очистного агента на водной основе для бурения скважин в две колонны. Нурумбаев А.А. (МГРИ, artur17-00@yandex.ru). Научный руководитель: Овчинников П. В. (МГРИ, ovchinnikovpv@mgi.ru)

Аннотация

Предлагаемый проект связан с бурением скважин на нефть и газ и ориентирован на уменьшение сроков выполнения буровых работ, а также их стоимости. Решение данной задачи подразумевает использование комбинированной двухколонной конструкции скважины. Для реализации сложного с технической точки зрения проекта необходимо тщательно подобрать режимы бурения.

Для повышения технико-экономических показателей бурения и эффективности проводки скважины необходимо использовать высокоингибирующие системы буровых растворов. Данный проект реализуется посредством применения промывочной жидкости на водной основе с добавлением ингибитора глин “Well-Amin”.

Некоторые крупные компании успешно внедряют инновации, которые оптимизируют параметры бурения и значительно уменьшают сроки строительства скважин. Одним из прорывных решений стало строительство скважин по двухколонной конструкции.

Ключевые слова

Бурение скважин, высокоингибирующий буровой раствор, ингибитор Well-Amin, двухколонная конструкция скважины.

Теория

Well-Amin – аминный реагент комплексного действия на основе смеси полиаминов. Высокоэффективный ингибитор глин предназначен для ингибирования склонных к набуханию глин. Стабилизатор глин обладает бактерицидным эффектом.

Выделяются следующие особенности:

- Well-Amin хорошо растворим в воде, легко дозируется и вводится в любом месте циркуляционной системы бурового раствора.
- Well-Amin совместим с широким спектром типов буровых растворов на водной основе и буровых реагентов, не оказывает отрицательного влияния на технологические параметры растворов.
- Не вызывает пенообразования.
- Well-Amin применим в буровых растворах различного состава, в широком диапазоне температурных и химических условий скважины [3].

Гидратация является частным случаем сольватации — присоединения к молекулам или ионам веществ молекул органического растворителя. Гидратация в водных растворах приводит к образованию стойких и нестойких соединений воды с

растворенным веществом (гидратов); в органических растворителях образуются аналогичные гидратам сольваты.

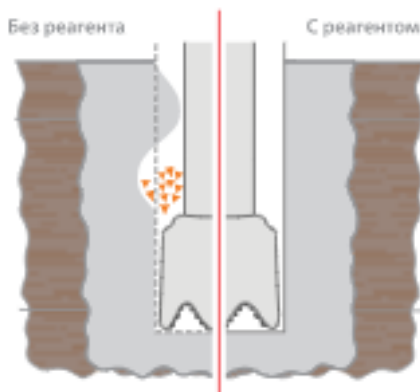


Рисунок 1. Наглядное сравнение стабильности стенок скважины с применением ингибитора и без его использования.

Механизм ингибирования заключается в адсорбции полиаминов на глинистой макроповерхности, максимально снижая ее гидратацию. [4]. Молекулы ингибитора, находящиеся в водной фазе бурового раствора, электронейтральны и поэтому не коагулируют коллоидную глинистую фазу (рис. 1) [1].

Специалисты бизнес-единицы «Буровые растворы и технологии» (ГК «Миррико») уже подобрали оптимальные химические решения из собственной линейки, существенно оптимизировав затраты на строительство скважин.

Успешные результаты внедрения линейки буровых растворов на Well-Amin на месторождениях Западной Сибири, доказывают, что предложенное решение отвечает современным требованиям заказчиков, в том числе при бурении высокотехнологичного типа скважин двухколонной комбинированной конструкции [3].

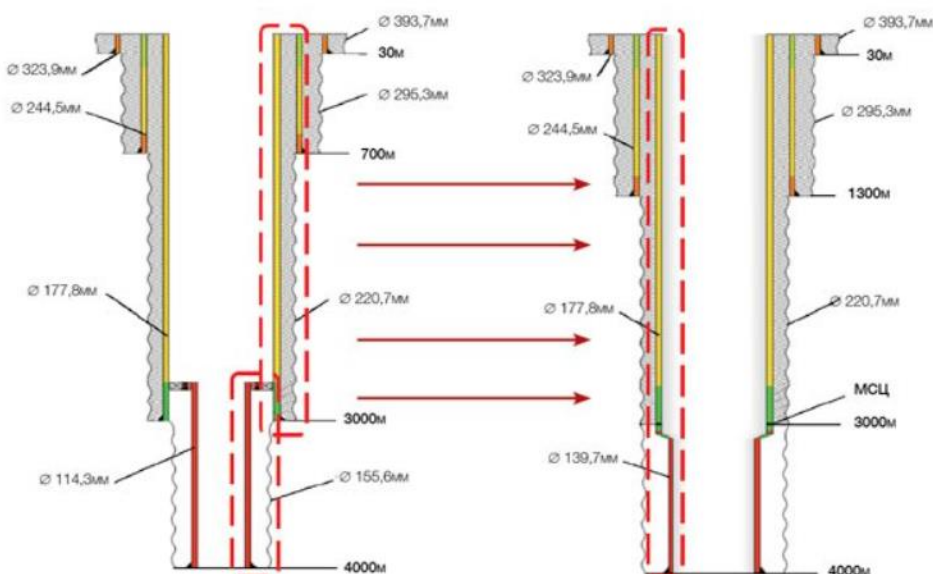


Рисунок 2. Отличие типовой горизонтальной скважины от двухколонной.

Как известно, основным отличием 2КК конструкции (рис.2) от применяемой ранее технологии строительства скважин является объединение эксплуатационной

колонны диаметром 178х9,19мм и компоновки заканчивания для обсадной трубы диаметром 140х9,17мм.

Специалистами ПАО «НК «Роснефть» используется технология строительства горизонтальных скважин по двухколонной конструкции на месторождениях ООО «РН-Юганскнефтегаз». Типовая конструкция горизонтальной скважины на данных месторождениях включала в себя направление, кондуктор, эксплуатационную колонну и хвостовик. При строительстве скважин по двухколонной конструкции бурение под эксплуатационную колонну и хвостовик осуществляется за одно долбление долотом диаметром 220,7 мм с последующим спуском комбинированной колонны 178/140 мм [2]. Таким образом, из цикла строительства скважины исключаются следующие работы:

- шаблонировка с проработками ствола скважины
- после бурения секции под эксплуатационную колонну;
- спуск и цементирование обсадной колонны 177,8 мм;
- ОЗЦ обсадной колонны 177,8 мм;
- геофизические исследования;
- спускоподъёмные операции для смены КНБК.

Опыт строительства скважин по двухколонной конструкции имеется и на объектах общества «Газпромнефть» с комбинированной эксплуатационной колонной 178×140 мм.

Предложенная конструкция скважины обладает следующими преимуществами:

- снижение веса эксплуатационной колонны;
- уменьшение сил трения при спуске обсадной колонны в открытом стволе скважины;
- падение гидродинамических давлений на продуктивные пласты (эффект свабирования) при спуске обсадной колонны;
- снижение гидравлических потерь давления по горизонтальному стволу скважины;
- увеличение допустимой скорости спуска обсадной колонны;
- повышение вероятности спуска эксплуатационной колонны в горизонтальный ствол в силу увеличения кольцевых зазоров в нижних секциях и увеличения веса обсадной колонны в верхних секциях [5].

Было отмечено, что имеется потенциал дальнейшего сокращения сроков бурения, за счет уменьшения непроизводительного времени и оптимизации технологических процессов, с учетом полученного практического опыта в процессе реализации данного проекта. Решением же этой задачи и является переход от РУО к высокоингибированному РВО.

Выводы

Предложено заменить дорогостоящий раствор на углеводородной основе на растворную систему на водной основе с применением ингибитора глин Well-Amin. Подобное комплексное решение позволило сократить затраты заказчика на бурение, а также снизить нагрузку на экологию на локациях Западной Сибири.

Библиография

1. Бойко О.В., Доценко Ю.И., Бойко В.И., Мухамедзянова Р.И., Гудинская Н.И. Диагностическое значение полиаминов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 12-2. – С. 248-251;
2. Журнал ROGTEC Российские нефтегазовые технологии – Журнал: «Роснефть»: Две скважины вместо одной — сокращение сроков бурения. Сложнее — Глубже — Быстрее: сайт – URL:<https://www.rogtecmagazine.com/роснефть-две-скважины-вместо-одной/?lang=ru> (Дата обращения 18.01.2023).
3. Нефтесервисная компания Миррико – Каталог Химических реагентов – Ингибитор активных глин Well-Amin: сайт – URL:<https://mirrico.ru/products/ingibitor-aktivnykh-glin-well-amin/#description> (Дата обращения – 23.01.2023).
4. Справочник химика 21 – Полиамины применение: сайт – URL:<https://www.chem21.info/info/543545/> (Дата обращения – 23.01.2023).
5. Тихонов А.С., Ковалев А.В. Анализ конструкций нефтяных и газовых скважин с целью выявления перспективных направлений дальнейших исследований. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 3. 126–143.

Направления повышения эффективности строительства скважин. П.В. Овчинников* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), ovchinnikovpv@mgri.ru)

Аннотация

Рассмотрены актуальные направления и задачи совершенствования технологий строительства скважин, применения современных технологий и оборудования с целью повышения эффективности и сокращения сроков строительства нефтяных и газовых скважин, обеспечения технологического суверенитета. Рассмотренные задачи могут быть потенциальными темами прикладных исследовательских и проектных работ, выпускных квалификационных работ студентов.

Ключевые слова

Строительство скважины, конструкция скважины, металлоемкость, скважина малого диаметра, оборудование заканчивания, время бурения и крепления

Теория

В последние годы с целью с повышения эффективности, сокращения сроков и стоимости строительства скважин, достижения максимальных эксплуатационных характеристик нефтяных и газовых скважин сложилась системная практика реализации наиболее перспективных технологий и решений в области бурения и заканчивания скважин [1-4]. При бурении скважин активно применяются верхние силовые привода (ВСП) и роторно-управляемые системы (РУС), РУС совместно с силовой секцией винтового-забойного двигателя (ВЗД), современные типы долот PDC и модели ВЗД, реализующие наиболее эффективные режимы и показатели бурения. Реализованы технология бурения на обсадных трубах и технология бурения с контролем давления MPD (managed pressure drilling). Разрабатываются и вводятся новые типы высокогерметичных и высоко-моментных резьбовые соединений обсадных труб, материалы для обсадных и насосно-компрессорные трубы высокой прочности и применения в условиях аномально-высоких температур. Выполняется постоянный поиск и внедрение современных буровых и тампонажных растворов. Для выполнения геофизических работ (ГИС) используется системы каротажа в процессе бурения LWD (logging while drilling), тракторные системы ГИС для скважин с большой протяженностью горизонтального ствола. При заканчивании скважин широко применяются: современные модели противопесчаных проволочных фильтров, сетчатых (многослойных с сеткой сложного плетения и дисперсным/фильтрующим слоем) фильтров, фильтров с гравийной набивкой различных конструкции; эффективные заколонные набухающие пакера; оптоволоконные системы передачи данных; трассерные системы мониторинга притока; пассивные, адаптивные и активные устройств контроля притока различных систем управления. Освоены системы заканчивания боковых стволов высокого уровня сложности (TAML-5), интеллектуальные системы заканчивания и управления работой скважин. Реализации современных технологий при строительстве скважин в Российской Федерации позволила достигнуть ряда мировых рекордов.

С учетом достигнутых результатов, можно выделить следующие базовые актуальные направления и мероприятия, предусматривающие совершенствование

технологий и технологических процессов, инженерного и методологического обеспечения, тиражирование лучших практик:

1. Оптимизация конструкций скважин, за счет реализации следующих решений:

- снижение металлоемкости конструкций скважин при применении обсадных труб более высоких групп прочности при снижении толщины стенки с сохранением требований надежности (обеспечения необходимого запаса прочности);

- уменьшение глубин спуска кондукторов и промежуточных колонн в связи с уточнением геологических условий (выявление отсутствия промежуточных напорных или продуктивных горизонтов, уточнение градиентов давлений по разрезу, уточнение характера насыщения или величины пластового давления в целевом горизонте, применение эффективных буровых растворов, обеспечивающих устойчивость ствола в отложениях, требующих перекрытия удлиненным кондуктором или промежуточной колонной и др.);

- уменьшение диаметров обсадных колонн в связи с уточнением ожидаемых дебитов или, например, уточнением «окна» возможной эквивалентной циркуляционной плотности бурового раствора в интервале при оптимизации профиля скважины;

- исключение отдельных обсадных колонн в конструкции скважин (например, реализация трехколонной конструкции скважин с горизонтальным окончанием в Западной Сибири [2], в том числе многозабойных – представлена рис. 1). Достигнутая эффективность – рекордное время бурения и крепление горизонтальной скважины на пласты группы АВ – 10...12 сут., снижение металлоемкости конструкции скважины – 20 %;

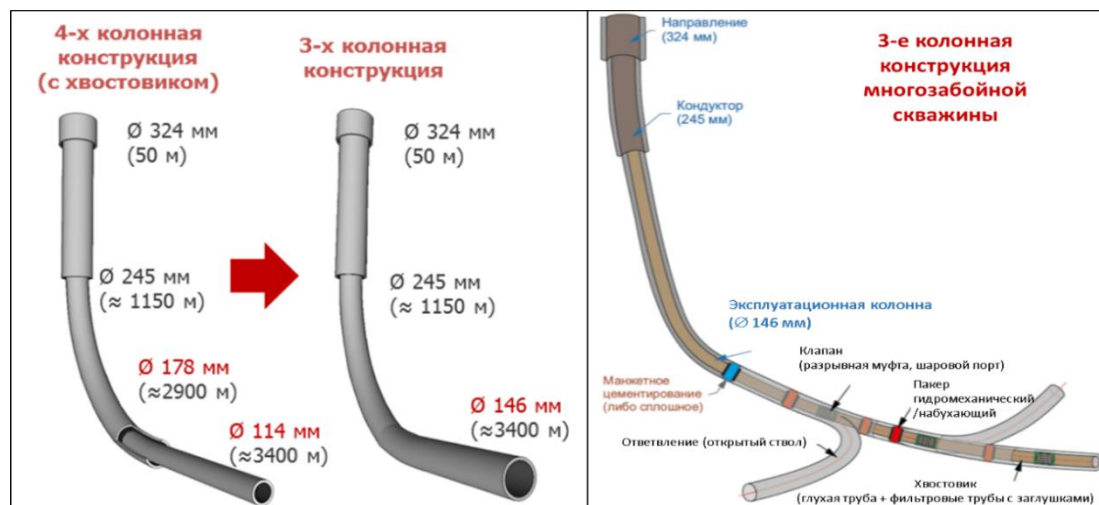


Рисунок 1. Пример реализации трехколонной конструкции скважины на месторождениях Западной Сибири (схемы конструкций скважин).

- замена сплошной эксплуатационной колонны в конструкциях скважин на колонну хвостовик в допустимых геолого-технических условиях;

- переход на строительство скважин малого диаметра (СМД) на месторождениях, находящихся в длительной разработке. В практике работ принято относить к скважинам СМД скважины с эксплуатационной колонной диаметром 114,3 мм и менее. Многолетний опыт строительства СМД в ПАО «Татнефть» подтверждает возможность существенно сократить сроки и стоимость бурения. Техническая возможность строительства СМД апробирована на месторождениях Западной Сибири и в других регионах.

- детальный анализ геологической и технологической целесообразности бурения пилотных стволов при строительстве горизонтальных скважин с целью оптимизации количества бурения пилотных стволов при выполнении программы бурения (опыт работ крупных нефтяных компаний показывает возможность сократить необходимость бурения пилотных стволов с 70% до 25% от общего количества строящихся горизонтальных скважин).

2. Оптимизация комплекса ГИС будет способствовать как сокращению сроков бурения, так и выбору рациональной конструкции скважины:

- опыт применения комплекса каротажа в процессе бурения LWD в Западной Сибири показал возможность сокращения времени бурения типовых горизонтальных скважин в среднем на 7,5 сут. за счет исключения традиционных ГИС и затрат времени на подготовку ствола для их проведения. В настоящее время разработан ряд отечественных модулей LWD для отдельных методов. Применение комплекса LWD обеспечивает получить материалы ГИС необходимой информативности, при этом сократить время работы в открытом стволе, способствует возможности объединения интервалов бурения транспортного и горизонтального ствола в один совместимый интервал (отказу от спуска отдельной транспортной колонны).

3. Технологические решения и приемы по оптимизации процессов крепления:

- опережающая забивка колонны направления из электросварных безмуфтовых труб с помощью сваебойного дизель-молота (наиболее эффективна эта практика на суше - на кустовых площадках с большим количеством скважин);

- применение колонных головок типа ОУС (оборудование для обвязки скважины). Выпускаются односекционные, двух и трехсекционные модели. Верхние секции – равнопроходные и монтируются одновременно с нижней секцией. Колонны подвешиваются в трубодержателе муфтового типа. В случае применения многосекционной головки после спуска, цементирования и ОЗЦ кондуктора (промежуточной колонны) обеспечивается возможность продолжить работы по бурению скважины под очередную колонну без перемонтажа ПВО. Ожидаемая экономия времени может составить до 24-36 часов на скважину (в зависимости от конструкции). Решение о применении устьевой обвязки данного типа необходимо принимать с учетом региональных геолого-технических условий (отсутствует возможность натяжения обсадной колонны).

4. Следует отметить необходимость разработки и организации производства современного отечественного оборудования заканчивания и управления притоком скважин, расширение размерного ряда освоенных элементов оборудования в связи с расширением размерного ряда диаметров эксплуатационных колонн (эксплуатационных хвостовиков) при реализации проектов оптимизации конструкций скважин и бурении скважин СМД (фильтровые секции, секции фильтров с гравийной набивкой заколонные гидромеханической активации и набухающие пакера, устройств контроля притока, разрывные, шаровые и многоразовые муфты ГРП, компоновки и оборудования заканчивания, в том числе с проведением ГРП для скважин диаметров СМД и др.).

5. Необходимо отметить актуальность развития направления геомеханического моделирования, в том числе и для решения задач совершенствования конструкций скважин. Уточнение допустимой эквивалентной циркуляционной плотности и оптимизация профиля для ряда горизонтальных скважин с большим отклонением от вертикали на месторождениях Северного Каспия, в результате работ по

геомеханическому моделированию, позволило пересмотреть диаметры используемых буровых долот, и уменьшить диаметры обсадных колонн.

Выводы

Реализация рассмотренных задач и технологий, актуальных как для эксплуатационного, так и для разведочного бурения, позволяет существенно повысить эффективность и сократить сроки строительства скважин, что подтверждается опытом работы ведущих нефтегазовых компаний Российской Федерации. Критерии применимости и области эффективного применения той или иной технологии, необходимо определять с учетом региональных условий объекта производства работ.

Работу по обеспечению эффективности строительства скважин необходимо проводить постоянно, оперативно реагируя на разработку новых технологий и оборудования, изменение доступного рынка оборудования и услуг, уточнение геологических данных, обновление нормативно-правовой базы и актуальные задачи производственной программы предприятия.

Устойчивое развитие отрасли требует решения задач импортозамещения высокотехнологичного оборудования и инструмента, обеспечения технологического суверенитета в области современных передовых технологий, развитие собственных компетенций, в том числе в части научного и инженерного сопровождения и программного обеспечения.

Рассмотренные направления и технологии, их составные задачи, вопросы методического, инженерного и программного обеспечения их реализации, могут быть потенциальными актуальными темами прикладных исследовательских и проектных работ, выпускных квалификационных работ студентов.

Библиография

1. Современные технические средства для строительства скважин с различными геологическими условиями : учебное пособие / В.П. Овчинников, В.И. Вяхирев, С.Н. Бастриков [и др.]. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2020. – 209 с. - ISBN: 978-5-9961-2244-8 - Текст : непосредственный.
2. Сооружение многоствольных (многозабойных) скважин с горизонтальным окончанием / Д.Л. Бакиров, В.П. Овчинников, М.М. Фаттахов [и др.]. – Текст : непосредственный // Нефтепромысловое дело. 2021. № 1 (625). С. 64-69.
3. Технологические решения для строительства скважин на месторождениях высоковязких сланцевых углеводородов / В.П. Овчинников, О.В. Рожкова, С.Н. Бастриков [и др.] - Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2021. № 3 (147). С. 52-62.
4. Требования по управлению процессами строительства скважин : учебное пособие / В.П. Овчинников, Р.Р. Валитов, А.Р. Хафизов [и др.]. – Тюмень, Тюменский индустриальный университет, 2021. - 160 с. - ISBN: 978-5-9961-2610-1 - Текст : непосредственный.

Обзор существующих алмазно-твердосплавных пластин долот PDC. Г.С. Пеливанов * (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, e-mail: 13050465@mail.ru), Лубянова С.И. (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, e-mail 13050465@mail.ru)

Аннотация

Выбор наилучшего породоразрушающего инструмента для определенных условий является одной из проблем, с которой приходится сталкиваться нефтяным компаниям. Безопорные долота завоевали свою популярность благодаря поликристаллическими алмазно-твердосплавными резцами (PDC), увеличивая проходку на долото, механические скорости бурения, сокращая время на спускоподъемные операции и вытесняя тем самым долота шарошечного типа. В статье представлен обзор существующих алмазно-твердосплавных пластин и анализ их конструкции.

Ключевые слова

PDC долота, алмазно-твердосплавные пластины, конструкция PDC резцов

Теория

Все горные породы, слагающие разрез скважины, различны по составу и свойствам. В процессе бурения их разрушают резанием, скалыванием, истиранием, дроблением. Характер разрушения зависит от твердости и пластичности пород. Породы мягкие и пластичные наиболее эффективно разрушаются резанием, а твердые и хрупкие – дроблением.

Основным инструментом для механического разрушения горных пород в процессе бурения скважины является долото.

Долота, оснащенные поликристаллическими алмазными зубками (англ. polycrystalline diamond cutter), относят к классу PDC-долот. К основным достоинствам долот с алмазно-твердосплавными пластинками (АТП) относятся отсутствие в их конструкции подвижных частей, высокая износостойкость, самозатачивающееся действие резцов и низкая требуемая осевая нагрузка на долото. Для создания режущего действия требуется осевая нагрузка на долото на порядок меньше, чем для шарошечных долот при тех же или больших скоростях бурения [1].

Высокая устойчивая механическая скорость бурения обусловлена острой режущей кромкой резцов, низкой скоростью их износа и эффектом самозатачивания резцов во время бурения.

PDC-долота по характеру разрушения горной породы относятся к режуще-скалывающим инструментам. Основу их вооружения составляют двухкомпонентные алмазно-твердосплавные пластинки круглой формы или резцы треугольной формы.

Алмазно-твердосплавные пластинки изготавливают диаметром от 1/2" до 2" (от 12,7 до 50,8 мм). Пластина имеет твердосплавную основу 1, покрытую слоем поликристаллического алмаза 2; толщина алмазного слоя 0,5–0,7 мм. Прочность твердого сплава на изгиб на 70 % выше прочностина изгиб поликристаллического

алмаза. Поэтому в пластинке с послойным расположением этих материалов оптимально сочетаются твердость, износостойкость и прочность на изгиб [3].

Пластинка крепится к твердосплавной опоре методом диффузионной сварки, в результате чего получается элемент вооружения в виде зубка или резца (Рисунок 1), которые непосредственно крепятся к лопастям или секторам долота.

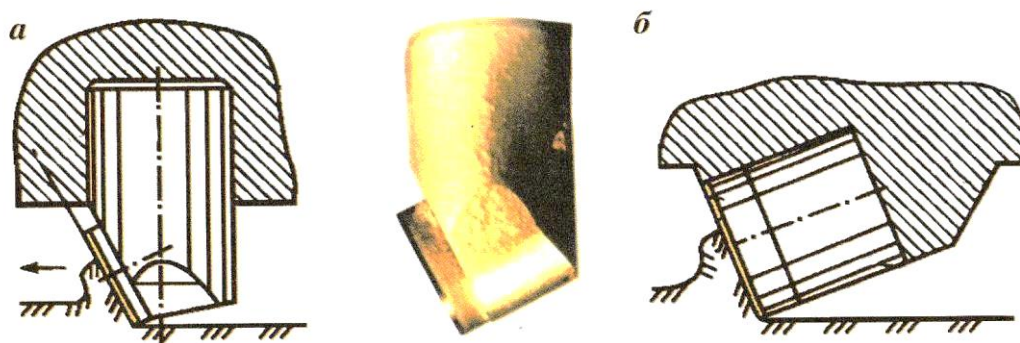


Рисунок 1. Крепление алмазно-твердосплавной пластинки: а – алмазно-твердосплавный зубок; б – алмазно-твердосплавный резец

Для предупреждения разрушения алмазно-твердосплавных пластинок и резцов необходимо исключить в алмазном слое растягивающие напряжения. Поэтому элементы вооружения имеют тупой угол резания ($90^\circ + \alpha$). Например, для АТП угол α составляет не менее 20° [2]. Ограничена глубина внедрения и, соответственно перегрузки резцов. Сзади могут устанавливаться опорные элементы, например, зубки из твердого сплава (Рисунок 2).

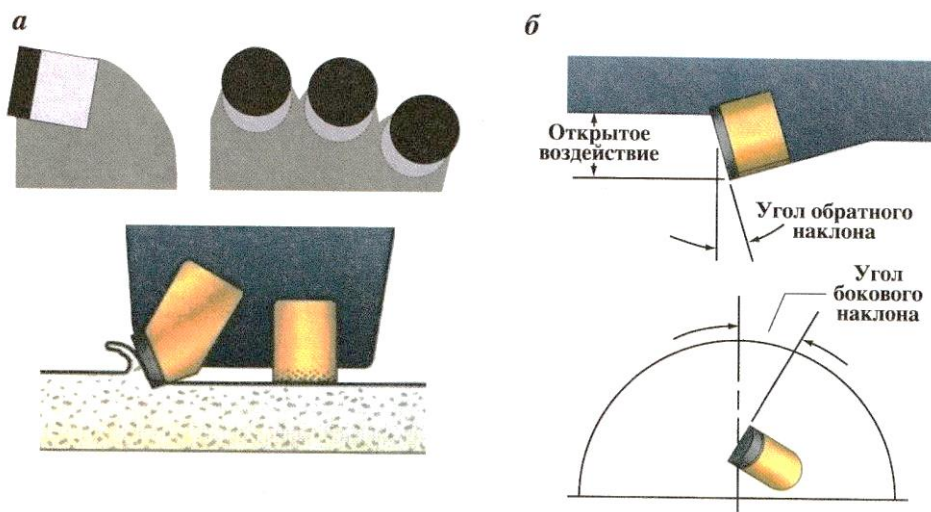


Рисунок 2. Расположение (а) и геометрические характеристики (б) установки резцов PDC-долот

К недостаткам PDC-резцов относят большую температурную зависимость. При температуре свыше 700°C PDC-резцы начинают разрушаться, что ограничивает применение PDC-долот в твердых породах [4].

В связи с этим большое значение имеет распределение потока жидкости в призабойной зоне для эффективного охлаждения PDC-резцов. Для улучшенной очистки призабойной зоны, исключения вторичного перемалывания выбуренных частиц, снижения вероятности сальникообразования и эффективного охлаждения резцов на долотах устанавливаются гидромониторные насадки специальной формы – стационарные и сменные.

Конструкция PDC-резцов постоянно совершенствуется. Ниже представлены примеры их наиболее распространенных конструкций резцов.

PDC-резцы семейства GeoMax (SonicMax, GridMaxиTecMax) имеют наибольшую толщину алмазного слоя из резцов, имеющих на рынке – 3,85 мм (Рисунок 3).



Рисунок 3. Резцы GeoMax

Соединительные поверхности резцов GridMax имеют ячеистую структуру (см. рисунок 3), которая обладает повышенной ударной прочностью и низкими остаточными напряжениями. Специальная смесь натуральных и синтетических алмазов способствует повышению износостойкости.

Концентрические кольца в резцах SonicMax снижают остаточные напряжения (Рисунок 4). Кольца имеют различные высоты и расположены на поверхности опоры. При этом повышаются ударная прочность и сопротивление абразивному износу.

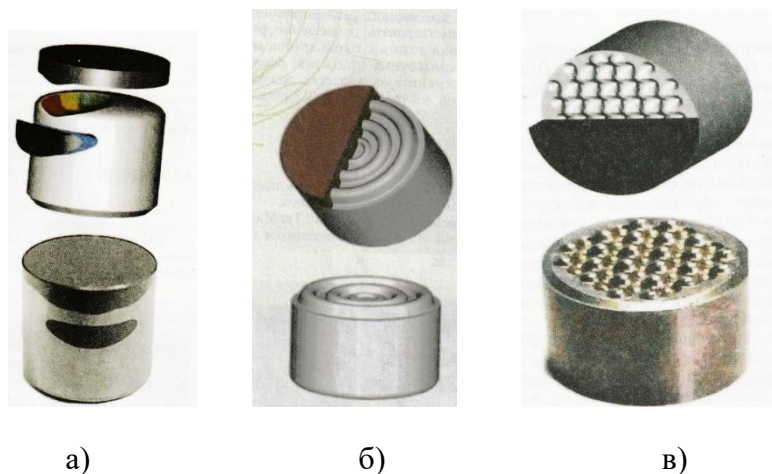


Рисунок 4. Резцы SonicMax(а), резцы TecMax(б), резцы GridMax(в)

Геометрия соединительной поверхности первичного алмазного слоя снижает остаточные напряжения. Он обладает высоким ударным сопротивлением. Уникальная

форма позволяет также увеличить объем алмазов в критических местах. При этом вторичный алмазный слой расположен в зоне основного износа подкладкирезца.

Резцы GeoMax-Quick (Рисунок 5, а) имеют специальный профиль подкладки, обеспечивающий более глубокое проникновение в породу и повышение удельных нагрузок за счет снижения контактной поверхности.

Резцы GeoMax-Arrow (Рисунок 5, б) имеют заостренный конец, обеспечивающий предварительное разрушение породы. Рекомендуются только для бурения карбонатных пород.

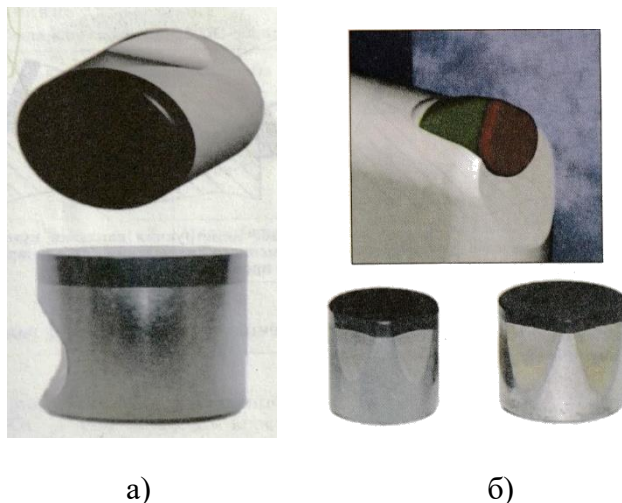


Рисунок 5. Резцы GeoMax-Quick(а); Резцы GeoMax-Arrow(б)

Выводы

Таким образом, в результате проведенного анализа было определено влияние конструкции резцов PDC на процесс бурения при помощи долот типа PDC, а также рассмотрены различные виды резцов PDC и его характерные особенности.

Библиография

1. Влияние вибраций на прочностные свойства буровых долот, армированных PDC / К. А. Борисов, А. А. Третьяк, Е. В. Сидорова // Разведка и охрана недр. – 2019. – № 12. – С. 33-37.
2. Лабораторные исследования износостойкости режущих элементов буровых долот, армированных алмазно-твердосплавными пластинами / А. А. Третьяк, Ю. Ф. Литкевич, А. Н. Гроссу, К. А. Борисов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2018. – № 5. – С. 26-30.
3. Сфера нефть и газ. [Электронный ресурс]. URL: <https://сферанефтьгаз.рф/gubkin2-2019-5/> (дата обращения 27.11.2022)
4. Эффективность использования долот PDC / В. И. Зайцев, А. В. Карпиков, В. В. Че // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН. – 2014. – № 5 (48). – С. 58-66.

Обоснование параметров геонавигационного комплекса для управления технологией бурения скважин с применением сети 5G. Резников А.* (МГРИ, reznikova@mgri.ru), Соловьев Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgri.ru)

Аннотация

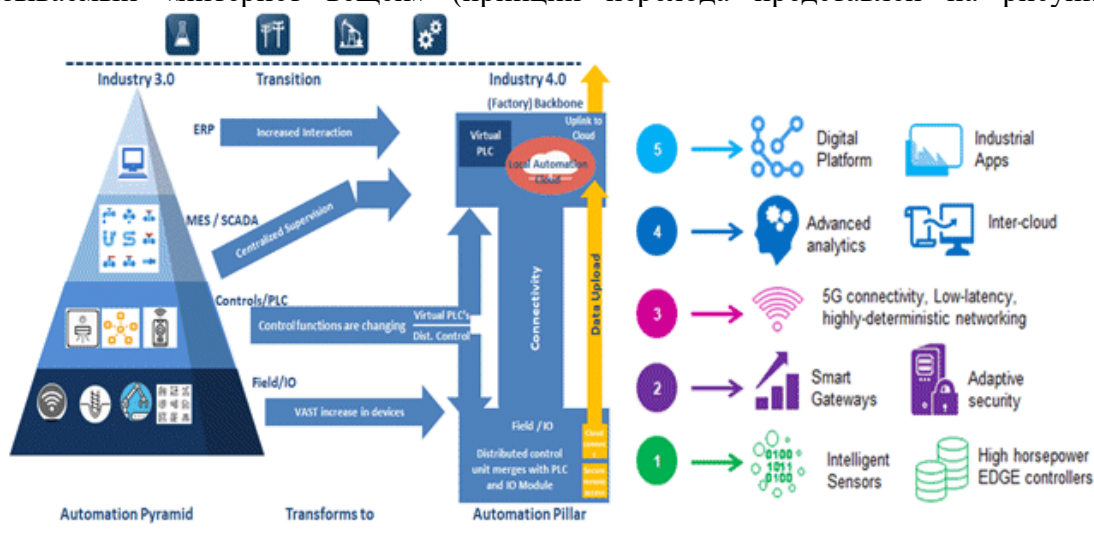
Данная работа поднимает вопрос, отвечающий современным тенденциям не только промышленности, но и многих других сфер человеческой деятельности. Переход от третьего индустриального уклада к следующему находится в активной фазе повсеместно, региональные нефтегазовые предприятия имеют огромную возможность использовать инфраструктуру 5G для решения множества существующих и непредвиденных задач. Существует достаточно вариантов использования, чтобы проверить ситуацию, а затем развить их дальше

Ключевые слова

Технологии 5G, удаленный контроль, автоматизация, искусственный интеллект.

Теория

В глобальном плане нефтегазовый сектор промышленности продолжает уверенный рост, спрос на эксплуатацию, по прогнозам консалтинговой фирмы Frost&Sullivan (транс. Фрост энд Салливан), на газ будет расти быстрее в среднем на 1,6% в годовом исчислении до 2024 года. Нефтегазовая отрасль является лидером в переходе от третьего промышленного уклада (автоматизация и внедрение роботизированных механизмов) действовавшего с 1969г., к четвертому укладу (индустрия 4.0), где упор делается на межмашинное взаимодействие без постоянного участия человека, на основе машинного обучение и нейронных сетей, на так называемый «интернет вещей» (принцип перехода представлен на рисунке 1.).

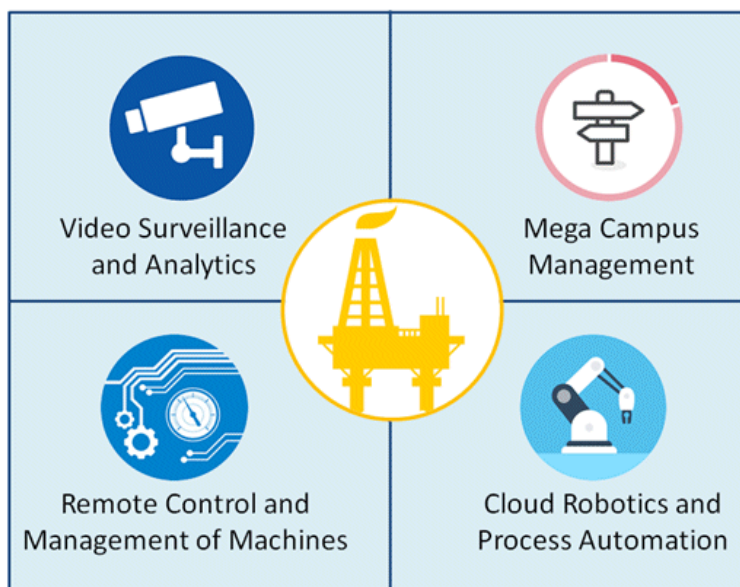


Source: Frost & Sullivan

Рисунок 1. Переход от 3-го уклада к 4-ому

И это справедливо. Учитывая высокую диверсификацию и сложность операций, процессов, инфраструктуры и рабочей силы, нефтегазовая отрасль имеет все шансы стать лидером в области трансформации индустрии 4.0. Что касается спроса на нефть, то основная его часть по-прежнему будет поступать из транспортной отрасли. Тенденции мирового рынка указывают на продолжающийся рост числа оффшорных платформ в глубоководных районах и дальше от берегов. Удаленность и изолированность нефтяных и газовых платформ, суровые морские условия, сильные и непредсказуемые ветры, вода, экстремальные температуры и удаленность от берега — вот некоторые из многих проблем, усиливающих потребность в надежной системе связи. Одни только рутинные операции требуют передачи огромного объема данных и отчетов о логистике, поставках, производстве и т.д. [3]

Нельзя отрицать, что в нефтегазовой отрасли существует несколько вариантов использования 5G, но мы все еще поверхностно относимся, когда речь заходит о выявлении потенциальных вариантов использования. С учетом сказанного, нефтегазовые компании в регионе могли бы использовать то, что делается их коллегами на мировых рынках, и копировать эти варианты использования везде, где это возможно. Ниже анализируются некоторые из наиболее актуальных вариантов использования 5G среди региональных нефтегазовых предприятий. На рисунке 2 показаны сферы касаемых буровых процессов, где предполагается активное задействование 5G.



Source: Frost & Sullivan

Рисунок 2. Сферы использования 5G в буровых процессах

Где, по часовой стрелке: 1). Управление мега кампусами (Обучение персонала и управление основными узлами нефтепроизводства); 2). Облачное управление автоматическими процессами и роботизированными механизмами; 3). Удаленный контроль и управление узлами буровых механизмов; 4). Видеонаблюдение и аналитика в реальном времени (с минимальной задержкой). [4]

Одним из популяризаторов 4-го промышленного уклада в РФ и в мире, является компания ПАО «Газпром нефть», как известно, бурение скважин является весьма дорогостоящим процессом, где различного рода факторы (в том числе управляемые), значительно влияют на себестоимость скважины и добычи углеводородов. И чем дальше,

тем сложнее и дороже становится этот процесс: чтобы эффективно разрабатывать трудноизвлекаемые запасы, нужно строить сложные, высокотехнологичные скважины. Повышать эффективность бурения помогают технологии Индустрии 4.0 — анализ больших данных, интернет вещей, искусственный интеллект. Целый ряд соответствующих цифровых проектов запущен в блоке разведки и добычи «Газпром нефти».

«Одна из важных задач, которую мы решаем на первом этапе, — обеспечить интеграцию в новой системе всех существующих у нас баз данных в области бурения»

(цит. Максим Елфимов, руководитель программ цифровизации бурения «Газпром нефть НТЦ»).

В «Газпром нефти» процесс проектирования и строительства скважин сегодня уже во многом оцифрован. Расположение скважин, их траектория и конструкция, отдельные операции (спуск обсадных колонн, цементирование ствола и др.) рассчитываются в специальных компьютерных симуляторах. Программное обеспечение позволяет оценить ожидаемую отдачу от пласта и найти оптимальные способы ее достижения. В процессе бурения со скважины поступает обильный поток данных. Это показания датчиков геолого-технологических исследований (ГТИ), данные каротажа в процессе бурения, показания телеметрии наклонно направленного бурения, реология бурового раствора и т. д. Большое количество разноплановой информации по каждой скважине поступает в Центр управления бурением (ЦУБ) «Геонавигатор», и основная задача центра — обеспечить максимально эффективное использование данных при сопровождении и контроле процесса строительства скважин. Частная сеть LTE, безусловно, может поддерживать приложения дистанционного управления машинами, но более высокая пропускная способность восходящей линии, необходимая для передачи данных в командный центр, возможна только через 5G. Например, частная сеть LTE может поддерживать видеопотоки высокой четкости, но видео в формате 4K возможно только через 5G. Что еще более важно, для сетей 5G потребуются методы управления с интенсивным использованием данных, такие как тактильная обратная связь и растущая плотность машин с дистанционным управлением. [1, 4]

С приходом сетей 5G происходит также значительный скачок в применении искусственного интеллекта, уже сейчас ИИ позволяет значительно быстрее определять и анализировать отклонение бурового снаряда от заданной траектории и исправлять его курс. Разработанный прототип (рис. 3) использует машинное обучение, чтобы оперативно анализировать параметры, поступающие с бурового оборудования, — уровень вибрации, скорость бурения и вращения ротора, нагрузку на долото и др. Эти показатели изменяются в зависимости от характеристик пласта, и это позволяет оперативно определить состав породы, не дожидаясь поступления данных с датчиков на самом буровом инструменте. [2]

Сейчас программа способна определять три литотипа (породы с определенным набором признаков) — песчаник, глину, карбонатизированный песчаник — и, соответственно, тот момент, когда долото переходит из одной породы в другую. Вероятность выявления смены литотипа с использованием созданного цифрового решения составляет не менее 70%. Обучение модели продолжается на новых скважинах: с каждой пробуренной скважиной точность становится выше.

Применение методики позволит в будущем повысить скорость бурения горизонтальной части скважин, снизить затраты на устранение ошибок и повысить качество проходки, а значит, и эффективность будущей эксплуатации.[1]

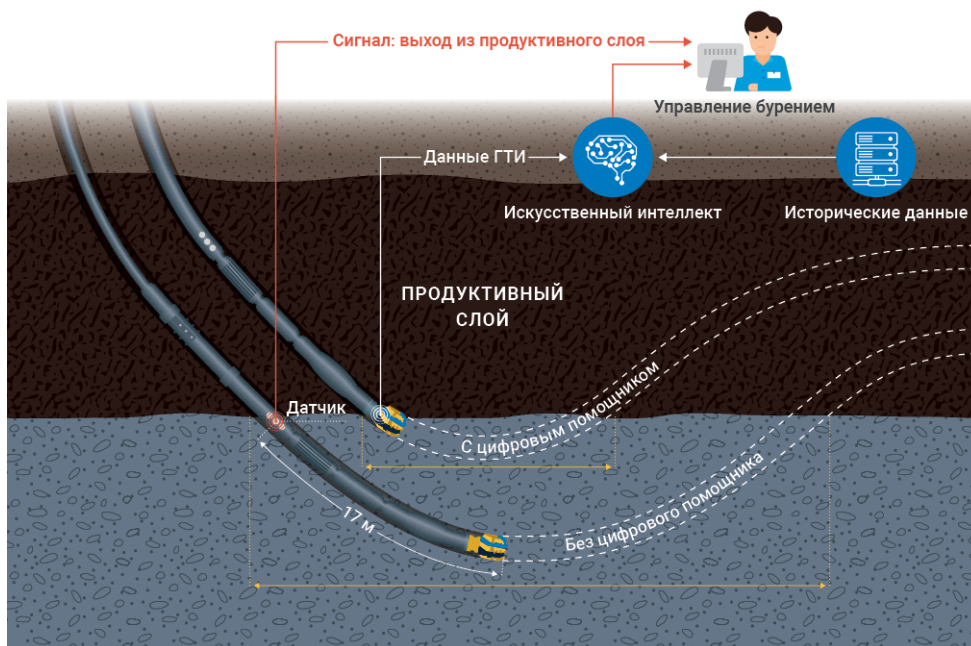


Рисунок 3. Применение искусственного интеллекта в направлении бурового снаряда

Выводы

Нефтегазовые предприятия регионов продолжают трансформироваться в условиях огромных проблем. Помимо бесперебойного выполнения операционных приложений для текущих операций и производства, у них есть очевидная возможность преобразовать свои коммуникационные и прикладные технологии, чтобы в полной мере воспользоваться преимуществами сетей 5G. Нефтегазовые предприятия должны расширять свою сеть за счет новых нефтяных месторождений. С учетом сказанного, для нефтегазовых предприятий крайне важно внедрять инновации более быстрыми темпами и внедрять эти инновации на новых и существующих нефтяных месторождениях.

Библиография

1. Корпоративный журнал "Сибирская нефть" ПАО «Газпром нефть». 2019г.
2. Нескромных В.В. - Направленное бурение. Бурение горизонтальных и многозабойных скважин / СФУ, Красноярск, 2020 г., 410 стр., УДК: 622.24 (075.8), ISBN: 978-5-7638-4100-8
3. Jessy Cavazos – Microwave Journal «5G for Industry 4.0» ISSN / eISSN: 0192-6225. 2019г.
4. Saurabh Verma, Anas Kasem консалтинговый журнал Frost&Sullivan «5G a Critical Enabler for Digitalization in Oil and Gas». 16.12.2019г.

Мероприятия по увеличению нефтеотдачи высоковязкой нефти. Фендик И.В.*
(ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», ifendik@bk.ru), Вайнерман Б.П. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», bwinerman@yandex.ru)

Аннотация

В работе рассмотрено проектирование бурения горизонтально-направленной эксплуатационной скважины с целью повышения нефтеотдачи залежи сверхвязкой нефти на Северо-Ашальчинском поднятии Ашальчинского месторождения (Республика Татарстан).

Ключевые слова

Сверхвязкая нефть, геологическая модель, проектный профиль скважины, месторождение, контур залежи.

Источники финансирования

Источники финансирования отсутствуют

Теория

Северо-Ашальчинская залежь сверхвязких нефтей расположена в Альметьевском районе Республики Татарстан в пяти километрах северо-западнее деревни Елхово, в физико-географическом отношении - в восточной части Закамья. Расстояние до районного центра - г. Альметьевска - 50 км, до г. Лениногорска - 40 км.

В тектоническом плане залежь расположена на юго-западном склоне Южно-Татарского свода. В геологическом строении залежи принимают участие пермские, неогеновые и четвертичные отложения.

Залежь выделена в песчаной пачке шешминского горизонта уфимского яруса верхнепермской системы (рис. 1) [4].

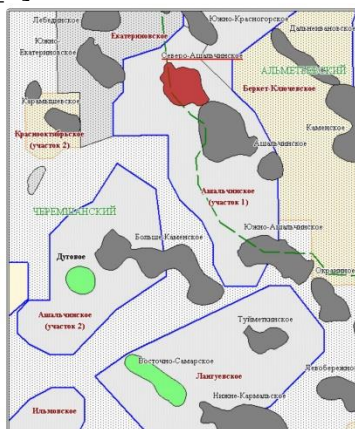


Рисунок 1. Обзорная схема

Северо-Ашальчинская залежь высоковязкой нефти в песчаной пачке шешминского горизонта уфимского яруса было открыта в 1975 г. скв. 94 Ашальчинского

битумного участка при проведении на нем поисково-разведочных работ на Северо-Ашальчинском поднятии.

Песчаная пачка шешминского горизонта (P2u22) сложена песками и песчаниками полимиктовыми, мелко- и среднезернистыми с маломощными прослоями алевролитов, реже - глин. Песчаники характеризуются слоистой и косослоистой текстурой. Мощность песчаной пачки в пределах залежи изменяется от 2,0 до 41,5 м. Продуктивные нефтеносные песчаники залегают на глубине 100-150 м (рис. 1 и рис 2).

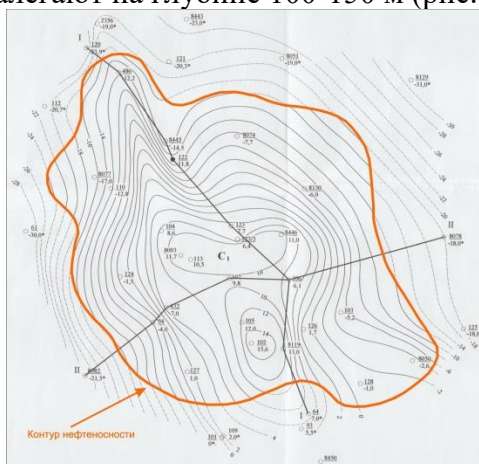


Рисунок 2. Структурная карта по кровле нефтеносного пласта

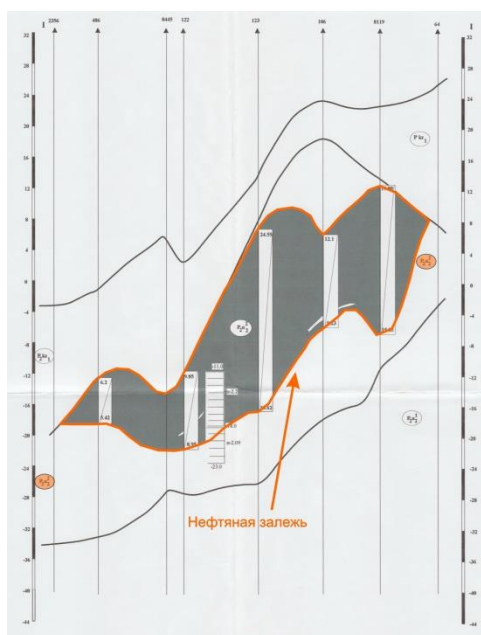


Рисунок 3. Геологический разрез

В условиях, когда в пласте находится сверхвязкая нефть, в ОАО "Татнефть" применяется технология паротеплового воздействия на пласт, совмещенная с бурением пары горизонтально-направленных скважин. Такая технология позволяет значительно увеличить нефтеотдачу коллекторов (рис. 4) [4].



Рисунок 4. Технологические решения

Например, на Ашальчинском месторождении 1 августа 2007 года была начата закачка пара в добывающую и нагнетательную скважины, а 25 сентября специалисты «Татнефти» начали эксплуатацию добывающей скважины № 230 электроцентробежным насосом. В результате всего за месяц дебит высоковязкой нефти увеличился в пять раз - с 5 до 25 тонн в сутки.

Для оптимального заложения горизонтально-направленной эксплуатационной скважины с целью увеличения нефтеотдачи пласта В программе "Petrel" была построена трехмерная геологическая модель [3] и спроектирован профиль скважины [1, 2].

Предполагается пробурить горизонтально-направленную скважину (скв. 1) с общей длиной ствола 957 м.

По продуктивным отложениям скважина пройдет горизонтальным стволом 800 м (рис. 5 и рис. 6).

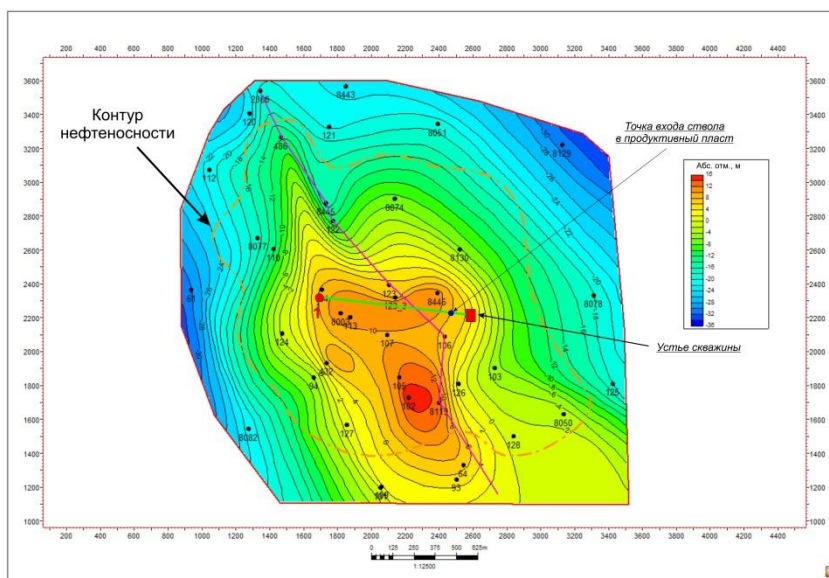


Рисунок 5. Структурная карта по кровле коллекторов продуктивного пласта

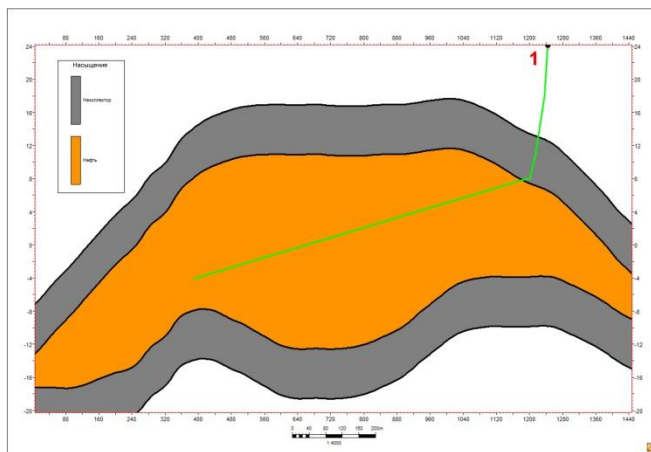


Рисунок 6. Геологический разрез с профилем проектной скв. 1

В рамках построенной геологической модели возможно проектирование второй эксплуатационной скважины, расположенной в непосредственной близости от скв. 1.

Выводы

Трехмерная геологическая модель позволяет оптимизировать проектные работы по бурению скважин, способствует улучшению технологии добычи нефти и увеличению нефтеотдачи пластов.

Библиография

1. Бастриков С.Н., Калинин А.Г., Повалихин А.С., Солодкий К.М. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин. ЦентрЛитНефтеГаз, Москва, 2011 г., 647 стр.
2. Близиюков В.Ю., Повалихин А.С., Кейн С.А. Расчёт проектного профиля направленных и горизонтальных скважин./ Метод. указания / УГТУ, Ухта, 2014. – 40 с.
3. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование. ООО ИПЦ "Маска", Москва, 2009.
4. Подсчет запасов залежи сверхвязкой нефти на Северо-Ашальчинском поднятии Ашальчинского месторождения. ОАО "Татнефть", Казань, 2007.

Система моделирования на основе автоматизированных систем мониторинга процесса бурения. Филатов И.Е. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, filatov88ff@yandex.ru); Меркулов М.В. (МГРИ, merkulovmv@mgi.ru)*

Аннотация

В докладе рассмотрены вопросы внедрения систем удаленного мониторинга и анализа данных в режиме реального времени, работы автоматизированных систем мониторинга процесса бурения, перспективы развития автоматизированных систем сопровождения бурения.

Ключевые слова

Мониторинг бурения, оптимизация процесса бурения.

Источники финансирования

Теория

Контроль за данными процесса бурения – один из аспектов строительства скважин в современных реалиях: создание центров, занимающихся сбором и анализом данных бурения в режиме реального времени стало неотъемлемой частью большинства сервисных буровых компаний. Повышение качества обработки и интерпретации данных для последующего применения при решении, будь то прогнозирование осложнений или создание исходных данных для методов искусственного интеллекта, является сегодня одним из приоритетов развития указанных подрядных компаний.

Основная цель создания центров мониторинга данных – оптимизация строительства скважины. Под оптимизацией следует максимально возможное снижение затрат на возведение скважины, причем подразумевается и сокращение сроков строительства, и сокращение материальных. Другими словами, оптимизация заключается в снижении непроизводительных затрат, так при снижении непроизводительного времени затраты на строительство нефтяных и газовых скважин уменьшаются в среднем на 15-35 % [1]. Поэтому актуальность качества мониторинга данных обоснована.

Внедрение систем (или же центров) удаленного мониторинга и анализа данных в режиме реального времени – одна из передовых задач, которые стоят перед нефтегазовыми компаниями в последнее время. Создание и обеспечение работоспособности (функционирования) таких систем, как показывает опыт, позволяет сократить непроизводительное время, причиной которому служат осложнения и аварии, а точнее простой бурового оборудования, вызванного этими инцидентами, – время, когда оборудование находится в неиспользовании. В таких системах важное значение уделяется оптимизации параметров процесса бурения, поскольку именно они являются качественной основой для определения рисков осложнений и аварий – их еще называют "информаторами" осложнений в процессе бурения.

Основополагающая задача в создании мониторинга процесса бурения – создание базы данных процесса, ведь с ее появлением становится возможным поиск данных. Это

является главной задачей для получения прогностических моделей систем реального времени.

Последние десятилетия вектор развития смещается от описательных к прогностическим методам оптимизации. При разработке этих систем описательные и прогнозные методы усиливаются с помощью данных реального времени и данных с ранее пробуренных скважин, соответствующих основным аспектам буровых операций: конструкция компоновки забоя, свойства бурового раствора, эквивалентная плотность циркуляции, описание литологической схемы, проводимость пород и корреляции скважин.

При разработке и внедрении систем прогнозирования используются передовые технологии, улучшенный контроль качества данных, преимущества данных Wellsite Information Standard Markup Language (WITSML) и концепции виртуальной оптимизации бурения в реальном времени [3]. Стоит отметить, что оптимизация процесса мониторинга и улучшения решений при бурении скважины путем предвидения и выявления проблемных зон с помощью прогнозных анализов в режиме реального времени не является пределом совершенства – данная область имеет существенные проблемы и требует разработки мероприятий по совершенствованию и модернизации центров.

Математические модели используют данные бурения в реальном времени, которые поступают с буровой установки, а затем используют их для сравнения скважинных измерений с моделируемыми параметрами. Это позволяет контролировать состояние скважины во время бурения и обеспечивает раннее обнаружение симптомов ухудшения состояния скважины автоматически в виде диагностических сообщений. Таким образом, это помогает улучшить производительность бурения на основе условий в скважине.

Рассмотрим пример работы системы Digital Twin . Автоматизированная система мониторинга (ее все чаще называют цифровым двойником скважины) визуализируется в 2D и 3D во время бурения В 2D-виде [6].

Digital Twin использует все доступные данные о бурении в режиме реального времени, включая данные с поверхности скважины, в сочетании с передовыми динамическими моделями бурения для мониторинга и предоставления рекомендаций для оптимального бурения [5]. Различные модели бурения взаимодействуют, и измеренные значения вместе рассчитанными результатами визуализируются в режиме реального времени в графическом интерфейсе пользователя.

Технология диагностики объединяется с 3D-визуализацией в "виртуальный ствол скважины". 3D-визуализация вместе с диагностическими предупреждениями и виртуальными 3D-манометрами может показать состояние скважины и использоваться в течение всей операции, обеспечивая лучшее понимание состояния скважины. Параметры процесса бурения информация может отслеживаться с помощью датчиков, добавленных в визуализацию. 2D-туннельный вид геометрии скважины, свойства труб вместе с профилем давления и профилем температуры могут быть показаны в 3D-визуализации.

Типовые варианты 2D-иллюстрации и 3D-визуализации показаны на рисунке 1 и 2, соответственно. Данные визуализации цифрового двойника могут использоваться в

течение всего жизненного цикла бурения и эксплуатации, а также при последующем анализе, обучении и передаче опыта. Для передачи опыта вся операция может быть воспроизведена и показана. Виртуальная скважина, построенная по Digital Twin, содержит геометрию скважины, бурильную колонну, профиль давления, включая профиль пор и трещин, а также пиктограммы сообщений о рисках [4].

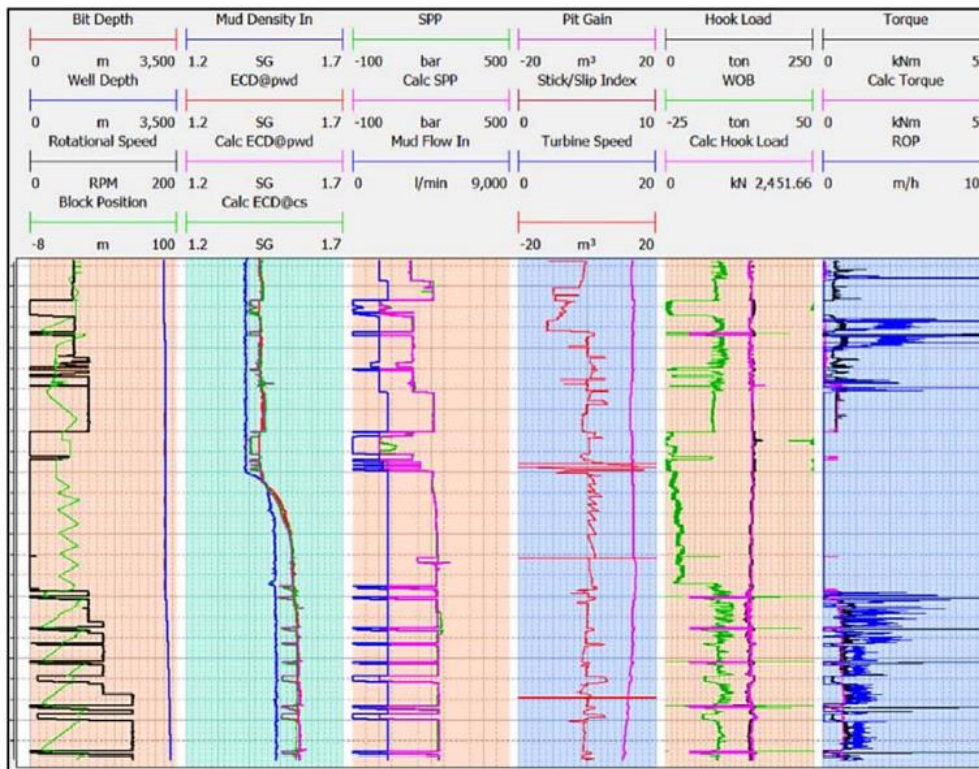


Рисунок 1. 2D-визуализации по Digital Twin

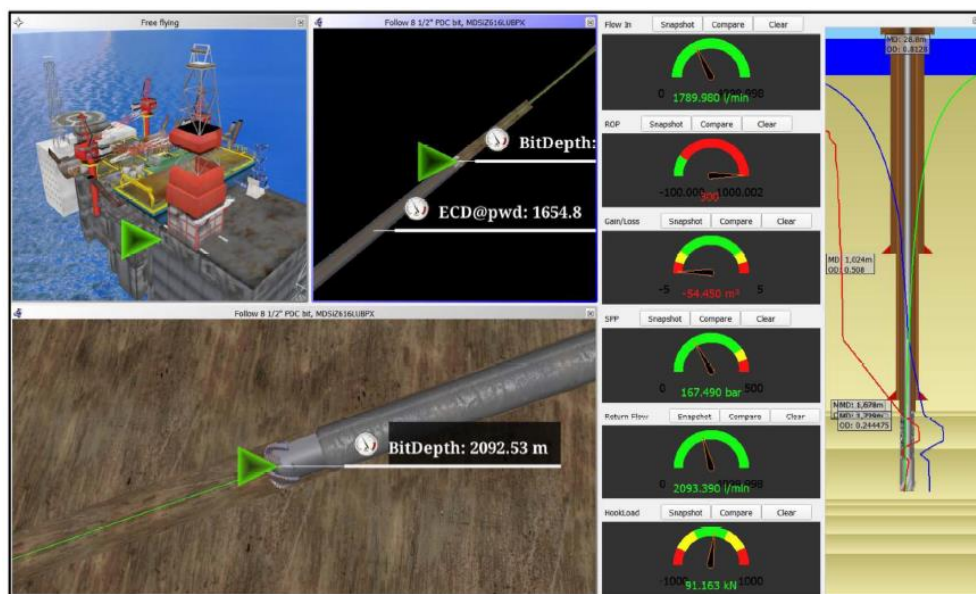


Рисунок 2. 3D-визуализации по Digital Twin

Применение цифрового двойника данной модели оправдывает ожидания. Различные скважины были исследованы с помощью Digital Twin и мониторинга в реальном времени с использованием 2D и 3D- визуализации. Для выполнения цифрового двойника бурения необходимо задать конфигурацию скважины, включая все данные, относящиеся к жидкости, реологии, геометрии скважины, плотности раствора, профилю забойного давления и температуры. траектории скважины, свойствам буровой установки, конструкции труб, компоновки нижней части бурильной колонны и бурильных труб. Цифровой двойник может быть запущен путем присвоения всех входных данных, связанных с конфигурацией скважины, усовершенствованной динамической модели гидравлического потока [2].

Выводы

Исследованы основные современные проблемы и передовые задачи мониторинга процесса бурения скважин. Представлены возможные пути совершенствования моделирования и создания автоматизированных систем сопровождения бурения.

Библиография

1. Григорьев А.С. Оценка факторов риска возникновения аварийных ситуаций при сопровождении эксплуатационного бурения (на примере Новопортовского нефтегазоконденсатного месторождения, Западная Сибирь): магистр: 24.04.01 – ТПУ, Томск, 2017 – 96 с 15.
2. Мортон Э.К. Программа компьютерной базы данных обеспечивает анализ системы MUD для бурения на буровой площадке\ общество инженеров-механиков. 2018. 10 с
3. A. Negara. Combining Insight from Physics-Based Models into Data-Driven Model for Predicting Drilling Rate of Penetration / A. Negara, B. Saad. – Dhahran: International Petroleum Technology Conference, 2020 – p.217
4. Elkatatny, S. Evaluation of the Total Organic Carbon (TOC) Using Different Artificial Intelligence Techniques / Mahmoud, A.A.; Elkatatny, S.; Ali, A.; Abouelresh, M.; Abdulraheem, A. // Sustainability, 2019.
5. R. Rommetveit,. About authorized monitoring of drilling in real time using a digital double // Society of Mechanical Engineers. 2018 – p.18
6. R.Samuel. Development of an automated drilling forecasting system to improve drilling efficiency // Society of Mechanical Engineers, 2013 – p.10

Анализ факторов вызывающих образование скоплений газогидратов на месторождениях углеводородов. Ходак Е.Е. (МГРИ, hodakee@mgri.ru), Сырчина А.С. (МГРИ, syrchinaas@mgri.ru)*

Аннотация

С развитием нефтегазовой отрасли требуется обеспечение устойчивости добычи, роста эффективности геологоразведочных работ, снижение затрат на добычу, хранение и транспортировку. Истощение запасов основных газовых месторождений в Западной Сибири, приводит к поиску новых месторождений, расположенных в труднодоступных районах Восточной Сибири и северных регионов. Специфика таких месторождений – образование газовых гидратов, которые технологических процессах вызывают серьезные проблемы.

Ключевые слова

Газогидраты, бурение скважин, углеводороды, свободный газ.

Теория

Нефтегазовые залежи Восточной Сибири по сравнению с огромными залежами Западной Сибири являются сложными объектами с аномальными значениями температур и давлений, глубокорасположенными продуктивными отложениями, невысокими коллекторскими свойствами, изменчивостью и сложным составом ресурсов залежей (наличием значительного количества неуглеводородных газов в составе: азот, сероводород, углекислый газ) [3]. Главной особенностью фактически всех залежей Восточной Сибири являются низкие пластовые температуры и аномально, как высокие, так и низкие давления. Характерной особенностью этих месторождений является интенсивное гидратообразование, проявляющееся при испытании и пробной эксплуатации скважин.

Гидратообразование происходит в интервалах глубин от 0 до 2100 метров практически во всех газовых и газоконденсатных скважинах региона, имеются случаи образования гидратов в нефтяных скважинах в пределах Юроченского. Куюмоинского, а также на гидрогеологических объектах Собинско-Найгинского месторождения. Это является следствием термобарических условий отложений осадочного чехла. Например, месторождения Енисей-Хатангского прогиба и западной части Сибирской платформы, характеризуются большой мощностью криолитозоны (до 700 м) и низким геотермическим градиентом (1,5-2.5 °С на 100 м) [2].

Гидратами называют твердые кристаллические физико-химические соединения, образованные природным газом с водой с общей формулой:



где М — молекула гидратообразователя. Они образуются при определенных термодинамических условиях в результате включения молекул газа в построенные молекулами воды полости каркаса. Молекулы удерживаются в таком каркасе силами Ван-дер-Ваальса, и при нарушении условий покидают его, разлагаясь на воду и газ с поглощением тепла.

Способностью образовывать гидраты обладают все гидрофобные газы и легколетучие органические жидкости, молекулы которых имеют размеры в пределах 0,38 – 0,92 нм (Ar, N₂, O₂, CH₄, C₂H₆, C₃H₈, изо-C₄H₁₀, Cl₂, галогенопроизводные углеводородов C1 — C4 и т.д.), а также некоторые гидрофильные соединения (CO₂, SO₂, окись этилена, тетрагидрофуран (ТГФ), ацетон), взаимодействие которых с водой достаточно [2].

При относительно небольших давлениях (до 10-30 МПа), гидрат природного газа может существовать вплоть до температур 20—25 °С. Наиболее типичные температуры его образования лежат ниже 15—20 °С. Область существования гидрата метана ограничивается температурой 47.7 °С при давлении 500 Мпа [2].

Для определения условий гидратообразования обычно составляется фазовая диаграмма (рисунок 1). Зная один из параметров, например, температуру можно по точке пересечения определить давление необходимого фазового состояния. Область существования гидратов располагается слева от кривых I и IV. Точки P_k и P_{k1} — верхняя и нижняя критическая точка гидратообразования, M — молекула гидратообразователя. Критическая точка P_{k1} называется тройная точка. В этих условиях сосуществуют 3 состояния: газ, лёд, гидрат и вода.

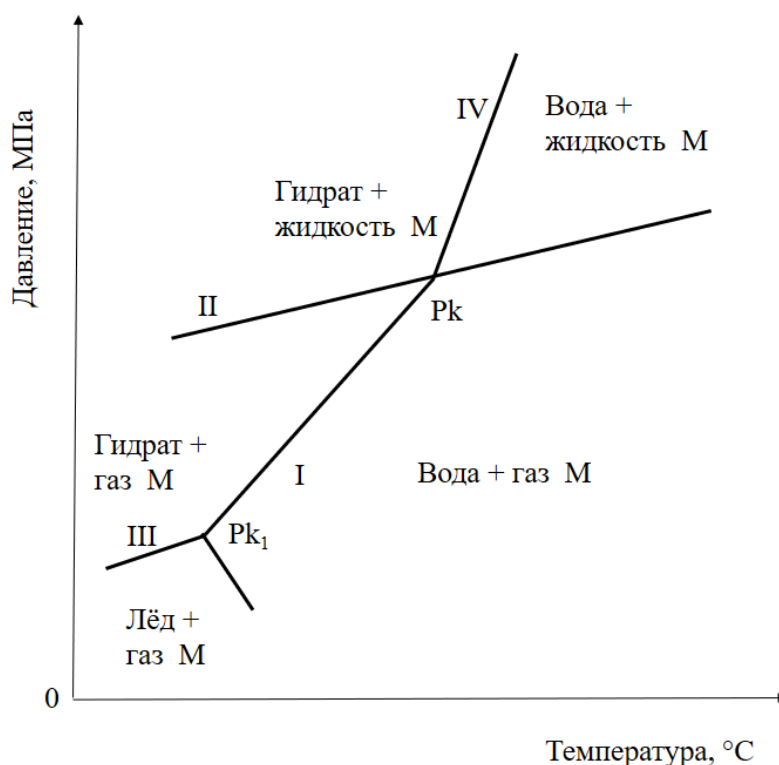


Рисунок 1. Схема фазового состояния смесей воды, газа и гидрата.[3]

Процесс гидратообразования может отличаться в зависимости от величины давления, температуры, влагосодержания и состава газа, физических и химических свойствами воды. Состав газов и их конденсатов может состоять из множества видов химических соединений, но в основе преобладает смесь углеводородов. Природный газ в основном состоит из метана, с объемным его содержанием до 98%, также из углеводородов в состав которых входят: бутан и изобутан, этан, пропан, пентан. Присутствует азот, сероводород, аргон, углекислый газ, гелий и др. Углеводородные

газы могут действовать на процесс гидратообразования (как положительно – увеличивая температуру фазового перехода (этан, пропан и изобутан), так и отрицательно – снижая температуру фазового перехода (бутан и высшие)).

Сероводород также повышает температуру и снижает равновесное давление гидратообразования в зависимости от своего содержания в газе. При двухпроцентном содержании сероводорода температура кристаллизации в смеси с чистым пентаном 10 °С, когда чистый метан начинает свой переход при давлении 5 МПа на 6 °С. Такая же ситуация наблюдается от воздействия углекислого газа, который также увеличивает температуру гидратообразования.

Азот наоборот понижает температуру гидратообразования, гидраты газов при содержании азота в составе становятся неустойчивыми. При температуре 109 °С природный газ с 18% содержанием азота имеет давление гидратообразования 3 МПа, тогда как без азота давление гидратообразования порядка 3,4 Мпа [2]. Данный факт проявляет себя на Катангской нефтегазоносной области, где содержание азота доходит до 31,6 %.

Интервалы мерзлых пород активно влияют на зоны активного гидратообразования – об этом говорят данные термобарических условий на месторождениях Енисей-Хатанского прогиба и западной части Сибирской платформы. Главными фактором в районе Енисей-Хатанского прогиба является большая толщина криолитной зоны [1]. На месторождениях северо-западной части Сибирской платформы влияние низкой температуры отмечается по всему разрезу. Исходя из данных по бурению и испытанию можно сделать вывод, что не только термобарические условия влияют на процесс гидратообразования, но еще и техногенное воздействие. Охлаждение скважины промывочной жидкостью, использование технической воды и растворов на водной основе при бурении скважин, газопроявления вызванные применением облегченных растворов при промывке скважин – это техногенные процессы. Которые создают благоприятные условия для образования гидратов.

Газовые гидраты образуются во время процесса бурения, испытания и эксплуатации нефтяных, газовых и газоконденсатных скважин, как в самих скважинах, так и в трубопроводах. Как только гидрат образуется и далее осаждается в стволе скважины, это приводит к аварийным ситуациям, в основном, пропускная способность колонны уменьшается, сопротивление потоку увеличивается, и безопасность потока в стволе скважины оказывается под угрозой. Осложнения, связанные с гидратообразованием приводят к закупорке ствола скважины твердыми кристаллическими веществами и, следовательно, к затрудненному движению газа, что требует проведения работ по их ликвидации, а это снижает эффективность плановых работ и значительно увеличивает стоимость сооружения скважины.

Наибольшая вероятность образования гидратов достигается при высоком давлении и низкой температуре. При температурах выше нуля и определенных давлениях образование гидратов также не исключено. В связи с этим гидратообразование может происходить во всех интервалах от забоя до устья и даже вплоть до пункта сбора газа в газопроводах. Гидратные пробки могут как частично, так и полностью заполнить сечение труб, что мешает как при добыче и транспортировке газа, так и при испытаниях и бурении скважин. Самые незначительные изменения термобарических условий в призабойной зоне приводит к тампонированию гидратами. Одной из причин плохого притока газа или отсутствия может являться закупорка пласта

гидратами. Известны случаи на Месоаяхском месторождении и Средне-Ботуобинском газоконденсатном месторождении.

Например, газогидратное месторождение Маллик в Канаде обнаружено в районе дельты р. Маккензи пробурено 3 скважины, на которых и с успехом экспериментируют получение газа из интервалов залегания газогидратов [4]. В ходе исследований получены результаты межскважинной томографии, геофизические данные и проведен анализ керна. Температурное исследование проводилось при помощи оптоволоконных кабелей в интервалах залегания гидратов. Также в районе месторождения Прадхо-Бей на северном склоне Аляски осуществляется разведочное бурение газогидратных скважин при поддержке Правительства США.

Выводы

Интерес к исследованию свойств гидратов связан также с огромным влиянием состояния природных газовых гидратов на климат нашей планеты. Выделение метана в атмосферу при разработке газогидратных месторождений либо при относительно небольших изменениях внешних термобарических условий может привести к серьезным изменениям климата на Земле, вызванным парниковым эффектом.

Также гидраты можно рассматривать не только как проблему, но и как источник энергетических ресурсов будущего. В шельфовых зонах океанов и морей существуют огромные месторождения углеводородов в виде гидратов газов. На материке такие залежи располагаются в вечно мерзлотных зонах на северных территориях. Некоторые страны работают над разработкой этих месторождений и уже получают результаты.

Библиография

1. Истомин В.А., Якушев В.С. (ВНИИГаз), Исследование газовых гидратов в России - М: Газовая промышленность №05/2002.
2. Истомин В.А., Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах сбора и промышленной обработки газа и нефти. М.: ВНИИЭгазпром, 1990. 214 с.
3. Побнебесных А.В., Марьянович Ю.В., Кузнецов С.В., Овчинников В.П., Оценка ресурсов газогидратов на Восточно-мессояхском месторождении. Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2015; (4):40-44.
4. Jassim E., Abdi M. A., and Muzychka Y., «A new approach to investigate hydrate deposition in gas-dominated flowlines», Journal of Natural Gas Science and Engineering, vol. 2, no. 4, pp. 163–177, 2010.

Оценка стабильности буровых растворов, содержащих полимерные реагенты различной природы происхождения. Цуканова А. Н. (Ухтинский государственный технический университет, atsukanova@ugtu.net), Уляшева Н. М. (Ухтинский государственный технический университет, nulyasheva@ugtu.net)*

Аннотация

Интенсивная эксплуатация природных ресурсов в двадцатом веке привела к истощению зон легко добываемых флюидов. Рост глубин бурения, а также специфика слагаемых горных залежей (баротермальные условия, свойства горных пород и т. д.) затрудняют проводку скважин, оказывая негативное влияние на технико-экономические показатели строительства.

Успешность процесса строительства скважин напрямую зависит от состава и технологических параметров промывочной жидкости, обеспечивающей необходимые структурно-механические и фильтрационные свойства для предотвращения различного рода осложнений. Крупнейшей группой реагентов, применяемых в технологии промывки скважин, являются полимерные соединения различной природы происхождения [1]. Широкий спектр действия, универсальность применения, экологичность, относятся к положительным моментам данной группы веществ, к отрицательным - восприимчивость к перепаду температур, высокая чувствительность к биогенному воздействию и минеральной агрессии, необходимость применения антиферментаторов, высокая стоимость. Изучение процессов микробиологической деградации полимеров, а также механизмов, способствующих замедлению или ускорению ферментации реагентов данного класса, через контроль фильтрационных характеристик и реологических свойств, позволит снизить экономические затраты, связанные с технологией промывки скважин.

Ключевые слова

Ферментация, полимерные соединения, антиферментаторы, бактерициды, динамическое напряжение сдвига, толщина фильтрационной корки, фильтрация, водородный показатель, бактерицид.

Теория

Развитие рынка промывочных жидкостей напрямую связано с усложнением геолого-технических условий современного бурения и высокой конкуренцией в сервисном обслуживании данной области строительства скважин.

Современные системы буровых растворов представляют собой сложные по составу и технологии приготовления жидкости. Необходимость постоянного планового контроля технологических параметров раствора, влияющих на эффективность бурения, в том числе, сохранность фильтрационно-емкостных свойств надпродуктивной и продуктивной зон, определяет значимость понимания физико-химических процессов, возникающих в процессе проводки скважин. А, следовательно, требует знаний физической, коллоидной неорганической и органической химии.

На настоящее время не существует универсальной промывочной жидкости, способной обеспечить технологические функции и обладающей необходимыми

параметрами, подходящими под абсолютно любые геолого-технические условия бурения. Поэтому, в каждом отдельном случае, для конкретных условий бурения, должна обеспечиваться максимально легкая технология приготовления и регулирования свойств бурового раствора, с помощью химических реагентов и материалов, для обеспечения качественной и безаварийной проводки скважин. Для чего необходима оптимизация качества промывочных жидкостей, направленная на снижение экономических затрат, связанных с перерасходом химических реагентов и проблемами биоценозности и ликвидации отработанных растворов [2].

Концепция выбора и обоснования состава и типа промывочной жидкости базируется на таких составляющих как: геолого-технические условия бурения; анализ имеющегося опыта бурения в схожих условиях; обеспечение оптимальных технологических параметров; аналитический подбор компонентного состава промывочной жидкости с учетом экономических возможностей; обеспечение минимальной экологической нагрузки. Успешность данной концепции гарантирована, если внедрению в производство предшествовали комплексные экспериментальные исследования оценки качества как материалов и реагентов, используемых для приготовления, так и самой промывочной жидкости. Одной из острых проблем в технологии промывки скважин является сохранение стабильного состояния промывочных систем, содержащих в своем составе высокомолекулярные полимерные реагенты, подверженных деструкциям различного характера [3]. Обширный анализ промысловых данных и научно-технической литературы показал, что несмотря на применяемые технологические рекомендации и мероприятия, включающие в том числе, использование большого спектра реагентов антиферментативного действия, актуальность исследования остается высокой [4].

В лаборатории кафедры бурения был проведен комплекс экспериментальных исследований, направленный на оценку стабильности химических реагентов, относящихся к высокомолекулярным полимерным соединениям, а также глинистых суспензий определенной плотности, содержащих исследуемые реагенты в стандартных концентрациях, рекомендуемых производителями. Основные приборы исследования: рН-метр Oakton, фильтр- пресс LPLT (Fann), вискозиметр Fann 35 SA. Исследуемые реагенты - крахмалы, эфиры целлюлозы и ее производные, биополимеры ксантанового ряда, гуаровая камедь, акриловые полимеры. В качестве компонент-показателей оценки стабильности учитывались водородный показатель, фильтрационные и реологические характеристики, а также визуальные изменения. Общая продолжительность исследования составила двенадцать суток.

Визуальные изменения проявлялись в характерном изменении цвета исследуемых объектов, что хорошо отслеживается при сравнении внешнего вида фильтрационных корок (рис. 1), появлении и разрастании плесени (рис. 2).

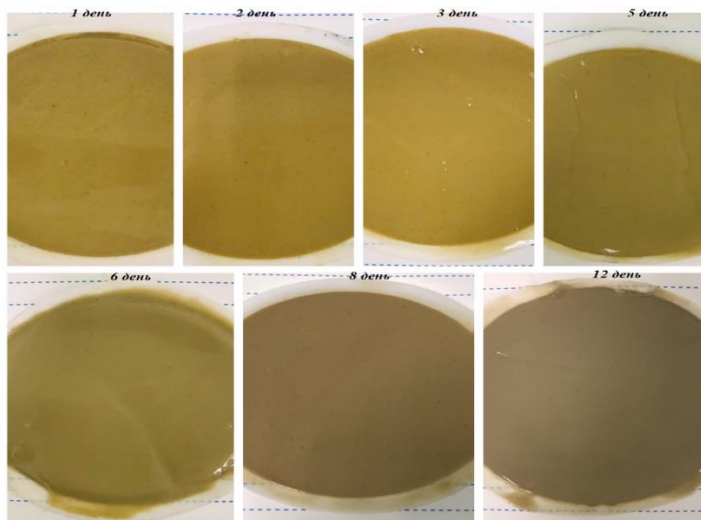


Рисунок 1. Визуальные изменения фильтрационных корок (на примере глинистой суспензии ($\rho=1030 \text{ кг/м}^3$), содержащей полимерный реагент Duo Vis, 1-2-3-5-6-8-12 сут).

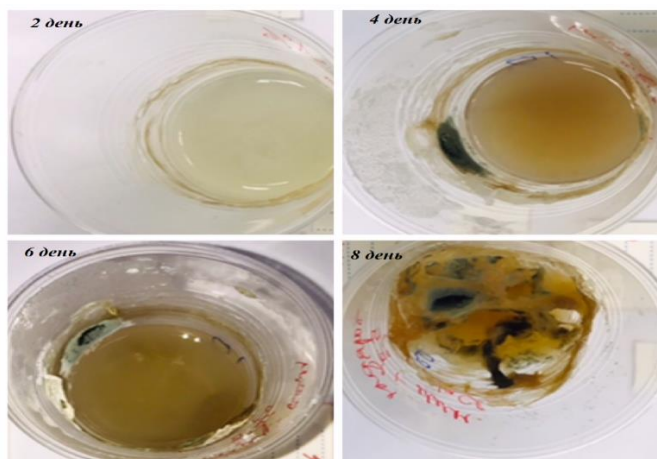


Рисунок 2. Визуальные изменения водного раствора полимерного реагента (на примере полимерного реагента Duo Vis 2-4-6-8 сут).

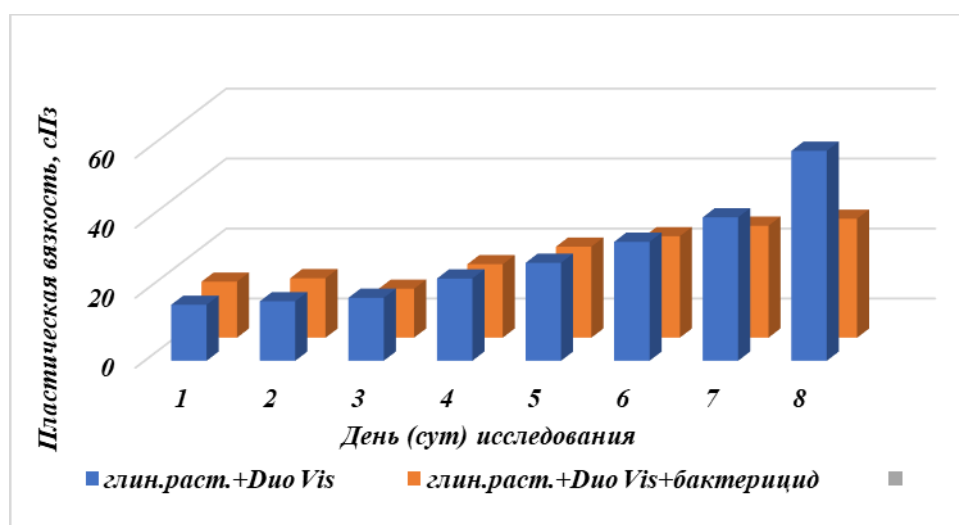


Рисунок 3. Зависимость эффективной вязкости глинистого раствора ($\rho=1030 \text{ кг/м}^3$) с добавкой полимерного реагента, от времени выдержки.

Для удобства интерпретации полученных результатов оценки стабильности исследуемых реагентов и глинистых суспензий, содержащих реагенты, были построены графические зависимости (рис. 3-4, на оси абсцисс отображены дни исследования, на оси ординат – компонент-показатели).

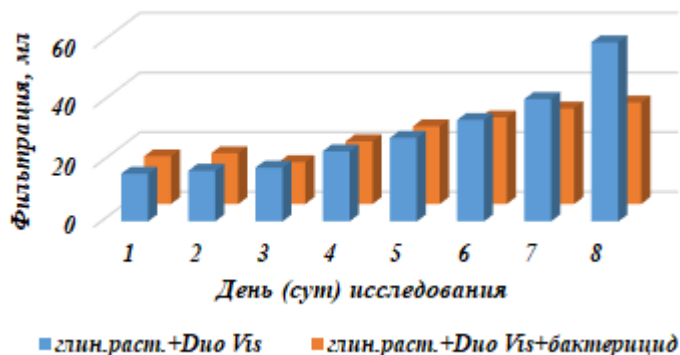


Рисунок 4. Зависимость показателя фильтрации (на примере глинистого раствора ($\rho=1030$ кг/м³) с добавкой полимерного реагента и глинистого раствора ($\rho=1030$ кг/м³) с добавкой полимерного реагента+ бактерицида) от времени выдержки.

Выводы

Результаты, полученные в ходе экспериментального исследования показали, что во всех реагентах наблюдался лавинообразный процесс ферментации, вне зависимости от присутствия/отсутствия антиферментаторов (обработка бактерицидами тормозила начальную стадию деструктивных изменений не более чем на 36 часов). Причем ферментативная деструкция имела многоповторную цикличность, с последовательным ускорением каждые 48 часов, что проявлялось в ступенчатом изменении как водородного показателя, так и показателя фильтрации и реологических характеристик (при скоростях 600/300/200/100/6/3 об/мин). Аналогичная картина наблюдалась и в глинистых суспензиях (плотность $\rho=1030$ кг/м³, содержащих исследуемые реагенты, в концентрациях, используемых на производстве).

Библиография

1. Рязанов Я.А. Энциклопедия по буровым растворам. – Оренбург: Летопись, 2005. – 664 с.
2. Цуканова А.Н., Уляшева Н.М. Высоковязкие экзополисахариды и их роль в дестабилизации буровых промывочных жидкостей // Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли. Проблемы устойчивого развития территорий: сб. тр. III Междунар. науч.-практ. конф., Ставрополь, 08-09 дек. 2022 г. – Ставрополь: Северо-Кавказ. федер. ун-т, 2022. – С. 385–390.
3. Цуканова А. Н., Уляшева Н. М. Фототермобидеструкция органических полимерных реагентов, применяемых в малоглинистых и безглинистых полимерных системах // Трудно-извлекаемые запасы нефти и газа 2019: сб. ст., докл. и выступлений Всерос. науч.-техн. конф., Уфа, 15 мая 2019 г. – Уфа: Нефтегазовое дело, 2019. – С. 97-98.
4. Михеев М. А., Уляшева Н. М., Цуканова А. Н. Кольматационные пачки как индуктор деградации буровых растворов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2023. –№1 (361). – С. 26-30. – DOI: 10.33285/0130-3872-2023-1(361)-26-30

Анализ эффективности технологии зарезки бокового ствола на рассматриваемом месторождении. Шемелин С.С. (ТНУ, shemelinserge@yandex.ru)

Аннотация

В данной работе представлен анализ эффективности технологии зарезки бокового ствола на рассматриваемом месторождении. Данная технология является одной из наиболее прогрессивных методов интенсификации добычи нефти и увеличения нефтеотдачи пластов. В написании работы использованы фактический документальный материал за весь период разработки, обустройства и эксплуатации сложно построенного, многопластового месторождения, расположенного в непосредственной близости от крупных водных источников.

В работе отмечены преимущества данной технологии. Метод зарезки и бурения бокового ствола скважин позволяет не только продлевать срок службы скважин, но и изменять их забой в случае отказа эксплуатационной колонны, полного обводнения зоны дренирования, либо экологической нецелесообразности капитального ремонта обычными методами (чаще всего ловильные или изоляционные работы).

Использование технологии зарезки боковых стволов и боковых горизонтальных стволов является актуальной задачей в настоящее время.

Ключевые слова

Скважина, боковой ствол (БС), бурение горизонтального ствола (БГС), горизонтальный участок (ГУ), геолого-технические мероприятия (ГТМ), фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС).

Теория

Бурение вторых стволов на рассматриваемом месторождении начато с 2007 года на объекте БС₁₀²⁻³.

Зарезка боковых стволов является одним из эффективных мероприятий, применяемых на рассматриваемом месторождении. [1]

За анализируемый период 2007-2019 годы было пробурено 32 боковых стволов с горизонтальным окончанием.

За весь период разработки всего пробурено 32 боковых ствола с горизонтальным окончанием.

Работы по бурению боковых стволов на рассматриваемом месторождении велись на объектах БС₁₀²⁻³, БС₁₂¹, ЮС₁.

Одним из основных направлений по совершенствованию системы разработки объекта БС₁₂ являются бурение вторых стволов (в т. ч. с горизонтальным окончанием) в зонах концентрации остаточных запасов. [2]

На конец 2019 г. средний дебит нефти по всем боковым стволам составил 5,17 т/сут, изменяясь по скважинам в пределах 0,53 - 15,47 т/сут при средней

обводненности на рассматриваемом месторождении 79,49 % (интервал изменения по скважинам от 16,55 % до 99,17 %).

Максимальные входные показатели получены по боковому стволу в скважине 5570Л пробуренному в октябре 2010 г.

Накопленная добыча нефти составила 68,99 тыс. т при начальном дебите нефти 122,61 т/сут и обводненности 8,31 %. [3]

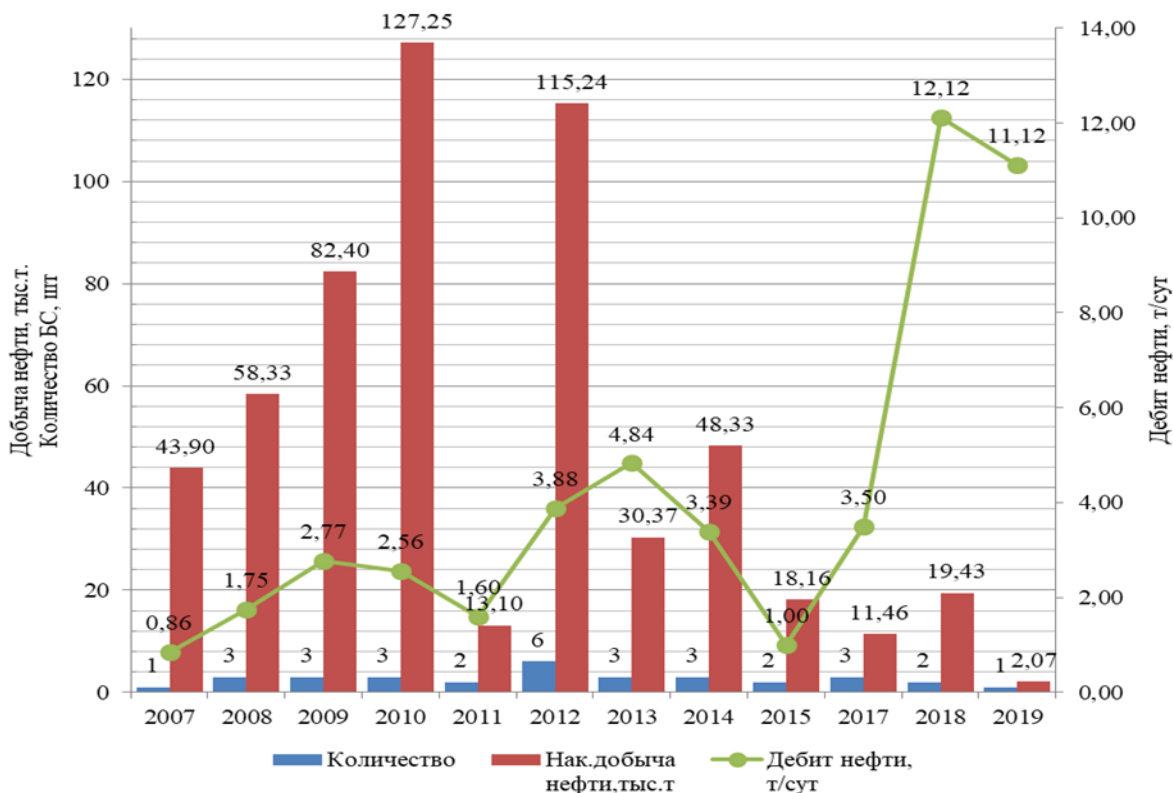


Рисунок 1. Динамика объемов работ и дебита нефти БС по годам.

Объект БС₁₀²⁻³.

Разработка объекта БС₁₀²⁻³ ведется с 1987 г., на его долю приходится 45,4 % текущей и 81,4 % накопленной добычи месторождения.

Общая толщина горизонта по скважинам в пределах залежи изменяется от 4,5 до 179,5 м при среднем значении 54,6 м, эффективная толщина изменяется от 0,5 до 52,1 м, в среднем составляя 16,7 м, эффективная нефтенасыщенная изменяется от 0,3 до 46,6 м, среднее значение – 14,3 м, средневзвешенное по залежи – 9,9 м. Коэффициент песчаности в среднем составляет 0,38 д. ед., изменяясь в пределах от 0,05 до 1 д. ед., расчлененность в среднем составляет 10 ед. Средний коэффициент нефтенасыщенности по скважинам – 0,624 д. ед.

Бурение БС на объекте БС₁₀²⁻³ проводится с 2007 года. За всю историю разработки объекта проведено 18 скв.-опер. по бурению БС, что является наибольшим количеством

на рассматриваемом месторождении (56,25 % от общего количества БС по месторождению), средняя длина ГУ 237,94 м.

В феврале 2007 года на скважине 7016 был пробурен боковой горизонтальный ствол. Скважина 7016л вступила в эксплуатацию с обводненностью 5,09% и входным дебитом нефти 137,05 т/сут. Накопленная добыча нефти по ней составила 43,9 тыс.т.

По состоянию на 01.01.2019 в добыче участвуют все скважины. Накопленная добыча нефти составила 388,84 тыс. т или 68,21% от накопленного объема добычи по всем БГС по месторождению. Входной дебит нефти по скважинам в среднем составил 43,69 т/сут, изменяясь по скважинам от 6 т/сут до 137,05 т/сут, на текущую дату средний дебит нефти – 4,5 т/сут, изменяясь от 0,53 до 15,47 т/сут.

Максимальные показатели получены по боковому стволу в скважине 5570Л, пробуренному в зоне с относительно высокой плотностью текущих подвижных запасов, которые ранее практически не дренировались. Накопленная добыча нефти по скважине составила 68,99 тыс. т (17,74% от общей добычи из боковых стволов объекта БС₁₀²⁻³ при входном дебите нефти 122,61 т/сут и обводненности 8,31%

Минимальные показатели наблюдаются по скважине № 118л запущенной в марте 2015 г. Входной дебит нефти составил 6 т/сут, обводненность 84,92 %. На дату анализа обводненность достигла 99,17%, накопленная добыча нефти составила – 2,03 тыс. т. Низкая эффективность связана с высокой входной обводненностью которая в свою очередь объясняется отсутствием интервалов с относительно высокой текущей нефтенасыщенностью, обводнение происходит по высокопроницаемым промытым интервалам вскрытым горизонтальным участком ствола.

Объект БС₁₂¹

Разработка объекта БС₁₂¹ ведется с 1987 года. На его долю приходится 6,9 % начальных геологических и 6,1 % начальных извлекаемых запасов нефти промышленных категорий рассматриваемого месторождения, бурение боковых стволов применяются с октября 2017 года.

Всего на объекте БС₁₂¹ на дату анализа выполнено 4 операции по бурению боковых стволов с горизонтальным окончанием (12,5 % от общего количества боковых стволов по месторождению), средняя длина ГУ 247 м.

На 01.01.2019 добыча ведется из 4 боковых стволов. За весь период разработки объекта БС₁₂¹ из боковых стволов добыто 18,99 тыс. т нефти или 3,33 % от общей добычи из всех боковых стволов, что в среднем 4,74 тыс. т на одну скважину. Входной дебит нефти по скважинам в среднем составил 14,42 т/сут, изменяясь по скважинам от 6,71 до 20,81 т/сут, на дату анализа средний дебит нефти – 6,90 т/сут, изменяясь от 1,91 до 11,12 т/сут.

Объект ЮС₁

На объекте ЮС₁ выполнено 10 зарезок боковых стволов с горизонтальным окончанием (31,25% от общего по месторождению), средняя длина горизонтального участка 229,5 м.

В период с 2012 по 2015 гг. максимальные показатели получены по боковому стволу в скважине № 2729Л, пробуренному в зоне с относительно высокой плотностью текущих подвижных запасов. Накопленная добыча нефти по скважине составила 30,36 тыс. т (18,71 % от общей добычи из боковых стволов объекта ЮС₁ при входном дебите нефти 63,45 т/сут и обводненности 39,07%

Минимальные показатели наблюдаются по скважине №2159Л запущенной в мае 2017 г. Входной дебит нефти составил 5,51 т/сут, обводненность 96,31 %. На дату анализа обводненность достигла 98,01%, дебит нефти 3,13 т/сут. Накопленная добыча нефти составила – 0,3 тыс. т. [4]

Выводы

Зарезка боковых стволов является одним из эффективных мероприятий, применяемых на рассматриваемом месторождении. Бурение боковых стволов начали с 2007 года. За анализируемый период 2007-2019 годы было пробурено 32 боковых стволов с горизонтальным окончанием.

Высокие показатели от проведения данного вида мероприятий обусловлено тем, что бурение боковых стволов осуществлялось на участках, где сосредоточены значительные остаточные извлекаемые запасы.

Дополнительная добыча нефти в результате бурения боковых стволов на месторождении составила 570,05 тыс. т (17,8 тыс. т/скв.).

Наибольшее количество мероприятий по бурению БС приходится на объект БС₁₀²⁻³ – 18 скважин, накопленная добыча нефти – 388,84 тыс. т.

Библиография

1. Павельева, О. Н. Анализ технологии бурения боковых стволов на завершающей стадии разработки нефтегазовых месторождений / О. Н. Павельева, А. О. Басов // Современные технологии в нефтегазовом деле - 2017: сборник трудов международной научно-технической конференции в 2-х томах, Октябрьский, 31 марта 2017 года. Том 1. – Октябрьский: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2017. – С. 273-275.
2. Павельева, О. Н. Эффективность бурения боковых горизонтальных стволов в нефтяных скважинах / О. Н. Павельева, К. Саабесагр // Опыт, актуальные проблемы и перспективы развития нефтегазового комплекса: материалы Международной научно-практической конференции обучающихся, аспирантов и ученых, Нижневартовск, 20 апреля 2017 года. Том 2. – Нижневартовск: ТИУ, 2017. – С. 180-182.
3. Павельева, О. Н. Бурение боковых стволов как метод повышения нефтеотдачи пласта в нефтяных скважинах / О. Н. Павельева, А. О. Басов, Ю. Н. Павельева // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 3. – С. 206-208.
4. Шемелин, С. С. Расчет устойчивости крепи скважины на примере Тасийского участка Тамбейского нефтегазоконденсатного месторождения / С. С. Шемелин // Время научного прогресса: Сборник научных трудов по материалам VII Международной конференции, Волгоград, 2022. – С. 34-36.

Применение ингибирующего бурового раствора с целью снижения рисков обвалов стенок скважины на примере Медвежьего месторождения. Юмагулова Э. И. (МГРИ, elvik.yumagulova@mail.ru), Научный руководитель: Вайнерман Б. П. (МГРИ, bwinerman@yandex.ru)

Аннотация

Предлагаемый проект связан с бурением скважин на нефть и газ и ориентирован на снижение обвалов стенок скважины. Решение данной задачи подразумевает использование ингибирующего раствора.

Для повышения технико-экономических показателей бурения и эффективности проводки скважины необходимо использовать высокоингибирующие системы буровых растворов. Данный проект реализуется посредством применения промывочной жидкости на водной основе с добавлением ингибитора глин КС1.

Ключевые слова

Бурение, обвалы стенок скважины, ингибирование глин, буровой раствор на водной основе.

Теория

Для ингибирования буровых растворов применяют электролиты – хлориды натрия, калия, магния, кальция и другие. При чередовании в литологическом разрезе пластичных и хрупких глинистых пород необходимо применение такого раствора, который сможет обеспечить устойчивость как пластичных глин, так и хрупких сланцев: водный буровой раствор, включающий в рецептуру катионные полимеры, наиболее эффективен для таких разрезов [2].

Для изучения процессов, которые протекают в отложениях сильно трещиноватых аргиллитов в процессе бурения скважин, было множество лабораторных исследований с целью определения влияния бурового раствора на аргиллиты. Образцы были отобраны из отложений, залегающих на глубине 1385–1475 м и относящихся к пермской системе артинского яруса. Текстура образца аргиллита представлена слоями, подвергается расщеплению вдоль плоскостей напластования (рис. 1).

Исследование на образование трещин при взаимодействии с флюидом может представить наибольшую информативность в вопросе о стабильности глинистых отложений, имеющих склонность к образованию трещин в условиях действия на них бурового раствора.

Образец породы, имеющий примерно правильную форму размером 2 на 3 см, погружается в исследуемую жидкость комнатной температуры. При этом исследование позволяет оценить реальное действие жидкости на глинистую породу по причине отсутствия действия на образцы дополнительных нагрузок (течение флюида, давление, температура и других). Образование трещин в образцах фиксируется в ходе визуального осмотра через определенные промежутки времени [3].



Рисунок 1. Образец аргиллита

На практике при бурении в рецептуру бурового раствора включают от 3 до 7 % хлорида натрия (NaCl) и от 5 до 20 % хлорида калия (KCl) с целью ингибирования, предотвращения расслаивания выбуренной породы и сохранения стенок скважин в устойчивом состоянии [1].

В результате применения солей натрия обеспечивается умеренно-сильное ингибирование, а солей калия – сильное ингибирование. Растворы хлорида натрия и калия предложены в качестве основы для проведения теста на образование трещин. Также исследование проводилось в 5%-ных растворах $\text{Na}_2(\text{SO})_4$, CaCl_2 , MgCl_2 и обычной воде.

На территории северо-востока данной территории минеральный состав аргиллитов практически не отличается и преимущественно включает в свой состав иллит и каолинит, лишь варьируются их процентные соотношения в зависимости от условий формирования. Основная составляющая трещиноватых аргиллитов, по данным исследования на дифрактометре, представлена каолинитом (47–78 %), иллитом (10–30 %) и аутигенным хлоритом (3–18 %). Образец аргиллита содержит высокую долю каолинита, что является признаком низкой емкости катионного обмена, способности к набуханию и удерживанию воды [4].

На рис. 2 приведены данные по изменению массы образцов аргиллита в среде паров, насыщенных 5% растворами KCl, $\text{Na}_2(\text{SO})_4$, NaCl, CaCl_2 , MgCl_2 и воды. Минимальное увеличение массы образца наблюдалось в парах насыщенного раствора KCl.

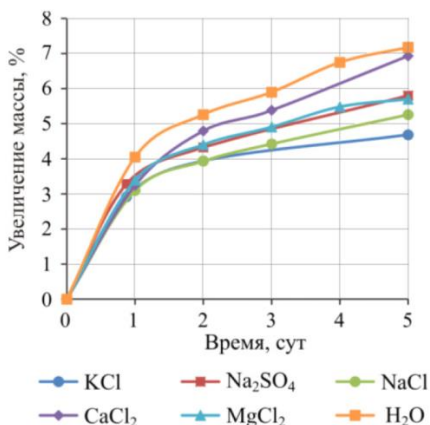


Рисунок 2. Динамика увеличения массовой доли образцов в средах паров насыщенных растворов

В результате проведения теста на образование трещин выявлено, что влияние воды как контрольного параметра значительно увеличивает существующие трещины в образце аргиллита (рис. 3, а). Уже после 10 мин взаимодействия наблюдается полное разупрочнение породы, такой же результат показывает и взаимодействие образца в 5%-ном растворе NaCl (рис. 3, б). При взаимодействии аргиллита с 5%-ными растворами MgCl₂, Na₂SO₄ и CaCl₂ наблюдается образование и расширение со временем (через 6 ч) трещин вдоль плоскостей напластования с одновременным разрушением породы (рис. 3, в–д). При помещении образца аргиллита в 5%-ный раствор хлористого калия (KCl) наблюдалось незначительное расширение и распространение на всю длину образца трещин, что является положительным результатом (рис. 3, е).

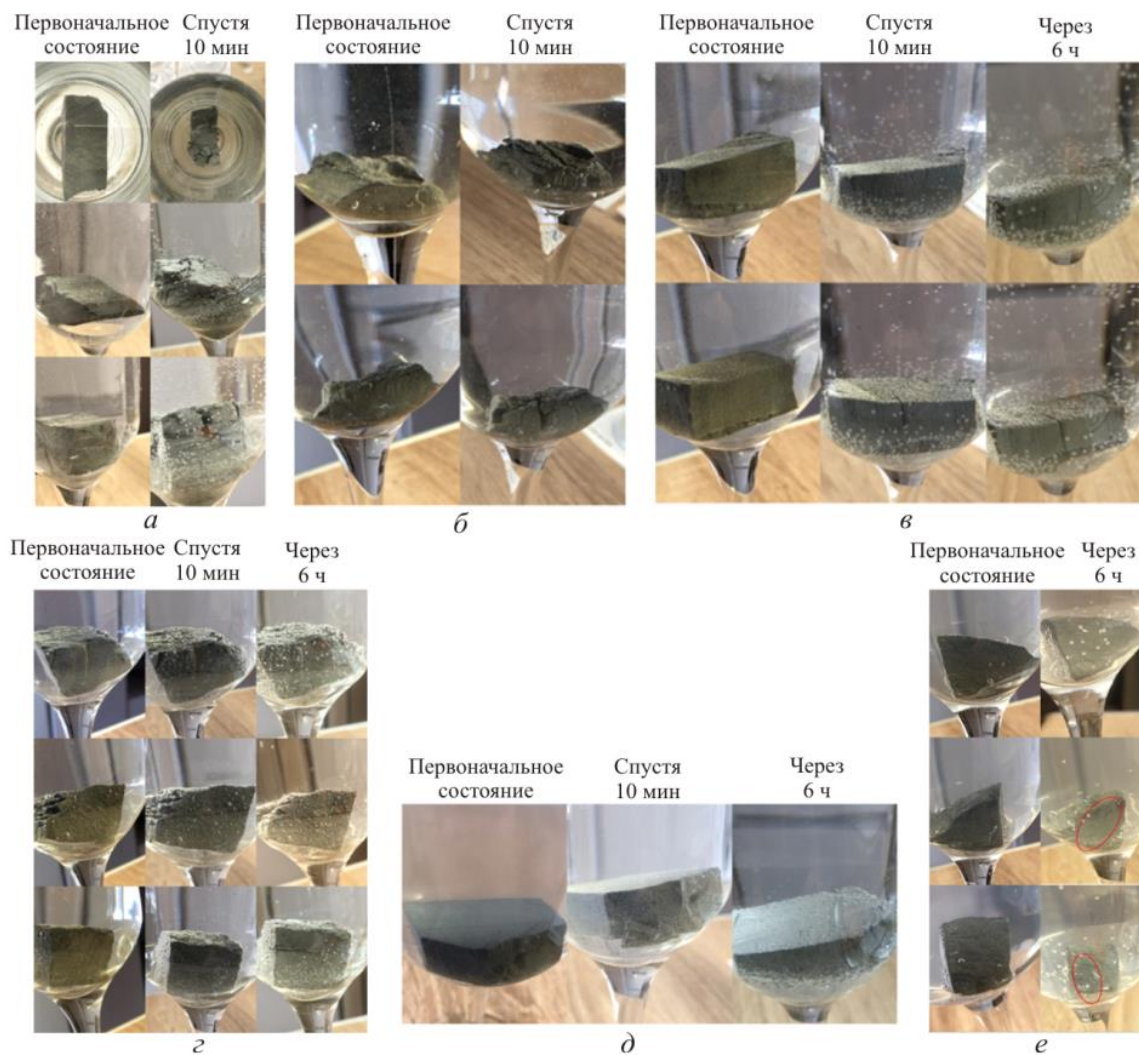


Рисунок 3. Образец аргиллита при взаимодействии: а – с водой в начале теста и через 10 мин; б – с NaCl в начале теста и через 10 мин; в – с Na₂SO₄ в начале теста, через 10 мин и через 6 ч соответственно; г – с MgCl₂ в начале теста, через 10 мин и через 6 ч; д – с CaCl₂ в начале теста, через 10 мин и через 6 ч; е – с KCl в начале теста и через 6 часов

Выводы

Взаимодействие воды с трещиноватым аргиллитом негативно влияет на его устойчивость. Биополимерный буровой раствор с добавлением хлористого калия в большей мере сможет обеспечить стабильность трещиноватых аргиллитов Медвежьего месторождения; результаты с хлористым калием в методе Ченеверта и тесте на образование трещин идентичны. Предложено использовать KCl биополимерный буровой раствор и заменить дорогостоящий раствор на углеводородной основе «Carbo-Drill». Подобное решение уже позволило сократить затраты заказчиков, а также снизить экологическую вредность на многих локациях Западной Сибири.

Библиография

1. Давлетбердина И.Б. «Ингибирующие свойства хлор-калиевого бурового раствора». Текст научной статьи по специальности «Энергетика и рациональное природопользование»
2. Новиков В.С. Устойчивость глинистых пород при бурении скважин. – М.: Недра, 2000. – 270 с.
3. Нуцкова М.В., Чудинова И.В., Соболев А.Н. Исследование механизма повышения стабильности ствола скважины при бурении трещиноватых аргиллитов // Недропользование. – 2020. – Т.20, №3. – С.231–241.
4. Рябинкина Н.Н., Валяева О.В. Состав и органическое вещество аргиллитов нижнего карбона Печорского бассейна // Нефтегазовая геология. Теория и практика [Электронный ресурс]. – 2017. – Т. 12, №1. – URL: www.ngtp.ru/rub/1/2_2017.pdf

Устройство системы высококачественной очистки бурового раствора. Суботин Д.А.* (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, e-mail), Онофриенко С.А. (Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, e-mail 13050465@mail.ru)

Аннотация

Рассмотрена основная четырехступенчатая система очистки бурового раствора. Показаны современные взаимосвязанные устройства и сооружения для приготовления, своевременного регулирования и управления параметрами буровых растворов. Предлагается блок химического усиления центрифуг (БХУЦ) для повышения эффективности полной очистки растворов, применение которого существенно расширяет возможности традиционной 4-х ступенчатой системы очистки.

Ключевые слова

Циркуляционная система, технико-экономические показатели бурения, полная очистка буровых растворов, коагуляция, флокуляция, блок химического усиления центрифуг.

Теория

Основной целью использования бурового раствора является эффективное углубление ствола и успешное заканчивание проектируемой скважины при использовании современного оборудования и минимальных расходах на материалы и химические реагенты. К важнейшим условиям повышения технико-экономических показателей (ТЭП) бурения относят: уменьшение сроков строительства скважин, снижение себестоимости метра проходки, улучшение буровых растворов и систем их очистки. Кроме того, ТЭП в существенной степени зависит от состава и технологических свойств применяемых буровых растворов.

Успешная проводка скважин, в первую очередь наклонно-направленных и горизонтальных в сложных условиях определяется не только составом и свойствами бурового раствора, но также и совершенствованием системы очистки.

Буровой раствор – сложная коагуляционно-тиксотропная полидисперсная система особенности состава которой обуславливают его реологические и технологические свойства. Промывочный агент, что выходит на поверхность их скважины, может быть использован вновь, но для этого его необходимо очистить от обломков выбуренной породы (шлама). Поступающие в буровой раствор частицы выбуренной породы оказывают вредное влияние на его основные технологические свойства, а значит и на технико-экономические показатели бурения.

Современная буровая установка для проходки глубоких скважин на нефть и газ оснащается комплексом оборудования, механизмов и устройств заводского изготовления, предназначенных для приготовления, очистки, контроля свойств и циркуляции бурового раствора, обеспечивающего вымывание выбуренной породы и подвод гидравлической мощности к забойному двигателю и долоту. Этот комплекс объединяется понятием «Циркуляционная система».

ЦС – это взаимосвязанные устройства и сооружения предназначенные для приготовления, очистки, прокачивания и своевременного регулирования структурно-механических, фильтрационных и фрикционных свойств, хранения и долива бурового раствора. Циркуляционные системы буровых установок комплектуются для очистки буровых растворов четырехступенчатой системой очистки, которая включает в себя вибросита, пескоотделители, илоотделители а также центрифуги. Частицы выбуренной породы размером до 100 мкм удаляются виброситом, до 70 мкм – средством для удаления частиц размером до 4–7 мкм является центрифуга. Несмотря на то, что производительность центрифуги, как правило, составляет лишь 5–7 л/с, она в процессе бурения удаляет зачастую до 30–40 % выбуренной породы. Практически, центрифуги способны чистить раствор до плотности 1,1–1,12 г/см³.

В случае более высоких проектных плотностей бурового раствора центрифуги могут включаться в работу периодически, т.е. фактически служат регулятором плотностей [4]. Важно заметить, что в составе циркуляционной системы все эти механические устройства должны устанавливаться в строгой последовательности.

При этом схема прохождения промывочной жидкости должна соответствовать следующему циклу движения бурового промывочного агента по замкнутому гидравлическому контуру: скважина - газовый сепаратор - блок грубой очистки от шлама (вибросито) – дегазатор – блок тонкой очистки шлама (песко- и илоотделители, сепаратор) – блок регулирования содержания и состава твердой фазы (центрифуга, гидроциклонный глиноотделитель) – буровой насос – скважина.

После прохождения всех вышеописанных ступеней очистки остаются частицы (размером менее 2 мкм), которые играют существенную роль в формировании технологических свойств бурового раствора [1]. Иного механического способа снижения размера тонкодисперсных частиц пока не существует. Для полной очистки бурового раствора применяют блок химического усиления центрифуг (БХУЦ), который также называют блоком флокуляции и коагуляции (БФК).

Этот блок предназначен для химической обработки бурового раствора с целью улучшения работы центрифуг и получения чистой воды, а устанавливается он в комплексе средств очистки бурового раствора от выбуренной породы и газа, перед блоком регулирования твердой фазы (центрифугами) по согласованному проекту строительства скважины.

В настоящее время для повышения эффективности глубокой очистки бурового раствора применяется четырехступенчатая система очистки с блоком коагуляции и флокуляции. Её схема представлена ниже (рис. 1).

БХУЦ применяется в технологии экономически чистого безамбарного бурения в составе буровых и ремонтных установок, в том числе и в мобильном исполнении, в комплексе средств очистки бурового раствора. Блок очистки бурового раствора с применением флокулянтов и коагулянтов предоставляет возможность удалить накапливающиеся в замкнутой циркуляционной системе мельчайшие частицы шлама (размер менее 5-10 мкм), которые не в состоянии удалить из раствора применяющиеся вибросита, гидроциклоны, илоотделители и даже центрифуги.

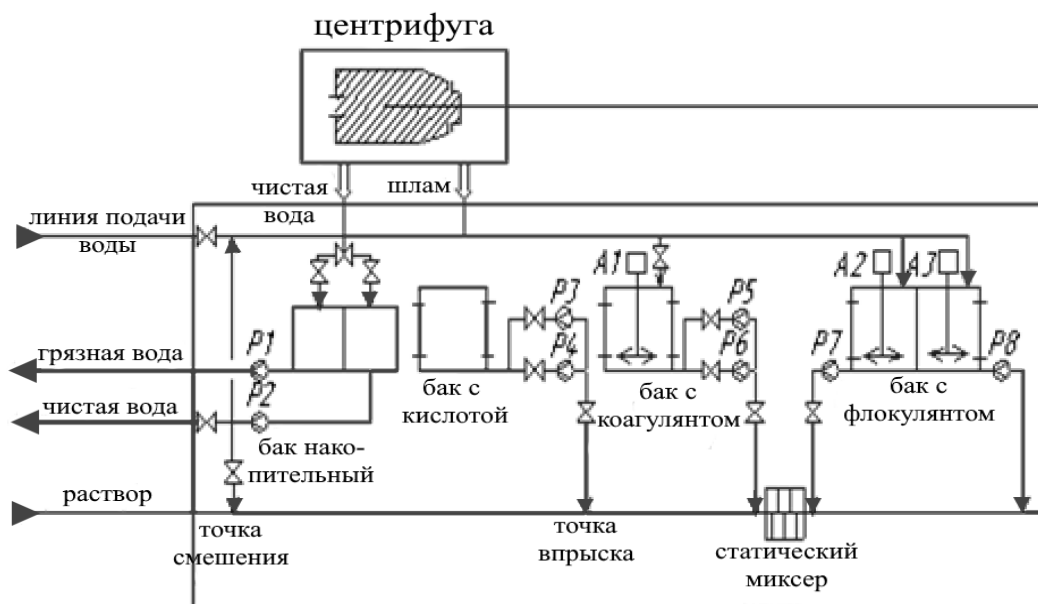


Рисунок 1. Схема блока коагуляции и флокуляции

Коагуляция – это процесс слипания (т.е. укрупнения) частиц коллоидной системы при их столкновении в растворе в процессе теплового движения.

Флокуляция – вид коагуляции, при котором за счет образования мостиковых связей между отдельными частицами флокул формируются большие агломераты.

Блок коагуляции и флокуляции (БКФ), устанавливаются в технологической цепочке системы очистки перед центрифугой, с той целью, чтобы он укрупнял частички до размера, удаляемого ею. Применение БКФ позволяет получать на выходе после центрифуги жидкую фазу, максимально очищенную от примесей. БХУЦ представляет собой установку, выполненную в блочном исполнении, которая обладает полной автономностью [3].

Четырехступенчатая система очистки с блоком коагуляции и флокуляции позволяет добиться следующих результатов:

- увеличения долговечности долот, бурильного инструмента, ресурса забойных двигателей;
- уменьшения количества СПО;
- увеличения проходки на долото;
- уменьшения износа буровых насосов;
- уменьшения времени на профилактические и ремонтные работы оборудования;
- снижения расхода хим. реагентов;
- снижения вероятности аварийных работ и их ликвидации.

Все оборудование установки смонтировано в теплоизолированном контейнере. На данный момент производством его занимаются следующие компании: КЕМ-ТРОН, группа компаний МАГНУМ, Hebei GN solids Control и другие. Блок химического усиления центрифуг в настоящее время существуют в разных технических исполнениях, подходящих для широкого спектра условий бурения [2].

Выводы

Представленный обзор обобщает промышленный материал и изложенные в технической литературе данные по проблеме эффективной глубокой очистки буровых растворов и позволяет сделать вывод о том, что применение БХУЦ (БКФ) существенно расширяет возможности традиционной 4-х ступенчатой системы очистки и значительно повышает технико-экономические показатели бурения.

Библиография

1. А.Я. Третьяк, О.В. Савенок, Ю.М. Рыбальченко/ Буровые промывочные жидкости: учеб. Пособ. ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платов – Новочеркасск: Лик, 2014 г.
2. А.Я. Третьяк, А.И. Безбородов, Ю.М. Рыбальченко / Двухступенчатая система очистки буровых растворов. Известия высших учебных заведений Сев-Кав. Региона № 1, 2014. – 148 с.
3. Выбор центрифуг для очистки буровых растворов / В. И. Мищенко, А. А. Добик // Бурение и нефть. – 2015. – № 5. – С. 38-40.
4. Технология очистки и рециклинга бурового раствора / А. А. Третьяк, Е. А. Яценко, К. А. Борисов, Е. В. Карельская // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333, № 2. – С. 62-70.

*Анализ применения бактерицидов в бурении для борьбы с биогенным сероводородом
Сырчина А.С.* (МГРИ, syrchinaas@mgi.ru),*

Аннотация

Микробиологическая коррозия является широко распространённым явлением не только при бурении нефтяных газовых скважин, но и при дальнейшей разработке и эксплуатации месторождений.

Одной из основных причин биокоррозии является газ сероводород, поступающий в скважину через ее крепь и наносящий непоправимый вред, которые в следствии допущения ее распространения приводит к различным авариям.

Ключевые слова

Биокоррозия, сероводород, бактерициды.

Теория

К сожалению, не смотря на широкое распространение биокоррозии в различных месторождениях углеводородов компании, занимающиеся непосредственно бурением и дальнейшей эксплуатацией месторождений уделяют недостаточное внимание данному вопросу и ведут борьбу не с причиной этого явления, а со следствием, то есть пытаются решать вопросы уже на этапе разрушения. В процессе бурения и эксплуатации технологи наблюдают уменьшение эффективности противокоррозионной защиты обсадных, бурильных и насосно-компрессорных труб, а также наземного оборудования, но не выявляют первопричину в виду их большого разнообразия.

Среди наиболее распространенных причин снижения противокоррозионной защиты можно выделить следующие (см. рис.1.)

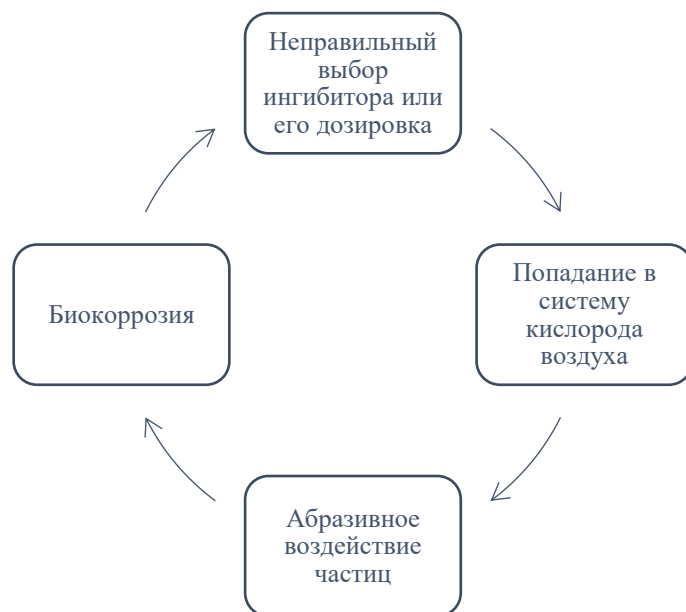


Рисунок 1. Причины снижения противокоррозионной защиты оборудования

На сегодняшний день наиболее эффективным средством для борьбы и биокоррозией является принижение бактерицидов – это вещества, способные не только уничтожать бактерии, но и регулировать их численность, препятствуя размножению вредоносных бактерий.

На сегодняшний день подавляющая часть месторождений находится на поздней стадии разработки, а значит, что добываемые углеводороды обладают различной степенью обводненности. Что, в свою очередь, увеличивает скорость коррозии оборудования, ведь любое из агрегатных состояний воды оказывает негативное влияние на все металлическое оборудование, сокращая его надежность и межремонтный период.

Классифицируют пластовые воды по преобладающим анионам и катионам в его составе:



Рисунок 2. Классификация пластовых вод

Месторождения углеводородов чаще всего имеют в своем составе хлоридно-кальцевые воды и гидрокарбонатнонатриевые [1].

Все бактерии, тем или иным способом участвующие в коррозионном разрушении подразделятся по типу отношения к кислороду в окружающей среде: аэробные и анаэробные. Кроме того, все микроорганизмы подразделят по типу питания на гетеротрофные (использующие углерод из органических соединений) и автотрофные (поглощающие углерод из неорганических соединений углерода, используя CO_2).

Многим микроорганизмам необходима для развития влага, а так как на нефтегазовых месторождениях используются большие объемы различных вод, закачиваемых с целью ППД в пласты, то для развития микроорганизмов созданы идеальные условия.

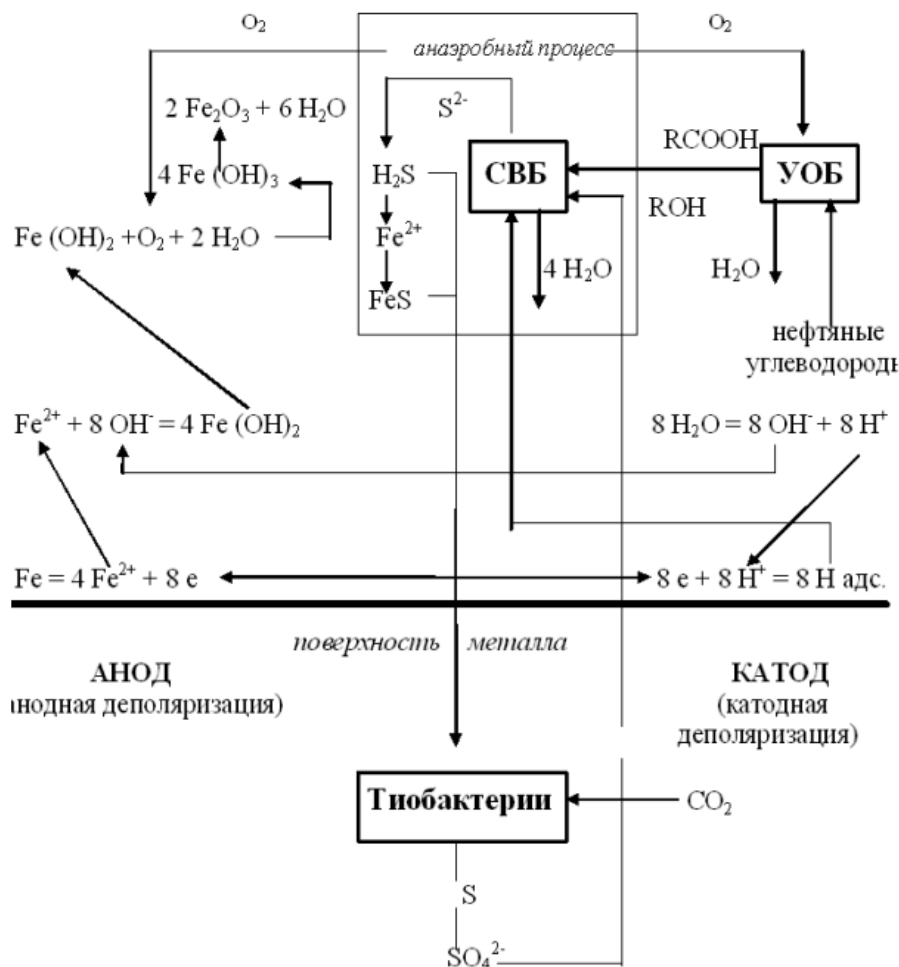


Рисунок 3. Схема биоценоза коррозионно-агрессивной бактериальной микрофлоры нефтяных пластов и нефтепромысловых объектов [2]

Исследователи выделяют 6 способов борьбы с биокоррозией [4]:

1. Применение ингибиторов-бактерицидов, воздействующих на металл и покрытие:
 - 1) механическое удаление загрязнений;
 - 2) гидрофобизирование поверхности;
 - 3) физические методы: обезвоживание, облучение;
 - 4) повышение общей коррозионной стойкости металлов и защитной способности покрытий;
 - 5) повышение адгезии покрытий;
 - 6) контактные ингибиторы коррозии, смазочные материалы;
 - 7) применение биоцидных ингредиентов в лакокрасочные покрытия (ЛКП).
2. Продувка среды кислородом, воздействующая на среду и эксплуатацию:
 - 1) поддержание $t \sim 20 \text{ }^\circ\text{C}$, влажности менее 80 %, воздухообмен;
 - 2) предотвращение проникновения микроорганизмов (герметизация, очистка, осушка, воздуха и т. п.);
 - 3) электрохимические методы (катодная защита и т. п.);
 - 4) химические методы (летучие ингибиторы коррозии, биоциды и др.).

3. Изменение рН пластовой воды, оказывающие прямое воздействие на микроорганизмы включает следующие приемы:

- 1) радиационная защита (радиоактивные вещества);
- 2) биологическая защита (антагонизм, конкуренция микроорганизмов);
- 3) экологическая защита (паразитизм неопасных микроорганизмов на опасных для повреждений микроорганизмов);
- 4) подбор бактерицидов в целях подавления процессов жизнедеятельности коррозионно-опасной микрофлоры.

4. Применение защитных покрытий, стойких к воздействию микроорганизмов.

5. Катодная защита покрытий, стойких к воздействию микроорганизмов.

6. Удаление из среды питательных веществ СВБ.

Известными бактерицидами являются [2,3]: образованные электрохимическим способом хлор / гипохлорит (и бром / гипобромит); соли гипохлорита и гипобромита; стабилизированный бромхлорид; гидроксильные радикалы; хлорамины; хлордиоксид; хлоризоцианураты; галогенсодержащие гидантоины; перекись водорода и надуксусная кислота и другие.

Неокисляющие органические бактерициды менее склонны к коррозии, чем окисляющие бактерициды: в самом деле, некоторые из них могут ингибировать коррозию. В класс неокисляющих органических бактерицидов входят [2,3]: альдегиды, четвертичные фосфониевые соединения, четвертичные аммониевые поверхностно-активные вещества, катионные полимеры, органические бромиды, метронидазол, изотиазолонны (изотиазолиноны) и тионы, органические тиоцианаты, фенолы и другие.

Выводы

Проблема биозараженности в сфере добычи, переработки и транспортировки углеводородов не должна оставаться без внимания, так как все это может привести к огромному количеству негативных последствий, в числе которых можно выделить аварии с различными видами колонн. Важно бороться не только со следствием биокоррозии, но и выявлять причину данного явления, для того, чтобы минимизировать риски возможных аварий в будущем.

Библиография

1. Отчет по определению содержания сероводорода, метил- и этилмркраптанов в нефти и попутного нефтяном газе Юрубчено-Тохомского НГКМ, 2009.
2. Повышение коррозионной надежности газоперерабатывающих комплектов ПНГ / Н.Д. Войтех, Ю.А. Журавлев - ОАО «НИПИГазопереработка, 2011.
3. Подавление микробиологической коррозии в металлических конструкциях / Гатилова А.А. В сборнике: Наука молодых - будущее России. Сборник научных статей 4-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. В 8-ми томах. Ответственный редактор А.А. Горохов. 2019. С. 77-78.
4. Публичный аналитический доклад по направлению научнотехнического развития «Новые технологии добычи и использования углеводородного сырья», 2014.

***Статистический подход к процессам техники и технологии бурения скважин.
Сырчина А.С.* (МГРИ, syrchinaas@mgri.ru), Ганджумян Р.А. (МГРИ,
gandzhumyanra@mgri.ru)***

Аннотация

Стационарные случайные процессы иллюстрируются многочисленными практическими примерами. Приведены часто встречающиеся в практике бурения на твердые, жидкие и газообразные полезные ископаемые вычислительные процедуры, иллюстрирующие практическое применение методов анализа стохастических процессов.

Показано, что динамическое взаимодействие бурильной колонны с забоем представляет собой сложный процесс, зависящий от ряда факторов, но главным образом от колебательных процессов.

Рассмотрен аналитический подход к задаче продольных и крутильных колебаний бурильной колонны при условии, что силы, действующие на долото и боковые поверхности колонны, по своей природе случайны.

Ключевые слова

Статистический подход, бурильная колонна, колебания бурильной колонны.

Теория

В практике буровых работ часто приходится оперировать случайными величинами. Например, изменения механической скорости бурения (V_m), пластового давления ($P_{пл}$), градиентов гидроразрыва пород и т.д. являются случайными функциями непрерывной глубины скважины.

На рис. 1,2 приведены примеры реализаций случайных процессов. Циклическому нагружению подвергается спускоподъемный комплекс БУ. Подъемный комплекс БУ является сложной динамической системой, в которой отдельные узлы и элементы движутся с различными скоростями и ускорениями. В таких системах точное определение динамических нагрузок представляет известную сложность для инженерных расчетов.

Большинство машин БУ испытывает нестационарное нагружение с изменяющимися характеристиками рабочего процесса.

К нестационарному нагружению относится нагружение с изменяющимися характеристиками рабочего процесса. Большинство машин буровой установки (БУ) испытывает нестационарное нагружение. Изменение характеристик рабочих процессов в буровых машинах обусловлено непрерывным увеличением глубины забоя скважины и ступенчатым изменением веса бурильной (или обсадной) колонны труб при спускоподъемных операциях (СПО).

Изменение уровня нагрузок и частота их повторения зависят от технологического процесса, выполняемого тем или иным оборудованием БУ.

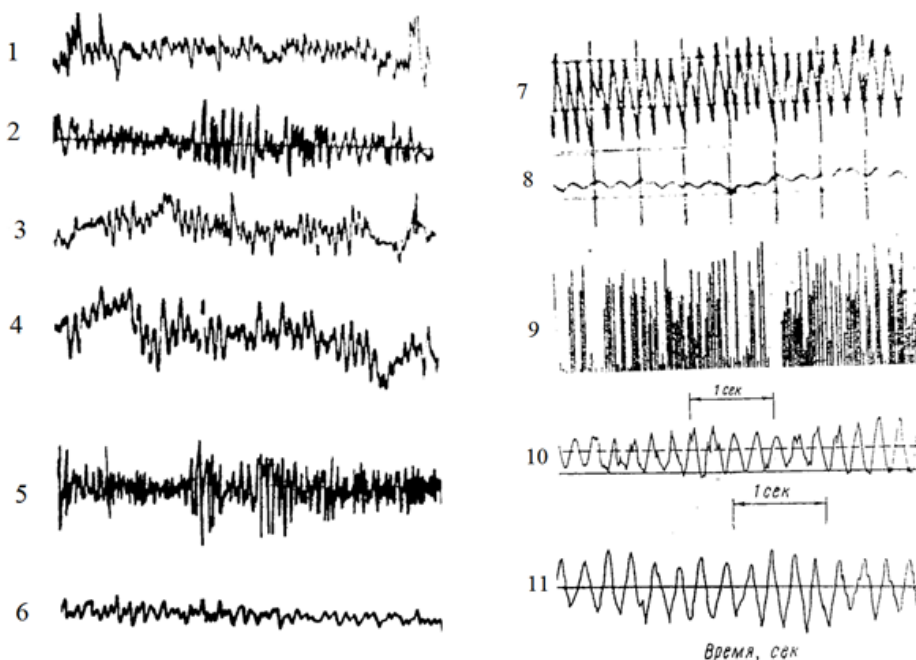


Рисунок 1. Примеры реализаций случайных процессов, записанные с помощью забойных регистрирующих устройств: 1 – ускорение вибрационного смещения; 2, 4, 5, 6 – продольные колебания (трехшарошечное долото); 3 – крутильные колебания (долото PDC); 3, 4, 5 – бурение ГЗД (3 – ВЗД; 4 – А7Н4С; 5 – ЗТСШ1-195ТЛ); 7,8 – осциллограмма продольных перемещений нижней части бурильной колонны (8 – с виброзащитным устройством); 9 – амплитуда вибраций бурового инструмента в трещиноватых породах; 10 – нагрузка на долото при бурении $n = 80$ об/мин; 11 – продольные ускорения ведущей трубы в процессе бурения.

Динамические нагрузки, характеризующиеся быстрым изменением значения направления, вызывают в элементах оборудования значительные силы инерции. Этими нагрузками при расчетах бурового оборудования пренебречь нельзя. Если переменная нагрузка изменяется по повторяющемуся закону, то она называется циклической.

Таким образом, буровые машины относятся к категории машин, в которых нагрузки являются случайными функциями времени, когда нагрузки задаются законами их распределения, полученными на основании статистической информации.

Однако, статистический (вероятностный) подход к исследованию нагружения бурового оборудования затруднен из-за отсутствия или недостаточного объема статистической информации, необходимой для выявления законов распределения нагрузок.

Установлено [5], что при действии постоянных усилий талевая система, кривошипно-шатунный механизм бурового насоса, цепные передачи испытывают значительные динамические нагрузки вследствие колебательных процессов. Неравномерность вращения валов БУ из-за изменения нагрузки на крюке достигает значительных величин (15-20%).

Талевая система работает в условиях циклических нагрузок, особенно во время СПО, и в условиях вибрационных нагрузок в процессе бурения.

Вибрации колонны передаются талевой системе и вызывают колебания не только ее элементов, но и вышки.

По данным зарубежных исследователей крутильные колебания приводят к неравномерному вращению и остановкам бурения (в зарубежной литературе известно, как stick/slip). Влияние этого явления увеличивается с увеличиваем длины КБТ в результате чего период остановки (замирания) долота увеличивается, а долото высвобождается с большим ускорением [4]. Это приводит к тому, что соединения КНБК подвергаются усталостному повреждению, а также преждевременному износу долота. Не только КНБК подвержена вредному воздействию неравномерному вращению, но и бурильные колонны, расположенные выше.

Мощным средством исследования динамических систем при случайных возмущениях является аппарат случайных функций [1, 5]. Особенно эффективен этот аппарат для исследования линейных динамических систем (или систем, которые могут быть приняты линейными) при воздействии стационарных случайных возмущений.

Одним из основных методов анализа случайных процессов является корреляционная теория, которая позволяет при известных характеристиках входа получить вероятностные характеристики выхода. Она основана на изучении моментов первого и второго порядка, т.е. такими характеристиками случайного процесса как математическое ожидание, дисперсия и корреляционная функция. Методы корреляционной теории оказываются вполне приемлемыми для изучения многих прикладных задач бурения. Поэтому, корреляционная теория и получила столь широкое распространение. Поэтому, корреляционная теория и получила столь широкое распространение.

Изучение сложных буровых процессов вероятностного характера в рамках корреляционной теории в ряде случаев затруднен или оказывается вовсе невозможен. В этих случаях отказываются от рассмотрения случайных процессов общего вида и ограничиваются процессами, обладающими некоторыми специальными свойствами. Такие процессы трактуются как марковские случайные процессы [3].

Состояние системы могут изменяться либо дискретно, либо непрерывно.

Если описанные выше методы неприемлемы (или же требуется проверить их точность), приходится прибегать к универсальному методу статистического моделирования или, как его часто называют методу Монте-Карло [2].

Идея метода чрезвычайно проста и состоит она в следующем. Вместо того чтобы описывать процесс с помощью аналитического аппарата (дифференциальных или алгебраических уравнений), производится «розыгрыш» случайного явления с помощью специально организованной процедуры, включающей в себя случайность и дающей случайный результат. В действительности конкретное осуществление (реализация) случайного процесса складывается каждый раз по-своему; так же и в результате статистического моделирования мы получаем каждый раз новую, отличную от других реализацию исследуемого процесса.

Это множество реализаций можно использовать как искусственно полученный статистический материал, который может быть обработан обычными методами математической системы. После такой обработки могут быть получены (разумеется,

приближенно) любые интересующие нас характеристики: вероятности событий, математического ожидания и дисперсии случайных величин и т.д. При моделировании случайных явлений методом Монте-Карло мы пользуемся самой случайностью как аппаратом исследования, заставляем ее «работать» на нас.

Выводы

Анализ экспериментальных данных отечественных и зарубежных исследователей по измерению сил, действующих на долото в процессе бурения в различных геолого-технических условиях, показал: при наличии флуктуаций на полученных реализациях долото отскакивает от забоя, что свидетельствует о снижении до нуля осевого усилия и крутящего момента; согласно виброграммам продольных перемещений долот, с твердосплавным вооружением при бурении в стендовых условиях с очисткой забоя воздухом низкочастотная составляющая имеет частоту, примерно равную утроенной частоте вращения долота; с увеличением твердости забоя величина амплитуды продольных перемещений долот растет, влияние низкочастотной составляющей становится более заметным, с ростом частоты вращения увеличивается также амплитуда поперечных колебаний КБТ.

При использовании виброзащитных устройств уровень колебаний КБТ снижается в 2 – 5 раз (чем интенсивнее вибрации, тем эффективнее их применение); несколько увеличиваются показатели работы долот, а ресурс долот увеличивается в 1,3 – 1,5 раза. Представляет интерес использование методов нелинейной теории виброзащитных устройств, при котором вибрационные воздействия будут носить случайный характер.

Предложена стохастическая модель колебаний КБТ, не требующая грубых допущений и учесть большое число факторов. Преимущество такой модели: ее применимость к заданным условиям, в частности, с неопределенными граничными условиями.

Библиография

1. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерное приложение. – М.: «Кнорус», 2016 г., 448 с.
2. Ганджумян Р.А. Математическая статистика в разведочном бурении: справочное пособие – М.: Недра, 1990 г., 218 с.
3. Ганджумян Р.А., Симонянц С.Л. К вопросу об изучении вибрации бурильной колонны как случайного процесса. «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и море», №3. 2018 г. стр. 5-8. (38)
4. Ганджумян Р.А., Сырчина А.С., Попов В.О. Изучение вибраций долот с твердосплавным вооружением при бурении с очисткой забоя воздухом. Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник», №1, 2021 г., с. 60 – 63. (21)
5. Ефимченко С.И., Прыгаев А.К. Расчет и конструирование машин и оборудования для бурения нефтяных и газовых скважин. Учеб. Для ВУЗов. М. ФГУП «Изд. Нефть и газ. РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина», 2006. – 736 с.

Транспортирование шлама в стесненных условиях. Тунгусов С.А. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), tungusovsa@mgri.ru)

Аннотация

В докладе рассматривается движение частиц шлама в стесненных условиях. Приводится теоретическое обоснование влияния эквивалентного диаметра частицы шлама на силы тяжести, Архимеда и лобового сопротивления. На основе теоретических представлений делается вывод о возможности применения пульсирующего потока для создания стесненных условий движения шлама с целью уменьшения скорости восходящего потока, достаточной для выноса частиц шлама.

Ключевые слова

Промывка скважины, скорость витания, стесненные условия, пульсирующий поток.

Источники финансирования

Нет

Теория

При бурении скважин крупность шлама меняется в значительных пределах. При этом крупность шлама в основном зависит от применяемого породоразрушающего инструмента и в меньшей степени от разбуриваемой породы. Размеры шлама, как правило, колеблются от 0,005 мм при бурении импрегнированными алмазными коронками до 25 мм при бурении инструментом со вставками PDC и лопастными долотами [4]. Вынос частиц шлама разных размеров имеет свои особенности. Мелкие частицы имеют меньшую площадь и, как следствие этого, меньшее лобовое сопротивление, напротив, крупные частицы шлама, имея большую площадь сечения, имеют и больший коэффициент лобового сопротивления, соответственно, большую силу лобового сопротивления, возникающую при осаждении частицы в жидкости или при набегании на них потока. В гидравлических расчетах принято частицы «неправильной» формы заменять эквивалентным диаметром (за исключением частиц, чья форма приближается к форме пластинок, например слюдосодержащие породы), тогда силу лобового сопротивления можно найти из выражения 1 [2].

$$F_{\text{лс}} = \xi \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{\rho_{\text{ж}} \cdot v}{2} \quad (1)$$

где d – эквивалентный диаметр частицы шлама, м;

ξ – коэффициент сопротивления среды;

v – скорость потока, м/с;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, кг/м³.

Так же на частицу в жидкости действует сила тяжести и сила Архимеда, сумму этих сил можно определить из выражения (2)

$$R = g \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot (\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{ж}}) \quad (2)$$

$\rho_{\text{п}}$ – плотность породы (частицы шлама), кг/м³

Как видно из графиков на рисунке 1 зависимости силы лобового сопротивления и суммы сил тяжести и сил Архимеда от диаметра частицы с увеличением диаметра возрастают, но в силу того, что вес частицы с увеличением диаметра растет значительно больше, чем сила лобового сопротивления, эти две силы, практически сразу выходят из равновесия. Равновесие этих двух сил создается за счет увеличения скорости движения потока, и называется скоростью витания. Для устойчивого выноса шлама скорость потока должна быть выше скорости витания. Как видно из графика на рисунке 2, такие скорости легко получить для частиц шлама с относительно маленьким эквивалентным диаметром. Но при бурении с использованием породоразрушающего инструмента с резцами, дающими достаточно крупный шлам, транспортирование шлама в целом ухудшается за счет резкого увеличения веса частицы шлама.

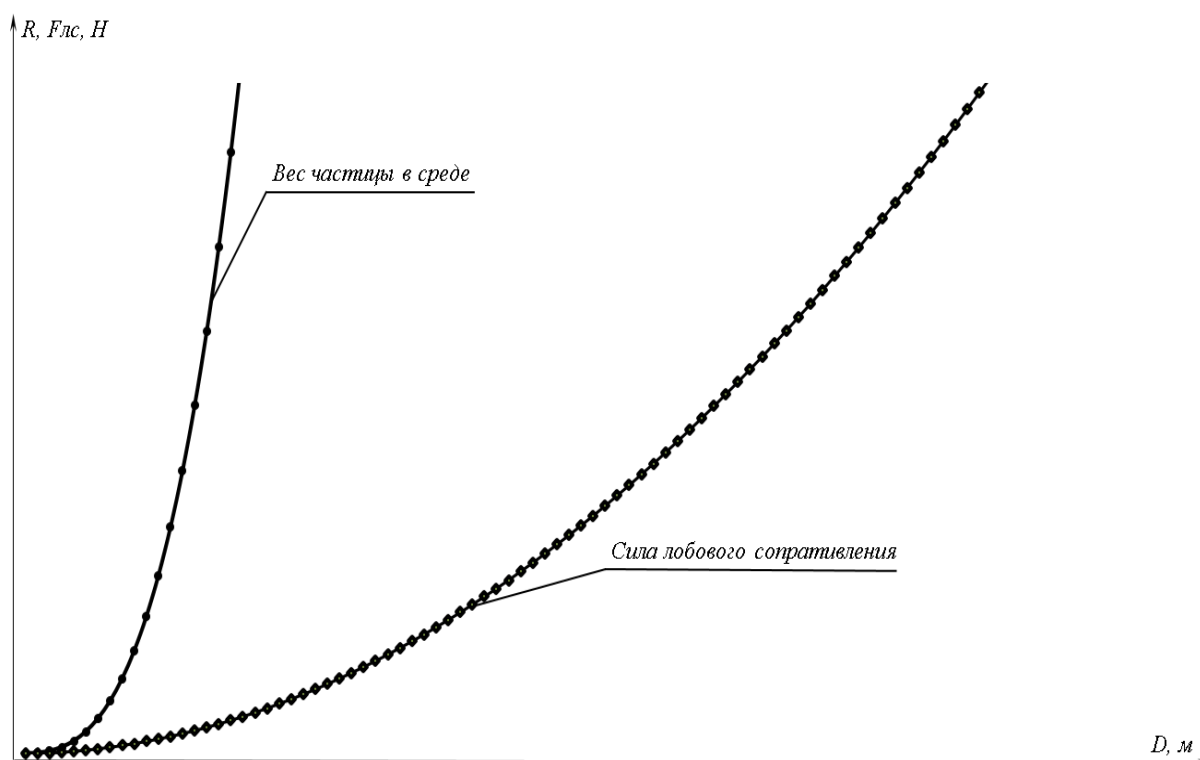


Рисунок 1. Характер изменения веса частицы в среде (R) и лобового сопротивления ($F_{лс}$) в зависимости от эквивалентного диаметра частицы (D)

Анализируя зависимости 1 и 2 можно сделать вывод, что фактически такие величины как эквивалентный диаметр шлама, его плотность и плотность очистного агента являются для нас константами, на которые мы практически не можем влиять, не затрагивая при этом существенно технико-технологические решения, принятые для разбуривания данного интервала. Как показывает практика, в случае недостаточного выноса шлама зачастую принято увеличивать расход очистного агента. Это приводит к увеличению скорости восходящего потока и росту силы лобового сопротивления. Суммарный вектор сил, действующих на частицу становится положительным и начинается процесс выноса шлама.

Еще одной возможностью повлиять на вынос шлама может стать возможность создания стесненных условий в определенной пачке очистного агента, локальной зоны насыщения бурового раствора шламом.

В стесненных условиях наблюдается следующая картина: частицы начинают сталкиваться между собой, что приводит к гашению скорости и увеличению сопротивления. Происходит увлечение тихоходных частиц (малых) более быстроходными (большими). При значительной концентрации частиц, жидкость уже вынуждена будет протекать между ними, что приведет к увеличению гидросопротивлений и, как следствие, к улучшению картины выноса. При достаточной концентрации (скученности) частиц расчетную скорость витания умножают на поправочный коэффициент φ , зависящий от концентрации C_v , который можно найти из соотношения 3 [1].

$$\varphi = \frac{(1 - C_v)^2}{1 + 2.5C_v + 7.35C_v^2} \quad (3)$$

Скорость, необходимая для поддержания частиц, находящихся в стесненных условиях, при этом уменьшается, что видно из рисунка 2.

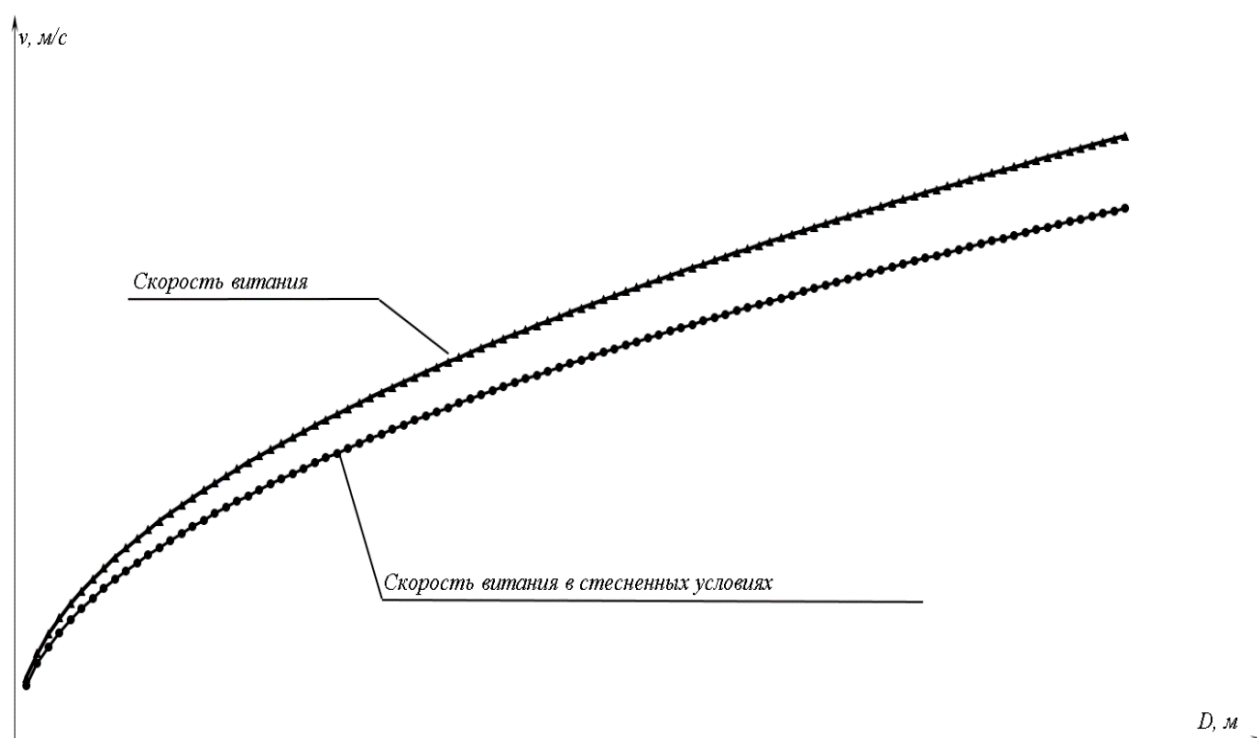


Рисунок 2. Скорость витания для частицы, находящейся в свободных и стесненных условиях.

Подобные пачки частиц шлама могут быть сформированы путем пульсации расхода (скорости) бурового раствора. В момент замедления скорости потока, часть шлама начнет оседать, а другая часть продолжит движения по инерции. В этом случае частицы начнут двигаться навстречу друг другу, создавая скученность в определенном интервале. В подобных условиях, когда буровой шлам имеет достаточную крупность, которая начинает затруднять его транспортировку посредством пульсирующего потока возможно принудительно создать пачки с большей концентрацией шлама в буровом растворе. Такой подход кажется достаточно обоснованным. При безнасосном бурении скважин по мягким породам породоразрушающим инструментом с крупными резцами образуются частички шлама с достаточно большим эквивалентным диаметром [3], которые вымываются из призабойной зоны в момент расхаживания бурового снаряда. При этом известно, что скорость восходящего потока в затрубном пространстве при

безнасосном бурении не высока. При безнасосном бурении скважин возникает пульсирующий поток, так как колонковый снаряд фактически начинает исполнять роль однопоршневого насоса, в котором колонковая труба становится цилиндром, а керн – поршнем. При такой конструкции «насоса» жидкость из него будет подаваться импульсом в момент опускания колонкового снаряда при расхаживании. Расход промывочной жидкости при этом достаточно мал. Несмотря на это, такого расхода хватает для выноса частиц шлама, находящегося в стесненных условиях между стенкой скважины и стенкой колонковой трубы, а затем по мере продвижения вверх от забоя и стенкой шламовой трубы. То есть фактически безнасосный способ бурения по своей сути является бурением с пульсирующей промывкой.

Выводы

При удалении шлама по стволу скважины в некоторых случаях, при достаточной крупности шлама, может быть целесообразно создавать зоны, в которых шлам будет находиться в стесненных условиях. Такие зоны с достаточно большой концентрацией шлама в буровом растворе будут способствовать, в целом, увеличению силы лобового сопротивления частицы за счет скученности и, как следствие, к уменьшению скорости осаждения частиц. Это позволит снизить скорость потока промывочной жидкости, необходимую для выноса шлама и сократить ее расход.

Библиография

1. Бурдин В.Н., Физические основы технологии промывки золотосодержащих песков, Современные наукоемкие технологии. – 2009. – № 8 – с. 16-22
2. Кантаев А.С., Брус И.Д., Ворошилов Ф.А., Исследование процесса осаждения твердых частиц в жидкостях под действием силы тяжести, Томского политехнического университета, 2012
3. Куликов В.В., Тунгусов А.А., Тунгусов С.А., Вопросы гидравлики безнасосного бурения скважин, Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2007 г., с 11-14
4. Шадрина А.В., Крец В.Г., Исследование гранулометрического состава шлама и оценка эффективности буровых коронок различного типа, Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2013.

Оценка экологической безопасности применения промывочных жидкостей на основе акриловых полимеров при бурении скважин в пределах Сургутского нефтегазоносного района. Ярмиева К.И.* (МГРИ, kariyarm@mail.ru)

Аннотация

Предлагаемый проект связан с оценкой экологической безопасности применения промывочной жидкости на основе акриловых полимеров при бурении скважин в пределах Сургутского нефтегазоносного района и ориентирован на снижении токсичности отходов бурения. Необходимость экологической оценки играет важную роль, ведь производственная деятельность предприятий нефтегазовой промышленности неизбежно связаны с техногенным воздействием технологических процессов добычи на объекты окружающей среды. Немалую роль в негативном влиянии на природную среду играют процессы строительства скважин.[1] При нынешних темпах развития производственных сил и освоения природных ресурсов углеводородов вопросы охраны окружающей среды приобретают еще более особую остроту и социальную значимость.

В качестве акриловых полимеров выбраны Poly Kem D и Kem Pas, исходя из величин ПДК для воды рыбохозяйственных водоемов, более экологически приемлемы (ПДК для Poly Kem D составляет 0,025 мг/л, а для Kem Pas - 0,0125 мг/л), а по данным токсикологических исследований относятся к 4 классу опасности.[3]

Оценка экологической безопасности будет производиться по следующим критериям:

- Пригодность бурового шлама в качестве субстрата для произрастания растений
- Влияние отходов бурения на теплокровных животных
- Биотестирование высших растений на влияние акриловых полимеров
- Влияние воздействия шламов на биологическую активность почвы

Ключевые слова

Буровой раствор на основе акриловых полимеров, экологическая безопасность промывочной жидкости, бурение скважин, влияние бурового раствора на экологию, Poly Kem D, Kem Pas

Теория

Разработка любого технологического процесса должна завершаться комплексной оценкой его воздействия на окружающую природную среду. Основными источниками загрязнения окружающей среды в процессе строительства скважин являются технологические отходы бурения: ОБР, БШ, БСВ, химические реагенты и материалы, углеводородное сырье.

Сравнение концентраций с ПДК_п подв ф наглядно представлено на рис.1. Результаты санитарно-химических исследований буровых шламов свидетельствуют о том, что они содержат в своем составе повышенные по сравнению с Кларками элементы в земной коре по А.П. Виноградову концентрации марганца, железа, никеля, кобальта, меди, цинка и хрома, которые превышают также ПДК_п (ОДК_п). Моделируя действие чистого и кислотного дождей, а также действие почвенной влаги на буровые шламы, определив содержание подвижных форм таких тяжелых металлов, как медь, цинк, никель, кобальт, хром, марганец, кадмий в ацетатно-аммонийной буферной вытяжке

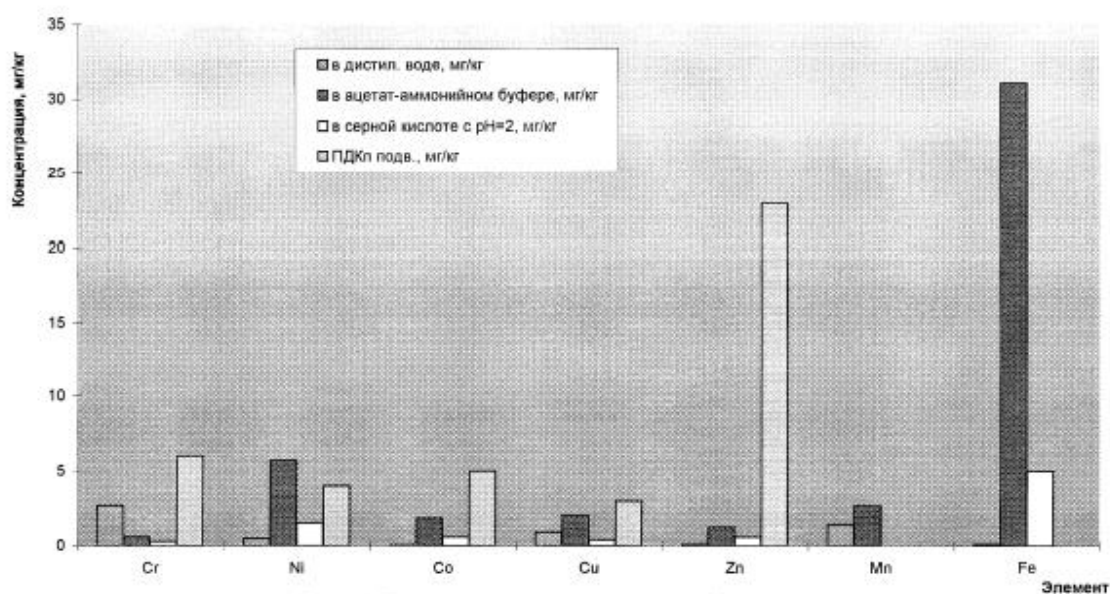


Рисунок 1. Выщелачивание токсикантов из бурового шлама в различные экстрагенты в сопоставлении с ПДК подв. ф.

с pH 4,8 установили, что эти элементы находятся в форме малоподвижных, трудно выщелачиваемых соединений, что позволяет оценить образцы буровых шламов как безопасные для окружающей среды.

Для того, чтобы оценить пригодность исследованных буровых шламов в качестве субстрата для произрастания растений, в них было определено содержание основных элементов питания растений - азота, фосфора и калия. Азот определялся общий, а фосфор и калий - подвижные, в кислотной вытяжке. Буровые шламы содержат очень мало общего азота - 0,05- 0,07%, причем он находится в недоступной для растений и микроорганизмов форме. Содержание азота в намывном песке крайне незначительно и измеряется тысячными долями процента (0,0056%), а в образце торфа оно достигает 1,5%, хотя отношение По количеству подвижных форм фосфора и калия можно заключить, что все изученные образцы буровых шламов содержат достаточное количество элементов для произрастания растений. Содержание подвижного калия во всех изученных буровых шламах очень высокое (на порядок выше, чем считается достаточным для нормального роста и развития растений). Таким образом, по содержанию питательных элементов данные буровые шламы, если использовать их в качестве субстрата для произрастания растений, содержат достаточное количество минеральных элементов - фосфора и калия, но крайне обеднены азотом вследствие малого содержания и низкого качества гумусовых веществ.

Для того, чтобы оценить влияние отходов бурения на теплокровных животных, проводилось лабораторные тесты на крысах. В результате введения белым крысам исследуемых отходов бурения в максимально возможных дозах видимых нарушений в поведении и внешнем виде животных не отмечалось. При трехкратном введении этих доз в течение дня так же не выявлено внешних признаков интоксикации. Поведение, внешний вид, физиологические показатели у опытных и контрольных животных не различались. При нанесении на слизистую глаз в начальный момент наблюдался блефароспазм и слезотечение. Однако в дальнейшем никаких видимых признаков изменения слизистой не отмечено. Реакция глаз оценена в 0 баллов согласно рекомендациям, изложенным в [4]. По методу Лима изучалась способность к кумуляции. Исследуемые продукты вводились в желудок белым крысам в возрастающих дозах в

течении месяца, начиная с 0,6 мл на голову, суммарное поступление составило 50 мл на голову. Отсутствие смертельных исходов и однонаправленных отклонений в изученных показателях состояния животных не позволили рассчитать коэффициент кумуляции. В результате проведенных исследований сделано заключение, что все отходы, образующиеся при бурении скважин и имеющие экологические показатели в пределах, указанных в токсикологических паспортах, относятся к 4 классу опасности - "малотоксичные вещества"

Биотестирование на высших растениях заключалось в проведении исследований влияния реагентов на всхожесть семян, вес корней и качество проростков. Опыты были проведены с семенами овса, которые, как правило, используются при биотестировании. Изучались концентрации препаратов, лежащие в интервале от 10 до 10000 ПДК и растворы смесей препаратов от 100 ПДК Poly Kem D :600 ПДК Kem Pas до 1000 ПДК Poly Kem D :6000 ПДК: Kem Pas . Угнетения корневой системы тестируемых семян по сравнению с контрольными семенами, обработанными дистиллированной водой, не наблюдалось; процент ошибки по трем повторностям не превышал 11%. Слабое ингибирующее воздействие реагентов на всхожесть и развитие растений наблюдается только при высоких концентрациях (10000 ПДК). Итак, проведенными исследованиями установлено, что Poly Kem D и Kem Pas в концентрациях до 250мг/л и 125мг/л соответственно не обладают острой токсичностью по отношению к высшим растениям, гидробионтам и микроорганизмам.

Влияние воздействия шламов на биологическую активность почвы определялось по продуцированию CO₂ в исследуемых образцах в сравнении с образцами чистого торфа, песка, дерново-подзолистой почвы. Исследованные образцы буровых шламов, содержащие препараты Poly Kem D и Kem Pas, почти не отличаются по общей биологической активности от чистой дерновоподзолистой почвы. Поэтому можно сделать вывод об отсутствии отрицательного влияния данных препаратов на функционирование микробного ценоза. Полученные данные позволяют заключить, что препараты Poly Kem D и Kem Pas в концентрациях от 0,01% до 0,10% не являются токсичными для микроорганизмов и их применение в указанных концентрациях не приведет к существенным изменениям в микробном ценозе. [2]

Выводы

Исходя из исследований проведенных ниже, можно сделать вывод что применение промывочной жидкости на основе акриловых полимеров экологически безопасно, так как буровой шлам не влияет на произрастание растений, отходы бурения не создавали негативные последствия для теплокровных животных. Также акриловые полимеры Poly Kem D и Kem Pas не оказывали негативного влияния на всхожесть семян овса и биологическую активность почвы.

Библиография

1. Заличева И.Н., Волков И.В., Ганина В.С., Шустова Н.К. Зависимость экологической опасности буровых растворов от солености акватории нефтедобычи // Нефтегазовые технологии. – 2001. - №3 – 35-38 с.
2. Лупшеева О.А. Совершенствование технологии строительства скважин с применением экологически безопасных технологических жидкостей. 1999. - 122 с.
3. Перечень предельно-допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. Мединор, 1995, 220 с.
4. Токсикометрия химических веществ, загрязняющих окружающую среду. 1986, 183 с.

Секция № 12. Гидрогеология.

Результаты гидрогеологических исследований, выполненных при инженерно-геологических изысканиях под различные объекты. Белов К. В. (МГРИ, Кафедра гидрогеологии им. В.М. Швеца, г. Москва, belovkv@mgri.ru), Волошин В. Р. (МГРИ, Кафедра гидрогеологии им. В.М. Швеца, г. Москва, voloshin4456@gmail.com), Роженчиков В. Г. (МГРИ, Кафедра гидрогеологии им. В.М. Швеца, г. Москва, vov_roh@mail.ru)*

Аннотация

Обобщён авторский опыт и результаты проведения гидрогеологических исследований, выполненных для различных объектов и сооружений. Выделены основные проблемы и трудности, оказывающие негативное влияние на получаемый результат: квалификация исполнителей, отсутствие или неудовлетворительное состояние оборудования, отсутствие планирования геолого-разведочных работ.

Ключевые слова

Подземные воды, гидрогеологические исследования, инженерно-геологические изыскания.

Теория

За десятилетний период полевых и камеральных работ накоплен обширный материал, который лег в основу настоящего сообщения. Автор лично принимал участие в планировании, выполнении и обработке полученных результатов на различных объектах, в основном, эти исследования относятся к работам, проводимым в комплексе инженерно-геологических изысканий: опытные откачки воды из скважин под жилые здания и застройку, наливов воды в скважины (опытные откачки воды из скважин) под полигоны ТБО, мостовые переходы, гидрогеологические исследования, выполненные в составе инженерно-геологических изысканий на объектах, связанных с добычей и переработкой полезных ископаемых. Основное число объектов расположено в г. Москве и ближайшем Подмосковье, хотя некоторые объекты располагались в Вологодской, Ленинградской, Иркутской, Воронежской и других областях.

Обобщая опыт и анализируя результаты работ возможно сделать обобщения и обратить внимание на имеющиеся проблемы.

I. Гидрогеологические исследования под жилые здания и застройку.

Проведение опытных работ регламентируется сводами правил, требования которых изменяются со временем [5, 4]. Для характеристики гидрогеологических условий предусматривается сооружение скважин, конструкция и глубина которых зависит от глубины заложения фундамента (опробуются горизонты, которые попадают в сферу взаимодействия). Так, для школ глубина заложения фундамента составляет в среднем от 2,0 до 4,0 м, для жилых комплексов с подземной парковкой до 15,0 м. Для г. Москвы для верхней части разреза характерно наличие четвертичных горизонтов – аллювиальных и флювиогляциальных различного возраста. Горизонты представлены песками, иногда с линзами щебня (до 7 см в диаметре), в основном воды безнапорные. Иногда слой щебня имеет мощность до полуметра и залегает он на кровле водоупора (либо юрских глин, либо морены более древнего возраста).

Гидрогеологические работы проводятся с целью определения количественных параметров водовмещающих пород. В последующем найденные значения используются проектировщиками для разработки системы строительного водопонижения, либо при

создании численных моделей при определении барражного эффекта от стены в грунте (в общем случае, для выбора проектных решений).

При проведении одиночных откачек (проведено около сотни), в настоящее время кустовых (первые десятки), выявлены следующие проблемы:

1. Низкая квалификация буровых бригад и некомплектность буровых станков. Технология сооружения скважин на воду заметно отличается от технологии проходки инженерно-геологических скважин. Буровые мастера, специализирующиеся на бурении инженерно-геологических скважин при бурении ударно-канатным способом на воду с опережающей обсадкой, сталкиваются с формированием песчаных пробок в стволах скважин, при встрече с прослоями щебня (до 30 см) что почти всегда приводит к аварии. Так, одну из скважин в г. Москве при проектной глубине 12.0 м сооружали трое суток (!), в результате скважину так и не смогли пройти до проектной отметки (станок ПБУ). Бурение было остановлено на 9.0 м – в ствол постоянно поступал мелкозернистый песок и щебень.

В качестве фильтров используются либо пластиковые трубы с щелевой перфорацией, либо металлические трубы с сеточной обмоткой. Обе разновидности имеют разные диаметры, что приводит к необходимости использования различной оснастки (трубные ключи, оголовки и прочее). Это приводит к потере времени и сил, а также, особенно в отношении пластиковых труб – к их порче.

На нескольких объектах буровые бригады монтировали дырчатый фильтр (диаметр отверстий 2 см) на песок (станок УРБ-2А2). В результате из 6 скважин глубиной по 9.0-14.0 м для проведения ОФР ни одна не была пригодна.

Тоже самое касается заглушек на забое скважин. При окончании бурения (станок УРБ-2А2) производился монтаж фильтровой пластиковой колонны без заглушки снизу. Контроль со стороны Заказчика не осуществлялся, в результате ни одна из трёх скважин глубиной по 25 м не была пригодна для проведения ОФР, ствол скважины на 2/3 и, соответственно, фильтровая часть была затянута песком.

2. «Экономия» на диаметрах скважин. Для уменьшения стоимости, а иногда и при отсутствии бурового инструмента и не желании его покупать, буровые бригады строят скважины из подручных средств. В практике встречались случаи сооружения скважин из двухдюймовых стальных труб.

3. Бурение с промывкой и сведения о появлении (установлении) уровня подземных вод. При проведении инженерно-геологических изысканий бурение производят станками УРБ-2А2 с использованием бурового раствора. При этом в отчётах по результатам инженерно-геологических изысканий на геолого-технических разрезах скважин и профилях проходящих под сооружением указываются глубины появления и установления воды, уровень подземных вод, а в главе «Гидрогеологические условия» по этим данным построена карта гидроизогипс. При этом вскрываются рыхлые отложения. Данные, полученные таким путём неверные и использовать их нельзя.

II. Гидрогеологические исследования под полигоны твердых коммунальных отходов (ТКО) (проектируемые, действующие, законсервированные).

Выполнение гидрогеологических исследований под полигоны ТКО (выполнено для шести объектов), по мнению автора, должно планироваться и проводится по особой программе, в виду экологической опасности полигона. Подземные воды, формирующиеся под воздействием фильтрата с тела полигона, мигрируют к участкам разгрузки, вызывая загрязнение горных пород, а также озер, рек и прочее. Иногда из таких утечек формируются искусственные водоёмы (при чем за пределами зоны ЗСО полигона).

Заказчик при заключении договора на выполнение работ оговаривает только количество скважин; среди параметров, подлежащих определению, называется только

коэффициент фильтрации. Таким образом, никакие миграционные работы не проводятся, обоснованные миграционные расчёты проводиться не могут.

Как показывает опыт проведения подобных работ, производится бурение и опробование от шести до десяти скважин. Если в верхней части разреза расположены водонасыщенные породы, являющимися коллекторами – их опробование производится одиночной откачкой, если породы представлены глинистыми разностями – наливом воды в скважину. Наливы воды в шурф за все время работы не проводились ни разу.

III. Сооружения и объекты метрополитена.

Гидрогеологические исследования под сооружения и объекты метрополитена отличаются глубиной исследования (некоторые скважины оборудованы на водоносные горизонты карбона) и количеством опробуемых водоносных горизонтов (четвертичные, юрский и каменноугольный).

На основании опыта работ (несколько десятков скважин) возможно выделить одну, на взгляд авторов, основной вопрос: на момент получения положительного заключения на отчёт по результатам инженерно-геологических изысканий (длительность экспертизы составляет от года до полутора лет), сооружения и объекты метрополитена уже построены и эксплуатируются - вопрос о стадийности исследований.

IV. Гидрогеологические исследования под мостовые переходы.

Рассмотрение гидрогеологических исследований под мостовые переходы рассмотрим на примере одного объекта. Две одиночные откачки выполнены на берегах крупной реки, в русле которой обнажаются трещиноватые известняки, являющиеся опробуемым водоносным горизонтом. Каждая скважина заложены в 25 м от уреза воды, глубина скважин одинаковая и составляет 60 м, из них около 40 м составляет открытый ствол. Понижения при откачках составили 1 и 2 сантиметра (дебит около 1/с), то есть на пределе чувствительности уровнемера. Заказчику для составления отчёта необходимо было предоставить величину коэффициента фильтрации, который составил - 83,9 м/сут и 218 м/сут соответственно. Полученные цифры не отражают реальной картины проводимости разреза и нужны лишь для включения в отчёт о результатах инженерно-геологических изысканий.

V. Гидрогеологические исследования, выполненные в составе инженерно-геологических изысканий на объектах, связанных с добычей и переработкой полезных ископаемых (неглубокие карьеры, дамбы, хвостохранилища и прочее).

Для проведения гидрогеологических работ требуется время, с чем связана длительная остановка процесса бурения (подъем бурового инструмента, монтаж насоса и другого вспомогательного оборудования, проведение опыта, затем его демонтаж). При поинтервальном опробовании (откачки или нагнетания) процесс затягивается еще дольше. Буровые мастера и руководители партий, особенно при сдельной оплате труда, при выполнении технического задания на инженерно-геологические изыскания не заинтересованы в качественном выполнении гидрогеологических работ и всячески их саботируют.

В результате анализа результатов гидрогеологических исследований, выполненных для различных видов сооружений можно констатировать низкий уровень качества гидрогеологических работ и получаемых данных [1, 2, 3]. Инженеры-геологи при выполнении работ сосредоточены на объёме погонных метров, инженерно-геологических разрезах, прочностных и деформационных свойствах грунтов, выделении ИГЭ, гранулометрическом составе и прочих данных. Иногда возникает ситуация, когда даже располагая временем и ресурсами, ответственный исполнитель не в состоянии качественно спроектировать и выполнить гидрогеологические работы.

Отдельно хотелось бы отметить квалификацию экспертов в различных структурах, в том числе государственных, к которым поступают на проверку

(экспертизу) отчёты по инженерно-геологическим изысканиям. Крайне редко приходится видеть вопросы по существу работы, зачастую эксперты руководствуются и ограничиваются только формальными признаками: «не указана марка насоса»; «длительность опыта должна составлять не менее трое суток», а в ходе работ по факту стабилизация уровня наступила за 4 минуты (откачка около реки).

Для исправления ситуации хотелось бы обратить внимание на следующие банальные вещи:

- 1) Необходимость привлечения квалифицированных специалистов;
- 2) Необходимость планирования геолого-разведочных работ.

Если сложившуюся ситуацию не изменять в лучшую сторону, то на наш взгляд, происходит обесценивание профессии.

Библиография

1. Лехов М.В., 2013. Гидрогеологические изыскания и моделирование в городском строительстве: критические комментарии. Инженерные изыскания, № 1, с. 24-29.
2. Лехов С.М., Лехов М.В., 2017. Методы расчета и причины ошибочных результатов экспресс-откачек из скважин. Инженерные изыскания, № 2, с. 38-50.
3. Лехов С.М., Лехов М.В., 2018. Опытные откачки: назначение, планирование и достоверность результатов. Современные полевые и лабораторные методы исследования грунтов – изыскания и проектирование, Материалы докладов Общероссийской научно-практической конференции, Москва, 2018, с. 103-108.
4. СП 11-105-97 Свод правил инженерно-геологические изыскания для строительства Часть I. Общие правила производства работ.
5. СП 446.1325800.2019 Свод правил инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ.

Гибридная сульфитно-ультразвуковая технология выделения золота из гидроминерального сырья. Гафуров Т.А. (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», timur-02151980@mail.ru) соавтор Аллабергенов Р.Д.* (ard@mail.ru), соавтор Исмаилов Б.Ж. (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», bakytiyr.ismailov@bk.ru), соавтор Хасанбаев Х.Ф. (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», 584hasanbaev@gmail.com)

Аннотация

Приведены результаты технологических исследований с целью определить особенности и возможности сульфитного способа извлечения золота из гидроминерального сырья (ГМС) - подземных вод нефтегазовых месторождений под воздействием ультразвука (УЗ). Научно-прикладная новизна разработки заключается в изучении гидроакустических процессов в гидрогеохимической отрасли освоения драгметалл содержащего жидкорудного ресурса. В результате исследований определено, что нововведение в виде гибридного проекта, совмещающего в себе сульфитную и ультразвуковую технологии, оптимально решает проблему выделения порошка золота из жидкофазного сырья.

Ключевые слова

Гидроминеральное сырье, золото, ультразвук, гибридный проект, сульфитный способ

Теория

В качестве *гидроминерального сырья* (ГМС) для выделения золота исследована проба подземной хлоридно-сульфатной воды нефтегазового месторождения Республики Узбекистан, содержащая этот элемент в виде хлоридного, частично или полностью гидратированного, комплекса $\text{Na}(\text{AuCl}_4) \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Актуальность темы исследования определяется востребованностью научно-технического прогресса для совершенствования способа выделения/извлечения золота из природных подземных вод и рассолов, удовлетворяющего, прежде всего, отраслевые требования ресурсо-энергосбережения и экологической чистоты. В мировой научно-технологической практике исследование этой темы с помощью гибридного сульфитно-ультразвукового подхода не известно.

Степень научно-технической разработанности темы: обзор и анализ открытых публикаций позволяет констатировать:

- мировой опыт технического решения проблемы выделения золота из растворов обширен, это: цементация золота железным или свинцовым порошком, осаждение золота цинковой пылью, сорбция на угле, электролиз, экстракция, восстановление водородом, сернистым газом или сульфитом натрия, осаждение золота с помощью ронгалита, раствора селена, насыщенного раствора двуххлористого олова и тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ и др.

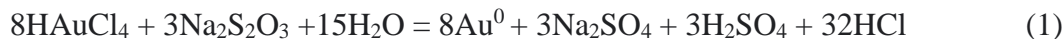
- анализ практического состояния проблемы выделения золота из растворов показывает, что классическая схема осаждения золота из растворов заключается в кипячении раствора золота; обработке сернистым газом (SO_2) и насыщенным раствором дитионита $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, где собирателем Au является сера; фильтрации и термообработке (плавке) осадка; в промышленно развитых странах применяется сорбция золота по методу «уголь в пульпе».

Цель исследования: разработка конкурентно способной технологии выделения золота из гидроминерального сырья в виде черного порошка. *Задача:* разработка технологических параметров оптимального достижения цели с помощью гибридной

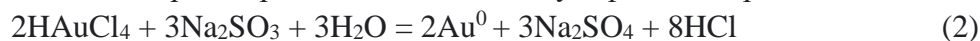
технологии на базе сульфитного метода осаждения/восстановления золота в совокупности с ультразвуковым воздействием.

Научно-технологические предпосылки для постановки цели исследования:

1. Способ выделения золота из хлоридного раствора, включающий восстановление его до элементарного состояния серу содержащим реагентом и отделение осадка золота от раствора металлов-примесей, отличающийся тем, что восстановление ведут при 60-90⁰С с использованием реагента тиосульфата натрия [1]. Химическая сущность процесса:



2. Выделение золота из раствора восстановлением сульфитом натрия [2]:



Химическая сущность этого процесса заключается в образовании коллоидной частицы золота $[(\text{Au}^{3+}) \cdot (4\text{Cl}^-) \cdot (9\text{Na}^+) \cdot (4\text{SO}_3^{2-})] \cdot m\text{H}_2\text{O}$, которая формируется в результате диффузии сульфит-иона в комплексное соединение $\text{Na}(\text{AuCl}_4) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ в составе ГМС. Коллоидная частица, далее, в результате термообработки, распадается с образованием свободного восстановленного золота в виде черного порошка. Недостаток этого способа в том, что он лимитируется тормозящей процесс диффузией реагента и необходимостью применения операции термообработки.

3. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах [3]. Ультразвук (УЗ) позволяет разрушать гидратную оболочку комплексного соединения золота и коллоидные частицы золота без термообработки благодаря эффекту диспергирования, который осуществляется за счет воздействия упругих механических колебаний. В основе этого эффекта процесс кавитации, создаваемый ультразвуковым диспергатором - процесса паро-газообразования и последующего схлопывания пузырьков, вызывающего в гетерогенной системе мощные гидравлические удары, активизирующие реакции разрушения комплексных и коллоидных частиц и др. Это облегчает процесс диффузии и позволяет осуществлять распад коллоидной частицы без термообработки.

Результат исследования: оптимальное решение проблемы выделения порошка золота из ГМС с использованием химических реагентов в совокупности с ультразвуковым воздействием, благодаря которому процесс осуществляется без термообработки [4].

Сущность и особенность технологической разработки (рисунок 1):

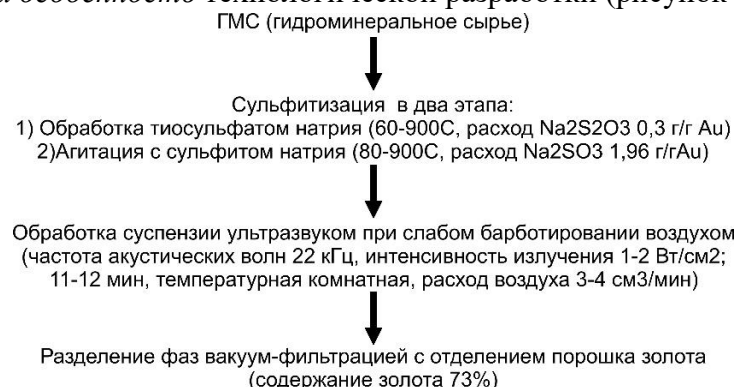


Рисунок 1.

Выводы

Отличительным признаком разработанного способа выделения порошка золота из гидроминерального сырья является применение ультразвукового поля в сочетании с классическим сульфитным методом, позволяющее интенсифицировать процесс и экономить энергоресурсы за счет исключения операции термообработки коллоидной частицы.

Библиография

1. Филиппов А.А. и др. Способ выделения золота из хлоридного раствора //RU 2 009 232 (1994).
2. Аллабергенов Р.Д. Фундаментальная и прикладная гидрометаллургия. –Т.: ГП «НИИМР», 2012. -214с.
3. Новицкий Б.Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах. -М.: 1983. -192 с.
4. Аллабергенов Р.Д., Ибрагимов А.С. Способ выделения золота из гидроминерального сырья //Патент UZ IAP 07 208, 2022 г. Мин-во Юстиции Республики Узбекистан.

*Мировой опыт изучения воздействия водохранилищ на геологическую среду.
Акрамов Б.А. * (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО»), botir-akramov@mail.ru)*

Аннотация

Искусственные водохранилища оказывают влияние на геологическую среду, – как на стадии строительства, так и в период эксплуатации. При этом воздействиям подвергаются экосистемы не только участков строительства основных сооружений на водных объектах, но и участки бассейнов рек в нижнем бьефе, порой на значительном протяжении.

Ключевые слова

Водоохранилища, гидродинамика, гидрохимия, сейсмичность, оползень, грунтовые воды, нижний бьеф.

Теория

Об антропогенном воздействии водохранилищ, значительные изменения происходящее в результате этого в окружающей среде, а также, различные природные опасности, такие как наведенная сейсмичность, оползни, карст, эрозия, абразия и оползни, абразия и эоловые процессы, гидродинамическое и гидрохимическое изменение подземных вод в районах размещения водохранилищ изучался многими зарубежными и отечественными учеными. [1-6]

Пиннекер В.Е (1962) утверждает, что с момента эксплуатации водохранилищ произошла глубокая перестройка гидрогеологических условий на прилегающих территориях. Обводнение интенсивно трещиноватой зоны выветривания и закарстованных пород бывшей зоны аэрации вызвало расширение зоны с тесной взаимосвязью поверхностных и подземных вод. [1]

Влияние водохранилищ на состояние старейшего оползня на одном из водохранилищ Китая исследовал Tian Xiang Wang (2019) где он отмечает, что оползень активировался после наполнения водоема и оползневые деформации тесно связаны с колебаниями уровня воды. Однако последующие его наблюдения выявили, что деформации более тесно связаны с понижением уровня водохранилища, чем с его повышением. [2]

Вендров С.Л., Авакян А.Б., Дьяконов К.Н., Ретеев А.Ю. (1968) изучали что, влияние водохранилища на подземные воды не ограничивается преобразованием их уровня, одновременно протекают сложные процессы изменения их химического состава. [3]. Водоохранилища влияют на качество грунтовых вод, соленость и на кислотность. Создание Братского водохранилища оказало огромное воздействие на природные и экономические условия обширной территории. Из зоны затопления было перемещено до 240 сельских поселений, для восстановления сельскохозяйственных угодий освоено 90 тыс. га залесенных земель, построены новые автотранспортные магистрали и подъездные дороги к новым поселкам. [3]

По мнению Козырева (2018) создание водохранилищ Ангарского каскада ГЭС вызвало грандиозные техногенные преобразования геологической среды и привело к

крупномасштабным изменениям ее компонентов и существенной перестройке всего комплекса условий и факторов. [4]

Изучение влияние плотины Диджле и Кралкизы расположенных в Турции Ресер Çelik (2018) выявило подъем уровня подземных вод после начало её заполнения уровне грунтовых вод в среднем на 25-30 метров. [5]

Изучено изменение содержание хлора в грунтовых водах на берегу Куйбышевского водохранилища. Качество воды, забираемой из скважин в районе г. Жигулевска, резко ухудшилось. Если до создания водохранилища в литре воды находилось 460-470 мг солей, то после его сооружения количество солей увеличилось до 2000-2600 мг. Воду, которой раньше снабжался город, нельзя теперь не только пить, но и использовать для технических нужд [4]. Оказалось, что давлением, возникшим при подпоре, соленые воды из глубоких горизонтов пород были выжаты вверх и смешались с пресными водами. Увеличение солености связано также с уменьшением скорости водообмена в речной системе и подземных водах.

По результатам работ указанных исследователей показано, что практически все водохранилище после начало эксплуатации приводит к подъему уровня грунтовых вод, минерализация подземных вод на площадях их влияния, заболачиванию, к ухудшению экологических условий в водоемах и на прилегающих к ним территориях в целом.

На территории Узбекистана специальных исследований по изучение данного вопроса не проводились, но есть некоторые результаты полученных в рамках проектов ведения Государственного мониторинга подземных вод.

Для оценки влияние Резаксайского и Сардобинского водохранилищ на прилегающих территориях было организованы наблюдательные пункты и по ним осуществлялись наблюдения прежде всего за изменением уровней подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта. (см. рис. 1, 2,).

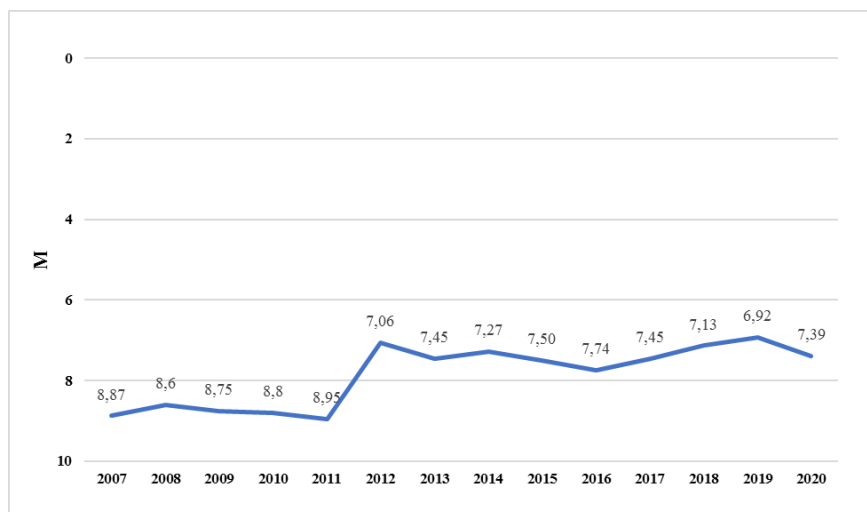


Рисунок 1. График наблюдение за уровнем грунтовых вод ниже плотины водохранилище «Резаксай» скважина № 111а (глубина 20 м) 200 м ниже плотины

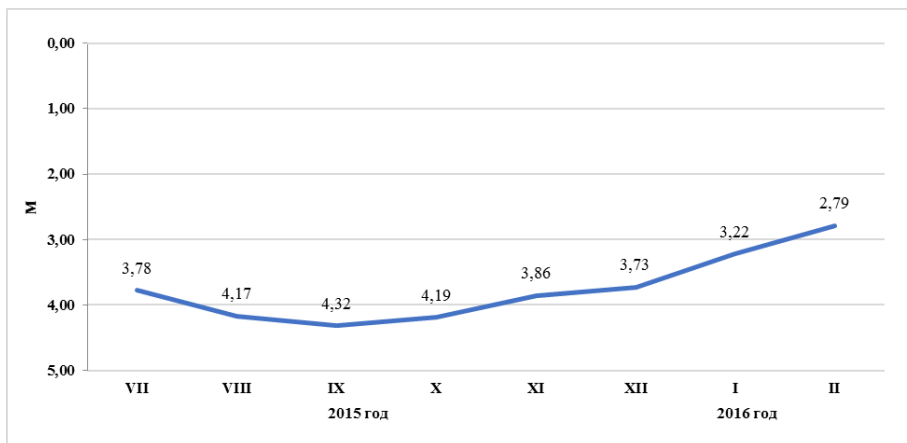


Рисунок 2. График изменения среднегодового уровня подземных вод по скв. №1 Сардобинского водохранилища

Результаты показывает, практически в зоне влияния всех водохранилищ наблюдается подъем уровней подземных вод с различными значениями. Например, в зоне влияния Резаксайского водохранилища после начала её заполнения уровень в среднем повысился на два метра, примерно на этой отметки стабилизировались и повторяя прежней режим внутригодового колебания уровней. В зоне влияния Сардобинского водохранилища в некоторых наблюдательных скважинах уровни приобрели напорный характер и начали небольшой самоизлив.

Таким образом, в зонах влияния рассмотренных водохранилищ образовалась трансформированная гидрогеологическая обстановка, изучение её и прогноз их развития потребует проведение специализированных исследований, а проектирование и создание водохранилищ тщательного учета всех составляющих природной среды. [6]

Выводы

Обзор еще раз показывает, что изучение данного процесса и оценка её масштаба актуальный и злободневный вопрос стоящих перед гидрогеологами. Создание водохранилищ требует тщательной увязки его с природными условиями территории, с размещением промышленности и сельского хозяйства. Необходимо всестороннее изучение преобразований природной среды в районах уже действующих водохранилищ, особенно в заболоченных регионах. Также необходим комплексный подход к оценке природных особенностей и почв затапливаемых территорий.

Библиография

1. Пиннекер Е. В., Вологодский Г. П. Гидрогеологические условия и вопросы изменения режима подземных вод на верхнем участке Братского водохранилища // Вопр. спец. гидрогеологии Сибири и Дальнего Востока / отв. ред. И. К. Зайцев. Иркутск, 1962. Вып. 1. С. 196–207.
2. Tian Xiang Wang, Yan Zhao Fu, Impacts of Artificial Underground Reservoir on Groundwater Environment in the Reservoir and Downstream Area. Int J Environ Res Public Health. 2019 Jun; 16(11): 1921.
3. Вендров С.Л., Авакян А.Б., Дьяконов К.Н., Ретеюм А.Ю. Роль водохранилищ в изменении природных условий. М.: Знание, 1968.

4. Е.А. Козырева, В. А. Бабичева, О. А. Мазаева. Трансформация геологической среды в зоне влияния водохранилищ Ангарского каскада ГЭС. Серия «Науки о Земле» 2018. Т. 25. С. 66-87.
5. Impact of Dams on Groundwater Static Water Level Changes: a Case Study Kralkızı and Dicle Dam Watershed. Recep Çelik (International Journal of Research and Development 2018)
6. Абдуллаев Ш.Х. и др. «Разработка методики инженерно-геологических и геофизических исследований современными методами на строящихся водохранилищах с целью оценки их состояния» Отчет по теме № 407 за 2012 – 2015 гг. Фонды института Гидроингео.

**Методика оценки состояния режимных пьезометрических скважин плотин гидротехнических сооружений с помощью экспресс-наливов. Алентьев Ю.Ю.*
(ФГБОУ ВО РГГУ (МГРИ), alentev49@mail.ru)**

Аннотация

В работе рассмотрены вопросы методики использования и результатов опытно-фильтрационных работ для определения состояния режимных пьезометров мониторинговой сети гидротехнических сооружений.

Ключевые слова

Опытно-фильтрационные работы, экспресс-наливы, гидротехнические сооружения, пьезометры, мониторинг.

Теория

Согласно Федеральному закону от 21.07.1997 №117ФЗ [6]. для прогнозирования и оперативного реагирования на аварийные ситуации и оценки безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) предусматривается система непрерывного мониторинга состояния ГТС. [5]

Для решения данной задачи широко используются пьезометры. Различные типы пьезометров позволяют оценивать фильтрационное давление, гидравлический режим в районах расположения ГТС, напряжения и деформации гидротехнических сооружений, уровень, температуру, режим и агрессивность подземных вод.

В данной работе будут рассмотрены пьезометры используемые, для оценки состояния и режима подземных вод, а также контроля фильтрационного режима и состояния подземных вод в районе и теле плотины.

Пьезометры являются неотъемлемой частью системы непрерывного мониторинга ГТС, необходим регулярный контроль и за состоянием пьезометров. Поскольку в случаи выхода из строя пьезометров или их некорректной работы будут искажены данные мониторинга, что в свою очередь может стать причиной принятия неверных управленческих решений и привести к неблагоприятным последствиям.

Наиболее частой причиной некорректной работы пьезометра является полная или частичная кольматация фильтра.

Для оценки состояния фильтра и прифильтровой зоны пьезометров наиболее надежным эффективным способом являются опытно-фильтрационные работы. В составе опытно-фильтрационных работ выделяется целый комплекс методов [1,4,7], но наиболее распространенными являются откачки и наливывы.

Для оценки состояния пьезометров в работе О.Н. Котлова "Результаты комплексного инженерно-технического обследования пьезометрической и дренажной сетей Бурейской ГЭС" [2] предложена и показана возможность использования ОФР (откачек) для решения комплексных задач, связанных с оценкой состояния пьезометров и оценкой емкостных и фильтрационных параметров обводненных толщ в районе размещения ГТС. При решении таких комплексных задач проведения откачек оправдана.

При решении задач, связанных исключительно с оценкой состояния пьезометров наиболее оптимальным является использование метода экспресс-наливов. По сравнению с откачками метод экспресс-наливо для решения данной задачи имеет ряд преимуществ:

-нет необходимости использовать насосное оборудование или эрлифт (данный плюс особенно важен в свете того, что многие пьезометры имеют крайне небольшой диаметр (рис.1) что делает размещения в них насосного оборудования и средств измерения затруднительным);

-более быстрый.

С помощью метода экспресс-налива была выполнена оценка состояния пьезометрической сети, одного из компонентов ГТС Вазуской гидротехнической системы.

На рисунки 1 приводятся типичные схематичные геолого-технические наряды (ГТН), пьезометра расположенные в теле плотины, рассматриваемого гидротехнического сооружения.

Стратиграфический индекс	Глубина подошвы слоя	Мощность слоя	Литологический разрез и конструкция скважины d-273 мм d-89 мм	Описание пород
tnQiv	3	3		Галька, гравий преимущественно карбонатных пород, различной окатанности, заполнитель мелкий, серо-коричневый песок
	7.7	4.7		Суглинок тяжелый, пластичный, красновато-коричневый, с включениями гравия и гальки

Рисунок 1. Геолого-технический наряд пьезометра №1 в теле плотины

В качестве примера использования метода экспресс-налива, для оценки состояния пьезометров, будет рассмотрен пьезометр 1 (рис.1).

Метод экспресс налива заключается в одновременном заливе воды в скважину (пьезометр) с последующим наблюдением за восстановлением уровня. В исследуемом пьезометре перед началом экспресс-налива был выполнен замер статического уровня с помощью электроуровнемера УСК-ТЭ-200, а также был установлен гидростатический датчик автоматического уровнемера NG-0319-V3.

Далее в пьезометр согласно методике был выполнен залив воды и начали производится наблюдения за изменениям уровня с помощью электруровнимера. Контроль замеров уровня выполнялся с помощью автоматического гидростатического уровнемера. Результаты замеров динамического и статического уровня приведены на графике (рис.2).

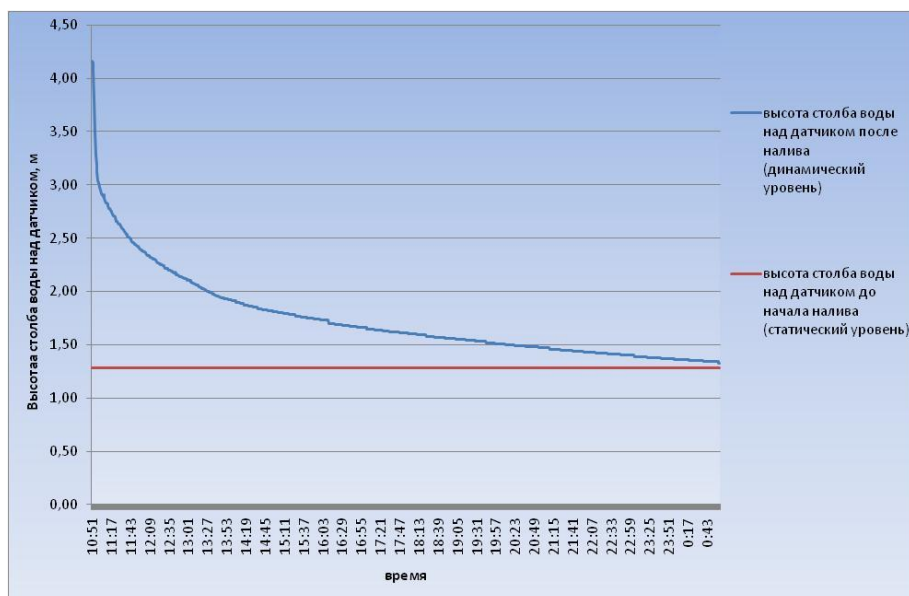


Рисунок 2. График изменения динамического уровня в пьезометре №1 при экспресс-наливе.

По формуле 1 был выполнен расчет коэффициента фильтрации.

$$K = 7.2 * \frac{r_c^2}{l^0 * t} * \lg \frac{H_0}{H} \quad (1)$$

где r_c - радиус фильтра пьезометра (м)

t - время замера уровня (сут)

H_0 - статический уровень после налива (м)

H - динамический уровень

l^0 - расчетный размер рабочей части скважины.

l^0 - находится по формуле 2

$$l^0 = \frac{2.73l}{\lg \frac{0.7l}{r_c}} \quad (2)$$

где l – длина фильтра (м).

В результате расчета рабочая часть пьезометра (l^0) равна 4.6499, а коэффициент фильтрации (K_f) равен 0.027 м/сут. Согласно справочному руководству гидрогеологов [3] коэффициент фильтрации в пределах 0.001-0.1 соответствует суглинкам. Что совпадает с данными приведенными в ГТН (рис.1).

Метод экспресс-налива позволяет выполнить оценку состояния фильтров и прифильтровой зоны как качественную, так и количественную. Качественная оценка заключается в визуальной оценке реакции горизонта и пьезометра на созданные возмущения. Количественная оценка сводится к определению коэффициента фильтрации и сравнения полученных значений с результатами лабораторных исследований или с осредненными табличными значениями. Если отсутствует реакция горизонта на возмущения или полученный коэффициент фильтрации отличается от результатов

лабораторных определений или табличных значений на 10-25% - высока вероятность не корректной работы пьезометра. В нашем случае при исследовании пьезометра №1 после налива наблюдалось снижение уровня, полученный коэффициент соответствует табличному диапазону коэффициентов фильтрации пород в которые заложен пьезометр. Исходя из этого можно сделать вывод о корректной работе пьезометра.

Выводы

В результате проведения экспресс-наливов в пьезометр №1 наблюдается реакция горизонта на возмущения, полученный коэффициент фильтрации 0.027м/сут согласно «Справочному руководству гидрогеологов» [3] соответствует суглинкам, что не противоречит данным ГТН. Исходя из этого можно сделать вывод об удовлетворительном состоянии пьезометра.

Метод экспресс-наливов при проведении работ по оценки состояния пьезометров ГТС показал свою эффективность и экономическую рентабельность.

Библиография

6. Алентьев Ю.Ю. Примеры использования средств автоматической фиксации (скважинных уровнемеров) при проведении опытно-фильтрационных работ и режимных наблюдений за уровнями подземных вод// Сборник научных трудов III научно-практической конференции по вопросам гидрогеологии и водообеспечения. Ижевск; «МарШак», 2021 С.10-15.
7. Котлов О.Н., Кубетов С.В. и др. Результаты комплексного инженерно-технического обследования пьезометрической и дренажной сетей Бурейской ГЭС//Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им.Б.Е.Веденеева. Санкт-Петербург, 2015 С.23-34.
8. Максимов В.М., Бабушкин В.Д. и др. Справочное руководство гидрогеолога. Ленинград; «Недра», 1979.
9. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Теория и метод интерпретации опытно-фильтрационных работ. М.; «Недра», 1978.
10. СП 58.13330.2012 Гидротехнические сооружения. Основные положения (Актуализированная редакция СНИП 33-01-2003). М. 2012.
11. Федеральный закон от 21.07.1997 №117-ФЗ (ред. От 13.07.2015) «О безопасности гидротехнических сооружений»
12. Шестаков В.М., Башкатов Д.Н. Опыт-но-фильтрационные работы. М.; «Недра», 1974.

*Сорбент для извлечения лития из гидроминерального сырья. Аллабергенов Р.Д. *
(ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», ard@mail.ru), соавтор Гафуров Т.А. (ГУ
«Институт ГИДРОИНГЕО», timur-02151980@mail.ru), соавтор Хасанбаев Х.Ф. (ГУ
«Институт ГИДРОИНГЕО», 584hasanbaev@gmail.com)*

Аннотация

Приведены результаты технологических исследований с целью получения нового селективного сорбента и его применения для извлечения лития из гидроминерального сырья (ГМС) – подземных промышленных вод нефтегазовых месторождений. Научно-прикладная новизна разработки заключается в разработке способа получения сорбента и изучения возможности его применения в гидрогеохимической отрасли освоения литий содержащего жидко-рудного ресурса. В результате исследований показано, что нововведение в виде технологии извлечения лития из ГМС с помощью марганец-модифицированного активированного угля, оптимально решает проблему выделения лития из жидкофазного сырья.

Ключевые слова

Гидроминеральное сырье, жидко-рудный ресурс, литий, сорбент, активированный уголь.

Теория

Гидроминеральное сырье (промышленные и природные воды) – важнейший ресурс, где, по разным оценкам, содержится от 35 до 75% мировых запасов лития, рубидия, цезия, большей части брома и йода.

Актуальность темы исследования: востребованность научно-технического прогресса для технологического решения проблемы извлечения лития из ГМС, в том числе богатого по литию Аральского моря [1].

Степень научно-технической разработанности темы: обзор и анализ открытых публикаций позволяет констатировать:

1. Мировое литиевое производство уже в начале 90-х годов прошлого века перешло на новый вид гидроминерального сырья – рапы, рассолы, которые концентрируются по литию в естественных условиях [3].

2. Технология добычи лития из рассолов в последние годы выигрывает у добычи из полиметаллических руд как по рентабельности, так и по качеству продукта. При этом, для извлечения лития из гидроминерального сырья обычно используют сорбционные, экстракционные и другие методы. Самым простым и технологичным способом извлечения лития из хлоридного натриево-кальциевого типа рассолов является сорбционный метод на селективных сорбентах [2, 4].

3. В настоящее время обоснована целесообразность расширения сырьевой базы лития за счёт вовлечения в мировое производство хлоридных кальциево-магниевых рассолов путем их комплексной переработки с извлечением лития на селективном неорганическом сорбенте – хлорсодержащей разновидности двойного гидроксида алюминия и лития дефектной структуры $\text{LiCl}\cdot 2\text{Al}(\text{OH})_3\cdot m\text{H}_2\text{O}$ (ДГАЛ-С1) [3].

Цель данного исследования: разработка способа получения сорбента и его применение для извлечения лития из жидко-рудного сырья. Задача: разработка

технологических параметров оптимального достижения цели с помощью активированного угля, модифицированного оксидом марганца.

Результат исследования. Получен сорбент – модифицированный оксидом марганца активированный обеззоленный уголь марки БАУ [4].

Модификацию проводили путем осуществления операций: а) замачивания угля в кислом растворе азотнокислого марганца при pH 1,5-2,0; б) последующий гидролиз соли марганца на поверхности угля в растворе щелочи при pH 10,5-11,0 и температуре 20-40⁰С; в) сушка полученного продукта при 95-105⁰С и г) его кальцинации при 200-210⁰С.

Ёмкость полученного таким образом сорбента по литию определена в динамических условиях: 25 г навески сорбента загружали в колонку диаметром 1,5 см и высотой 35 см и пропускали через неё подземную воду содержанием 15,8 мг/дм³ Li. За 10 часов было обработано 13,7 л воды (содержащей 216,4 мг Li). Количество сорбированного Li составило 7,9 мг на 1 г сорбента или 197,5 мг на всей навеске сорбента. Это отвечает извлечению лития на сорбент 91,2% от его содержания в воде, а полная ёмкость сорбента по литию составила 7,9 мг/г.

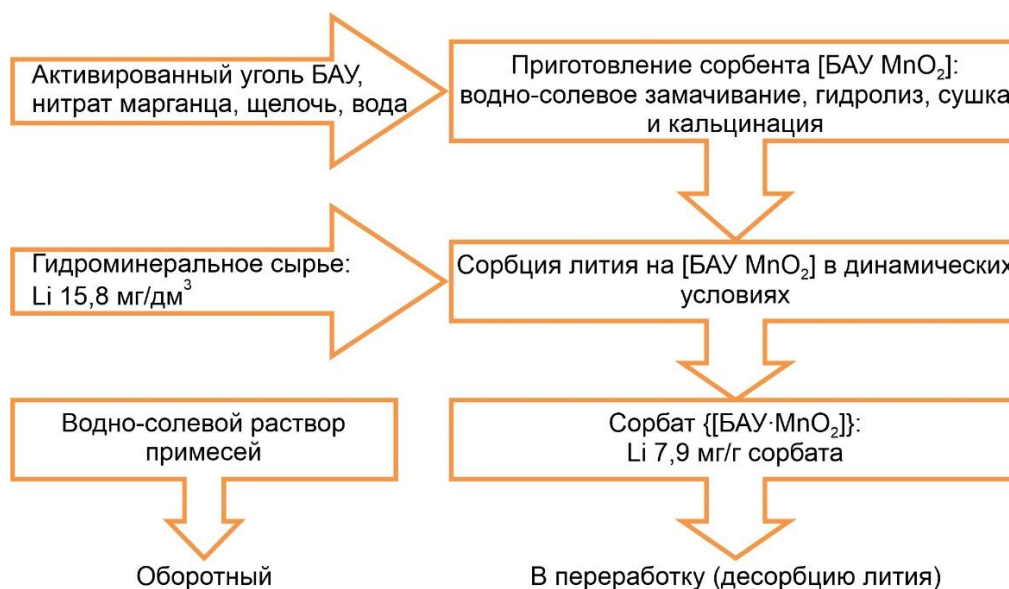


Рисунок 1. Блок-схема технологической разработки

Выводы

1. Отличительными признаками разработанного способа получения сорбента – модифицированного оксидом марганца активированного обеззоленного угля марки БАУ – для извлечения лития из гидроминерального сырья (ГМС) являются: сокращение расходов на получение нового сорбента за счет использования дешевой основы в виде активированного угля, а также возможность исключения затрат на операцию гранулирования продукта.

2. Показана способность полученного сорбента извлекать из ГМС до 92% лития.

Библиография

1. <https://repost.uz> >businessmen-vam-syuda.

2. Аллабергенов Р.Д., Ибрагимов А.С. Способ получения сорбента для извлечения лития из гидроминерального сырья //Полезная модель № FAP 02030, 2021 г. Мин-во Юстиции Республики Узбекистан.

3. Кузин И.А., Таушканов В.П., Аллабергенов Р.Д. и Похитонов Ю.А. Способ получения адсорбента // А.с. СССР № 498261, 1974 г. – Бюлл. Изобретений, 1976, №1, с.76.

4. Остроушко Ю.И., Дегтерева Т.В. Гидроминеральное сырье – неисчерпаемый источник лития. Аналитический обзор.- М: ЦНИИАТОМИНФОРМ, 1999. – 64 с.

*Методические аспекты преподавания дисциплины «Физическая химия» на гидрогеологическом факультете МГРИ. Бадаев Ф.З. * (Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), badaevfz@mgri.ru)*

Аннотация

В данной работе обсуждаются методические аспекты преподавания дисциплины «Физическая химия» для студентов гидрогеологического факультета.

Обращается внимание на важное значение компетентностного и практико-ориентированного подходов в обучении. Большое значение для формирования профессиональных качеств будущего специалиста имеют общекультурные компетенции.

Ключевые слова

Физическая химия, бакалавры, компетентностный подход, практико-ориентированное обучение.

Теория

Дисциплина «Физическая химия» в МГРИ входит в вариативную часть образовательной программы бакалавриата (направление подготовки 05.03.01 «Геология», профиль «Гидрогеология и инженерная геология»). Ее изучение предполагает наличие у студентов базовых знаний математики, физики, химии. Физико-химическое образование является теоретической основой гидрогеологии и позволяет сформировать целостное представление о естественнонаучной картине мира.

В настоящее время дисциплина «Физическая химия» изучается в течение одного семестра на третьем курсе. На его освоение отводится 108 часа (32 часа – аудиторные занятия, 76 часа – самостоятельная работа). Малое количество часов, выделенное на дисциплину, предъявляет жесткие требования к выбору материала и организации самостоятельной работы студентов.

Примерное содержание дисциплины следующее.

Модуль 1.

1. Фазовые равновесия в однокомпонентных системах.
2. Фазовые равновесия в двухкомпонентных системах.

Модуль 2.

1. Термодинамика растворов неэлектролитов и электролитов.
2. Формы нахождения элементов в растворах.
3. Окислительно-восстановительные равновесия в растворах.

Модуль 3.

1. Кинетика сложных химических реакций.
2. Цепные и фотохимические реакции.
3. Особенности кинетики гетерогенных реакций.

Основной теоретический материал излагается на лекциях. Активное и более глубокое освоение теоретического материала происходит на лабораторных и практических занятиях, где формируются умения и практические навыки студентов.

Цель изучения дисциплины «Физическая химия» – углубление имеющихся представлений о естественнонаучной картине мира, получение новых знаний и умений в области физической химии, способствующих активной адаптации в социальной среде и безопасному поведению, формирование готовности к продолжению образования на последующих ступенях профессионального образования.

Важная роль в организации учебного процесса принадлежит контролируемой самостоятельной работе студентов (КСР). При этом преподаватель при рассмотрении решения задач имеет возможность активизировать творческую деятельность студентов, обсуждая проблемные вопросы, гипотезы, инициируя дискуссии.

В настоящее время при изучении различных дисциплин в высшем образовании используют компетентностный подход [2]. В состав понятия «компетенция» входят: знания, умения, действия к определенным объектам действительности. Фундаментальный характер дисциплины «Физическая химия» способствует формированию дисциплинарных компетенций и вырабатывает у обучающихся умения применять теоретический материал к решению профессиональных проблем. Основная цель дисциплинарных компетенций – овладение теоретическими закономерностями по фундаментальным разделам физической химии, умение эффективно решать научно-практические задачи, применять полученные знания в профессиональной деятельности.

Приведем примеры практико-ориентированных задач, предлагаемых студентам для самостоятельного решения.

Задача 1. Установить, как в зависимости от pH среды будут меняться формы нахождения олова в водном растворе хлорида олова (II) SnCl_2 ($T = 298 \text{ K}$).

Задача 2. Построить Eh – pH диаграмму для различных форм серы в водном растворе с учетом окислительно-восстановительных реакций ($T = 298 \text{ K}$). Принять, что сера в водном растворе находится в виде частиц: H_2S , HS^- , S^{2-} , HSO_4^- , SO_4^{2-} .

Задача 3. Рассчитать положение границы на диаграмме Eh – pH между купритом (Cu_2O) и малахитом [$\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$], если парциальное давление CO_2 равно $10^{-3.5}$ бар (общее давление 1 бар, $T = 298 \text{ K}$).

На рис. 1 приведена диаграмма Eh – pH, полученная при выполнении задачи 2.

Большое значение для формирования профессиональных качеств будущего специалиста имеют общекультурные компетенции: формирование духовно-нравственной личности, интегрированной в современную социальную среду, обладающей самостоятельностью в принятии решений, владеющей культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, умеющей грамотно формулировать свои мысли, понимающей социальную значимость своей будущей профессии.

Для студентов, изучающих дисциплину «Физическая химия», создан дидактический комплекс информационного обеспечения дисциплины. В его состав входят: рабочая программа дисциплины, конспект лекций, примеры решения задач по каждому разделу дисциплины, контрольные вопросы и задачи. Учебный материал размещен на портале stud.mgri.ru. Для методической поддержки дисциплины рекомендуются печатные учебники и учебные пособия [1, 3, 4], содержащие теоретический материал дисциплины.

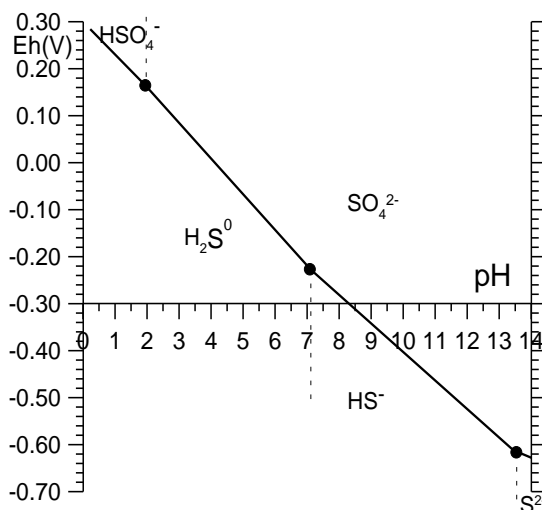


Рисунок 1. Формы нахождения серы в растворе.

В рамках дисциплины студенты занимаются термодинамическими и кинетическими расчетами процессов, протекающих в водной среде, получают экспериментальные навыки при выполнении лабораторных работ. Активизации научно-технического творчества студентов способствует взаимодействие преподавателей кафедры химии и кафедры гидрогеологии.

Выводы

1. Для эффективного изучения дисциплины «Физическая химия» на гидрогеологическом факультете в геологоразведочном университете используется модульный принцип.
2. Приобретение физико-химических компетенций при подготовке гидрогеологов является важным вкладом в профессиональные компетенции.
3. Для мотивации студентов к научно-техническому творчеству целесообразно использовать практико-ориентированное обучение, связанное с их будущей профессией.

Библиография

1. Бадаев, Ф. З. Химическая кинетика: учебник и практикум для вузов / Ф. З. Бадаев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 181 с.
2. Гончаренко Е. Е., Голубев А. М., Ксенофонтов Б. С. Инновации в технологии преподавания дисциплины «Физическая и коллоидная химия» для студентов кафедры «Промышленная экология» (бакалавры). Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 6. URL: <http://engjournal.ru/catalog/pedagogika/hidden/785.html>
3. Мычко Д.И. Физико-химические основы геохимии: пособие / Д.И. Мычко. — Минск: БГУ, 2015. — 303 с.
4. Химия: учебник для высших учебных заведений / А. А. Гуров, Ф. З. Бадаев, Л. П. Овчаренко, В. Н. Шаповал. — 4-е изд., испр. — Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. — 775 с.

Кинетика взаимодействия алюминия и алюминиевого сплава Д16 с водным раствором гидроксида калия. Бадаев Ф.З.* (Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), badaevfz@mgri.ru)

Аннотация

Приведены экспериментальные данные по кинетике взаимодействия алюминиевого сплава Д16 с водным раствором гидроксида калия.

Установлено, что зависимость начальной скорости реакции от концентрации гидроксида калия имеет максимум около $C_{\text{кон}} = 8$ моль/л. В диапазоне концентраций гидроксида калия 8 – 12 моль/л скорость реакции взаимодействия с ним сплава Д16 больше, чем скорость реакции взаимодействия алюминия с раствором гидроксида калия при температуре 25 °С. Изучена температурная зависимость скорости реакции. Сделана оценка эффективной энергии активации.

Ключевые слова

Химическая кинетика, алюминий, алюминиевые сплавы, получение водорода.

Полученные результаты

Реакция алюминия и его сплавов с водой и водными растворами щелочей может использоваться для получения различных форм высокодисперсных гидроксидов и оксидов алюминия [5]. К ним относятся бемит, гибсит, байерит, диаспор, модификации оксида алюминия, которые могут быть востребованы в промышленности для получения высокопрочных керамических материалов, теплозащитных покрытий, носителей для катализаторов, материалов медицинского назначения.

Для получения подобных материалов можно использовать отходы обработки различных алюминиевых сплавов, которые в большом количестве имеются на многих машиностроительных производствах. При этом применение различных легирующих компонентов позволяет модифицировать и варьировать свойства получаемых керамических материалов.

Алюминий и сплавы на его основе в настоящее время рассматриваются также как эффективные водород-генерирующие материалы для создания автономных экологически чистых энергетических установок, которые могут использоваться в местах, лишенных централизованного энергоснабжения [1].

В связи с этим изучение реакции взаимодействия алюминиевых сплавов с водными растворами щелочей представляет интерес, так как, изменяя состав сплавов и раствора щелочи, можно управлять процессом генерации водорода.

В работах [2, 3, 4] изучалась кинетика взаимодействия некоторых алюминиевых сплавов с водным раствором гидроксида натрия.

Настоящая работа посвящена исследованию кинетических особенностей реакции взаимодействия алюминия и алюминиевого сплава Д16 с водным раствором гидроксида калия в широком диапазоне концентраций.

Для проведения реакции использовали растворы гидроксида калия, которые готовили из соответствующего реактива марки «ч.д.а.» путем растворения навески кристаллического вещества в дистиллированной воде.

Кинетику реакции алюминия и алюминиевых сплавов с водным раствором КОН изучали волюмометрическим методом по объему выделяющегося водорода. Молярная концентрация водных растворов КОН составляла $C_{\text{КОН}} = 2\text{--}12$ моль/л, молярное отношение алюминия и гидроксида натрия составляло 1:2.

Во всех экспериментах использовали компактные образцы технического алюминия и сплава Д16. Чистота технического алюминия составляла 99,4% (масс.). Образцы представляли собой пластины с площадью поверхности $S = 7\text{--}10$ см² толщиной $h = 1,5\text{--}2$ мм.

Химический состав сплава Д16 представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав в % материала Д16 (ГОСТ 4784-97)

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Примеси
до 0,5	до 0,5	0,3 – 0,9	до 0,1	до 0,15	90,9 – 94,7	3,8 – 4,9	1,2 – 1,8	до 0,25	прочие, каждая 0,05; всего 0,15

Образец сплава помещали в предварительно термостатированный стеклянный реактор, содержащий 30 мл водного раствора гидроксида калия, соединенный с термостатированной волюмометрической системой.

На рис. 1 представлена зависимость начальной скорости реакции от молярной концентрации раствора КОН. Установлено, что зависимости имеют максимум около концентрации $C_{\text{КОН}} = 8$ моль/л. При этой концентрации более высокая скорость реакции наблюдается у сплава Д16.

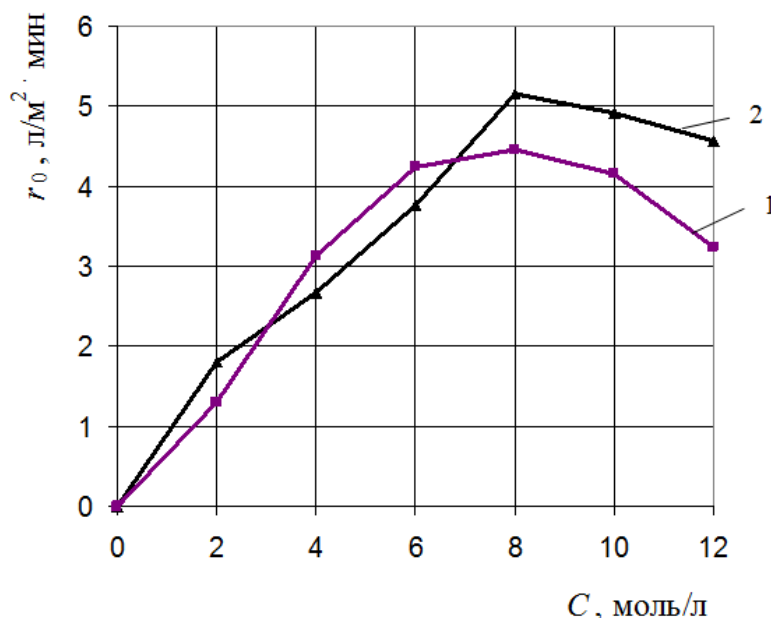


Рисунок 1. Зависимость начальной скорости реакции r_0 для алюминия (1) и сплава Д16 (2) с КОН от концентрации гидроксида ($T = 25$ °С.)

Для оценки зависимости начальной скорости реакции алюминия с раствором КОН от температуры были получены кинетические кривые при температурах 20, 35, 50 °С ($C_{\text{NaOH}} = 4$ моль/л).

Установлено, что эффективная энергия активации для реакции алюминия с водным раствором гидроксида калия составляет $E_a \approx 59 \pm 6$ кДж/моль. Полученное значение эффективной энергии активации свидетельствуют о том, реакции алюминия и изученных алюминиевых сплавов с раствором гидроксида калия протекают в кинетическом режиме. Это также отмечается в работах [2, 3, 4], где изучались реакции алюминия и алюминиевых сплавов с водными растворами гидроксида натрия.

Выводы

1. Экспериментально изучены кинетические особенности реакции алюминия и алюминиевого сплава Д16 с водным раствором гидроксида калия в диапазоне концентраций $C_{\text{кон}} = 2-12$ моль/л.
2. Для алюминия и сплава Д16 исследована зависимость начальной скорости реакции от концентрации гидроксида калия в водном растворе. Установлено, что она имеет максимум при концентрации гидроксида калия около 8 моль/л.
3. Проведена оценка эффективной энергии активации реакции алюминия с водным раствором гидроксида калия.
4. Результаты проведенного исследования могут быть использованы при проектировании автономных генераторов водорода, а также при разработке технологии получения порошковых материалов на основе оксида алюминия из отходов машиностроительных производств.

Библиография

1. Генерация водорода при взаимодействии порошков металлов и сплавов системы алюминий–магний с водой, кислотным и щелочным растворами / А.Ю. Баймаков, С.Ю. Петрович, В.А. Липин, А.Л. Шахмин, Е.А.Еремин // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского политехнического университета. 2013. № 2 (171). С. 151-157.
2. Кинетика взаимодействия алюминиево-титановых сплавов с водным раствором гидроксида натрия / Ф.З. Бадаев, А.Х. Хайри, Н.А. Касатова // Научные технологии в машиностроении. 2014. №1 (31). С. 3-7.
3. Кинетические особенности взаимодействия алюминиево-медных сплавов с водными растворами гидроксида натрия / Ф.З. Бадаев, А.Х. Хайри, Р.А. Новоселов, В.П. Тарасовский // Машиностроение и инженерное образование. 2015. №2 (43). С. 34-39.
4. Определение кинетических параметров взаимодействия алюминиево-магниевых сплавов с водным раствором гидроксида натрия / Ф.З. Бадаев, В.В. Рыбальченко, А.Х. Хайри, Н.А. Касатова, А.И. Айрих // Машиностроение и инженерное образование. 2013. №1 (34). С. 17-20.
5. Preparation of aluminum oxide ceramic precursors by dispersion of aluminum alloy D16 / Badaev F.Z., Tarasovskii V.P., Novoselov R.A., Khairi A.K., Reznichenko A.V.// Refractories and Industrial Ceramics. 2015. Т. 56. № 1. С. 11-13.

***Опыт использования видеоматериалов в учебном процессе в рамках дисциплин
«Водоснабжение и инженерная мелиорация», «Гидрогеологическое моделирование».
Барымова В.А.* (МГРИ, Barimovava@mgri.ru)***

Аннотация

Специфика горно-геологического образования, заключающаяся в необходимости закрепления знаний на практике, требует использования современных технологий, визуального сопровождения теоретической базы. В статье описан опыт использования видеоматериалов в образовательном процессе на кафедре гидрогеологии им. В.М. Швеца МГРИ в рамках дисциплин «Гидрогеологическое моделирование», «Водоснабжение и инженерная мелиорация». Приведено краткое описание структуры и функций видеоматериалов, приведена статистика и отзывы обучающихся.

Ключевые слова

Информационно-образовательная среда ВУЗа, реформирование университетского образования, интерактивные образовательные технологии, видеоматериалы

Теория

Являясь преподавателем кафедры гидрогеологии им. В.М. Швеца, в настоящее время я веду семинарские и практические занятия по дисциплинам «Гидрогеологическое моделирование», «Водоснабжение и инженерная мелиорация» для студентов Гидрогеологического факультета.

В процессе профессиональной деятельности я столкнулась с несколькими проблемами. Во-первых, студенты теряют интерес и мотивацию в процессе освоения дисциплин при использовании традиционных методик преподавания. Во-вторых, обучающиеся испытывают сложности в освоении дисциплины «Гидрогеологическое моделирование» с использованием только печатных изданий учебно-методических пособий.

Растущие технические возможности позволяют удовлетворить потребности обучающихся в новых инструментах и методах, упрощающих процесс восприятия информации и стимулирующих их заинтересованность в освоении профессии, а значит влечёт за собой повышение качества образования [2,4]. Для решения вышеупомянутых проблем в процессе обучения студентов я использую видеоматериалы в качестве сопровождения и дополнения очных занятий основной программы.

Эффективность использования подобных инструментов в образовательном процессе дисциплин естественнонаучного направления уже неоднократно подтверждена [1,3]. Специфика горно-геологического образования, заключающаяся в необходимости закрепления знаний на практике, требует использования современных технологий, визуального сопровождения теоретической базы. Это особенно актуально в рамках курса «Водоснабжение и инженерная мелиорация». В курсе «Гидрогеологическое моделирование» видеоматериалы позволяют ускорить и упростить процесс освоения программного обеспечения за счёт наглядной демонстрации его функций.

Видеоматериалы, подготовленные мной в рамках вышеупомянутых учебных дисциплин, представляют собой анимированные презентации и демонстрацию экрана с голосовым сопровождением продолжительностью от 20 до 80 минут. Чаще всего структура видео соответствует структуре очного занятия (Табл.1).

Таблица 1. Общая структура видеосеминаров учебных дисциплин

«Водоснабжение и инженерная мелиорация»	«Гидрогеологическое моделирование»
- Тема семинара/практического занятия;	- Тема семинара/практического занятия;
- Теоретическая вводная для последующего выполнения задания;	- Теоретическая вводная для последующего выполнения задания;
- Разбор примера решения или методические рекомендации.	- Наглядная инструкция по выполнению задания с демонстрацией экрана.

Видеоматериалы выполняют следующие функции:

1. Входной контроль: быстрое повторение материала ранее изученных дисциплин с упором на ту информацию, которая будет особенно важна в рамках текущего курса;
2. Закрепление и повторение материала, пройденного на семинаре: возможность просмотра видео после семинара позволяет обучающимся проработать ту информацию, усвоение которой вызвало затруднения;
3. Компенсация пропусков: возможность освоить материал занятия без консультации преподавателя посредством не только печатных учебных материалов;
4. Выполнение домашних заданий, не разбираемых на семинарских занятиях: дополнительная методическая поддержка тех заданий, описание которых есть только в учебно-методических пособиях, но требующих дополнительных комментариев;
5. Помощь иностранным студентам, испытывающим сложности в усвоении материала: возможность для таких студентов прослушать материал столько раз, сколько необходимо для перевода и полного освоения информации;
6. Быстрое повторение пройденного материала перед аттестацией: возможность подробно и полно восстановить пробелы конспектов, прослушать заново информацию, вызвавшую наибольшие трудности в усвоении;
7. Дополнительная информация к курсу для интересующихся (лекции, дополнительные задания): углублённое изучение курса вне программы дисциплины.

В настоящий момент в моём «портфолио» накоплено более 50 видео. Для описания результатов использования видеоматериалов в учебном процессе я приведу статистические данные по количеству просмотров некоторых роликов.

В курсе «Водоснабжение и инженерная мелиорация» использовались пока только 6 видео в течение одного семестра. Количество студентов по спискам - 64. Среднее количество просмотров видео составило 279 (рис.1). Статистика показывает, что каждый студент запустил ролик более 4 раз. Приведённые цифры не являются стопроцентно достоверным показателем и не отражают, например, среднее время просмотра роликов. Однако, говорят о том, что материалы не остаются без внимания и активно используются студентами в процессе обучения.

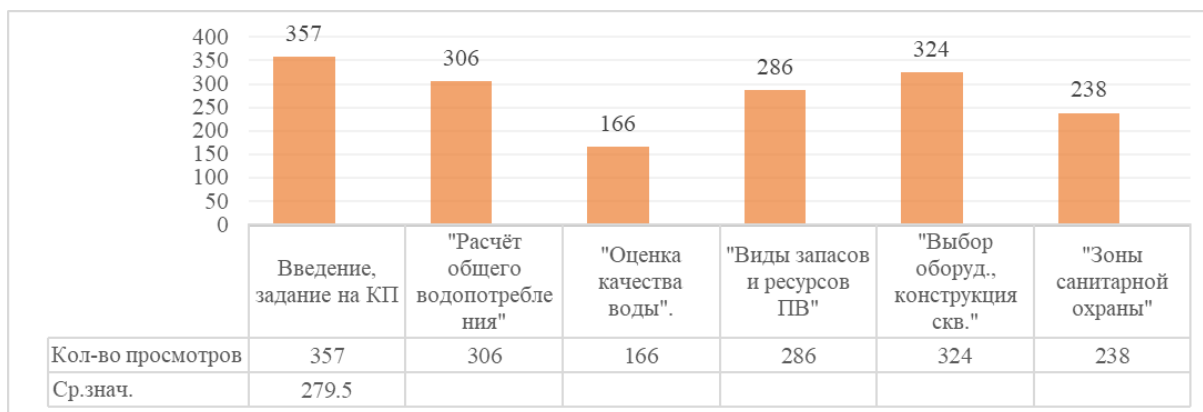


Рисунок 1. Статистические данные по количеству просмотров видеороликов курса «Водоснабжение и инженерная мелиорация».

В качестве результатов использования видеоматериалов в курсе «Гидрогеологическое моделирование» приведу данные по изменению количества просмотров видео «Основные понятия гидрогеологического моделирования» в течение осеннего семестра 2022 г (рис.2). Данный ролик является вводной лекцией, содержащей только теоретический материал, необходимый для начала освоения курса. Из графика хорошо видно, что максимальное количество просмотров видео приходится на даты первых семинаров (14, 15.09.22), на канун второго семинара (19.09, 20.09), что является доказательством использования видео студентами для закрепления знаний в процессе освоения курса. Пик, приходящийся на 20.12.22 подтверждает использование материала для подготовки к сдаче зачёта по дисциплине.

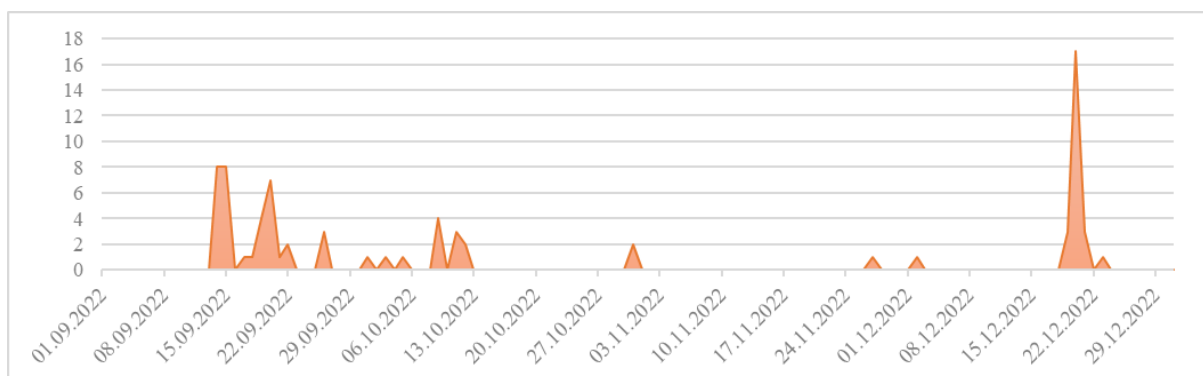


Рисунок 2. График изменения количества просмотров видео «Семинар 1. Основные понятия гидрогеологического моделирования» в течение осеннего семестра 2022 г.

Также стоит отметить, что в конце каждого семестра я собираю обратную связь студентов. Опросы проводятся анонимно в электронном формате. Ниже приведены примеры вопросов и ответов на них (авторская орфография и пунктуация сохранены):

Вопрос 1: Видео-семинары — это хорошо?

«Это очень удобно! Можно смотреть несколько раз и в любое удобное время. И запоминается все лучше».

Вопрос 2: Что по вашему мнению стоит изменить в семинарах? Что было не понятно?

«Все понятно, а если не усвоил на семинаре, можно посмотреть видео».

Вопрос 3: Что бы Вы хотели ещё сказать о семинарах и своих эмоциях от них?

«Мне очень понравились запись семинарских занятий. Это очень помогала когда при написании курсового проекта. Спасибо вам за это»;

«Современный подход, большое количество знаний и светлых эмоций!»

Исходя из отзывов студентов можно сделать вывод о том, что видеоматериалы довольно успешно выполняют все заявленные ранее функции. Я также могу подчеркнуть следующие их преимущества:

1. Мобильность- возможность просмотра видео в любом месте и с любого устройства при наличии Интернета;
2. Гибкость графика- возможность просмотра в любое удобное время, т.е. получить нужную информацию без ожидания консультации преподавателя;
3. Скорость, повтор- возможность многократного просмотра при любой скорости воспроизведения видео целиком или определённого фрагмента;
4. Разнообразие- отличие от привычных инструментов и средств, используемых в учебном процессе, позволяющее повысить заинтересованность студентов.

Однако, стоит отметить и недостаток, который по-моему мнению в настоящее время является незначительным в связи с интенсивным развитием и оснащением МГРИ:

1. Технические требования, ресурсы- необходимость наличия технических средств и особых навыков владения компьютерными программами.

Выводы

Использование видеоматериалов для сопровождения учебных курсов «Водоснабжение и инженерная мелиорация», «Гидрогеологическое моделирование» повышает мотивацию к обучению, заинтересованность студентов в освоении материала, которые в свою очередь повышают качество образования.

Библиография

1. Молочко А.В. ВИДЕОМАТЕРИАЛЫ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ: ОПЫТ АПРОБАЦИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫХ ДИСЦИПЛИН) // Изв. Саратов. ун-та Нов. сер. Сер. Философия. Психология. Педагогика. 2021. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/videomaterialy-v-obrazovatelnom-protssesse-opyt-aprobatsii-i-ispolzovaniya-na-primere-estestvennonauchnyh-distsiplin>.
2. Никулина Т. В., Стариченко Е. Б. ИНФОРМАТИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ: ПОНЯТИЯ, ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ // Педагогическое образование в России. 2018. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatizatsiya-i-tsifrovizatsiya-obrazovaniya-ponyatiya-tehnologii-upravlenie>.
3. Сапрыкина Т. В., Ушакова Т. В. ПРИМЕНЕНИЕ ВИДЕОКОНТЕНТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ // Образование. Карьера. Общество. 2020. №4 (67). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-videokontenta-v-obrazovatelnom-protssess>.
4. Хеннер Е.К. ВЫСОКОРАЗВИТАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА ВУЗА КАК УСЛОВИЕ РЕФОРМИРОВАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ. Образование и наука. 2014;1(1):54-72. <https://doi.org/10.17853/1994-5639-2014-1-54-72>.

Оценка качества противокарстовых мероприятий на участке скоростной автодороги. Белов К. В*. (МГРИ-РГГРУ, Кафедра гидрогеологии им. В.М. Швеца, г. Москва, belovkv@mgri.ru), Волошин В. Р. (МГРИ-РГГРУ, Кафедра гидрогеологии им. В.М. Швеца, г. Москва, voloshin4456@gmail.com), Роженичikov В. Г. (МГРИ-РГГРУ, Кафедра гидрогеологии им. В.М. Швеца, г. Москва, rov_roh@mail.ru)

Аннотация

Приводятся данные об инженерно-геологических условиях участка территории строительства скоростной автомобильной дороги, в пределах которого развиты проявления современного карстового процесса. Имеющиеся данные позволили составить проект работ, направленный на инженерную защиту территории от неблагоприятных процессов. Приведен один из вариантов укрепления грунтов цементацией в пределах карстовой воронки, а также рассмотрена методика оценки качества укрепления (цементации) при противокарстовых мероприятиях.

Ключевые слова

Карст, карстовые процессы, суффозионные процессы, инженерная защита территории, противокарстовые мероприятия

Скоростная автомобильная дорога располагается в пределах всхолмленный равнины, неравномерно расчлененной системами рек и изрезанную глубокими оврагами.

Территория изысканий располагается в зоне умеренно-континентального климата, количество осадков за апрель-октябрь составляет 384, за ноябрь-март – 238 мм. Среднегодовая температура положительна и составляет 3,2°С.

Для значительной части площади характерно развитие карстовых форм рельефа, выраженных воронками, округлыми заболоченными понижениями, карстовыми останцами и озерами. Поражённость территория проектного коридора трассы карстовыми процессами достигает 90%.

В геологическом строении района работ до исследуемой глубины 70,0 м принимают участие четвертичные отложения различного генезиса, подстилающиеся породами верхней юры, верхней и нижней перми.

Для объектов инфраструктуры и в проектном коридоре автодороги (мосты, путепроводы, экодуки, тоннели, шумозащитные экраны) проведены инженерно-геологические изыскания, включающие по мимо прочего, буровые работы.

Четвертичные отложения представлены аллювиальными, элювиальными, делювиальными, ледниковыми и флювиогляциальными образованиями различной мощности и состава (пески, суглинки, глины).

Верхнеюрские (J_3) отложения вскрыты локально. Залегают с размывом на породах татарского яруса верхней перми. Представлены твердыми глинами и алевритами. Вскрытая мощность верхнеюрских отложений достигает 46,0 м.

В пределах исследуемой трассы пермские отложения представлены, казанским, татарским (верхний отдел системы) и нерасчлененными артинским и сакмарским ярусами (нижний отдел системы).

Татарский ярус – (P_{2t}) Отложения татарского яруса прослеживаются повсеместно под толщей мезозойских и четвертичных пород, либо выходят на поверхность. Залегают с размывом на казанских карбонатных породах. Представлены преимущественно глинами и алевритами. Наблюдаются прослойки песков средней степени водонасыщения. Вскрытая мощность отложений достигает 62,0 м.

Отложения казанского яруса (P_2kz) распространены локально. Вскрытые в процессе изысканий отложения сложены известковистыми доломитами с прослоями глин.

Артинский и сакмарский ярусы нерасчлененные (P_{1s+a}) представлены гипсо-ангидритовой толщей, залегающей с размывом под казанскими карбонатными породами. Местами, чаще в кровле слоя, гипс выветрел до состояния гипсовой муки. Вскрытая мощность гипсо-ангидритовой толщи достигает 25,0 м.

Гидрогеологические условия изучаемой территории характеризуются наличием водоносных горизонтов в четвертичных отложениях различного генезиса и в коренных породах.

Водоносные горизонты, развитые в породах четвертичного возраста, приурочены к аллювиальным отложениям, прослоям и линзам водовмещающих пород в водно-ледниковых и элювиально-делювиальных отложениях. Мощность горизонта непостоянна, воды порово-пластовые. Глубины залегания появившегося уровня подземных вод четвертичных отложений изменяются от 0,0 до 15,0 м.

Воды, заключенные в коренных отложениях, приурочены к отложениям верхней юры, верхней и нижней перми. Питание комплекса осуществляется в основном, за счет инфильтрации атмосферных осадков в местах выхода водовмещающих пород на поверхность или на участках неглубокого их залегания. На отдельных площадях происходит подпитывание водоносного комплекса водами четвертичных отложений. Воды, за исключением вод юрских отложений, преимущественно трещинные (трещинно-пластовые и трещинно-карстовые), приурочены к прослоям трещиноватых мергелей, известняков и песчаников татарского яруса, трещиноватой, закарстованной зоне нижеказанских доломитов и известняков и верхней, раздробленной части гипсо-ангидритовой толщи артино-сакмарского яруса. Основным источником водоснабжения являются воды казанских известняков и доломитов, повсеместно развитые на рассматриваемой территории. Воды трещинно-карстовые, напорные. По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциевые, кальциево-магниевые, магниевые-кальциевые и сульфатно-гидрокарбонатная кальциево-магниевые пресные и слабосолоноватые, очень жесткие (жесткость карбонатная).

Воды ниже-пермских отложений, сложенных плотными гипсами и ангидритами, развиты только в их верхней, сильно трещиноватой части. Ниже гипсы и ангидриты безводны и являются мощным, выдержанным водоупором от нижележащих высоконапорных, минерализованных вод карбона и девона.

Все вышеперечисленные горизонты гидравлически взаимосвязаны между собой, в местах гидрогеологических окон наблюдается единство уровней.

Основными процессами, оказывающими негативное воздействие на процесс строительства и эксплуатации сооружений являются карстово-суффозионные процессы. Интенсивное развитие современного карста на данной территории объясняется тектонической приподнятостью артинских гипсов и залегающих выше по разрезу трещиноватых карбонатных пород. Глубина залегания карстующихся пород в среднем варьирует от 10-50 м до 70-100 и более. Карст на исследуемой территории покрытый, карбонатный, карбонатно-сульфатный, карстующимися породами являются труднорастворимые известняки и доломиты и среднерастворимые гипсы и ангидриты. Активнее всего процесс карста происходит в гипсах и ангидритах на границе с нижеказанскими доломитами и известняками. Механизм развития деформаций на земной поверхности преимущественно карстово-суффозионный. По времени образования карст современный, так как проявляет себя на поверхности в виде новых провальных форм.

В результате проведенных работ установлено, что для безаварийного строительства и эксплуатации дороги необходимо запроектировать и выполнить комплекс противокарстовых мероприятий. Согласно действующим нормативно-методическим документам к ним относят ряд мер: специальные (конструктивные и геотехнические), технологические и ряд других (водозащитные, эксплуатационные). В качестве геотехнических противокарстовых мероприятий рекомендуется выполнить ликвидацию зафиксированных пустот и полостей массива пород для изменения их физико-механических характеристик, которые должны обеспечивать прочность и устойчивость сооружения с учетом расчетных карстовых деформаций или исключить возможность их образования в пределах глубины активной зоны в основании сооружений.

Геотехнические мероприятия для ликвидации существующих подземных карстовых форм и зон разуплотнения включают заполнительную цементацию полостей, пустот и закрепление зон разуплотнения в покрывающих грунтах. В выявленных зонах разуплотнения, которые находятся в зоне влияния на дорогу и инженерные сооружения (определяется расчётом), следует выполнить укрепление грунтов. Выбор метода цементации, шаг скважин и глубина закрепления должны определяться для каждого участка индивидуально при соответствующем расчетном обосновании.

Проектом предусматривается цементация карстовой воронки (расчётный диаметр 20,0 м) в три этапа, начиная с крайних рядов скважин, которые могут выполняться вертикально или под наклоном из проектной точки к условному центру воронки. Зона цементации по высоте разделяется на интервалы в зависимости от наличия полостей в пределах закрепляемой толщи, рекомендуемый интервал не более 5,0 м. Цель выполнения крайних рядов – заполнение возможных пустот в покровной толще и полостей в карстующейся породе, которые не были заполнены при карстовом провале. В качестве тампонажного раствора следует применять раствор на основе цемента с отношением В/Ц=0,6-0,8. После выполнения контурных рядов следует переходить к цементации внутри контура воронки по сетке 16,0 м (скважины 1 очереди) – 8,0 м (скважины 2-ой очереди) – 4,0 м (скважины 3-ей очереди).

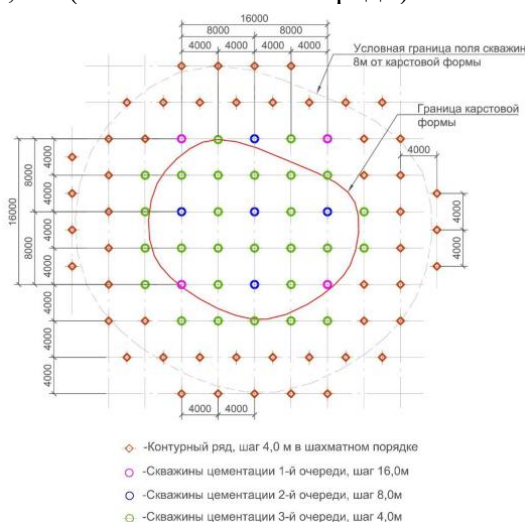


Рисунок 7 – Концептуальная схема ликвидационной цементации для воронки диаметром 20,0 м

Согласно [1 - 5] при проектировании работ и их выполнении следует предусмотреть положение о контроле, который должен выполняться в процессе всего цикла цементации для оценки его качества. При выполнении работ по закреплению грунтов должны выполняться следующие контрольные работы:

- входной контроль;
- операционный контроль;

- контрольные работы по оценке качества закрепления и приемочный контроль.

Входной контроль включает контроль наличия, утвержденной в установленном порядке технической документации и нормативных актов; контроль соответствия поступающих материалов (цемент, известь и т.п.) документам о качестве (паспорта, сертификаты); контроль наличия метрологической поверки испытательного оборудования и аттестации лаборатории; контроль геодезической основы (реперы, настенные и глубинные марки и другие геодезические знаки) и другую документацию.

Операционный контроль проводится на всех этапах выполнения технологических операций и включает геодезическую проверку точности разбивки инъекционных скважин; дату и время начала и окончания инъекционных работ; постоянный контроль нормируемых показателей технологических параметров приготовления растворов и другие параметры, контролируемые непосредственно при проведении работ.

Качество цементации трещиноватых и закарстованных скальных грунтов оценивается различными методами с использованием контрольного бурения (по наличию или отсутствию провалов бурового инструмента и извлеченным кернам), по величине удельного водопоглощения при гидравлическом опробовании и показателей цементации контрольных скважин. Если удельное водопоглощение в контрольных скважинах по своей средней величине и допускаемым отклонениям от средней величины соответствует требованиям проекта и выбуренные керны указывают на полное заполнение карстовых пустот тампонажным раствором, инъекционные работы следует признать достаточными. В противном случае в тех местах, где контрольные скважины показали неудовлетворительные результаты, проектная организация назначает дополнительные скважины для инъекции растворов. Количество контрольных скважин должно составлять не менее 3-5% общего количества рабочих скважин. Качество закрепленного грунтового массива (сплошность и однородность закрепления, формы и размеры массива, прочностные и деформационные характеристики закрепленных грунтов) должно соответствовать установленным требованиям РД. Предельные отклонения в сторону уменьшения измеряемых величин - не более 10%.

Библиография

1. СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения»
2. СП 45.13330.2017. Свод правил. Земляные сооружения, основания и фундаменты.
3. Методическое пособие. Методические рекомендации по проектированию геотехнических мероприятий инженерной защиты территории от проявления карстово-суффозионных процессов. НИИОСП им. Н.М. Герсевича, 2017 г.
4. Методическое пособие по укреплению грунтов методами струйной цементации, глубинным перемешиванием, инъекции растворами на основе микроцементов, манжетной инъекцией в режиме гидроразрывов. НИИОСП им. Н.М. Герсевича, 2020 г.
5. Методические рекомендации. Методы контроля качества искусственных оснований из закреплённых грунтов. НИИОСП им. Н.М. Герсевича, 2020 г

Анализ информации по изменению водоотбора и режима уровней водоносных горизонтов и комплексов восточной части Московской области. Егоров Дмитрий Викторович* (ГПБУ «Мосэкомониторинг», degorov79@yandex.ru)

Аннотация

Работа посвящена анализу информации по изменениям режима водоотбора и уровней, в связи с вводом восточной системы водоснабжения.

Ключевые слова

Водоносные горизонты, комплексы, режим уровня, скважины, водозаборные узлы, недропользователи, гидрогеологические условия, модель.

Теория

Исследуемая территория приурочена к Московскому артезианскому бассейну с глубоко залегающим фундаментом и региональным распространением выдержанных по мощности и строению водоносных горизонтов и комплексов, разделенных водоупорами, что обуславливает формирование четко выраженной вертикальной гидродинамической и гидрохимической зональности с зонами активного, замедленного и весьма замедленного водообмена. Территория характеризуется сплошным распространением каменноугольных отложений, к которым приурочены водоносные горизонты и комплексы, являющиеся основным источником водоснабжения населения и предприятий [1, 2].

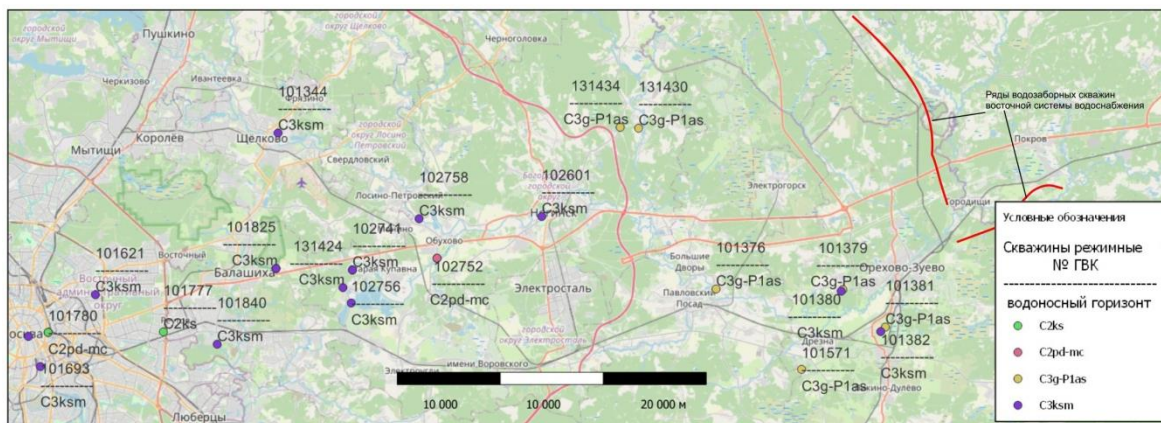


Рисунок 1. Территория исследования

Эксплуатационными водоносными горизонтами на территории являются: гжельско-ассельский водоносный комплекс; касимовский водоносный комплекс; подольско-мячковский водоносный горизонт; каширский водоносный комплекс; алексинско-протвинкий водоносный комплекс.

На территории исследования зарегистрировано более 3221 эксплуатационных скважин, из них действующих 1889 скважин, ликвидированных 627 скважин, 83 скважины законсервированы, 611 - резервных, 11 скважин заброшенных.

Наиболее интенсивно эксплуатируются касимовский водоносный комплекс и подольско-мячковский водоносный горизонт (рисунок 2).

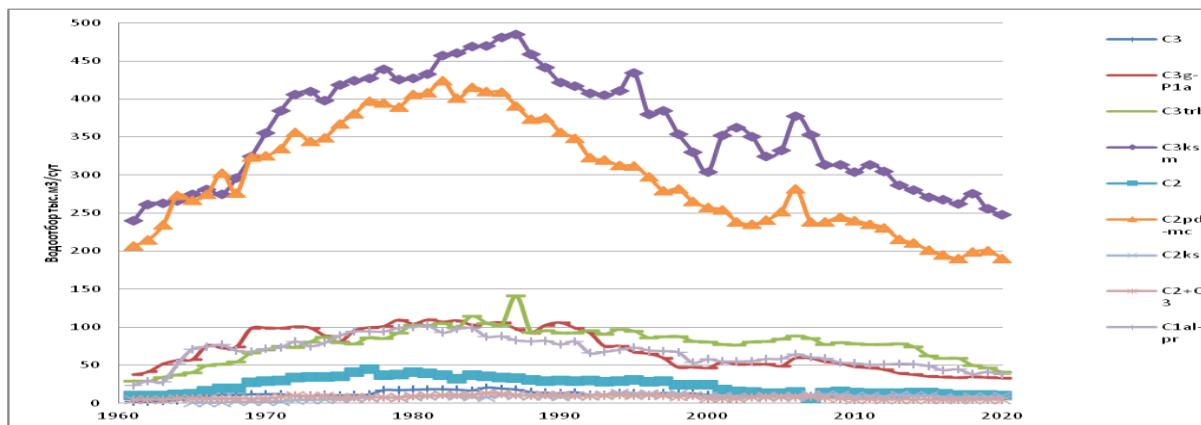


Рисунок 2. График водоотбора по горизонтам

В 1982 году по заказу Производственного Управления «Мособлводоканал» институтом генпланов инженерного оборудования и экспериментального проектирования был разработан проект «Восточной областной межрайонной системы водоснабжения из подземных источников». Оцененные запасы составили 170,11 тыс. м³/сутки [1, 2]. Количество эксплуатационных скважин оборудованных на гжельско-ассельский и касимовский водоносные комплексы составляет 56 [1, 2].

Восточная система водоснабжения обеспечивает водой следующие населенные пункты: Лосино-Петровский, Старая Купавна, Павловской Посад, Обухово, Ногинск, Электросталь, Орехово-Зуево, Железнодорожный, Щелково, Электроугли, Балашиха. Таким образом, нагрузка на водоносный горизонт в пределах городских агломераций снижена. Перевод на восточную систему водоснабжения Московской области выполнен в связи с проблемами качества подземных вод на территории.

С вводом восточной системы водоснабжения следовало бы наблюдать постепенное перераспределение нагрузки на каменноугольные водоносные горизонты, что должно было бы усилить подъем уровней подземных вод.

По сведениям ежегодного «Информационного бюллетеня за 2021 год»[4], выпускаемого ФГБУ «Гидроспецгеология», на территории Московского региона ведутся наблюдения всего по 244 пунктам, из них 15 пунктов находятся в естественном режиме фильтрации, 229 пунктов расположены в нарушенном режиме фильтрации. Следует отметить, что статусом режимных скважин государственного мониторинга подземных вод с непосредственным наблюдением за уровнем, температурой и химией, является всего 66 скважин по всей территории Московского региона. Остальные пункты наблюдения являются эксплуатационными скважинами.

Режимные наблюдения по скважинам и водоотбор по горизонтам (рисунок 3, 4) указывают на то, что изменение уровня подземных вод по территории происходит с начала 90х годов XX века в момент снижения темпов производственной мощи СССР. Подъем уровней наблюдается в каширском водоносном комплексе с темпом 0,91 м/год (информация по уровням с 1966 по 2015 годы) (рисунок 4). Темп поднятия уровня подольско-мячковского водоносного горизонта, в пределах изучаемой территории, изменчив - от 0,8 м/год до 0,125 м/год (сведения по уровням в наблюдательных скважинах с 1951 по 2020 годы). По темпу поднятия касимовского водоносного горизонта, информация по уровням заканчивается в 2011 году, средний темп поднятия уровня 0,96 м/год. Гжельско-ассельский водоносный комплекс представлен данными с

1966 по 2020 годы, по наиболее информативным наблюдательным скважинам темп поднятия уровня от 0,23 м/год до 1,5 м/год.

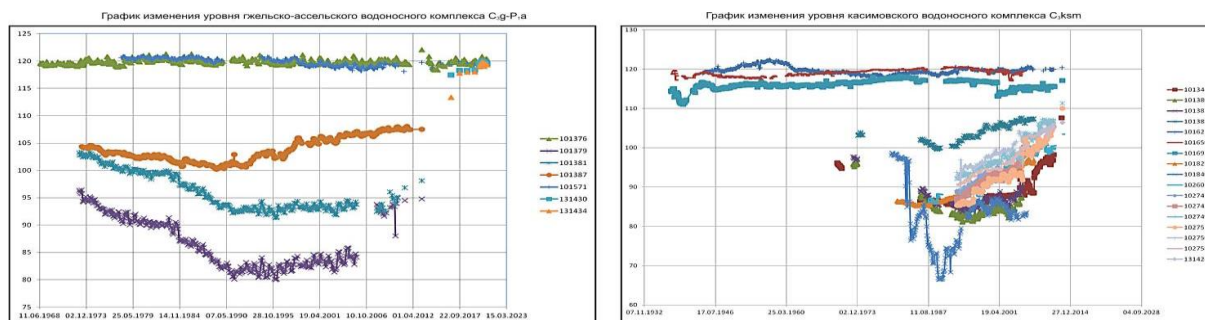


Рисунок 3. «Графики изменения уровней гжельско-ассельского и касимовского водоносных горизонтов»

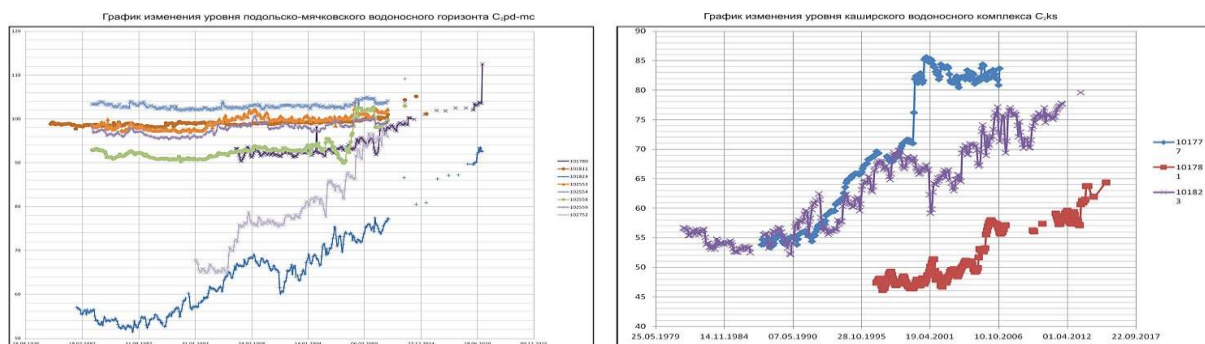


Рисунок 4. «График изменения уровней подольско-мячковского водоносного горизонта и каширского водоносного комплекса»

По условиям лицензирования, ведение мониторинга подземных вод на водозаборных узлах возложено на недропользователя. Следует отметить, что не все пользователи недр ведут режимные наблюдения за уровнем подземных вод. Основными отчетными материалами являются расходы по эксплуатационным скважинам или участку недр в целом, а так же химические показатели отбираемой воды в рамках утвержденной «Программы мониторинга». Значения уровня подземных вод, зачастую, выписываются из паспортных данных, в редких случаях измеряются в момент ремонтных работ насосного оборудования.

В 2002 г. были завершены работы по региональной переоценке эксплуатационных запасов пресных подземных вод центральной части Московского артезианского бассейна [3] (Московский регион), результаты которых были рассмотрены протоколом № 1423 от 13.11.2007 ГКЗ Роснедра. В связи с необоснованным понижением степени изученности разведанных и освоенных запасов, воздержались от переоценки эксплуатационных запасов пресных подземных вод каменноугольных водоносных горизонтов и комплексов Московского артезианского бассейна (Московского региона) [2]. Однако, всем заинтересованным ведомствам, было рекомендовано использовать результаты работ при подсчете и переоценке запасов.

Работа по переоценке запасов Московского региона легла в основу дальнейших работ, связанных с переоценкой запасов групповых водозаборов Московской области Орехово-Зуевского района, Ногинского района, Павлово-Посадского, Балашихинского, Раменского и Щелковского районов.

Следует отметить, что результаты переоценки запасов подземных вод Московского региона спрогнозировали снижение уровня по всем водоносным горизонтам и комплексам на площади исследуемой территории с величинами от первых метров до 30-40м, что не находит подтверждения в режимных данных.

Выводы

1. Уровни подземных вод в восточной части Московской области начали восстанавливаться с 1990х годов XX века.
2. Мониторинговая сеть за уровнем на исследуемой территории практически перестала работать, в работе находятся считанные единицы скважин.
3. Объектовая мониторинговая сеть на территории Московской области практически полностью отсутствует.
4. Следует выполнить работы по инспекции действующих и законсервированных наблюдательных скважин.
5. Составить проект реорганизации наблюдательной сети в соответствии с техногенной нагрузкой и учетом литологических окон.
6. Провести работы по переоценке эксплуатационных запасов Московского региона.

Библиография

1. Егоров Ф.Б. Отчёт по теме: Переоценка запасов питьевых подземных вод по участкам Покров и Барсково Среднеклязьминского месторождения в Орехово-Зуевском районе Московской области по состоянию изученности на 01.01.2015 г., М, 2015 г.
2. Егоров Ф.Б. Отчёт по теме: Переоценка запасов питьевых подземных вод участков Покров и Барсково Среднеклязьминского месторождения на действующем водозаборе Восточной системы водоснабжения ГУП МО «КС МО» в Петушинском районе Владимирской области по состоянию изученности 01.06.2016 г., М, 2016г.
3. Ефремов Д.И. и др., Региональная переоценка эксплуатационных запасов пресных подземных вод центральной части Московского артезианского бассейна (Московский регион), М., 2002 г.
4. Попова Е.Н. и др., Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Центрального федерального округа за 2021 год. М., 2022 г.

Обоснование размера расчетного блока при оценке прогнозных ресурсов подземных вод на примере гидрогеодинамической модели Усинского района. Егоров Т.С. (ФГБУ «Гидроспецгеология», tsegorov@mail.ru)

Аннотация

Рассмотрены возможные варианты оценок прогнозных ресурсов подземных вод с учетом действующих нормативных документов. Сформулированы основные факторы при выборе размера расчетного блока. Оценены прогнозныe ресурсы подземных вод Усинского района при равномерном размещении расчетных блоков (водопотребителей) от 500 м до 30 км с шагом 500 и 1000 м.

Ключевые слова

прогнозныe ресурсы, расчетный блок, Усинский район

Теория

Оценка прогнозных ресурсов подземных вод (ПРПВ) имеет важное стратегическое значение в части знания ресурсной базы подземных вод и её рационального использования. На сегодняшний день оценка ПРПВ осуществляется в рамках региональных гидрогеологических работ [1,4], а сами ресурсы приводятся в соответствии с действующей классификацией [3].

Ресурсы подземных вод позволяют охарактеризовать: количество воды, находящееся в водоносном подразделении – емкостные запасы; количество воды, поступающее в водоносное подразделение – питание; количество воды, которое может быть рационально в технико-экономическом отношении отобрано при заданных ограничениях. В общем балансе водоотбора удельный вес использования емкостных запасов уже через 10-20 лет после начала эксплуатации не превышает нескольких процентов, а в пределе, при неограниченном сроке работы водозабора, равен нулю. Поэтому при подсчете ресурсов подземных вод следует ориентироваться на весьма длительный, практически неограниченный период эксплуатации [5]. В результате оценка ресурсов подземных вод основывается на оценке питания. При этом можно выделить два варианта оценок в зависимости от схемы эксплуатации в технико-экономическом отношении при заданных ограничениях, в том числе допустимых понижениях напоров:

1. Потенциальный, который заключается в равномерном размещении реальных и гипотетических водозаборных сооружений по всей площади распространения гидрогеологических подразделений. Согласно [3], такие ресурсы справедливо отнести к категориям P_2 и P_3 . Частный вариант потенциальной оценки – предельный, при котором расстояния между водозаборными сооружениями будут стремиться к нулю.

2. Перспективный, который исключает гипотетическую вероятность размещения водозаборных сооружений и учитывает только реальную возможность увеличения водоотбора на участках уже имеющих свою инфраструктуру. В соответствии с [3], такие ресурсы справедливо отнести к категории P_1 .

Для потенциальной оценки ресурсов водозаборы размещаются в каждом блоке равномерной модельной сетки, а для перспективной оценки – только в тех блоках, где

уже имеются действующие или проектируемые водозаборы. При этом на оценку оказывает влияние размер блоков. При слишком крупной сетке расчетная модель может неправильно учитывать горизонтальные потоки в водоносных подразделениях и, как следствие, не описывать взаимодействие соседних блоков. Максимальный размер блоков в модели, при котором горизонтальные потоки могут быть адекватно описаны, можно оценить из следующих соображений.

В балансовых соотношениях для каждого блока суммарная величина поверхностного питания пропорциональна площади блока (1):

$$Q_{ep} = RL^2, \quad (1)$$

где Q_{ep} – естественные ресурсы подземных вод; R – инфильтрационное питание; L – ширина блока.

Притоки (оттоки) воды через боковые грани пропорциональны первой степени размера блока и по порядку величины равны (2):

$$Q_{бок} \approx LkmI \quad (2)$$

где $Q_{бок}$ – горизонтальный поток подземных вод; km – проводимость; I – градиент напоров.

Таким образом, при (3):

$$L \gg \frac{kmI}{R} \quad (3)$$

боковые притоки представляют собой малый поправочный член в балансовом соотношении с другими членами уравнения.

Поэтому для таких крупных сеток относительная погрешность их вычисления может оказаться недопустимо большой. Чтобы горизонтальный поток в смежные блоки не был второстепенным членом в уравнении баланса для перспективной оценки ресурсов подземных вод, должно быть (4):

$$L \leq \frac{kmI}{R} \quad (4)$$

Для оценки ресурсов подземных вод при численных решениях задач также необходимо учитывать, что размер расчетных блоков должен быть больше ширины реки и характерного размера воронки депрессии около скважины.

Основными критериями при выборе шага сетки помимо гидрогеологических условий, описанных выше, для потенциальной и перспективной оценки ресурсов подземных вод являются: геолого-гидрогеологическая изученность; степень хозяйственного освоения территории; природные условия.

На основе данных, откалиброванных с помощью гидрогеодинамической модели Усинского района [2], созданной с целью перспективной оценки ресурсов подземных вод, выполнена серия прогнозных задач для потенциальной оценки ресурсов подземных вод, т.е. без учета латерального потока подземных вод. Решение прогнозных задач

выполнено с различной сеточной разбивкой от 500 м до 30 км с шагом 500 и 1000 м. Данные для каждой тестовой задачи задавались путем интерполяции верифицированных параметров (инфильтрационное питание, проводимость и допустимое понижение уровня) гидрогеодинамической модели Усинского района, где сеточная разбивка составляла 500 на 500 м.

Оценка ресурсов выполнена в каждом блоке равномерной модельной сетки – методом «больших колодцев» (5). При этом необходимо учитывать, что прогнозные ресурсы при неограниченном периоде эксплуатации не должны превышать естественные ресурсы (6).

$$Q_{\text{пр}} \geq \frac{2\pi k m S}{\ln \frac{R_{\text{б}}}{r_{\text{к}}}} \quad (5)$$

$$Q_{\text{пр}} \leq Q_{\text{ер}}, \quad (6)$$

где S – допустимое понижение уровня; $R_{\text{б}}$ – радиус блока; $r_{\text{к}}$ – приведенный радиус водозаборного сооружения (большого колодца); $Q_{\text{пр}}$ – прогнозные ресурсы подземных вод.

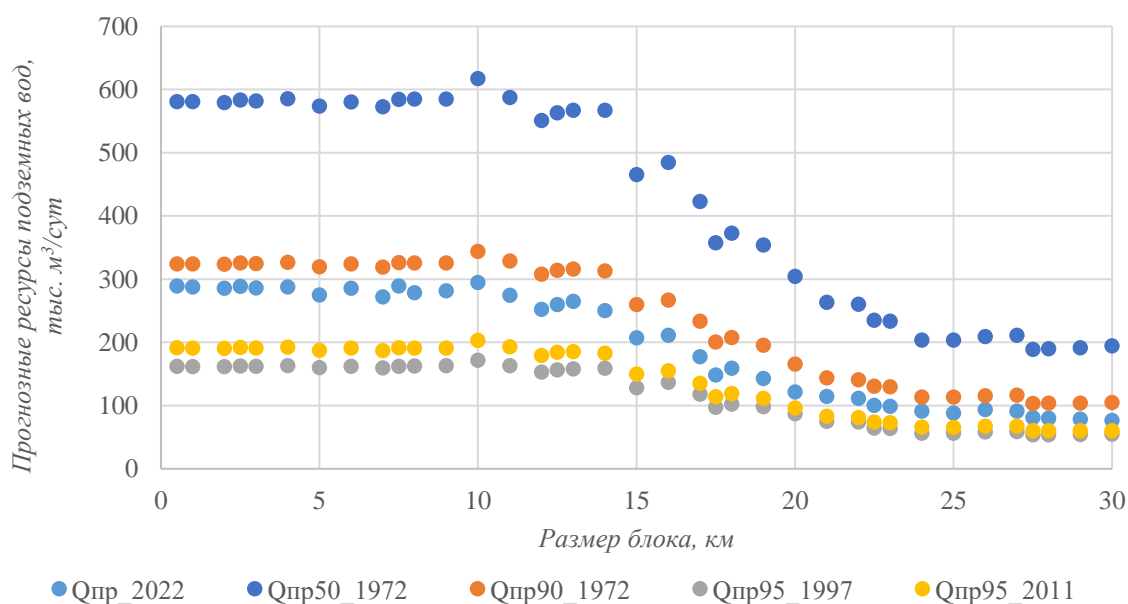


Рисунок 1. Оценка ресурсов подземных вод при различных размерах модельных блоков

Из уравнения (6) величина естественных ресурсов напрямую влияет на оценку прогнозных ресурсов подземных вод. С этой целью рассмотрено 5 вариантов оцененных естественных ресурсов. В первом варианте величина естественных ресурсов определена инфильтрационным питанием ($Q_{\text{пр}}_{2022}$), полученным по результатам решения обратной задачи гидрогеодинамической модели Усинского района. Для четырех других она отождествлена со среднегодовым многолетним меженным подземным стоком в реки, рассчитанным в разное время с разной обеспеченностью: 50% ($Q_{\text{пр}}_{50_1972}$) и 90% ($Q_{\text{пр}}_{90_1972}$) обеспеченности, рассчитанные в 1972 г. за весь период наблюдения; 95% обеспеченности, рассчитанные в 1997 г. ($Q_{\text{пр}}_{95_1997}$) и 2011 г. ($Q_{\text{пр}}_{95_2011}$) за весь период наблюдения за расходом рек. Стоит отметить, что приравнивание естественных ресурсов к величине подземного стока дает заниженные результаты, так как сток подземных вод в реки представляет собой только один из элементов естественных

ресурсов, и в нем не отражена разгрузка подземных вод путем испарения с уровня грунтовых вод, родниковый сток и т.д. В результате выполнено 185 тестовых задач (рис. 1).

Выводы

1. Величина прогнозных ресурсов подземных вод зависит от величины естественных ресурсов подземных вод. Оценка которых представляет собой весьма сложную задачу и требует проведения специальных гидрогеологических и гидрологических работ, в том числе режимных наблюдений. Выбор наиболее жесткого критерия обеспеченности естественных ресурсов позволяет уменьшить региональный ущерб речному стоку и обеспечить расчетную величину прогнозных ресурсов в течении всего года. Для территории Усинского района оцененные ПРПВ отличаются примерно в 3 раза при использовании величины естественных ресурсов 50% и 95% обеспеченности.

2. Величина оцененных прогнозных ресурсов подземных вод зависит от выбранного размера блока, за исключением блоков малого размера, для которых оцененные ПРПВ являются предельными и равны естественным ресурсам, и не зависят от параметров гидрогеологических подразделений (проводимость и допустимое понижения напора). Для Усинского района при размере блока более 12 км суммарная величина прогнозных ресурсов почти обратно пропорциональна зависит от его площади. При размерах блоков 12 км и 30 км величина ПРПВ отличается более чем в 3 раза.

Библиография

1. Боровский Б.В., Язвин Л.С. Оценка обеспеченности населения Российской Федерации ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения (Методические рекомендации по проведению второго этапа работы). М.: ГИДЭК, 1995. 72 с.
2. Егоров Т.С. Оценка прогнозных ресурсов подземных вод Усинского района (восточной части Печорского артезианского бассейна) с использованием гидрогеодинамического моделирования // Водные ресурсы. – 2021. – Т. 48. – № 3. – С. 243-253. – DOI 10.31857/S032105962103007X.
3. Классификация запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод. М.: МПР России, 2007.
4. Рекомендации по оценке прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_3 питьевых, технических и минеральных подземных вод, выявленных в ходе регионального гидрогеологического изучения территории Российской Федерации и требования к порядку их учета и апробации. – М., 2014, 33с. (Минприроды, Роснедра, ФГУП «ВСЕГИНГЕО»).
5. Язвин Л.С. Оценка прогнозных ресурсов питьевых подземных вод и обеспеченность населения России подземными водами для хозяйственно-питьевого водоснабжения // Разведка и охрана недр. 2003. № 10. С. 13–20.

Особенности и результаты гидрогеологического картографирования листа Q-41 – Воркута. Еришов В.В.* (ФГБУ «Гидроспецгеология», ilfsm@mail.ru), Егоров Т.С. (ФГБУ «Гидроспецгеология», tsegorov@mail.ru), Кашина Н.П. (ФГБУ «Гидроспецгеология», kashin-nin@yandex.ru), Козлов Ю.А. (ФГБУ «Гидроспецгеология», tarh2009@mail.ru)

Аннотация

Рассмотрены основные особенности и результаты гидрогеологического картографирования листа Q-41 – Воркута. Обобщены новые гидрогеологические материалы по гидрогеологическому районированию и стратификации. Охарактеризованы условия формирования подземных вод и их гидрохимические особенности. Оценена защищенность подземных вод от поверхностного загрязнения. Показана степень освоения подземных вод. Оценены прогнозные ресурсы подземных вод по категории Р₃.

Ключевые слова

Комплект гидрогеологической карты, формирование подземных вод, региональная гидрогеология, картографическая основа.

Теория

Территория листа Q-41 – Воркута расположена в пределах федеральных округов: Северо-Западный (Ненецкий автономный округ, Республика Коми) и Уральский (Ямало-Ненецкий автономный округ, Ханты-Мансийский автономный округ). Исследуемая территория является частью Воркутинской опорной зоны освоения Арктики, в частности, Северного морского пути. Гидрогеологическая освоенность территории листа неравномерная, достаточно хорошо изучены Интинский и Воркутинский промышленные районы. Однако большая часть территории не обеспечена современной картографической гидрогеологической основой, необходимой для решения федеральных и региональных задач по изучению, оценке состояния и управлению государственным фондом недр в части ресурсов и запасов подземных вод.

С целью повышения гидрогеологической изученности Арктической зоны составлен комплект гидрогеологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 листа Q-41 – Воркута. Карты составлены в соответствии с методическим руководством [3] и стадийностью проведения работ (рис.1). Основой для составления комплекта карт послужили гидрогеологические, геологические и геокриологические материалы предшественников, а также результаты полевых и лабораторных исследований.

Комплект гидрогеологической карты включает: гидрогеологические карты доплиоценовых и плиоцен-четвертичных гидрогеологических подразделений, гидрохимическую карту основных водоносных горизонтов; карту защищенности основных водоносных подразделений; карту использования питьевых и технических, минеральных подземных вод; карту прогнозных ресурсов подземных вод по категории Р₃.

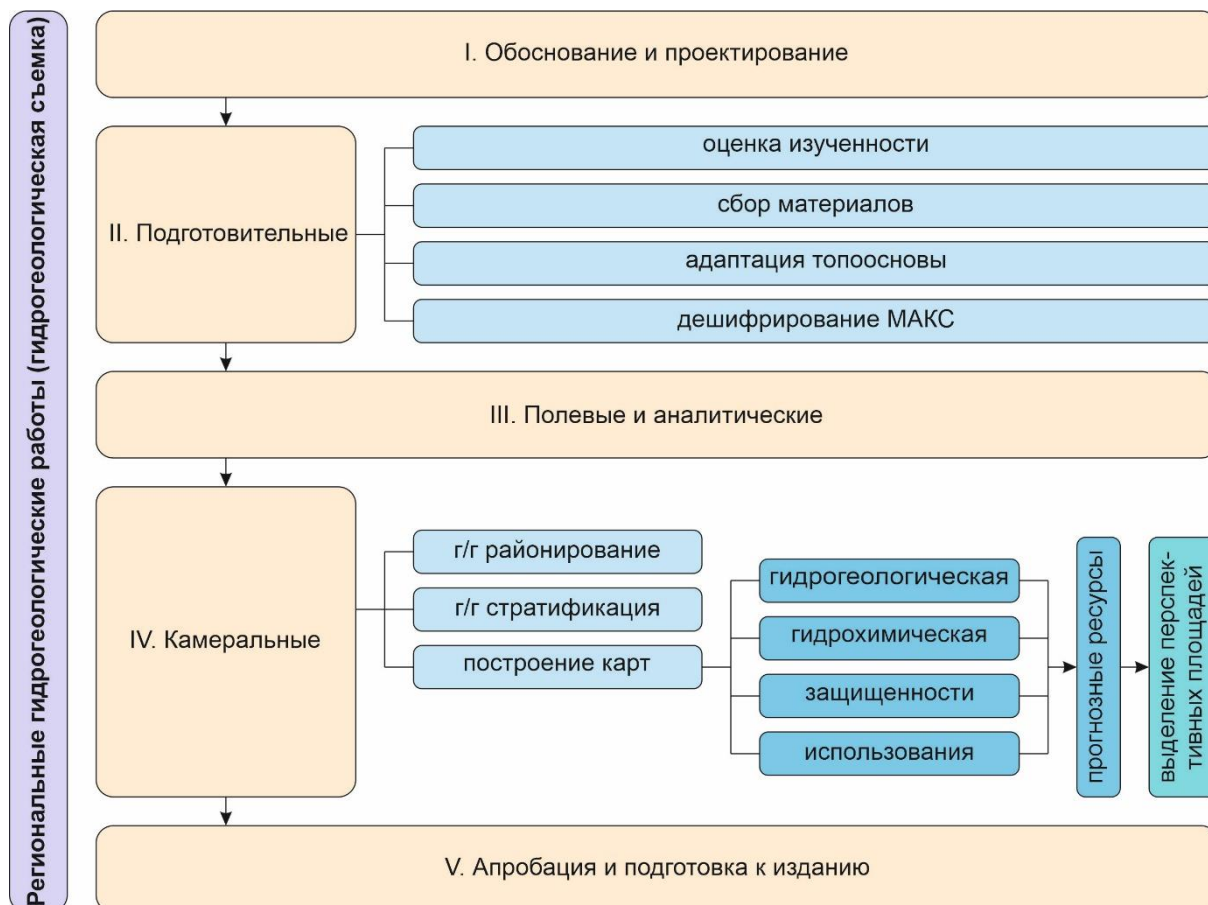


Рисунок 1. Стадийность выполнения региональных гидрогеологических работ

Гидрогеологические карты доплиоценовых и плиоцен-четвертичных гидрогеологических подразделений являются основой для построения остальных карт комплекта и характеризуют гидрогеологическую обстановку территории листа, распространение гидрогеологических подразделений в плане и в разрезе. Территорию листа по диагонали пересекает Уральская сложная гидрогеологическая область (СГСО), которая отделяет Тимано-Печорский и Западно-Сибирский сложные артезианские бассейны (САБ) (рис.2). Кроме того, в северной и горной частях территории развиты многолетнемерзлые породы сплошного и преимущественно сплошного распространения [1]. Эти особенности листа учитывались при составлении гидрогеологических карт. На основе гидрогеологических карт выделены перспективные водоносные горизонты и комплексы, для которых приведена гидрохимическая характеристика, оценена степень их защищенности, показано использование подземных вод населением и посчитаны прогнозные ресурсы подземных вод.

Гидрохимическая карта водоносных горизонтов является информационной моделью вещественного состава подземных вод, отражающей состав, условия распространения и формирования подземных вод на изучаемой территории [3]. Состав подземных вод изменяется от гидрокарбонатного до хлоридного по мере погружения в соответствии с «классической» гидрохимической зональностью артезианских бассейнов. В гидрогеологических подразделениях отмечено превышение предельно допустимых концентраций (ПДК), что вызвано природными и техногенными факторами. Превышения ПДК по тяжелым металлам, нитратам, аммонии и другим компонентам отмечены близ крупных промышленных центров, городов Инта и Воркута, и вдоль соединяющей их железной дороги.

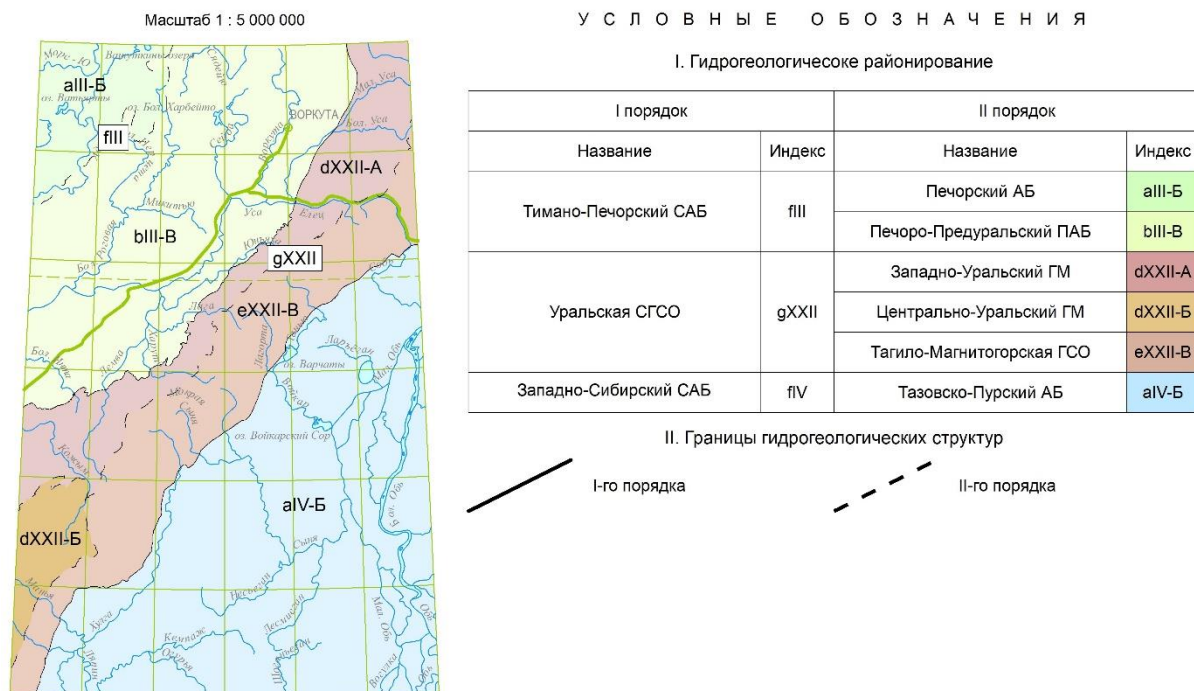


Рисунок 2. Схема гидрогеологического районирования листа Q-41 – Воркута

Карта защищенности основных водоносных подразделений определяет возможность поступления загрязнения в основные водоносные подразделения с поверхности. Защищенность основных водоносных подразделений оценена по методике, предложенной В. М. Гольдбергом [2], в соответствии с которой защищенность определяется литологическими особенностями перекрывающих отложений, а также соотношением уровней подземных вод основного и вышележащего водоносных подразделений. Помимо этого, на территории листа существенное влияние на степень защищенности оказывают природные и техногенные факторы. Исходя из совокупности таких факторов, в границах листа выделены: территории, не подверженные влиянию природных и техногенных факторов; территории распространения многолетнемерзлых пород сплошного и преимущественно сплошного распространения; территории распространения экзогенных и эндогенных геологических процессов; территории, подверженные влиянию антропогенной деятельности.

Карта использования питьевых и технических, минеральных подземных вод отображает степень освоения запасов подземных вод. На изучаемой территории подземные воды эксплуатируются преимущественно в северо-западной части листа. Полностью за счет подземных вод происходит водоснабжение города Инта и небольших населенных пунктов. Водоснабжение г. Воркута осуществляется за счет р. Уса, а разведанные запасы подземных вод здесь являются резервным источником водоснабжения. В юго-восточной части исследуемой территории местное население использует преимущественно поверхностные воды реки Оби и ее притоков.

Карта прогнозных ресурсов подземных вод по категории P_3 является результатом комплексного анализа гидрогеологических условий территории, на основе которого уточнены условия формирования ресурсов подземных вод и оценена их перспективность для практического использования в различных целях. Карта составлена в соответствии с рекомендациями [4]. Формирование ресурсов подземных вод в пределах Тимано-

Печорского САБ происходит преимущественно в плиоцен-четвертичных, верхнемеловых и пермских гидрогеологических подразделениях; в пределах Западно-Сибирского САБ – в плиоцен-четвертичных и верхнемеловых. На площади распространения многолетнемерзлых пород ресурсы подземных вод весьма ограничены и сосредоточены в таликовых зонах. Прогнозные ресурсы подземных вод на территории листа оценены в объеме 3286.75 тыс. м³/сут при суммарных оцененных запасах – 185.84 тыс. м³/сут. Изучаемая территория характеризуется высокой обеспеченностью ресурсами подземных вод, дефицит не наблюдается.

Выводы

1. Комплект гидрогеологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 листа Q-41 позволит обеспечить Ненецкий, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа, а также республику Коми картографической основой для решения федеральных и региональных задач по управлению государственным фондом недр в части ресурсов и запасов подземных вод и дальнейшего развития инфраструктуры региона.

2. Рекомендуется продолжить гидрогеологические, геоэкологические и геокриологические исследования на территории листа в более крупном масштабе. Особое внимание стоит уделить малоизученным районам.

Библиография

1. Геокриологическая карта СССР, масштаб 1:2 500 000 / ред. Ершов Э.Д. - Винница: Винницкая картографическая фабрика, 1997 г. - стр. 16.
2. Гольдберг В.М. Оценка условий защищенности подземных вод и построение карт защищенности. Гидрогеологические основы охраны подземных вод. М., 1984. с. 171-177.
3. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов государственных гидрогеологических карт Российской Федерации масштабов 1:1 000 000 и 1:200 000. М.: Минприроды, Роснедра, ФГУП «ВСЕГИНГЕО», 2015. 112 с.
4. Рекомендации по оценке прогнозных ресурсов категорий Р₂ и Р₃ питьевых, технических и минеральных подземных вод, выявленных в ходе регионального гидрогеологического изучения территории Российской Федерации и требования к порядку их учета и апробации. – М., 2014, 33с. (Минприроды, Роснедра, ФГУП «ВСЕГИНГЕО»).

*Химическая и изотопная характеристика капели Кунгурской Ледяной пещеры.
Казанцева А.С.* (Горный институт УрО РАН, kazanalena@bk.ru)*

Аннотация

Впервые представлены данные по распределению стабильных изотопов кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) и водорода ($\delta^2\text{H}$) капели в гроте Эфирный Кунгурской Ледяной пещеры. Изучение сезонных вариаций изотопов позволило получить новую количественную информацию и понять особенности и механизмы формирования состава капели, а также определить временные периоды транзита поверхностных вод к водоносным горизонтам через карстовый массив.

Ключевые слова

Кунгурская Ледяная пещера, гидрохимический мониторинг, инфильтрационный воды, изотопный состав

Теория

Для сохранения природной среды Кунгурской Ледяной пещеры проводится комплексный мониторинг. На сегодняшний день мониторинг включает в себя многочисленные наблюдения, в том числе и гидрохимические. Проведение таких работ позволяет анализировать состояние и процессы, происходящие в водных объектах пещеры, и вовремя выявлять источники загрязнения. Впервые химические анализы воды в озерах КЛП были выполнены в 1934 г., капели со сводов пещеры, из трещин и из органических труб – 1946 г. С 1966 г. отбор проб на химический состав расширился, изучался состав не только озер, но и атмосферных осадков, временных озер в суффозионно-карстовых воронках на поверхности Ледяной горы. Всего с 1934 г. по 1994 г. было выполнено около 2600 анализов из водных объектов [1].

Химический состав капели в Кунгурской Ледяной пещере изучен слабо, поскольку отбор проб носил нерегулярный характер. Изотопный состав вод не изучался. Только в 2017 г. в рамках выполнения работ по изучении изотопного состава подземных вод впервые определены изотопные характеристики капели грота Эфирный Кунгурской Ледяной пещеры [3, 5]. Данные этих исследований представлены в настоящей статье.

Разгрузка инфильтрационных вод в виде капели из органической трубы в гроте Эфирный происходит постоянно. Эти воды относятся к зоне вертикальной циркуляции, мощность которой в пещере составляет 85 м. Скорость движения воды зависит от фильтрационных свойств покровных отложений и заполнителя карстовых каналов. Очаговому инфильтрационному питанию благоприятствуют многочисленные карстовые воронки на Ледяной горе, в которые зимой сдувается снег. Значения химического состава капели заимствованы из архивных данных Кунгурской лаборатории-стационара за 1953-1993 гг. (33 пробы). Для изучения изотопного состава капели отбор проб производился ежемесячно в течение года (2017-2018 гг.), всего отобрано 12 проб.

По результатам макроэлементного анализа прослеживается сезонная изменчивость минерализации капели: максимальная минерализация характерна для осеннего периода (1888,8 мг/дм³), минимальная – для зимне-весеннего (1443,7-1491,0 мг/дм³), летом минерализация равна 1706,8 мг/дм³ (табл. 1). Воды капели

имеют постоянный сульфатно-кальциевый состав в течение года, средняя минерализация составляет 1632,6 мг/дм³. Для сравнения минерализация воды в озерах пещеры 2083 мг/дм³. Средняя минерализация атмосферных осадков на территории г. Кунгура 47 мг/дм³. Основное насыщение воды сульфатом кальция происходит до зоны горизонтальной циркуляции и большую часть коррозионной работы просачивающиеся воды производят до вступления в водоносный горизонт [1]. На протяжении шестидесяти лет в Кунгурской Ледяной пещере экспериментально изучаются процессы растворения карстующихся пород [4]. В стенах органичных труб заложены металлические штыри, которые фиксируют изменения в процессе растворения.

Таблица 1

Гидрохимическая характеристика инфильтрационных вод

Сезон	Химический состав (мг/дм ³)	Изотопный состав(‰)		Химический тип воды
	Минерализация	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	
Капель грот Эфирный (Кунгурская Ледяная пещера)				
Зима	1491,0	-12,8	-93,4	SO ₄ -Ca
Весна	1443,7	-12,3	-89,8	SO ₄ -Ca
Лето	1706,8	-12,2	-89,8	SO ₄ -Ca
Осень	1888,8	-12,2	-89,9	SO ₄ -Ca

Изотопный состав капли изменяется в небольших пределах ($\delta^{18}\text{O} = -12,1\text{‰} \div -13,7\text{‰}$, $\delta^2\text{H} = -89,5\text{‰} \div -97,8\text{‰}$; рис. 1, табл. 1). При этом изотопно легкий состав капли характерен для зимнего периода ($\delta^{18}\text{O} = -12,8\text{‰}$, $\delta^2\text{H} = -93,4\text{‰}$; табл. 4.8), изотопно тяжелый – распределен в течение весеннего, летнего и осеннего периодов ($\delta^{18}\text{O} = -12,2\text{‰} \div -12,3\text{‰}$, $\delta^2\text{H} = -89,8\text{‰} \div -89,9\text{‰}$).

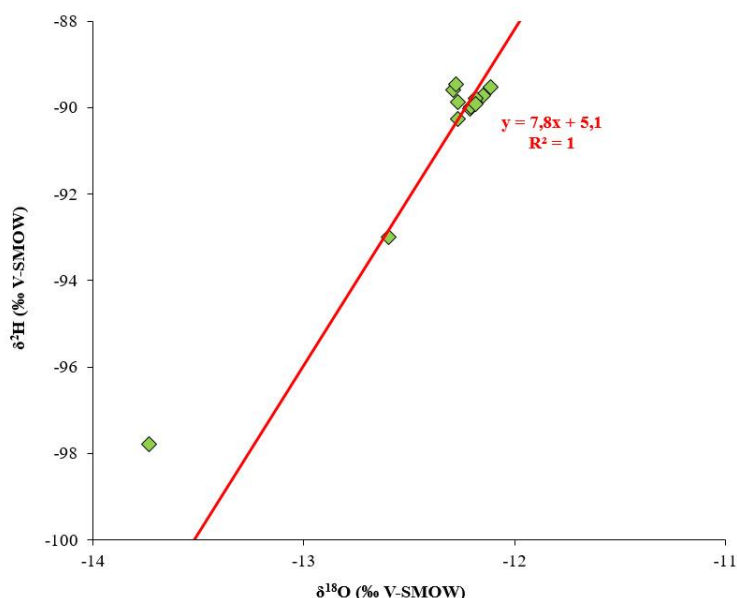


Рисунок 1. Изотопный состав инфильтрационных вод. Сплошная красная линия – ЛЛМВ

В целом, в течение года изотопный состав капли постоянен, за исключением зимних месяцев (декабрь, январь). Такое распределение химического и изотопного состава указывает на то, что воды капли, просачиваясь с поверхности, максимально обогащаются сульфатами в теплые периоды года и накапливаются на местном водоупоре. То есть, участок разгрузки относится к гидродинамической подзоне подвешенных вод зоны вертикальной нисходящей циркуляции, сформированном на местном водоупоре, каким с учетом геологического строения пещеры является неволинская пачка, представленная доломитами и известняками, прослоями глин и глинистых доломитов. Изотопный состав капли в весеннее, летнее и осеннее время соответствует изотопному составу атмосферных осадков осеннего периода ($\delta^{18}\text{O} = -12,4\text{‰}$, $\delta^2\text{H} = -88,1\text{‰}$). Из этого следует, что осенние осадки формируют состав капли и с учетом последнего, время просачивания инфильтрационных вод составляет от одного до девяти-двенадцати месяцев.

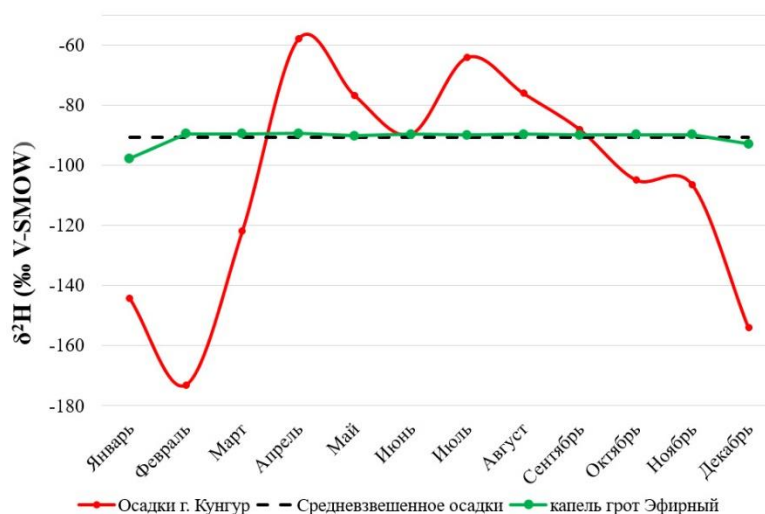


Рисунок 2. Сезонный ход изотопного состава ($\delta^2\text{H}$) инфильтрационных вод

Стоит отметить, что практически в течение всего периода исследования изотопный состав инфильтрационных вод оказываются тяжелее средневзвешенного состава атмосферных осадков ($\delta^{18}\text{O} = -12,2\text{‰}$ и $\delta^2\text{H} = -90,8\text{‰}$; рис. 2). Только в декабре 2017 г. и январе 2018 г., воды капли изотопно легче осадков. Это может быть связано с отопляющим эффектом в зимний период в зонах выхода теплого воздуха из пещеры [2]. В результате отопляющего эффекта происходит таяние снежного покрова и поступление влаги по органной трубе. Температура почвы в провалах над органной трубой грота Эфирного в зимний период (декабрь-январь) составляет $+0,5^\circ\text{C} \div +2,0^\circ\text{C}$, поэтому происходит просачивание талых вод с поверхности, обедненных тяжелыми изотопами кислорода и водорода.

Статистически значимой корреляционной зависимости между изотопными составами ($\delta^2\text{H}$) осадков и каплей в Кунгурской Ледяной пещере не выявлено ($r_s = 0,17$, $r_{s,0,05} = 0,58$, $n = 12$), что подтверждает приуроченность капли к подзоне подвешенных вод. В течение года выделяется два типа просачивания воды через массив горных пород: быстрое, связанное с периодами снеготаяния на поверхности, когда происходит резкое облегчение изотопного состава капли, и медленное – инфильтрация основной массы воды от подвешенной зоны до уровня пещеры, характеризующаяся малой вариабельностью изотопного состава.

Выводы

Таким образом, воды зоны вертикальной циркуляции в виде капели являются важным элементом при изучении растворимости карстующихся пород в естественных условиях. По изотопным данным выявлены временные периоды транзита инфильтрационных вод к водоносному горизонту. Время, необходимое для инфильтрации вод в карстовый массив составляет для Кунгурской Ледяной пещеры от одного до девяти-двенадцати месяцев в зависимости от сезона. Эти данные рекомендуется использовать при проведении гидрогеохимического мониторинга для решения вопросов поступления загрязняющих веществ и уточнения процессов растворения сравнительно легкорастворимых горных пород. Подобные исследования осуществляются сотрудниками Кунгурской лаборатории-станции в естественных условиях на базе Кунгурской Ледяной пещеры.

Библиография

1. Дублянский В. Н. и др. Кунгурская Ледяная пещера: опыт режимных наблюдений. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 376 с.
2. Кадебская О. И. Минеральные и геохимические индикаторы природных процессов в подземных карстовых ландшафтах Урала: дис. ... доктора геогр. наук. – Пермь, 2016. – 296 с.
3. Казанцева А.С. Изотопно-геохимические особенности формирования состава подземных вод в нижнепермских отложениях карстовых районов Среднего Предуралья: дис. ... канд. геол-мин. наук. – Москва, 2022. – 151 с.
4. Казанцева А. С. Многолетний эксперимент по изучению растворимости сульфатных пород в Кунгурской Ледяной пещере // Вестник Пермского университета. Геология. – Пермь, 2018. – Том 17, – № 2. – С. 105-111.
5. Казанцева А. С., Кадебская О. И., Дублянский Ю. В., Катаев В. Н. О формировании химического и изотопного состава подземных вод иренского горизонта (на примере Кунгурской Ледяной пещеры) // Вестник Пермского университета. Геология. Пермь, 2022. Том, 21 – №4. – С. 326-340.

Методика создания комплекса математических моделей источника загрязнения, зоны аэрации и насыщенной зоны. Кононченко Е.В. (ФГБУ «Гидроспецгеология», lena.konon@mail.ru), Петраш А.Б. (ФГБУ «Гидроспецгеология», A.B.Petrash@yandex.ru)*

Аннотация

В работе представлена методика создания комплекса математических моделей источника загрязнения, зоны аэрации и насыщенной зоны, позволяющая воспроизвести весь путь миграции контаминантов от приповерхностного источника до зоны разгрузки ореолов вместе потоком подземных вод. Применение методики рассмотрено на примере создания комплексов моделей для оценки воздействия на зону аэрации, подземные и поверхностные воды двух бассейнов-хранилищ промстоков.

Ключевые слова

Математическое моделирование, зона аэрации, подземные воды, миграция загрязнения

Загрязнение подземной гидросферы зачастую связано с действием приповерхностных техногенных источников, из которых контаминанты поступают сначала в зону аэрации (ЗА), а затем формируют ореолы загрязнения в подземных водах, мигрируя вместе с ними до областей разгрузки. Разработка единой математической модели, воспроизводящей весь путь распространения контаминантов, встречается с объективными сложностями [3], что вызывает необходимость её разделения на несколько отдельных моделей (блоков). Целью данной работы являлась разработка методики, позволяющей объединить отдельные модели, охватывающие источник загрязнения (ИЗ), ЗА и насыщенную зону (НЗ), в согласованный комплекс.

Методика направлена на создание комплекса моделей ИЗ, ЗА и НЗ, связанных между собой граничными условиями (ГУ) и позволяющих проследить в различных сценариях распространение загрязнения от приповерхностного источника до зоны разгрузки геофильтрационного потока (рис. 1). Методика создана и апробирована на основе 22 математических моделей: 8 моделей ЗА и 14 моделей НЗ, которые разрабатывались для районов с разнообразными природно-техногенными условиями, где размещены или планируются к строительству объекты, характеризующиеся как приповерхностные ИЗ. Методика состоит из нескольких этапов, первые из которых относятся к подготовительным, предшествующим моделированию (рис. 2). Среди них нужно отметить модельно-ориентированный комплексный анализ фактических данных, основными результатами которого являются:

- определение перечня приповерхностных источников воздействия на ЗА, подземные и поверхностные воды, а также их типизация (действующие / ликвидированные, предполагаемые, потенциальные; проектируемые объекты);
- определение механизмов поступления загрязнения от источников;
- выделение этапов функционирования источников (эксплуатации, консервации, ликвидации) и определение тех природно-техногенных условий, изменение которых потребует учесть при моделировании;
- определение индикаторов загрязнения ЗА, подземных и поверхностных вод.

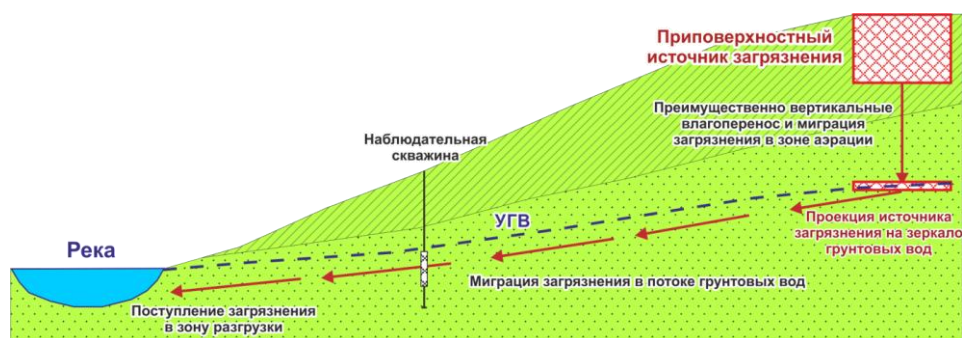


Рисунок 1. Принципиальная схема распространения загрязнения от приповерхностного источника до зоны разгрузки подземных вод

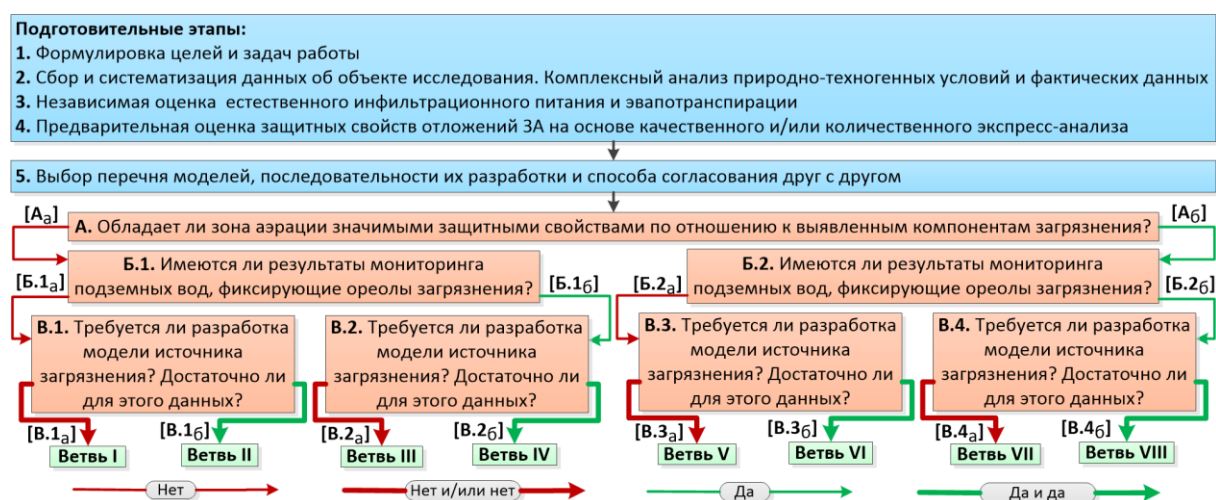


Рисунок 2. Схема основных этапов создания комплекса математических моделей

В методике выделены признаки, позволяющие классифицировать всё многообразие комплексов моделей, разрабатываемых для различных объектов и природно-техногенных условий, и разделить их на 8 основных групп (ветвей методики) (рис. 2). Для этого нужно ответить на *три основных вопроса*, определяющих:

- А. будет ли разрабатываться модель ЗА (в зависимости от того, значимы ли её защитные свойства по отношению выявленным индикаторам загрязнения);
- Б. будет ли проводиться калибровка параметров геомиграционных моделей, прежде всего модели НЗ (в зависимости от наличия или отсутствия результатов мониторинга подземных вод, фиксирующих ореолы загрязнения);
- В. будет ли разрабатываться модель ИЗ (в зависимости от целесообразности этого и наличия достаточного объёма фактических данных).

Внутри каждой ветви путём ответов на ряд *дополнительных вопросов* предусмотрено деление на варианты разработки комплексов, отличающиеся перечнем моделей, последовательностью их разработки и схемой согласования (рис. 3). Модели, входящие в комплекс, могут быть *самостоятельными* и рассматривать отдельно ИЗ, ЗА или НЗ либо *совместными*, охватывая, например, одновременно ИЗ и ЗА. Последовательность разработки выбранных моделей может быть, как *прямой*, что соответствует пути миграции загрязнения, так и *обратной* – сначала модель НЗ, а затем модели ИЗ и ЗА. Выбор определяется спецификой объекта и наличием необходимых фактических данных. При разработке отдельных моделей, входящих в комплекс, требуется согласовывать водный поток и массовый поток загрязнения, поступающие из одной модели в другую, с помощью ГУ для влагопереноса (геофильтрации) и геомиграции. Для этого в методике предусмотрено две схемы. Первая («гибкая») схема

подразумевает согласование с помощью ГУ только для влагопереноса и геофильтрации. При этом геомиграционные модели не согласуются через ГУ массового потока загрязнения и разрабатываются независимо друг от друга. Вторая («жесткая») схема подразумевает согласование с помощью ГУ для всех процессов.

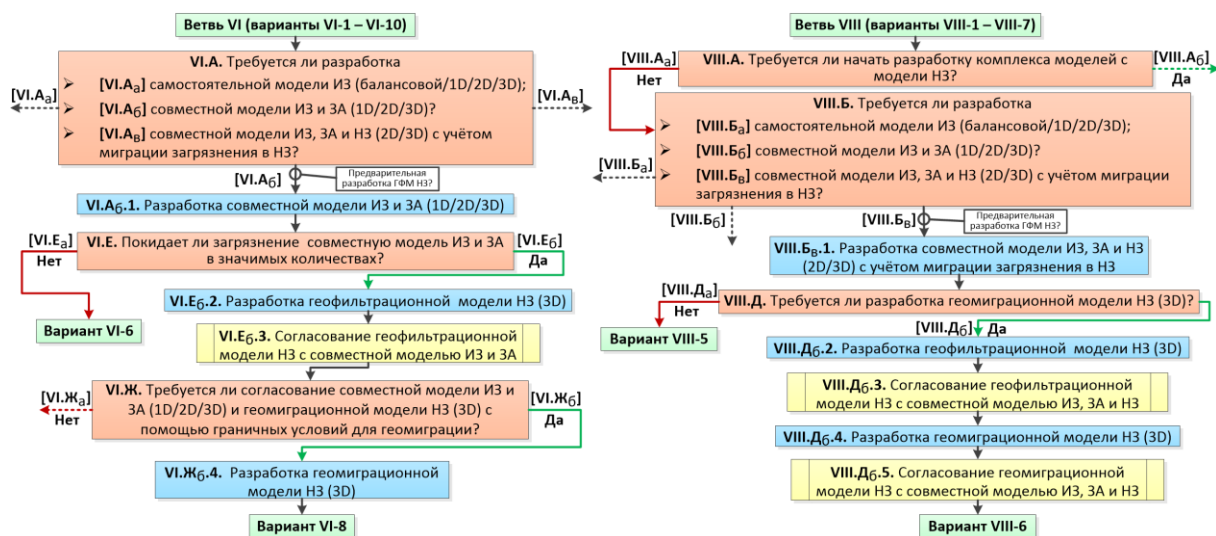


Рисунок 3. Фрагменты схем для ветвей VI и VIII, использованные при разработке комплексов моделей бассейнов 354 и 354а

В большинстве вариантов методики предлагается использование «жесткой» схемы и рассмотрение нескольких (1-3) основных сценариев, которые могут быть консервативными и более мягкими. Данная схема актуальна при достаточном объеме фактических данных о природно-техногенных условиях района (в особенности по ЗА). «Гибкая» схема применяется для вариантов, когда комплекс состоит из двух моделей, одной из которых является модель ЗА (ИЗ и ЗА), а другой – модель НЗ. Выбор «гибкой» схемы обуславливается недостатком фактических данных по ЗА, что делает проблематичным выбор основных сценариев и использование «жесткой» схемы. Применение «гибкой» схемы позволяет рассмотреть большее число сценариев, не связывая геомиграционные модели через ГУ, что существенно сокращает трудоёмкость. Совместный анализ результатов моделирования осуществляется путём выделения и суммирования временных интервалов, характеризующих формирование и деградацию ореолов при активации и ликвидации ИЗ, что описано в работе [3].

Разработка, как отдельных моделей, так и всего комплекса, происходит итерационно, что подразумевает возврат к предыдущим этапам работы и внесение корректив при появлении новых данных в процессе моделирования. Итерационность разработки увеличивает трудоёмкость, но позволяет объединить модели в единый комплекс и провести на них согласованные расчёты с максимально возможной точностью с учётом доступного объёма фактического материала. Калибровка моделей по данным наблюдений обычно позволяет зафиксировать определённые значения для ряда модельных параметров. Для оценки влияния вариативности остальных параметров на результаты геомиграционных расчётов в методике предложено рассмотрение нескольких наиболее вероятных сценариев. Сравнение сценариев между собой проводится с использованием описанных выше временных интервалов [3].

В качестве примера применения методики рассмотрена разработка комплексов моделей, отличающихся механизмом поступления загрязнения в геологическую среду и моделируемыми компонентами. ИЗ являются два бассейна-хранилища промстоков

ФГУП «ГХК»: засыпанный и действующий [1]. На основе проведённого комплексного анализа фактических данных установлено, что индикаторами химического и радиоактивного загрязнения грунтовых вод являются нитрат-ион и ^{90}Sr . В качестве механизма поступления нитрат-иона в грунтовые воды из засыпанного бассейна 354 можно предположить *перелив* загрязнённых вод верховодки через борта нижнего противодиффузионного экрана (ПФЭ) [2]. По основным вопросам сделан выбор **VIII ветви** методики: [А6]→[Б.26]→[В.46] (см. рис. 2), поскольку необходима разработка моделей ЗА и ИЗ, а в грунтовых водах зафиксирован ореол нитрат-иона. Разработка комплекса моделей для нитрат-иона проведена по варианту **VIII-6** (рис. 3); он включает совместную профильную модель ИЗ, ЗА и НЗ [4], а также геофильтрационную и геомиграционную модели НЗ [1]. Для ^{90}Sr выбран вариант **VIII-5**, поскольку его ореол не достигает уровня грунтовых вод (УГВ), а комплекс моделей включает геофильтрационную модель (ГФМ) НЗ и совместную профильную модель ИЗ, ЗА и НЗ. При оценке долговременных последствий воздействия бассейнов нельзя полностью исключать механизм *перетока* контаминантов через нижние ПФЭ бассейнов в ходе их эксплуатации. В данном случае загрязнение может находиться в отложениях ЗА под бассейнами, ещё не достигнув УГВ. В результате по основным вопросам сделан выбор **VI ветви** методики: [А6]→[Б.2а]→[В.46]. Для нитрат-иона разработка комплекса моделей проведена по варианту **VI-8**, а для ^{90}Sr – по варианту **VI-6**. В обоих случаях комплекс моделей включает совместные одномерные модели ИЗ и ЗА.

Выводы

В методике разработаны общие принципы и выделены основные этапы создания комплексов математических моделей; предложены объединяющие признаки для классификации комплексов моделей; изложены приёмы для выбора перечня моделей, последовательности их создания и способа согласования, а также совместного анализа результатов моделирования; охарактеризованы этапы создания отдельных моделей и разработаны приёмы для повышения точности результатов геомиграционных расчётов и оценки их вариативности.

Библиография

1. Кононченко Е.В., Куваев А.А., Петраш А.Б. и др. Оценка воздействия промышленных бассейнов-накопителей на грунтовые и поверхностные воды с использованием численного моделирования // Разведка и охрана недр. 2018. № 11. С. 64-69.
2. Кононченко Е.В. Определение механизмов поступления загрязнения из промышленного бассейна-хранилища в грунтовые воды на основе численного моделирования миграции в зоне аэрации // Сергеевские чтения: Вып. 22. – Москва: РУДН, 2020, С. 298-304.
3. Кононченко Е.В., Петраш А.Б. Методика создания комплекса математических моделей зоны аэрации и насыщенной зоны для прогноза миграции загрязнения от приповерхностного источника до области разгрузки // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2021. – № 5. – С. 72-86.
4. Кононченко Е.В., Петраш А.Б. Разработка профильной модели зоны аэрации и водонасыщенной зоны для изучения миграции загрязнения от ликвидированного промышленного бассейна-накопителя // Новые идеи в науках о Земле – Т.3. – Изд-во РГГУ, Москва, 2021. – С. 21-24.

***Захоронение жидких промышленных отходов. Котович А. Д. (ФГБУ
«Гидроспецгеология», anastasiya.sirotova@yandex.ru)***

Аннотация

В настоящее время в ряде отраслей промышленности в значительных объемах образуются различные промышленные отходы (твердые и жидкие). Наиболее остро стоит проблема обращения с радиоактивными отходами при развитии атомной энергетики [3]. Подземное захоронение в глубокозалегающие водоносные горизонты является альтернативой накоплению жидких отходов на поверхности земли и сбросу их в поверхностные водные объекты.

Перспективные водоносные горизонты должны обладать хорошими фильтрационными свойствами, надежными условиями изоляции, а также воды этих горизонтов не должны иметь хозяйственно-питьевое значение.

Для улучшения экологической обстановки страны с 1950-х годов проводятся гидрогеологические исследования на тему подземного захоронения жидких промышленных отходов в глубокие водоносные горизонты и активное их внедрение в практику.

Организацией «Гидроспецгеология» в разные годы были составлены следующие карты: цифровая карта геолого-гидрогеологических условий захоронения жидких отходов производства масштаба 1:2 500 000 для всей территории Российской Федерации и комплекты цифровых специализированных гидрогеологических карт распространения глубокозалегающих водоносных горизонтов Восточно-Европейской платформы и Западно-Сибирской плиты масштаба 1:1 000 000. В настоящее время проводятся аналогичные работы масштаба 1:1 000 000 по Сибирской платформе [4].

Ключевые слова

Жидкие промышленные отходы, подземное захоронение, перспективный водоносный горизонт, буферный горизонт, специализированная гидрогеологическая карта.

Теория

Геолого-гидрогеологические условия участка недр должны обеспечить изоляцию жидких токсичных промышленных отходов таким образом, чтобы отходы или их токсичные компоненты не оказывали какого-либо непосредственного воздействия на человека и среду его непосредственного обитания, на используемые для водоснабжения и других целей водоносные горизонты, а также на поверхностные воды (Рисунок 1).

Из этого вытекают следующие требования к участкам недр, рекомендуемым для захоронения жидких токсичных промышленных отходов [1]:

— участок недр, рекомендуемый для захоронения должен находиться за пределами районов активной сейсмической (тектонической) деятельности и развития современных геологических процессов и явлений;

— на участке недр, рекомендуемом для захоронения жидких токсичных промышленных отходов, не должны находиться месторождения нефти, газа и других полезных ископаемых, разработке которых будет препятствовать процесс захоронения промышленных отходов;

— участки недр, рекомендуемые для захоронения жидких токсичных промышленных отходов, должны содержать пласты-коллекторы (пористые и трещиноватые) с активной пористостью более 10% или проницаемостью более 0,1 мкм². Пласты-коллекторы с проницаемостью 0,01—0,1 мкм² рекомендуются для захоронения небольших объемов промышленных отходов;

— выделяемый пласт-коллектор должен быть надежно изолирован слабопроницаемыми породами (глинами, мергелями, аргиллитами, галогенными породами, гипсом и т. п.) от вышележащих, этажно залегающих водоносных горизонтов;

— глубина залегания пластов-коллекторов должна быть ниже зоны активного водообмена в интервале 300–3 000 м;

— перекрывающий водоупор должен быть выдержан по площади и иметь мощность не менее 25 м;

— выше водоупора, перекрывающего пласт-коллектор, должен залегать буферный горизонт, содержащий подземные воды, непригодные для питьевых, бальнеологических и промышленных целей;

— буферный горизонт должен быть надежно изолирован слабопроницаемыми породами от водоносных горизонтов зоны активного водообмена;

— пласт-коллектор в ближайшей окрестности (радиусе 20–30 км) не должен выходить на поверхность или быть связан с рекой;

— емкостные и фильтрационные свойства (коэффициент фильтрации) используемого пласта-коллектора должны обеспечивать нагнетание отходов в требуемых объемах и при допустимых давлениях нагнетания;

— захораниваемые промышленные отходы должны быть совместимы с геологической средой – составы и свойства отходов должны быть такими, чтобы при их нагнетании не развивались процессы, которые приводили бы к необратимому снижению фильтрационных свойств пласта-коллектора, нарушению устойчивости пород поглощающего горизонта;

— захоронение возможно лишь в водоносные горизонты с минерализованной водой, непригодной для практического использования. В США нижним пределом минерализации вод, допускающим использование водоносного горизонта в качестве пласта-коллектора промстоков, рекомендуется 10 г/л [2].

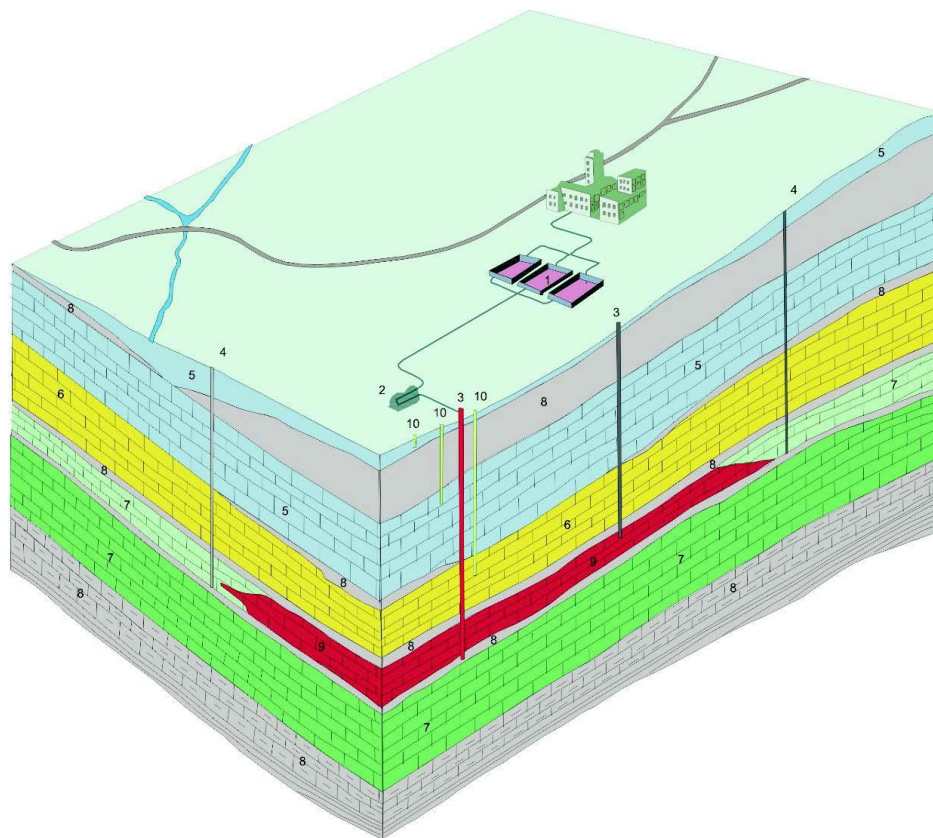


Рисунок 1. Принципиальная схема захоронения жидких промышленных отходов в глубокие водоносные горизонты: 1 – накопительная емкость; 2 – насос; 3 – нагнетательная скважина; 4 – наблюдательные скважины; 5 – зона активного водообмена (пресные подземные воды); 6 – зона замедленного водообмена (солончатые подземные воды). Буферный горизонт; 7 – зона застойного режима (соленые подземные воды и рассолы); 8 – водоупорные породы; 9 – закачанные промышленные стоки; 10 – контрольные скважины.

Выводы

Подземное захоронение в глубокозалегающие водоносные горизонты в современных условиях – один из наиболее эффективных и экологически безопасных способов обращения с жидкими промышленными отходами. В связи с весьма ограниченным до настоящего времени применением этого способа отечественной промышленностью расширение его внедрения открывает перспективы существенного оздоровления экологической обстановки в районах действующих предприятий и обеспечения экологической безопасности вокруг вновь проектируемых промышленных объектов.

Благодарности

Хочу выразить благодарность Грабовникову В. А., Егорову Н. Н., Блажнову Я. Н., Новоселовой В. И. и Ивановой Н. Ф. за колоссальный вклад в исследования подземного захоронения промышленных стоков.

Библиография

1. Атлас специализированных карт условий захоронения промышленных отходов различной степени опасности территории Российской Федерации масштаба 1 : 2 500 000 (в 7 томах). М.: ФГУП «Гидроспецгеология», 2011.
2. Грабовников В. А. Гидрогеологические исследования для обоснования подземного захоронения промышленных стоков. М.: Недра, 1993.
3. Грабовников В. А., Блажнов Я. Н. и др. Журнал «Разведка и охрана недр» 10-2013. Карты условий захоронения промышленных отходов – необходимый элемент обоснования мест размещения предприятий, производящих опасные отходы. М., 2013. – С. 29-34.
4. Егоров Н. Н., Новоселова В. И. и др. Журнал «Разведка и охрана недр» 10-2008. Цифровая карта геолого-гидрогеологических условий захоронения жидких промышленных отходов в глубокие водоносные комплексы. М., 2008. – С. 8-11.

Перспективы комплекса мезозойских отложений Республики Татарстан в отношении минеральных лечебных вод. Мусин Р.Х. (Казанский федеральный университет, Rustam.Musin@kpfu.ru) Хамитов А.Д. (Казанский федеральный университет, khamitov07.03@gmail.com)*

Аннотация

Комплекс мезозойских отложений в Республике Татарстан занимает площадь 2870 км². Это преимущественно морская глинистая толща мощностью до 390 м с весьма специфичными условиями формирования состава подземных вод. В настоящее время в разрезе этой толщи выявлены лечебные воды с повышенными концентрациями органических веществ и группы “без специфических компонентов и свойств”. В статье показано, что в поле мезозойских отложений возможны проявления и минеральных вод с повышенными концентрациями кремнекислоты, железа и сероводорода.

Ключевые слова

Минеральные лечебные воды, условия формирования состава подземных вод, органическое вещество, солеотложение, водопункты

Теория

Комплекс платформенных мезозойских отложений в Республике Татарстан (РТ) развит лишь в ее юго-западной части по правобережью р. Волги (Куйбышевского водохранилища). Площадь их развития – 2870 км², полная мощность – 390 м. Они с размывом залегают на полигенных пермских отложениях и перекрываются четвертичными элювиально-делювиальными суглинками и плиоцен-четвертичными аллювиальными образованиями. Структурный план пермских и мезозойских отложений характеризуется плавным погружением в южном и юго-западном направлениях с уклонами до 0,004, в этом же направлении нарастает мощность мезозойского комплекса. Он представлен юрскими, в диапазоне от батского до титонского (волжского) ярусов, и меловыми, в интервале от готеривского до кампанского ярусов, морскими образованиями. Их отличительными чертами являются: преобладание в разрезе глинистых пород, преимущественно серая и темно-серая (до черного) окраска, широкое развитие полиминеральных конкреций, обогащенность органическим веществом и фаунистическими остатками [6].

Пермские отложения, вскрывающиеся севернее комплекса мезозойских, представлены образованиями казанского и уржумского ярусов средней перми, а также северодвинского и вятского ярусов верхней перми. Первые имеют морской генезис и терригенно-сульфатно-карбонатный состав при мощности 100 м. Уржумско-вятские отложения представлены континентальными преимущественно пестроцветными терригенными породами общей толщиной 240 м. Юрская глинистая толща имеет мощность до 120 м. Она содержит прослой тонко- мелкозернистых песков и мергелей, мощности которых редко когда превышают 1,0 м. Первые в основном развиты в основании и прикровельной части юрского разреза, на уровне батского и волжского ярусов. Интересно и важно, что на этих уровнях отмечаются и многочисленные углефицированные растительные остатки, а в волжских отложениях встречаются глины с прослоями горючих сланцев. Содержание органики в последних составляет 18–25% [7]. Мергели наиболее часто встречаются в центральной части юрской толщи. Практически по всему ее разрезу участками отмечаются выделения гипса в виде мелких зерён и

корочек, мелкая вкрапленность пирита, а также лимонит-гипсовые и железистые конкреции. Меловые отложения развиты на площади ~ 1500 км². Нижнемеловые образования общей мощностью до 210 м во многом подобны юрским. В разрезе преобладают глинистые породы. Также отмечаются конкреции мергелей, тонкая вкрапленность пирита, выделения гипса. Присутствуют прослои глинистых сланцев с обильным растительным детритом. В верхнем отделе мощностью до 62 м наряду с глинами довольно широким распространением пользуются песчаники, мергели, мел и опоки. Мергели и опоки участками являются цеолитоносными [6].

В охарактеризованной осадочной толще формируются подземные воды (ПВ), образующие типичные платформенные междуречные потоки и потоки в речных долинах. Рассматриваемый район отличается хорошей геолого-гидрогеологической изученностью. В 1990-х гг. здесь были проведены геологическая съемка масштаба 1:50000 и эколого-гидрогеологическая съемка масштаба 1:200000, а в 2019–2020 гг. – масштабный мониторинг качественного состояния ПВ. Аналитика составов ПВ включала основные интегральные показатели, содержания макро-, мезо- и ряда микрокомпонентов; всего 36 параметров и компонентов. Статистическая обработка разновременного гидрогеохимического материала показала отсутствие значимых изменений во времени качественных показателей ПВ. На основе этого разновременного фактического аналитического материала авторами были выявлены латеральная и вертикальная гидрогеохимические зональности, определяемые комплексом природных факторов. В обобщенной форме данные зональности отражены в [4]. В целом, ПВ в области развития мезозойских и в их пермском обрамлении обладают широко варьирующими составами (табл.), при этом основной вклад в это оказывают мезозойские отложения. Преобладание в их разрезе глинистых пород определяет затрудненный характер водообмена. Это обуславливает более высокие значения минерализации и концентраций многих компонентов в родниковых водах мелового и юрского слабоводоносных комплексов в сравнении с родниковыми водами пермских отложений. Подобная картина отмечается и для ПВ, опробованных в скважинах на одних и тех же глубинах. Другой отличительной чертой мезозойских комплексов является снижение общей жесткости с глубинного уровня 100 м за счет выпадения в осадок карбонатов кальция и магния вплоть до развития содовых (HCO_3/Na) вод (рис.). Аналогичная картина фиксируется в пермских отложениях, залегающих под мезозойскими, тогда как при отсутствии последних до глубин 150 м происходит последовательное нарастание жесткости параллельно с минерализацией.

Обогащенность мезозойских отложений органическим веществом и широкие вариации состава содержащихся в них ПВ обуславливают возможность формирования минеральных вод, лечебные свойства которых определяются органическим веществом, а также вод группы “без специфических компонентов и свойств” по Иванову В.В. и Невраеву Г.А. Именно такого типа минеральные воды выявлены к настоящему времени в поле развития мезозойских. При этом наиболее известной является вода торговой марки “Волжанка”, разливаемая в пос. Ундоры (Ульяновская область), расположенном в 4–5 км южнее границы РТ. Водорастворенное органическое вещество в этих ПВ ($C_{\text{орг}}=5-10$ мг/л) в основном выщелачивается из фаунистических и битуминозных остатков пород волжских отложений (J_{3v}) [3]. Подобного типа ПВ в последние 10 лет выявлены и в РТ. Водозаборная скважина глубиной 125 м, вскрывающая батские отложения (J_{2bt}), и цех розлива находятся в пос. Большие Тарханы (в 15 км северо-восточнее пос. Ундоры). Вода реализуется как “Тарханская–3”. Она имеет $\text{SO}_4\text{--HCO}_3/\text{Mg--Ca--Na}$ состав и минерализацию 0,8-1,1 г/л. Концентрация органического углерода составляет 5–8 мг/л, при этом предполагается, что обогащение органическим веществом происходит за счет битумных залежей в разрезе пермских отложений [2]. На Тарханском месторождении

еще двумя близрасположенными скважинами вскрываются минеральные лечебные воды “без специфических компонентов и свойств”. Скважина № 1 глубиной 36,4 м вскрывает $\text{SO}_4\text{-HCO}_3/\text{Na-Mg-Ca}$ воды с минерализацией 1,2–1,6 г/л в песчаниках волжского водоносного горизонта (J_3v). Скважина № 4 каптирует татарские отложения (P_3t), залегающие под мезозойскими образованиями. Ее глубина 150 м. ПВ имеют минерализацию 1,3–2,6 г/л при $\text{HCO}_3\text{-SO}_4/\text{Na}$ составе.

Таблица. Особенности состава подземных вод

Индекс комплекса	Кол-во проб	Минерализация расчётная (min–max), мг/л	Жесткость (min–max), ммоль/л	Преобладающий тип воды
<i>K</i>	59	325–1035	1,7–11,9	HCO_3/Ca $\text{SO}_4\text{-HCO}_3/\text{Mg-Ca}$
<i>J</i>	159	267–3398	1,5–26,3	$\text{HCO}_3/\text{Mg-Ca}$ $\text{HCO}_3\text{-SO}_4$ и $\text{SO}_4/$ Mg-Ca-Na и Na
P_3sd+v	283	237–2253	2,4–21,0	$\text{HCO}_3/\text{Mg-Ca}$ $\text{HCO}_3\text{-SO}_4/\text{Ca-Mg-Na}$
P_2ur	535	374–3238	0,7–28,1	$\text{HCO}_3/\text{Mg-Ca}$ $\text{HCO}_3\text{-SO}_4$ и $\text{SO}_4/$ Mg-Ca-Na и Na
P_2kz	207	531–7173	3,5–57,0	$\text{HCO}_3/\text{Mg-Ca}$ SO_4/Ca , Mg-Ca и Na-Mg-Ca ; $\text{Cl-SO}_4/\text{Ca-Mg-Na}$ и Na-Mg-Ca

Примечание. В последнем столбце: в числителе – тип (типы) наименее минерализованных ПВ, в знаменателе – наиболее минерализованных вод; типы воды – согласно [5].

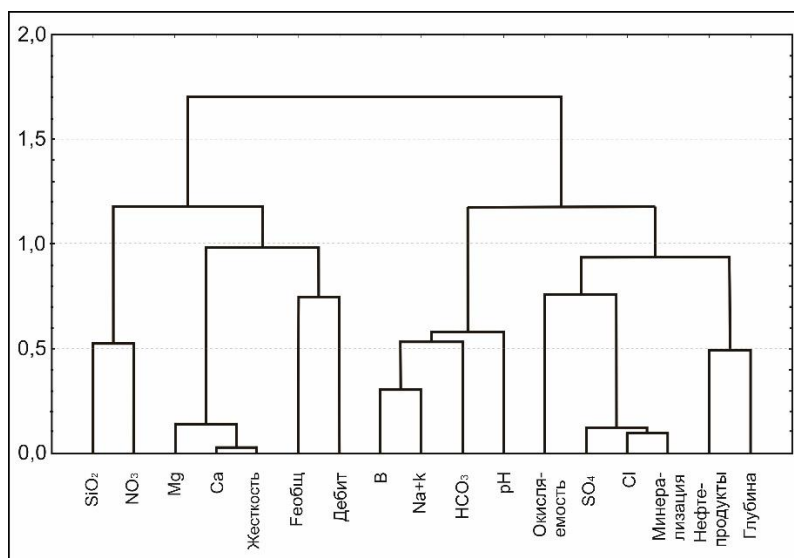


Рисунок 1. Кластер-диаграмма связей компонентов и параметров состава ПВ юрского комплекса (30 проб, мера связи – коэффициент корреляции Пирсона (1-r))

Анализ обширного гидрогеохимического материала свидетельствует, что в поле развития мезозойских и в подстилающих их пермских отложениях возможны проявления и другого типа минеральных вод. В первую очередь, это кремнистые воды в поле меловых отложений, характеризующихся наличием в разрезе опок. Содержания кремнекислоты в виде SiO_2 здесь могут достигать 46 мг/л, при среднем значении 28 мг/л, тогда как на других уровнях гидрогеологического разреза средние концентрации SiO_2 находятся в пределах 10–14 мг/л. Вторым типом могут выступать железистые воды. Обогащенность

мезозойских образований органическим веществом определяет проявление относительно восстановительных условий, что благоприятно для миграции закисного железа. Известные его максимальные концентрации составляют (мг/л): 4,1 в ПВ юрского комплекса и 12,0 в водах подстилающих отложений. Но по устным данным некоторых исследователей – в нижней части обрывистых склонов правобережья Волги, сложенных юрскими отложениями, фиксируются родники, на выходе которых отмечаются многочисленные бурые охры гидроокислов железа. Третьим дополнительным типом минеральных лечебных вод являются сероводородные ПВ, наличие которых весьма вероятно в разрезе отложений казанского яруса в пространственной близости с битумными залежами. В рассматриваемом районе известны 12 битумопроявлений в карбонатных породах казанского яруса. На Тарханской площади в 1955 г. пласт верхнеказанских битумоносных доломитов мощностью 3–6 м был испытан и в результате получен приток сероводородной воды с плёнкой битума [1]. Кроме этого, в районе с. Сюкеево (правобережье Волги, примерно северная граница развития юрского комплекса) ещё в XIX в. использовались сероводородные источники, формирование которых связывают с наличием битумной залежи в верхнеказанских доломитах [2]. Источником сероводорода являются сульфат-ионы, биохимическое восстановление которых происходит за счет взаимодействия с органическим веществом битумов.

Выводы

Комплекс мезозойских отложений в РТ представляет собой весьма интересный объект изучения в био- и литостратиграфическом, литолого-минералогическом, геоэкологическом и гидрогеологическом отношениях.

Библиография

1. Геология и освоение залежей природных битумов Республики Татарстан / Под ред. Р.С. Хисамова. Казань: Изд-во “Фэн”, 2007. 295 с.
2. Ибрагимов Р.Л., Бердников Т.Г., Павленко Н.К. Перспективы поиска и особенности формирования минеральных вод в Тетюшском районе Республики Татарстан // Георесурсы. 2013. № 1 (51). С. 40–43.
3. Курочкин В.Ю., Федоров А.А., Хорошавина Е.И., Бердников Т.Г., Ибрагимов Р.Л. Минеральные воды Тарханского месторождения с. Большие Тарханы Тетюшского муниципального района Республики Татарстан // Курортная медицина. 2019. № 4. С. 10–17.
4. Мусин Р.Х., Хамитов А.Д., Ахметова А.А., Нуриев И.С. Роль комплекса мезозойских отложений в формировании состава подземных вод в Республике Татарстан // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Материалы XIV Межрегиональной науч.- практической конференция, Уфа, 23–26 мая 2022 г. Москва: Изд-во «Перо», 2022. С. 111–116.
5. Отраслевой стандарт. Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре. М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. 12 с.
6. Сводная геологическая карта доплейстоценовых отложений Республики Татарстан масштаба 1:200000. Пояснительная записка. Казань: Изд-во “Арника”, 1997. 118 с.
7. Korolev E.A., Eskin A.A., Korolev A.E., Barieva E.R., Khuzin I.A. Oil shale of the Middle Volga region: Composition, structure, energy properties // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 808(1), 012025.

Оценка изменения запасов подземных вод в бассейне реки Гильменд (Афганистан) с использованием спутниковых данных GRACE. Назари Ареф* (МГРИ, aref.nazary41@gmail.com), Заряб Абдулхалым. (Кабульский политехнический университет, a.zaryab@kpu.edu.af)

Аннотация

Понимание динамических изменений запасов подземных вод и количественная оценка тенденций колебаний подземных вод в водоносных горизонтах бассейна реки Гильменд (HRB), где подземные воды являются основным источником для питья и орошения, очень важны для эффективного управления ресурсами подземных вод. В этом тематическом исследовании количественно оцениваются изменения в запасах подземных вод за 18 лет (т.е. с 2003 по 2021 год) в HRB с использованием наблюдений Эксперимента по восстановлению силы тяжести и климата (GRACE) и данных Глобальной системы усвоения данных о земле (GLDAS) из-за редкого мониторинга подземных вод. сети и отсутствия наземной информации. Данные наблюдательных скважин применялись для подтверждения результатов выходных данных GRACE и GLDAS. Полученные результаты показывают, что изменения запасов подземных вод в среднем с 2003 по 2021 г. равны $(-98,6 \pm 226,84$ мм или $-1,9 \pm 4,38$ км³/год) в среднем за период с 2003 по 2021 год падение уровня грунтовых вод составило -2,6 м в (HRB). Исследование указывает на относительно сильную корреляцию (0,75) между полученными данными GRACE и прямыми измерениями на месте. Это исследование подчеркивает эффективность данных, полученных с помощью GRACE, для надежной оценки изменений запасов подземных вод в HRB и может способствовать устойчивому управлению ресурсами подземных вод в регионе.

Ключевые слова

изменение запасов подземных вод, GRACE, GLDAS, бассейн реки Гильменд, Афганистан.

Источники финансирования

Финансирование для этого исследования получено не было.

Теория

Река Гильменд — самая длинная река в Афганистане и главный водосбор эндорейского бассейна Систан. Это положение связано с его расположением в субпустынной среде и небольшим годовым количеством ливней (рис. 1). Бассейн расположен между 29°18' и 34°48' широты и 60°18' и 69°36' долготы. Бассейн охватывает центральную, южную и юго-западную провинции Афганистана. Его общая площадь составляет примерно 340 000 квадратных километров, покрывая примерно 52% территории Афганистана, 31% сельскохозяйственных угодий и 28% населения Афганистана. Бассейн граничит с Ираном на западе и Пакистаном на юге. Водоносные горизонты в бассейне реки Гильменд обычно бывают двух типов: цементированные и рыхлые отложения. Верхние части бассейна в основном сложены изверженными и метаморфическими породами, а нижние — осадочными отложениями.

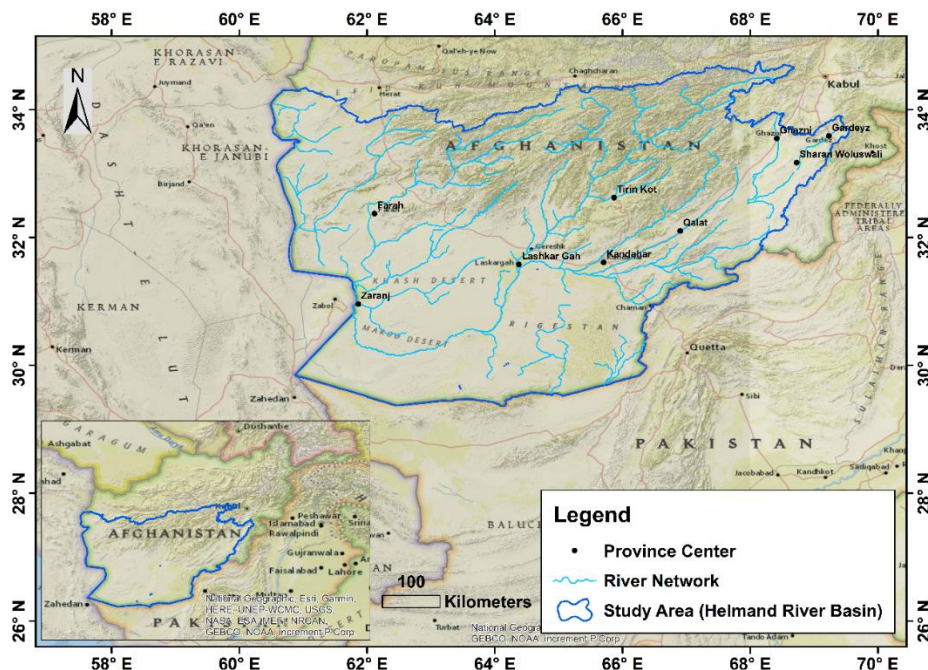


Рис. 1. Расположение района исследования (бассейн реки Гильменд)

В общем, основные изменения запасов воды (TWS) эквивалентны сумме изменений грунтовых вод (GW), изменений влажности почвы (SM), изменений поверхностных вод (SW), изменений воды, эквивалентных снегу и леднику (SWE), и изменения в биосфере (БИО).

$$\Delta TWS = \Delta GWS + \Delta SM + \Delta SW + \Delta SWE + \Delta BIO \dots\dots\dots (1)$$

В заключение, согласно Рисунку 2, результаты, полученные с помощью вышеупомянутого метода, были сопоставлены и подтверждены данными мониторинга скважин. Так как в HRB нет регулярных мониторинговых скважин, результаты сравниваются с недавно установленными мониторинговыми скважинами на некоторых участках для большей точности. Данные об уровне грунтовых вод и осадках были получены от Министерства энергетики и водных ресурсов Афганистана и DACAAR.

В результате рассчитываются изменения в запасах подземных вод (Bonsor et al. 2010).

$$\Delta GWS = \Delta TWS - (\Delta SM + \Delta SW + \Delta SWE + \Delta BIO) \dots\dots\dots (2)$$

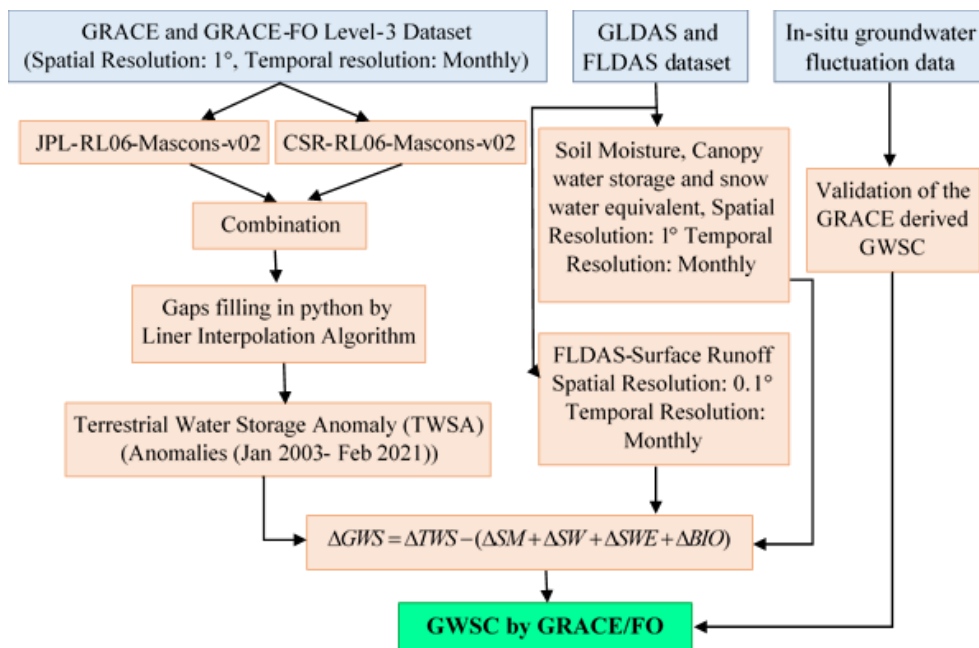


Рис. 2. Блок-схема методологии

Сбор и обработка данных Total Water Storage (TWS) от GRACE и GRACE-FO Level-3: В этом исследовании использовались спутниковые данные третьего уровня GRACE из центров обработки данных CSR (RL06 v02 Mascon) и JPL (RL06 v02 Mascon) с января 2003 г. по июль 2021 г.

Аномалии запасов воды/высоты даны в эквивалентных единицах толщины воды (см) (NASA, 2020). Данные TWS третьего уровня доступны бесплатно на платформе (<https://grace.jpl.nasa.gov/data-analyse-tool/>). Данные HRB CSR и JPL (1°×1°) имеют временную неравномерность в несколько месяцев. Одним из преимуществ спутниковых данных GRACE является предоставление полных пространственных и временных данных на большой территории. Кроме того, несмотря на низкое разрешение, он имеет то преимущество, что регистрирует изменения общего запаса воды TWS (Bhanja et al., 2016). Пробел в данных между GRACE и GRACE-FO был заполнен с помощью алгоритма линейной интерполяции в Python.

Сбор и обработка данных Глобальной системы усвоения данных о земле (GLDAS): Поскольку влажность почвы, поверхностные воды, запасы воды в растительном покрове, водный эквивалент снега и ледников являются неотъемлемыми элементами расчета изменений в запасах подземных вод, и, хотя точное измерение этих параметров, получение этих данных на обширных территориях является сложной задачей. GLDAS НАСА стремится использовать передовые методы моделирования поверхности и корреляции данных для получения результатов спутниковых и наземных наблюдений для создания полей течения и оптимизации состояния поверхности земли (Rodell, 2009). В этом исследовании для оценки гидрологических изменений используется модель влажности почвы GLDAS на глубине 2 метра, запасы воды в пологе, эквивалент снеговой воды и поверхностные воды, а также модель FLDAS. Данные доступны в этом открытом источнике: (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).

Измерения уровня грунтовых вод на месте и характеристики водоносного горизонта: в HRB отсутствуют достаточные натурные измерения. DACAAR является единственной организацией, отслеживающей и регистрирующей уровни грунтовых вод

в некоторых частях изучаемой территории (DACAAR, 2010). С 2019 года Министерство энергетики и водных ресурсов Афганистана создало сети мониторинга подземных вод в городских центрах южных провинций Афганистана. Из-за отсутствия регулярных и ежемесячных данных мониторинга скважин в HRB, данные мониторинга подземных вод организации DACAAR и MEW с 2003 по 2021 год используются для анализа среднегодовых изменений уровня подземных вод, а затем сравниваются со среднегодовыми изменениями GRACE. спутниковые подземные воды.

Выводы

HRB является одним из крупнейших речных бассейнов в Афганистане, который характеризуется засушливым и полузасушливым климатом. Подземные воды являются основным источником воды для питьевых и сельскохозяйственных нужд на изучаемой территории. Из-за отсутствия сетей мониторинга подземных вод и наземных измерений в HRB имеются неадекватные данные об изменениях запасов подземных вод. В этом исследовании были предприняты попытки интегрировать и использовать данные дистанционного зондирования (GRACE и GLDAS) для оценки временных и пространственных изменений запасов подземных вод в HRB за период с 2003 по 2021 год. Наблюдения GRACE и GLDAS недавно были признаны эффективными инструментами для мониторинга и количественной оценки изменений запасов подземных вод в районах с отсутствием прямых измерений на месте и в крупных бассейнах. Исследование показало небольшую тенденцию к снижению в изменении запасов подземных вод в течение рассматриваемого периода, когда падение уровня подземных вод составило -2,6 м в HRB. Исследование показало сильную корреляцию (0,75) между наблюдениями на месте и изменениями запасов подземных вод в HRB на основе GRACE. Результаты этого исследования показали, что истощение запасов подземных вод, вероятно, увеличится в будущем из-за развития традиционных методов орошения в бассейне.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Министерству энергетики и водных ресурсов Афганистана и организации DACAAR за предоставленные данные по наблюдательным скважинам изучаемой территории. Авторы также благодарны двум анонимным рецензентам за содержательные комментарии и конструктивные предложения.

Библиография

1. Bonsor HC, Mansour MM, MacDonald AM, Hughes AG, Hipkin RG, Bedada T (2010) Interpretation of GRACE data of the Nile Basin using a groundwater recharge model. *HESS* 7:4501-4533. <https://doi.org/10.5194/hessd-7-4501-2010>, 2010.
2. Bhanja SN, Mukherjee A, Saha D, Velicogna I, Famiglietti JS (2016) Validation of GRACE based groundwater storage anomaly using in-situ groundwater level measurements in India. *J Hydrol* 543:729-738. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.10.042>.
3. DACAAR (2010) National groundwater monitoring wells network in Afghanistan, Kabul, Afghanistan.
4. NASA (2020) GRACE(FO) Data Analysis Tool – NASA. <https://grace.jpl.nasa.gov/data/data-analysis-tool/> (Accessed on 13 October 2022).

*Особенности формирования скандия при наличии урана в рассолах артезианского бассейна. Гафуров Т.А. * (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», timur-02151980@mail.ru), Исмаилов Б.Ж. (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», bakytir.ismailov@bk.ru, Турсунметов Р.А. (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», tv_98@mail.ru), Тё В.С. (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», tv_98@mail.ru)*

Аннотация

В работе изложены особенности формирования скандия в рассолах при наличии урана.

Ключевые слова

Скандий, радиолиз, радиоактивное превращение изотопов, окислительно-восстановительные процессы

Теория

Гидроминеральные ресурсы занимают особое место в укреплении и расширении минерально-сырьевой базы Республики Узбекистан. В мировой практике растущая потребность расширения минерально-сырьевой базы редкоземельных элементов и скандия имеет особо важное значение.

Скандий извлекается из твердых полезных ископаемых. В то же время можно рассматривать извлечение нетрадиционным способом из рассолов. При прогнозировании территории на гидроминеральные ресурсы в качестве поисковых критериев привлекаются литофациальные, структурно-тектонические, гидрогеологические, гидрохимические и другие факторы. В дальнейшем целесообразно привлекать интегрированные поисковые показатели с целью выявления перспективных площадей. Исходя из принципов геодинамической эволюции, геоструктурные позиции изучаемой территории рассматриваются в рамках модели тектоники литосферных плит. Геологические процессы, происходящие в верхней части разреза, тесно связаны с глубинными процессами. Тектонические процессы здесь проявляются не только в виде структурных форм, но и характеризуются вещественными преобразованиями и энергическим состоянием геологической среды; гидрогеохимическая зональность термоминеральных и промышленных вод в полной мере контролируется развитием тектонических структур. В связи с изложенными нами принципами сформулированы особенности формирования гидроминеральных ресурсов в условиях Бухаро-Каршинского артезианского бассейна.

Нами изучалось распространение Sc в рассолах в районе Бухаро-Каршинского артезианского бассейна. Отметим, что Sc также встречается в песчаных отложениях уранового типа. Общность формирования Sc в этих условиях заключается в том, что в обоих случаях скопления Sc вторичные, т. е. за счет разложения первичных минералов и сноса их водными потоками. В формировании Sc особую роль сыграли окислительно-восстановительные процессы, происходящие в краевых частях артезианского бассейна. В обоих случаях наблюдается ассоциация редкоземельных элементов [1]. С другой стороны, при формировании Sc немаловажную роль сыграло содержание U, в присутствии которого в водоносном горизонте наблюдается развитие радиолиза,

способствующего созданию щелочно-восстановительной среды, что благоприятствует скоплению ионов металлов.

В последние годы появился ряд работ, посвященных роли радиоактивных элементов в формировании промышленных вод. Как правило скопление рассолов ионов металлов в рассолах зависит от окислительно-восстановительных реакция. Обычно окислительные процессы сильнее развиваются при наличии кислорода, которой на большой глубине практически отсутствует. В этом аспекте особый интерес представляет развитие радиолитиза в подземных водах. Установлено что в кислых водах под действием радиолитиза происходит выделение кислорода, который в свою очередь способствует развитию окислительных процессов. Этот процесс благоприятствует разложению комплексных соединений на ионы металлов. Для практики представляет интерес восстановительные процессы, способствующие скоплению ионов металлов в рассолах. Отметим, что при восстановительных процессах в основном действуют электрохимические процессы, создающие низкие значения ОВП (окислительно-восстановительный потенциал. В первом при приближении в качестве восстановителя металлов служат I, Fe^{II} [2]. По результатам обработки данных, полученных прибором ICP-MS, выявлены корреляционные зависимости содержания Sc с другими химическими элементами (Рисунок 8).

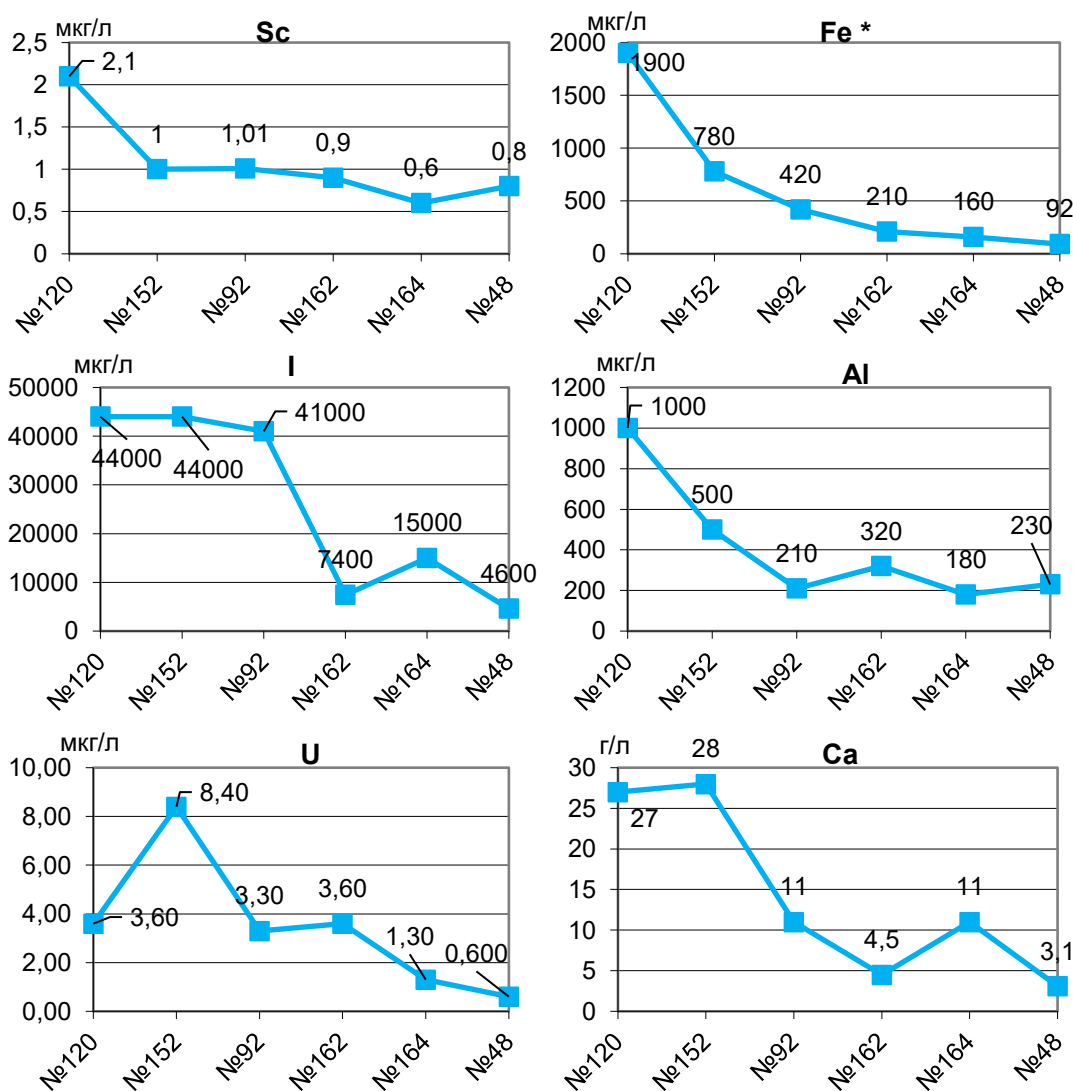


Рисунок 8. Результаты анализа ICP-MS

Коэффициент корреляции между Sc и Al, Fe, Nb, I и группой лантаноидов в пределах 0,80-0,90, с Rb, La, W, V, Ba – в пределах 0,60-0,70. Особое внимание стоит уделить I и Fe, с которыми наблюдается тесная связь. В целом ионы металла Sc коррелируются с макрокомпонентами Ca, K, Na, а также с микрокомпонентами. Это свидетельствует о развитии восстановительных процессов в зоне скопления Sc. По этой структуре содержание U достигает 8,4 мкг/л. Присутствие урана сопровождается совместным нахождением с редкоземельными элементами [4]. Были изучены корреляционные связи между вышеотмеченными параметрами и скандием и в других площадях. В наибольшей степени взаимосвязан с кальцием.

Выше перечисленные элементы можно рассматривать как ассоциация элементов, которые сопровождают скандий в процессе его формирования. Для практики представляет интерес выявление элементов, которые служат парагенезисом при образовании скандия. С этой целью необходимо изучение изотопного состава как скандия, так и других элементов, которые создают цепь радиоактивных превращений ${}^{40}_{19}K \rightarrow {}^{40}_{19}Ca \leftarrow {}^{40}_{21}Sc$ [3]. В радиоактивных превращениях участвуют не только радиоактивные излучения, связанные с ураном и торием, но и протонная, нейтронная радиоактивность. При прочих равных излучениях сохраняется тесная связь с выше указанными элементами. Следует отметить, что в природе 96% кальция находится в изотопном состоянии. Изотопы калия и кальция являются устойчивыми.

Выводы

В окислительно-восстановительных процессах, связанных с формированием скандия в рассолах, участвуют электрохимические явления, радиолит и радиоактивные превращения изотопов.

Библиография

1. Бекман И.Н. Радиохими: Учебное пособие в 7 т. / И.Н. Бекман. — М. : Издатель Мархотин П. Ю., 2015. - 400 с.
2. Гафуров Т.А., Турсунметов Р.А. / К формированию скандия в рассолах Бухаро-Каршинского артезианского бассейна, // Научно-инновационные аспекты современных гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических исследований / Мат-лы Респуб. науч.- техн. конф. 14 октября 2022 г. Т.: ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО», 2022. - С. 54-57
3. Ишханов Б.С. / Радиоактивность: учебное пособие / – Москва : Университетская книга, 2011. – 378 с.
4. Турамуратов И.Б., Ежков Ю.Б., Халилов А.А. / Критерии прогноза редкоземельного оруденения в Республике Узбекистан. Новая стратегия развития минерально-сырьевой базы / ГУ «ИМР», 2022. – 190 с.

*Исследование процесса длительного насыщения шахтной водой образцов горных пород угленосного массива. Гузеев О.А. * (ГБУ «Институт физики горных процессов», oleg.coin@mail.ru), Борисенко Э.В. (ГБУ «Институт физики горных процессов», ehd1207@yandex.ru), Корвякова Н.П. (ГБУ «Институт физики горных процессов», nata_in2020@mail.ru), Подрухин А.А. (ГБУ «Институт физики горных процессов», alex-1981p@mail.ru)*

Аннотация

Применительно к выполнению оценки негативного воздействия «мокрой консервации» шахт на природные объекты и инженерные сооружения проведены исследования процесса длительного насыщения шахтной водой образцов горных пород угленосного массива Донбасса.

Установлены закономерности изменения объема и массы образцов горных пород угленосного массива в ходе длительного периода водонасыщения. Выявлены горные породы, обладающие низкой водопрочностью. Установлены коэффициенты набухания и показатели полной влагоемкости исследуемых горных пород.

Ключевые слова

Горные породы, объем, масса, набухание, влагоемкость.

Теория

При закрытии угледобывающих предприятий путем «мокрой консервации» шахтная вода заполняет горные выработки. При этом в процессе длительного водонасыщения происходит изменение свойств горных пород угленосного массива, способное оказывать существенное влияние на сдвигание налегающих пород и земной поверхности [1]. Прогнозная оценка негативного воздействия «мокрой консервации» шахт на природные объекты и инженерные сооружения является важной задачей при разработке проектов по реструктуризации угольной отрасли в Донбассе.

Наиболее приемлемым подходом к выполнению указанной оценки является исследование в контролируемых условиях процесса длительного насыщения шахтной водой образцов горных пород угленосного массива. Такие лабораторные работы позволяют установить длительность периода потери целостности отдельных образцов горных пород при водонасыщении, установить закономерности изменения объема и массы образцов горных пород в ходе водонасыщения, а также установить гидрофизические свойства горных пород.

На начальном этапе исследовательских работ выполнено представительное опробование горных пород угленосных массивов Донбасса. Процедура отбора проб горных пород в виде глыб осуществлялась на шахтах Донецкого региона. Из отобранных проб с помощью настольно-сверильного станка изготавливались цилиндрические образцы стандартных параметров [2].

Далее в эксикаторы, наполненные шахтной водой, погружались партии маркированных сухих образцов изучаемых горных пород. Общее количество образцов, подвергнутых длительному водонасыщению, составило 42 экземпляра, причем сланца

глинистого – 15, сланца песчаного – 14, а песчаника – 18 штук, что соответствует фактической встречаемости указанных литотипов в исследуемом угленосном массиве Донбасса. Шахтная вода, использованная в испытаниях, характеризовалась следующими показателями: pH – 7,9; общая жесткость - 6,14 мэкв/л (Ca^{2+} - 4,36мэкв/л, Mg^{2+} - 1.78мэкв/л); содержание сульфатов - 268,8 мг/л.

Порядок регистрации изменений линейных размеров и массы образцов составлен таким образом, чтобы выявить периоды интенсивного набухания и водопоглощения, периоды снижения скоростей набухания и водопоглощения, периоды окончания процессов набухания и водопоглощения образцов горных пород.

В ходе проведения лабораторного водонасыщения установлены образцы горных породы с низкой водопрочностью. В набор образцов, потерявшими свою целостность, вошли 4 образца сланца глинистого и 2 образца сланца песчаного. Это соответствует 26,7% от общего числа образцов сланца глинистого, а также 14,3% от общего числа образцов сланца песчаного, участвовавших в водонасыщении. Образцы сланца песчаного разрушились вкрест напластования за период от 72 до 96 часов, а образцы сланца глинистого потеряли целостность преимущественно по напластованию за период от 1 часа до 48 часов.

Лабораторное водонасыщение образцов горных пород угленосного массива позволило установить закономерности приращений их объема и массы [4]. Графики относительных приращений объема и массы девяти образцов горных пород (по три представительных образца каждого исследуемого литотипа) в ходе длительного периода насыщения шахтной водой представлены в полярных системах координат на рис. 1. Такое представление эмпирических данных позволяет наглядно продемонстрировать несинхронность процессов приращения объема (набухания) и прироста массы (водопоглощения) горных пород.

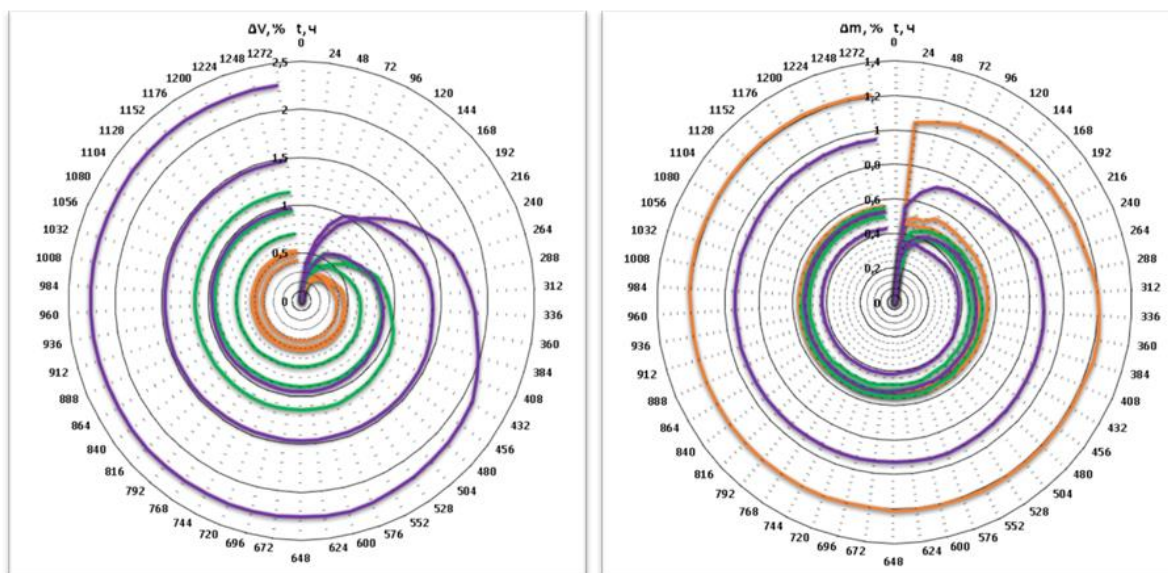


Рисунок 1. Графики относительных приращений объема и массы образцов песчаника (оранжевые линии), сланца песчаного (зеленые линии) и сланца глинистого (фиолетовые линии) в ходе длительного периода насыщения шахтной водой.

Наибольшему приросту объема в результате длительного водонасыщения подвержены образцы сланца глинистого ($\Delta V=0,97 \div 2,26\%$), а наименьшие изменения

указанного параметра зафиксированы у образцов песчаника ($\Delta V=0,35\div 0,53\%$). Интенсивное приращение объема образцов всех литотипов наблюдалось в первые 96 часов, а после 432 часов насыщения шахтной водой изменения объема образцов прекращалось.

Наибольшему относительному приращению массы в процессе водонасыщения подвержены образцы песчаника ($\Delta M=0,47\div 3,88\%$), а наименьшие изменения указанного параметра наблюдались у образцов сланца песчаного ($\Delta M=0,16\div 1,36\%$). Интенсивное приращение массы образцов всех литотипов наблюдался в первые 96 часов. По истечению 600-720 часов насыщения шахтной водой образцов горных пород изменения их массы не наблюдалось.

В ходе лабораторного водонасыщения установлены важные гидрофизические характеристики горных пород, приуроченных к угленосным массивам Донбасса. В частности, определены коэффициенты набухания и показатели полной влагоемкости горных пород [3]. Установлено, что диапазоны изменения коэффициента набухания K_n горных пород расширяются от песчаников к сланцам песчаным и далее к сланцам глинистым (рис. 2). Диапазоны изменения полной влагоемкости W_n расширяются от сланцев песчаных к сланцам глинистым и далее к песчаникам (рис. 3).

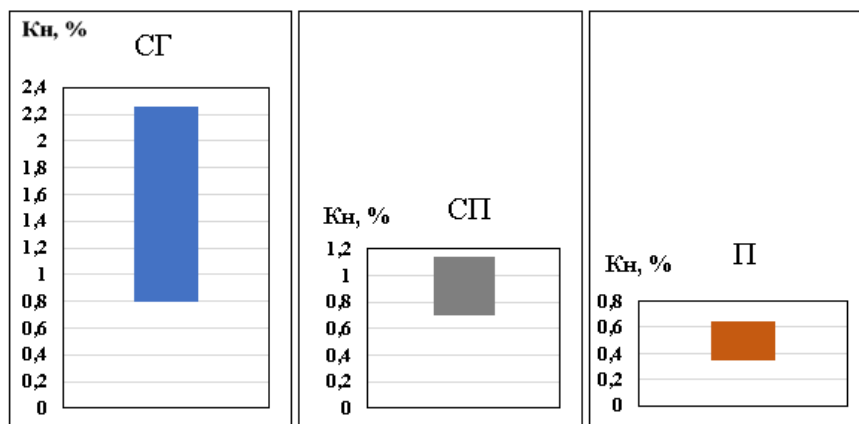


Рисунок 2. Диаграммы диапазонов изменения коэффициента набухания горных пород угленосного массива

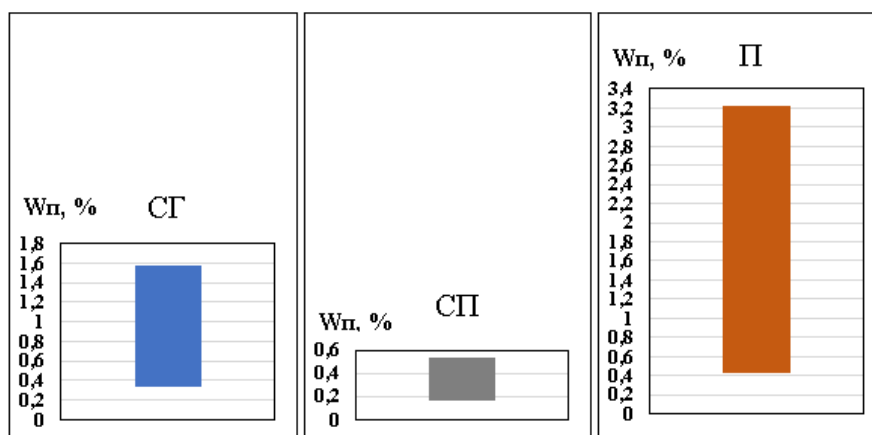


Рисунок 3. Диаграммы диапазонов изменения полной влагоемкости горных пород угленосного массива

Выводы

Проведенные исследования процесса длительного насыщения шахтной водой образцов горных пород угленосного массива Донбасса позволили выявить горные породы, обладающие низкой водопрочностью, и установить закономерности изменения интенсивности процессов набухания и поглощения сланца глинистого, сланца песчаного и песчаника.

Установленные закономерности деформационного поведения горных пород в ходе длительного водонасыщения и их гидрофизические характеристики поспособствуют повышению точности прогнозной оценки негативного воздействия мокрой консервации шахт на природные объекты и инженерные сооружения. Кроме того, полученные эмпирические данные будут полезны при разработке проектов по комплексному освоению месторождений Донбасса.

Библиография

1. Гавриленко Ю.Н. Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины [Текст]/ Ю.Н. Гавриленко, В.Н. Ермаков, Ю.Ф. Кренида, О.А. Улицкий, В.А. Дрибан – Донецк: Норд пресс, 2004. -632с.
2. ГОСТ 21153.2–84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. – М.: Издательство стандартов, 2001. –8 с.
3. ГОСТ Р 50544-93 Породы горные. Термины и определения – М: Издательство стандартов, 1993. –49 с.
4. Борисенко Э.В., Гузеев О.А., Корвякова Н.П., Подрухин А.А. Эмпирические характеристики длительного водонасыщения образцов горных пород угленосного массива Донбасса/ Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. Под редакцией академика РАН К.Н. Трубецкого - М.: ИПКОН РАН. - 2022. С. 63-68.

*Модельное обоснование направления потока вод верховодки. Петраш А.Б. * (ФГБУ «Гидроспецгеология», A.B.Petrash@yandex.ru), Кононченко Е.В. (ФГБУ «Гидроспецгеология», lena.konon@mail.ru)*

Аннотация

В работе представлена разработка геофильтрационной модели верховодки для района планируемого размещения объекта, относящегося к потенциальным источникам загрязнения подземных вод. Верховодка распространена в относительно слабопроницаемых отложениях верхней части разреза. Определение направления потока вод верховодки являлось одной из наиболее важных задач. Данные наблюдений свидетельствовали только о латеральном направлении потока, но результаты проведённого моделирования позволили доказать, что преобладающей является вертикальная составляющая потока вод верховодки, которая определяет основное направление миграции гипотетического загрязнения.

Ключевые слова

Математическое моделирование, геофильтрация, верховодка

Контаминанты, поступающие в подземные воды от приповерхностных техногенных источников, обычно распространяются в пределах верхней части гидрогеологического разреза. В то же время особенности гидрогеологических условий могут способствовать преимущественной вертикальной миграции загрязнения. Целью данной работы является определение направления потока вод верховодки методами математического моделирования для района планируемого размещения объекта [1], который в перспективе может стать источником загрязнения подземных вод.

Исследуемый район (площадка) находится на коренном берегу крупной реки. Его геологическое строение характеризуется наличием в верхней части разреза (до глубины 50 м) толщи относительно слабопроницаемых отложений (рис. 1,2), сложенных преимущественно плиоцен-четвертичными суглинками и глинами. К суглинкам приурочен горизонт верховодки (ГВ), уровень которого находится вблизи поверхности земли. Относительным водоупором для него являются глины кочковской свиты. Под ними находится зона неполного насыщения, а уровень грунтовых вод (УГВ) водоносного комплекса олигоцен-четвертичных отложений вскрывается на абсолютных отметках (АО) около 110 м (рис. 2). По данным режимных наблюдений на площадке (рис. 1) поток вод верховодки в плане направлен с востока на запад согласно рельефу территории. Для решаемых задач требовалась проверка наличия вертикальной составляющей потока с перетеканием вод верховодки через кочковские глины. Определение соотношения латеральной и вертикальной составляющей потока вод верховодки, от которого зависит направление миграции гипотетического загрязнения от проектируемого объекта, проведено посредством математического моделирования в программе GMS [4]. Последовательно созданы трёхмерные геологическая (ГМ) и геофильтрационная модели (ГФМ). ГМ разработана на основе литологических колонок 284 скважин. Модельная стратификация гидрогеологического разреза включает в себя три *основных модельных слоя* (МС): делювиальные и тайгинские суглинки, а также кочковские глины (рис. 2). Для детального воспроизведения линз супесей, песков и глин в верхней части разреза первые два основных МС дополнительно разделены. В результате общее число МС после детализации возросло до 18 (рис. 3). При разработке ГМ в каждой скважине проведено

выделение соответствующих границ МС. Для скважин, не вскрывающих подошву кочковских глин, дополнительно определено положение недостающих границ МС путём интерполяции по имеющимся отметкам в других скважинах. Между скважинами проведено построение геологических разрезов. На основе скважин и межскважинных разрезов построены трёхмерные геологические тела (солиды).

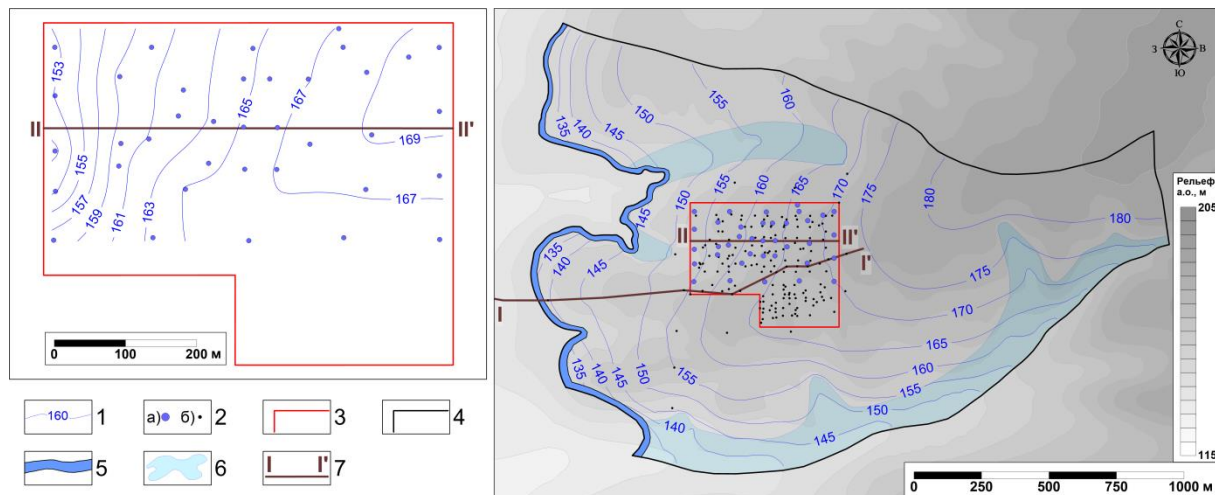


Рисунок 1. Карта натуральных (слева) и модельных (справа) гидроизогипс верховодки: 1 – гидроизогипсы с шагом 2 м (слева) и 5 м (справа); 2 – скважины, использованные при калибровке модели: наблюдательные (а) и инженерно-геологические (б); 3 – границы площадки; 4 – границы области моделирования; 5 – зона выклинивание глин кочковской свиты и перелива вод верховодки; 6 – зоны высачивания вод верховодки в логах; 7 – линия разреза

На основе ГМ разработана ГФМ, сетка которой по вертикали включает в себя 20 расчётных слоёв. В плане размер ячеек сетки составляет 5×5 м. Режим геофильтрационного потока принят стационарным. На нижней границе модели, проходящей по подошве кочковских глин, задано граничное условие с постоянным уровнем, АО которого равна АО подошвы модели. Данное граничное условие позволяет воспроизвести возможное перетекание вод верховодки через кочковские глины. Его интенсивность подбиралась путём калибровки фильтрационных свойств глин. Согласно данным бурения (рис. 2) принято, что выклинивание кочковских глин имеет место на западной границе модели (рис. 1), где также задано граничное условие с постоянным уровнем для моделирования перелива вод верховодки через зону неполного насыщения до УГВ. При этом по западному контуру, как и по остальным, граница задана непроницаемой.

Инфильтрационное питание (ИП) оценено по результатам моделирования трансформации осадков на поверхности земли и влагопереноса в зоне аэрации согласно методике [2]. Для выделенных в изучаемом районе типов ландшафтов (полевого и лесного) получены диапазоны изменения ИП (24-60 мм/год и 58-70 мм/год), использованные при калибровке ГФМ. Начальные коэффициенты фильтрации (K_f) отложений МС, а также диапазоны их изменения при калибровке ГФМ приняты по данным изысканий, проведённых на площадке, фондовым материалам и литературным данным (для кочковских глин [3]). Калибровка ГФМ проведена с целью достижения максимальной сходимости модельных и натуральных уровней верховодки. Для этого использованы осреднённые уровни 37 наблюдательных скважин, а также разовые замеры уровней при бурении. Стандартное отклонение модельных уровней от натуральных составило не более 2 м. Калибровка показала, что среди параметров максимальной чувствительностью характеризуется K_f кочковских глин, поскольку именно от него

зависит величина оттока вод верховодки через нижнюю границу модели. Таким образом, по результатам калибровки значение данного параметра ($2,0 \times 10^{-4}$ м/сут) определено с наибольшей точностью. Откалиброванное ИП составило 55 и 60 мм/год для полевого и лесного ландшафта.

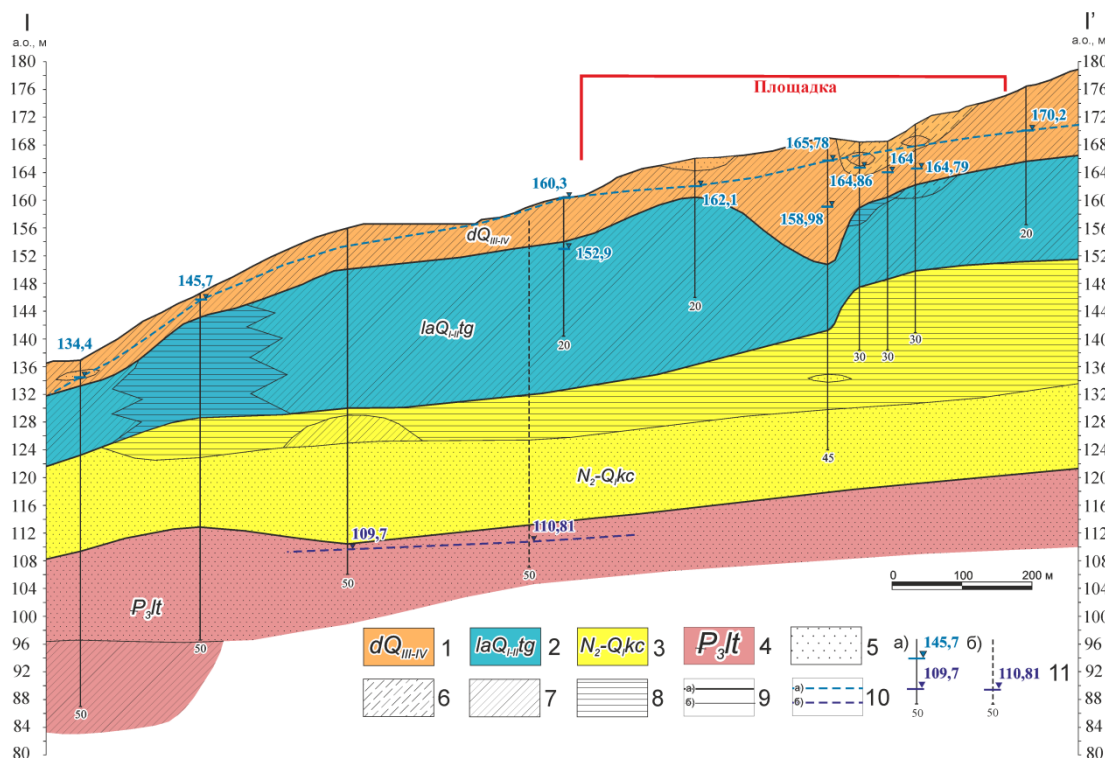


Рисунок 2. Гидрогеологический разрез по линии I-I': 1-2 – четвертичные отложения: делювий (1), тайгинская свита (2); 3 – плиоцен-нижнечетвертичные отложения кочковской свиты; 4 – олигоценные отложения лагернотомской свиты; 5 – пески; 6 – супеси; 7 – суглинки; 8 – глины; 9 – стратиграфические (а) и литологические (б) границы; 10 – уровни верховодки (а) и грунтовых вод (б); 11 – скважина на (а) и вне (б) линии разреза, внизу – глубина, м, сбоку – АО уровня верховодки (голубой цвет) и грунтовых вод (синий цвет), м

По результатам моделирования построена схематическая карта модельных гидроизогипс верховодки (рис. 1), согласно которой поток в плане направлен преимущественно с востока на запад. При рассмотрении направления потока в разрезе (рис. 3) видно, что латеральная составляющая имеет место только в верхней части разреза, сложенной делювиальными отложениями. Но даже в этой части разреза существенную роль играет вертикальная составляющая потока, что видно по траекториям его движения. Ниже по разрезу, в отложениях тайгинской свиты направление потока практически полностью становится вертикальным. Рассмотрение баланса геофильтрационного потока показывает, что основная доля разгрузки вод верховодки (около 70%) происходит за счёт перетекания через кочковские глины и далее нижнюю границу модели. Вклад разгрузки вод верховодки на западной границе модели за счёт перелива через зону неполного насыщения незначителен (около 5%). Дополнительно для оценки чувствительности модели к наличию перетекания через кочковские глины рассмотрен сценарий, в котором оно полностью отсутствует, а основная разгрузка потока происходит вдоль западной границы модели. Результаты расчётов показали, что получить приемлемую сходимость модельных и натуральных уровней для данного сценария не удаётся. При максимальных K_f отложений МС, допустимых согласно данным изысканий и при минимальных значениях ИП превышение модельных уровней верховодки над натурными на площадке составляет

несколько десятков метров. Рассмотренный сценарий показывает, что при отсутствии вертикального перетекания через кочковские глины К_Ф отложений верхней части разреза должны быть существенно выше значений характерных для суглинков.

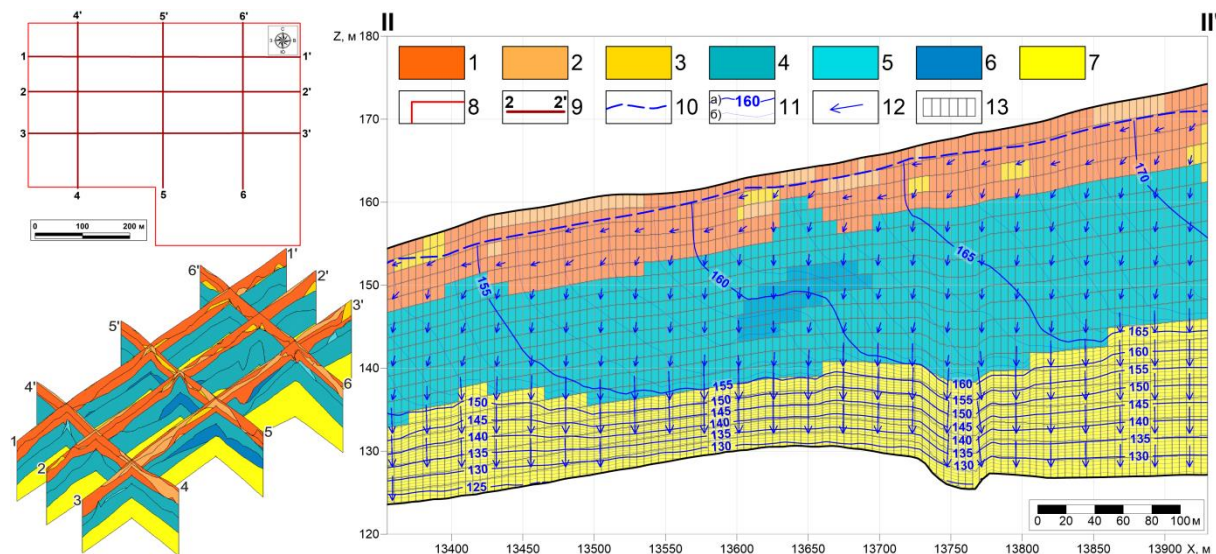


Рисунок 3. Модельные геологические разрезы с их расположением в плане (слева) и модельный гидрогеологический разрез через площадку по линии II-II' (справа): 1-3 – делювиальные отложения: суглинки (1), супеси (2), пески (3); 4-6 – отложения тайгинской свиты: суглинки (4), супеси (5), глины (6); 7 – глины кочковской свиты; 8 – границы площадки; 9 – линия модельного разреза и её номер; 10 – уровень верховодки; 11 – модельные гидроизогипсы: основные с шагом 5 м (а) и вспомогательные с шагом 1 м (б); 12 – траектории направления потока вод верховодки; 13 – модельные ячейки

Выводы

Результаты геофильтрационного моделирования показали, что в соответствии с особенностями гидрогеологических условий района преобладающим направлением потока вод верховодки является вертикальное перетекание через кочковские глины. Аналогичным будет и основное направление миграции гипотетического загрязнения от проектируемого объекта. В результате моделирование позволило доказать участие кочковских глин в качестве природного барьера, обладающего относительно высокими сорбционными свойствами и способного замедлить либо полностью предотвратить распространение сорбируемого радионуклидного загрязнения в случае его поступления от объекта в подземные воды.

Библиография

1. Анисимов Н.А., Куваев А.А. Численное моделирование влагопереноса в конструкциях приповерхностного пункта захоронения радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. 2022. № 3 (20). С. 97-106.
2. Гриневский С.О., Поздняков С.П. Ретроспективный анализ влияния климатических изменений на формирование ресурсов подземных вод // Вестник МГУ. Серия 4: Геология, 2017, № 2, с. 42–50.
3. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. Изд-во Моск. Ун-та, Москва, 1995, 368 с.
4. GMS: User Manuals. URL: https://www.xmswiki.com/wiki/GMS:User_Manuals

Исследование фильтрационной неоднородности подольско-мячковского карбонатного водоносного горизонта, используя методику фильтрационной томографии. Смирнов К.Д.* (1. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Кафедра гидрогеологии. 2. ИБРАЭ РАН, лаборатория геомиграционного моделирования, atomicks96@mail.ru)

Аннотация

Объектом исследования является подольско-мячковский карбонатный водоносный горизонт на территории Звенигородской Биологической станции. На данном полигоне было проведено множество опытно-фильтрационных и миграционных работ другими исследователями [1]. Цель данной работы - получить детальное пространственное распределение фильтрационных параметров, используя комплексную методику трехмерного моделирования на основе фильтрационной томографии.

Обычные опытно-фильтрационные работы (откачки или наливов) в результате дают осредненные значения коэффициента фильтрации и не дают полного представления о неоднородности. Для решения этой проблемы и получения пространственного распределения коэффициента фильтрации в начале 2000-х появился новый метод - фильтрационная томография, который разработан на основе томографии в медицине и геофизике [3].

Комплексная методика включает в себя разработку концептуальной трехмерной фильтрационной модели, на которой решается обратная задача с использованием опытных данных перекрестных кустовых наливов и расходомерии. Последние данные были использованы в качестве регуляризации параметров в ходе решения обратной задачи. Моделирование и решение обратной задачи производилось в программном средстве GMS 10.4 [5], с использованием оптимизатора PEST Pilot Points [4].

Ключевые слова

Обратная задача, фильтрационная томография, опытно-фильтрационные работы, карбонатный водоносный горизонт, регуляризация.

Теория

Для более точного прогноза движения подземных вод требуется знание пространственного распределения коэффициента фильтрации в водоносном горизонте. Известно, что карстовые карбонатные водоносные горизонты очень неоднородны, поскольку имеют такие структурные элементы, как слабопроницаемая матрица и хорошо проницаемые трещины, в которых сосредоточены основные пути потока. Моделирование карстового процесса в совокупности трещин показывает, что со временем формируется тонкая зона закарстованности, приуроченная к входным участкам трещин на контакте литологических разностей карбонатных пород [1].

Фильтрационная томография – новый метод в гидрогеологии, который позволяет точнее изучить фильтрационную неоднородность различных водоносных горизонтов, в том числе карбонатных [2]. Суть метода заключается в проведении перекрестных наливов или откачек. Полученные многочисленные данные повышения уровня подземных вод в наблюдательных скважинах обрабатываются при помощи различных

методов обратного трехмерного моделирования. Одним из минусов обратного моделирования является неединственность решения и возникновение неопределенности. Для уменьшения последнего в данной работе применяется регуляризация параметров по результатам расходомерии.

Выводы

Были получены новые поля проводимости по 3-ём проницаемым зонам на трёхмерной фильтрационной модели исследуемого водоносного горизонта с использованием опытных данных 4-х кустовых наливов и расходомерии, которая задавалась в виде регуляризации параметров (рис. 1). Данные поля проводимости удовлетворительно воспроизводят 4 кустовых налива (рис. 2).

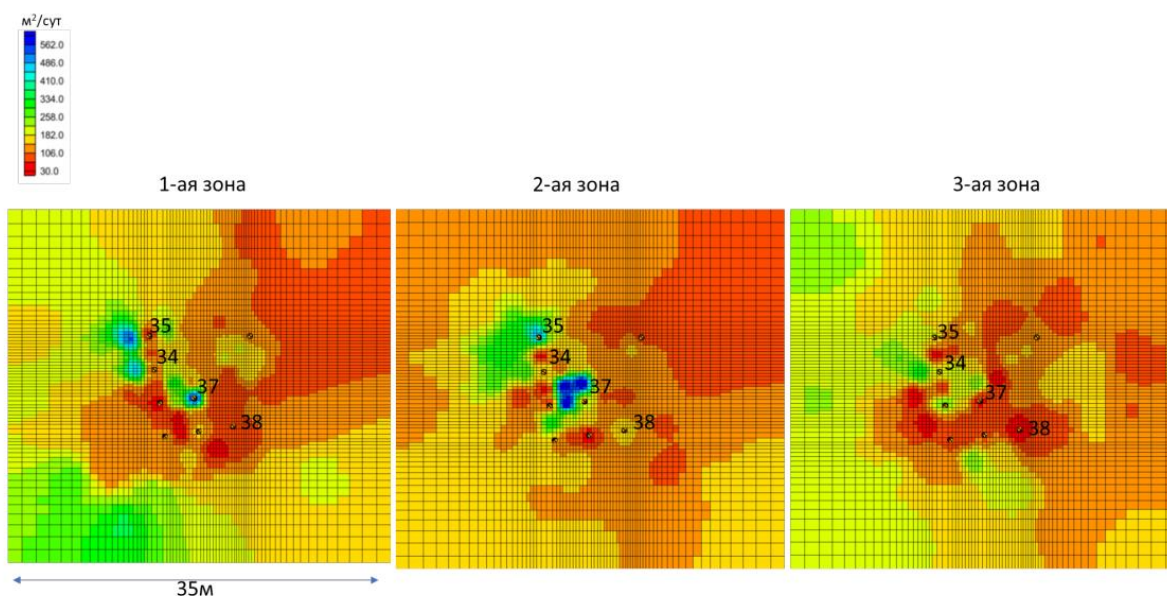


Рисунок 1. Полученные в результате решения обратной задачи поля проводимости трёхмерной модели исследуемого водоносного горизонта.

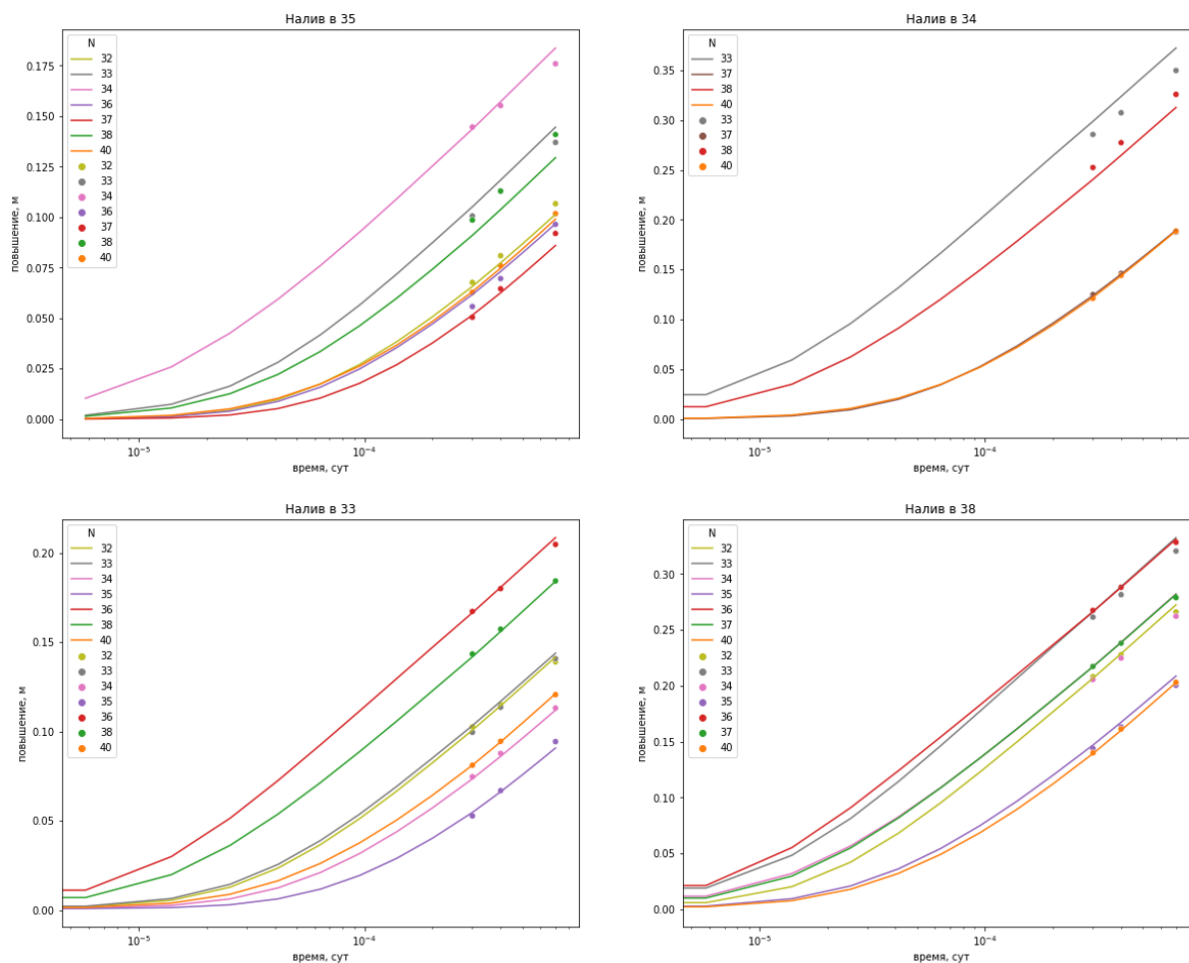


Рисунок 2. Верификационные графики для 4-х наливов (точки – фактические замеры, линии – модельные кривые повышения уровня подземных вод).

Библиография

1. Лехов А.В. Экспериментальные исследования и теоретические модели переноса загрязнения в неоднородных карбонатных пластах. Отчёт. Москва: МГУ, 2018. 108 с.
2. Mohammadi, Z., Illman, W.A., 2019. Detection of karst conduit patterns via hydraulic tomography: a synthetic inverse modeling study. *J. Hydrol.* 572, 131–147. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.044>.
3. Yeh, T.-C.-J., Liu, S., 2000. Hydraulic tomography: development of a new aquifer test method. *Water Resour. Res.* 36 (8), 2095–2105. <https://doi.org/10.1029/2000WR900114>.
4. GMS - Groundwater Modeling System FAQ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aquaveo.com/software/gms-groundwater-modeling-system-introduction>.
5. PEST - FAQ [Электронный ресурс]. URL: http://www.pesthomepage.org/PEST_FAQ.php#hdr3.

Комплексирование методов при изучении субмаринной разгрузки на примере Геленджикской бухты. Тимошина В.А.* (Кубанский государственный университет, Valeriatimosina708@gmail.com), Любимова Т.В. (Кубанский государственный университет, TV-Luy@yandex.ru)

Аннотация

Гидрогеологическое изучение шельфа для определения масштабов и форм субмаринной разгрузки подземных вод является актуальным как с теоретической, так и с практической точки зрения. Для определения гипотетических мест локализации субмаринной разгрузки был выполнен ряд аналитических и полевых исследований, комплексирование которых показало положительный результат при изучении данного процесса в Геленджикской бухте.

Ключевые слова

Геленджикская бухта, субмаринная разгрузка, комплексирование.

Теория

Для определения мест локализации субаквальной разгрузки подземных вод в Геленджикской бухте были выполнены аналитические исследования, включающие оценку рельефа и поверхностного стока прилегающей суши, анализ геологического и неотектонического строения территории, ее гидрогеологии, а также были проведены полевые исследования методом резистивиметрии.

Аналитические исследования.

Как известно, рельеф оказывает прямое влияние на водообмен и движение грунтовых вод. При прочих равных условиях, чем сильнее расчленен рельеф, тем благоприятнее возможности для проявления подземных вод. Для характеристики геолого-гидрогеологических морфоструктур в программе QGIS по методике была составлена ряд карт: изолинейная карта вертикального и горизонтального расчленения рельефа, нижней границей морфоструктур принята подошва коры выветривания, которую можно считать региональным водоупором, ограничивающим зону активного водообмена, карты величины углов наклонов земной поверхности и экспозиции склонов, оценка данных показателей имеет значение так как они влияют на интенсивность и скорость перемещения поверхностных и подземных вод. Построенные карты, представлены на рисунке 1, были совмещены с гидрологической моделью данной местности, для статистической оценки зависимости уклона местности и гидросети. Построение векторной модели эрозионной сети было выполнено с помощью SAGA GIS модуля «Hydrology».

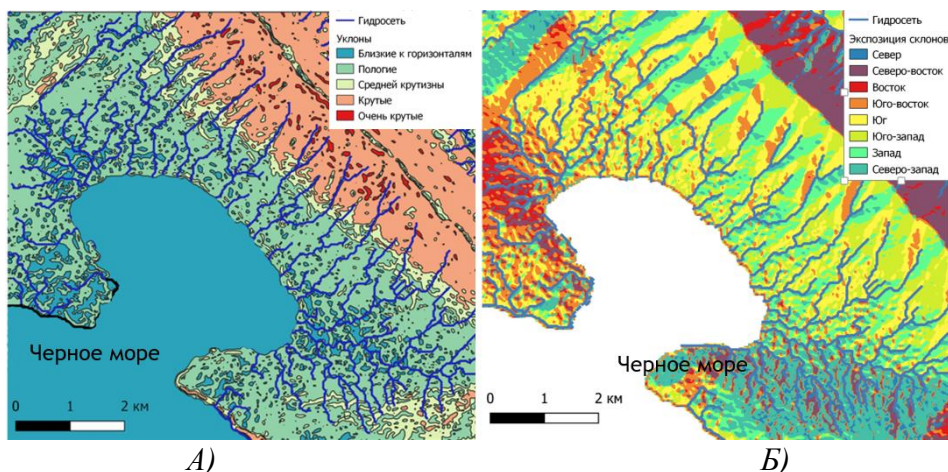


Рисунок 1. А) Карта уклонов; Б) Карта экспозиции склонов

Анализ водосборных площадей постоянных и временных водотоков, был осложнен частичной техногенной переработкой рельефа в пределах городской застройки, так как техногенная нагрузка за последние лет 15 в прибрежной части Геленджикской бухты достаточно выросла.

Гидрогеологическая роль разломов достаточно велика, как правило, это область разгрузки, по которой происходит вертикальное и горизонтальное движение подземных вод, а сами разломы, имеют гидравлическую связь с областью питания трещинных вод и, таким образом, являются естественными дренами, осуществляющими в том числе субмаринную разгрузку подземных вод прибрежно-шельфовых гидрогеологических структур в конечные водоемы стока. В основу изучения тектонических нарушений была взята карта неоструктурного районирования территории С.А. Несмеянова [3] и карта разновысотных блоков Т.Н. Куропаткиной [1]. Выполнена оценка локальных разрывных нарушений, их трассировка в Геленджикскую бухту.

Полевые исследования.

Проведено рекогносцировочное обследование бухты с заверкой разломов и исследование околоберегового пространства Геленджикской бухты методом резистивиметрии [2]. В задачу работ входило по профилю определить и оконтурить опресненные объемы морской придонной воды. Для поиска мест разгрузки субаквальных вод использовалась аппаратура, позволяющая определить места разгрузки из коренных пород и по возможности диффузионных пресных вод из осадочной толщи. Был применен метод «волочения» по дну бухты электродной части бронированного геофизического кабеля с выступающими электродами, что позволило, для скорости судна не более 5 узлов и волнения не более 2-х баллов выдерживать измерительные электроды на расстоянии 50–70 мм от дна на глубинах от 0 до 5 м. Для обеспечения свойств незацепляемости, в этой части была выполнена специальная насадка в виде «распушки» тросовой оплетки конусным веером под углом примерно 30°. В качестве измерительной части на борту судна размещался измерительный мост переменного тока Е7-13, который через адаптер был подключен к аккумуляторной судовой батарее 12 вольт. Таким образом, данная схема измерений позволяла замерять ее соленость, предварительно откалибровав аппаратуру. Траектория профиля регулировалась и подтверждена с помощью стандартной GPS программы «Геотрекер».

Выводы

Проведя комплексную оценку построенных карт можно сделать вывод, что рельеф центральной части бухты представляет собой сочетание разноглубинных

поверхностей, выделяются морфоструктуры кавказского и антикавказского простираения, линейные и изометричные структуры, которые могут быть отражением, как геологического строения, наличие речных палеоврезов, так и особенностей осадконакопления в бухте. Анализ водосборных площадей постоянных и временных водотоков был осложнен, тем не менее, самая большая водосборная площадь принадлежит долине реки Су-Айран – 7,8 км². Следовательно, особенности рельефа способствуют с одной стороны быстрому дренированию поверхностного и подземного стока, а с другой стороны определенному застою в прибрежной части из-за уклонов, близких к горизонтали. Частично, высачивание подземных вод уже возможно в пределах данной территории. Это подтверждается тем, что в районе объекта изучения расположены родники.

Согласно неоструктурному районированию рассматриваемая территория представляет собой Геленджикский грабен, окруженный разновозрастными дизъюнктивами, которые разбивают ее на серию блоков, образующих приподнятые или опущенные ступени. Выделенные при районировании локальные разрывные структуры в определенных случаях являются зонами разгрузки подземных вод, что было подтверждено в ходе полевой заверки материалов. Наиболее крупный продольный разлом у подножья Маркотхского хребта может служить перехватом поверхностного и подземного стока, изменяя тем самым направление движения подземных вод в этой части к Геленджикской бухте, как конечному водоему стока.

Полученные результаты при береговом профилировании показали, что для глубин 2,5 м характерны близкие показатели солености, что может быть связано с перемешиванием морской воды под воздействием волнового процесса и вдольберегового течения и/или с сезоном проведения замеров (10.08.2021 г.). В юго-западной части бухты наблюдалось увеличение солености на глубине до 5 м, а в северо-западной отмечались кратковременные колебания в сторону понижения солености. Таким образом именно северо-западная часть выбрана как наиболее перспективная для дальнейшей детальной съемки с пересекающимися профилями, поскольку к ней приурочены донные отложения песчаной размерности, вероятно принадлежащие палеоруслу р. Су-Аран. Данные работы будут продолжены за счет анализа данных многоспектральной съемки, сезонной периодичности измерения солености морских вод.

Выполненная работа показала, что на изучаемой территории возможно наличие субмаринных источников как тектонического происхождения, так и формирующихся в результате разгрузки подрусловых потоков. На характер функционирования субмаринных источников существенное влияние оказывают геолого-гидрогеологические факторы. Вероятно, каждый отдельный тип субмариной разгрузки потребует своих специальных методов их обнаружения и картирования. Геофизические методы при этом в любом случае должны применяться в комплексе с другими геологическими методами для получения более достоверных результатов.

Библиография

1. Куропаткина, Т.Н. Структурно-геоморфологический анализ Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа / Т.Н. Куропаткина // Региональные географические исследования. Сборник научных трудов. Под общ. ред. А.В. Погорелова. – Краснодар, 2019. – С. 15–17.
2. Методические рекомендации по гидрогеологическому изучению акватории морей и крупных озер / Сост.: А.В. Месхетели и др. Всесоюз. НИИ гидрогеологии и инженерной геологии. М., 1987
3. Несмеянов, С.А. Неоструктурное районирование Северо-Западного Кавказа: Опережающие исследования для инженерных изысканий / С.А. Несмеянов. – Москва: Недра, 1992. – 253 с.
4. Юровский Ю.Г. Подземные воды шельфа. Задачи и методы изучения. Симферополь: ДИАЙПИ, 2013

Интерпретация откачек в полузакрытых пластах. Фисун Н.В. (Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ)),
fisunnv@mgru.ru), Малков А.В. (ООО «НАРЗАН-гидроресурсы»,
anatol.malkov@yandex.ru)*

Аннотация

Рассмотрены особенности интерпретации кратковременных и продолжительных откачек из грунтовых вод в полузакрытых пластах, исследованные авторами на одном из месторождений минеральных вод в Хакасии.

Установлено, что в полуограниченной области фильтрации с границей второго рода $Q=0$ работа водозабора с прерывистым водоотбором происходит в сложном режиме под воздействием границы, переменных природных и технологических факторов. Режим фильтрации имеет гармоническую составляющую при общем положительном тренде понижения уровня в водозаборной скважине. Задачей прогноза являлось установление зависимости в формировании максимальной сработки уровня, что потребовало выполнение откачки в прерывистом режиме. Определение гидродинамических параметров пласта выполнено по результатам кратковременных опытно-фильтрационных работ в постоянном режиме водоотбора на основе данных временного прослеживания квазистационарного режима под влиянием закрытой границы.

Ключевые слова

Режим фильтрации, закрытая граница, водоотбор, откачка, сработка уровня, водозабор, тренд, опытно-фильтрационные работы.

Полученные результаты

Теория и практические рекомендации по проведению и интерпретации откачек достаточно разработаны для простых гидрогеологических условий в неограниченных и полуоткрытых в плане пластах [1, 2] первой и второй групп сложности. В полуограниченных закрытых пластах третьей и четвертой групп сложности гидрогеологических условий опыт проведения и интерпретации откачек ограничен [4].

Предлагаемый подход к интерпретации откачек в полуограниченном пласте использовался при подсчете запасов подземных вод одиночного водозабора, выводящего минеральные воды из безнапорного горизонта в приконтактной зоне осадочных трещиноватых пород с интрузией. Анализом карты гидроизогипс гидрогеологическая роль разлома оценена как закрытая граница. Месторождение отнесено к III группе.

Первоначально подсчет запасов был выполнен общепринятым [3] гидравлическим методом прослеживания откачки с постоянным дебитом в течение года, хотя работа водозабора проектировалась в прерывистом режиме. В результате был получен график наблюдений по центральной скважине, обосновывающей запасы (рис. 1). Анализ графика подтвердил влияние закрытой границы, которое проявилось резким снижением уровня в первые сутки откачки и его сработкой на протяжении первых месяцев наблюдений. В последующем в периоды снеготаяния, летних и осенних осадков снижение уровня компенсировалось инфильтрационным питанием, что привело к стабилизации режима в марте – декабре первого года наблюдений.

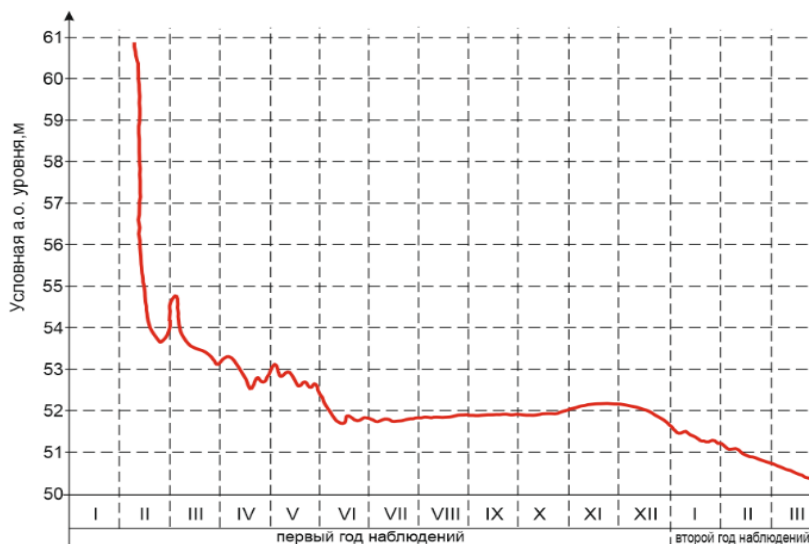


Рисунок 1. Изменение уровня в центральной скважине во время опытно-эксплуатационной откачки

Стационарный режим послужил достаточным основанием для подсчета запасов при достигнутой величине сработки уровня в целом за год 10,5 м, что и было принято в качестве прогнозного на конец расчетного срока (25 лет) и меньше допустимого значения (18 м). В действительности в достигнутом только за год понижении срезка уровня компенсировалась инфильтрационным питанием (около 4 м в общей срезке), а в январе - марте следующего года снижение продолжилось.

Реальную картину сработки уровня при более низкой инфильтрации в условиях маловодного года и прерывистого водоотбора при подсчете запасов в режиме $Q=const$ по этим данным представить сложно.

Для исследования процессов формирования динамики потока вблизи закрытой границы, уточнения ее роли в условиях прерывистой работы водозабора и определения параметров пласта на этапе переоценки запасов в 2021 г выполнены опытно-фильтрационные работы (ОФР) с откачкой из водозаборной скважины с заявленным водоотбором. ОФР выполнялись в двух режимах: $Q=const$ и $Q \neq const$. Режим постоянного водоотбора исследовался с целью определения параметров пласта. Режим прерывистого водоотбора задавался аналогичным эксплуатационному водоотбору из скважины. Наблюдением выполнялись в центральной скважине, а также в скважине, удаленной на расстояние $r=5$ м от водозабора и на расстоянии 75 м от предполагаемой закрытой границы. Ход динамического уровня приведен на рис. 2.

Анализ графика на рис. 2 свидетельствует о высоких темпах сработки уровня на стадиях возмущения, медленном восстановлении уровня (более 44 часов), превышающем время отключения скважины в прерывистом режиме (8 часов), формировании гармонической составляющей в изменении уровня под влиянием прерывистого водоотбора. Медленное восстановление уровня у закрытой границы способствовало росту понижения на каждом цикле включения скважины. Установлено, что максимальные срезки уровня с вероятностью более 97% описываются степенной функцией, что использовалось для предварительного прогноза уровня.

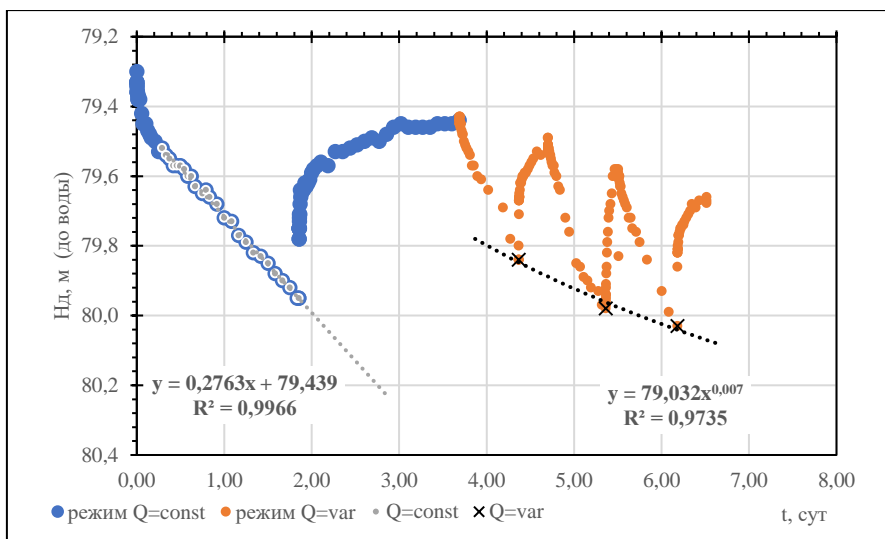


Рисунок 2. *Ход динамического уровня в наблюдательной скважине при опытной откачке в постоянном и прерывистом водоотборе*

Прогноз, выполненный по изложенной методике, оказался благоприятным. Расчетное понижение уровня к концу срока эксплуатации водозабора (9125 суток) в водозаборной скважине составило 90 м при допустимом значении 97,2 м.

Для определения параметров пласта использовался период $Q=const$ на стадии возмущения. Поскольку заранее не было известно, как будет проявляться влияние закрытой границы, критерием перехода к стадии восстановления служило временное прослеживание с выходом в конце откачки на прямолинейную зависимость $S(Int)$. В результате на графике временного прослеживания выделено три участка (рис. 3): участок I – квазистационарная линейная фильтрация в условиях неограниченного пласта; участок II – нестационарная фильтрация, при которой начинает проявляться закрытая граница, но до мнимой зеркально отраженной скважины влияние еще не дошло; участок III – квазистационарная фильтрация у закрытой границы.

Уравнения линий тренда на рис. 3 показывают, что угловые коэффициенты прямых на участках прослеживания I и III отличаются в 22 раза, а не в два раза, как следует из теории формирования понижения у закрытой границы. Такое различие в коэффициентах указывает на более сложное, чем предполагалось, строение области фильтрации в зоне тектонической границы.

Период квазистационарной фильтрации на участке I длился всего 40 минут, поэтому расчет параметров по этому участку не имел смысла. По участку III определение водопроводимости выполнено на основе квазистационарной зависимости для расчета понижения у закрытой границы при известном расстоянии до нее и до наблюдательной скважины. Коэффициент уронепроводности дополнительно определен методом подбора по участку II, где отчетливо проявляется нестационарная фильтрация.

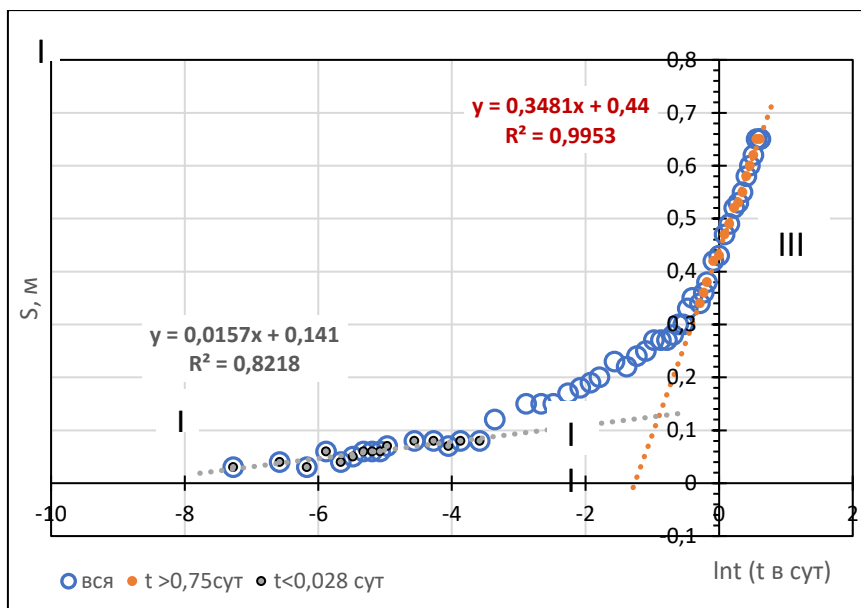


Рисунок 3. Временное прослеживание откачки у закрытой границы ($Q=const$)

Полученные параметры пласта использовались при подсчете запасов гидродинамическим методом, что допускается при третьей группе сложности гидрогеологических условий.

Выводы

1. Эксплуатационная откачка в режиме прерывистого водоотбора позволяет получить зависимость для прогноза максимального понижения уровня в водозаборе на конец расчетного срока эксплуатации. Продолжительность откачки целесообразно ограничить периодом, когда влияние благоприятных метеорологических факторов будет минимальным.
2. Расчет параметров и уточнение граничных условий следует проводить на основе опытной откачки в постоянном режиме водоотбора. Продолжительность опыта должна быть достаточной для прослеживания квазистационарного режима под влиянием границы.
3. Угловой коэффициент прямой в конце откачки может в несколько раз превышать коэффициент на участке неограниченного пласта, что служит основанием для исследования приграничной зоны геофизическими методами.

Библиография

1. Боровский Б. В., Самсонов Б. Г., Язвин Л. С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. - Изд. 2-е. - М.: Недра, 1979. 328 с.
2. Ван Пин, Шестаков В. М. Интерпретация опытных откачек в потоке грунтовых вод у реки с использованием методов численного моделирования. Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2008 г. № 4. с. 70 -73
3. Малков А.В. Гидравлический метод оценки эксплуатационных запасов подземных вод. Разведка и охрана недр. 2009, № 11. С. 45 - 50
4. Худайкулов С.И., Долидудко А.И. Моделирование водозаборов в полуограниченном пласте в целях управления мелиоративным режимом окрестности открытого коллектора. Мелиорация и водное хозяйство. 2021. №5. С. 28 - 33

О состоянии и роли мониторинга подземных вод в городе Москве. Несынова Е.А. *
(ГПБУ «Мосэкомониторинг», lesekno9@yandex.ru)

Аннотация

Работа посвящена предпосылкам становления мониторинга за подземными водами в г. Москве и его роли в современной жизни города.

Ключевые слова

Мониторинг, подземные воды, Москва, гидрогеология, природно-технические системы (ПТС).

Теория

Мониторинг геологической среды в пределах крупных городов представляет собой процесс постоянного наблюдения за состоянием отдельных компонентов геологической среды.

Компоненты среды, они же факторы, формируют единую динамичную природно-техническую систему (ПТС), существование которой обусловлено историей геологического развития территории, проявлением действия эндогенных и экзогенных процессов в пределах этой территории, влиянием климатических условий, а также степенью вмешательства человека в сформированные природные системы.

Подземные воды являются неотъемлемым компонентом ПТС и обуславливают динамику развития экзогенных геологических процессов на территории города. В то же время, изменение режима подземных вод является индикатором состояния и развития этих процессов. Необходимость ведения мониторинга подземных вод в городе обусловлена рациональностью использования природных ресурсов в краткосрочной и долгосрочной перспективах. «Основная причина наших общих бед неумелое использование природных ресурсов, в том числе и в Московской области» (Ю.О. Зеугофер).

Подземные воды относятся к возобновляемым природным ресурсам и являются неотъемлемой частью формирования общего водного баланса города, выступая важнейшим компонентом большого круговорота воды в природе. Условия формирования зоны активного водообмена обуславливают особенности режима и качества подземных вод города.

Важнейшей задачей города, является сохранение ресурсного потенциала территории, который выражается в охране общих, в том числе подземных, водных ресурсов. Единственным добываемым полезным ископаемым в Москве в 21 веке являются – подземные воды. Осуществление мероприятий по охране подземных вод возможно только при постоянном контроле их режима и качества. Эта задача сформулировала первую предпосылку для организации мониторинга подземных вод в городе: мониторинг - как основа для системы управления водными ресурсами питьевых артезианских вод.

Вторая предпосылка связана с необходимостью контроля за развитием процессов подтопления, теплового и химического загрязнения подземных вод. Подземные воды, выступают активными участниками активизации развития опасных экзогенных геологических процессов свойственных городу, таких как карст, суффозия и оползни.

Третья предпосылка связана с оперативностью получения актуальной информации о состоянии подземных вод для целей будущего строительства и благоустройства города. То есть, является основой для прогнозирования изменений и поведения ПТС.

История развития мониторинга в Москве тесно связана с необходимостью водоснабжения города и ростом индустриализации. Крупная разведка для осуществления целей строительства и водоснабжения города (в частности канал им. Москвы и метрострой) в 30-е годы 20 века послужила началом формирования сети мониторинга подземных вод в городе: в 1933 г. организована служба инженерно-геологических и гидрогеологических наблюдений.

В период 1940-1985 гг. выявлено изменение гидродинамического режима артезианских и связанных с ними грунтовых вод (рис.1). В дальнейшем, для улучшения сложившейся обстановки нагрузка была перераспределена. [3]

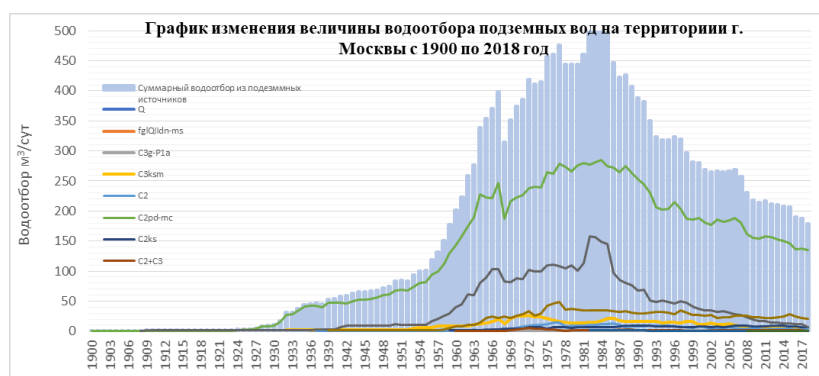


Рисунок 1. Изменение величины водоотбора на территории г. Москвы с начала 20 века [2]

В 1980-ых годах сеть мониторинга была усилена этажными наблюдательными кустами, позволяющими отслеживать изменения уровня поверхности разных горизонтов в одной точке площади. К середине 80-ых г создана уникальная автоматизированная система постояннодействующих моделей (АИСПДМ), позволяющая оценивать гидрогеологическую обстановку в пределах Московского региона. [2]. В 2005 году в соответствии с постановлением Правительства Москвы от 7 декабря 2004 г. N 868-ПП «Об организации мониторинга геоэкологических процессов в городе Москве» в городе Москве организован мониторинг, который ведётся по двум основным направлениям: наблюдения за режимом подземных вод и развитием опасных геологических процессов. С 2006 года в наблюдательную сеть включены родники и колодцы (рис.2). [1].

До 2017 года проведение наблюдений осуществлялось наемными организациями, основной из которых является АО «Геоцентр Москва», количество пунктов наблюдения за подземными водами из года в год менялось не только в связи с ухудшением технического состояния скважин, но за частую это было вызвано недостаточным финансированием.

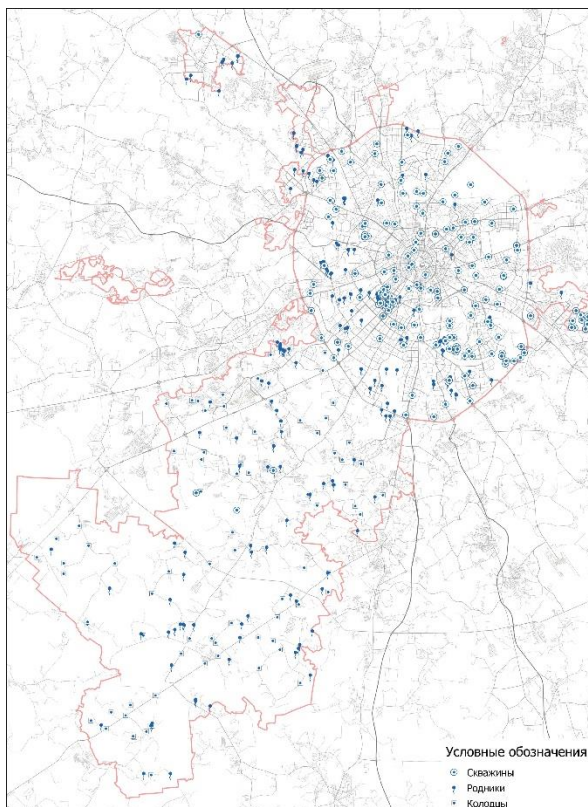


Рисунок 2. Действующая режимная наблюдательная сеть за подземными водами в г. Москва в 2021 году

С 2017 года по решению Мэра Москвы в ГПБУ «Мосэкомониторинг» создана специализированная геологическая служба, которая осуществляет наблюдение за подземными водами по 132 скважинам, 185 родникам и 74 колодцам. [1] Также ведение мониторинга за подземными водами в городе осуществляет Гидроспецгеология в рамках государственного мониторинга за состоянием недр (ГМСН). [3] Ведутся частные наблюдения, приуроченные к отдельным объектам промышленности и градостроительства, но сведения по ним остаются в ограниченном пользовании.

Мониторинг осуществляется инструментальными методами, но активно внедряются системы автоматического наблюдениями (автоматические комплексы измерения температуры и уровня воды в скважинах).

В процессе анализа данных для различных целей возникают сложности с неполноценностью представленной информации: неравномерность распространения пунктов наблюдения в пределах отдельных однородных природных участков по площади и глубине, постепенное ухудшение технического состояния действующих пунктов наблюдательной сети. Только с 1990-ых годов количество наблюдательных скважин в городе сократилось более чем на 35 %, составляя 132 пунктов наблюдения в 2022 году. [1,4]

Выводы

Ведение мониторинга подземных вод на территории города позволяет оценивать как влияние техногенной нагрузки на природную среду, так и обратный процесс влияния природной среды на существующую и строящуюся инфраструктуру.

Современная наблюдательная сеть представляет собой «островное» распространение. Новые пункты наблюдения незначительно «тормозят» деградацию режимной сети и приурочены к территориям без техногенной нагрузки (территории ООПТ).

Анализ многолетних наблюдений становится все более затруднительным, ввиду уменьшения пунктов наблюдения.

Положительными изменениями в наблюдательной сети за последние 20 лет стало присоединение к пунктам наблюдательной сети города родников и колодцев и автоматизация измерений в скважинах.

Наиболее достоверная наблюдательная сеть за подземными водами в Москве должна опираться в первую очередь на особенности природных условий (геологические, гидрогеологические, климатические) и распространение в пределах исследуемой территории экзогенных геологических процессов. Вторым критерием для выбора участков наблюдения выступает техногенная нагрузка, которая как бы накладывает ограничения на сформированные природные «ключевые участки мониторинга».

Важно провести оценку площади города, с учетом присоединенных территорий после 2012 года с целью выделения ключевых участков наблюдения. Для каждого участка установить необходимое количество пунктов наблюдения и предложить расположение новых пунктов, для модернизации действующей сети мониторинга за подземными водами в городе Москве.

Благодарности

Автор выражает благодарность своим коллегам по геологической службе ГПБУ «Мосэкомониторинг» и сотрудникам Гидрогеологического факультета МГРИ, которые оказывали поддержку и помощь при подготовке настоящих материалов.

Библиография

1. Ф.Б. Егоров и др. «Информационный отчет по выполнению государственного задания ГПБУ «Мосэкомониторинг» на 2021 год и плановый период 2022 и 2023 годов», Москва, 2022.
2. Зеегофер Ю. О., Клюквин А.Н., Пашковский И.С., Рошаль А.А. «Постоянно действующие модели гидrolитосферы территорий городских агломераций», «НАУКА», Москва, 1991.
3. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2021 году, Москва, 2022.
4. В.И. Осипова, О.П. Медведева, «Москва Геология и город.»; Московские учебники и картолитология, Москва, 1997

**Оценка возможности использования подземных вод для водоснабжения Сергиево-Посадского учебно-научного производственного полигона МГРИ. Овсянникова И.В.*
(МГРИ, ovsyannikovaiv@mgri.ru), Белов К.В. (МГРИ, belovkv@mgri.ru)**

Аннотация

Целью исследований является обоснование возможности использования водоносных горизонтов, развитых в пределах полигона для водоснабжения. Исходя из заявленной потребности и приемлемых глубинах залегания выбраны два целевых водоносных горизонта, проведены гидрогеологические и технико-экономические расчёты, оценена стоимость сооружения водозаборных скважин, предложены варианты водоподготовки.

Ключевые слова

Водоснабжение, подземные воды, гидродинамические расчёты, химический состав подземных вод, водоотбор.

Теория

Целью настоящей работы является оценка перспектив использования подземных вод для технического и питьевого водоснабжения Сергиево-Посадского учебно-научного производственного полигона МГРИ в связи с планами по его реконструкции. Оцененная потребность в воде составляет около 150,0 м³/сут при круглосуточной и круглогодичной эксплуатации водозабора.

За длительный период (первые учебные практики проведены более 70 лет назад) пройдено множество скважин, практически все из них затампонированы. Несколько скважин - учебные (для проведения учебной гидрогеологической практики), часть - водозаборные. Рабочие части их оборудованы на пески мелового и известняки каменноугольного возрастов. Скважины эксплуатируются, в основном, только в летний период, в остальное время водоотбор не производится. Максимальные дебиты скважин составляют около 1 л/с. В водопроводной сети встроены реле давления, которые при достижении заданной величины, отключают насосы. Для питьевых целей используется привозная бутилированная вода.

Полигон находится на территории Сельского поселения Лозовское Сергиево-Посадского Муниципального района Московской области. В геоморфологическом отношении территория работ расположена в центре Клинско-Дмитровской гряды, представляющую собой сильно расчлененную моренную холмисто-грядовую возвышенность с абсолютными отметками поверхности от 150-160 м в долинах рек и до 240-285 м на водоразделах. Геологическое строение на территории полигона достаточно классическое для центральных районов Московской области. С поверхности развиты четвертичные образования, представленные моренными суглинками различных эпох оледенения, мощностью до 15,0 м. Глубже залегают отложения мелового возраста, представленные опоками, глауконитовыми песками различной глинистости. Мощность пород мелового возраста достигает 50,0 м. Мезозойские породы подстилаются региональным водоупором - глинами юрского возраста, мощностью около 30 м, которые в свою очередь, залегают на карбонатных отложениях каменноугольной системы [3].

В гидрогеологическом отношении рассматриваемая территория расположена на южном крыле Московского артезианского бассейна. Среди основных водоносных горизонтов, пригодных для организации на их основе водоснабжения населенных пунктов, возможно выделить: нижнее-среднечетвертичный водноледниковый (межморенный) горизонт, альб-сеноманский терригенный горизонт, павлово-посадско-ассельский карбонатный горизонт. В глубже залегающих гидрогеологических подразделениях развиты солоноватые воды и рассолы, непригодные для технического и питьевого водоснабжения без дорогостоящей водоподготовки.

Минерализация воды в альб-сеноманском терригенном горизонте изменяется от 0,20 до 0,48 г/л. Химический состав воды гидрокарбонатный магниевый-кальциевый. Результатов химических испытаний нет, но ожидаются превышения по жесткости и железу. Необходимо предусмотреть соответствующую водоподготовку.

В связи с планируемым увеличением водоотбора и невозможностью наращивания его из существующих скважин (из-за неудовлетворительного технического состояния и технических особенностей) предложены варианты его увеличения за счёт бурения новых скважин, либо на неглубоко залегающий альб-сеноманский, либо на глубокозалегающий павлово-посадско-ассельский горизонты.

Павлово-посадско-ассельский карбонатный горизонт сложен известняками и доломитами с прослоями глин, песков и песчаников павлово-посадской свиты. Мощность отложений достигает 90 м. В кровле залегают юрский водоупорный горизонт. Величина водопроводимости изменяется в пределах 200-500 м²/сут, удельные дебиты скважин достигают 46 л/с. Горизонт активно эксплуатируется для водоснабжения городов Александров, Карабаново, Краснозаводск, Струнино.

Воды пресные, минерализация подземных вод изменяется от 347 - 456 мг/л. Химический состав вод гидрокарбонатный кальциевый. Воды характеризуются, как жесткие (среднее значение общей жесткости 7,2 мг-экв/л). Также зафиксированы превышения ПДК по величине: железа от 0,11 до 2,37 мг/л (ПДК 0,3 мг/л), мутности 0,6 – 22,7 мг/л (при ПДК 1,5 мг/л). В связи с неудовлетворительным качеством подземных вод необходимо предусмотреть соответствующую водоподготовку [4].

1. Водозахватная способность водозаборной скважины на альб-сеноманский терригенный горизонт рассчитывается как произведение допустимой входной скорости воды в фильтр, равной 84,5 м/сут, и площади рабочей части фильтра, равной 0,81 м². При известных значениях: коэффициента фильтрации ($k = 2,2$ м/сут), радиуса скважины ($r_0 = 0,1$ м), и длины рабочей части фильтра, равной мощности обводненной части водоносного горизонта ($l_0 = 13$ м).

$$Q_v = 84,5 \cdot 0,81 = 68,4 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Общее количество водозаборных скважин для обеспечения суммарной потребности в воде составит 3 шт.

2. Прогноз понижения уровней в эксплуатируемом водоносном горизонте под влиянием проектного водоотбора выполняется аналитическим методом по формуле Тейса и способа суперпозиции [2].

Прогнозное понижение уровня подземных вод альб-сеноманского терригенного горизонта от современного уровня вычисляется по формуле:

$$S_{\text{расч}} = S_{\text{скв}} + S_{\text{вл}},$$

где $S_{\text{расч}}$ – прогнозное понижение уровня, м;

$S_{\text{скв}}$ – понижение от работы самой скважины, м;

$S_{\text{вл}}$ – понижение уровня за счет влияния других скважин, попадающих в зону влияния, м.

Принимаются следующие значения: дебит каждой скважины – 50 м³/сут, водопроницаемость – 28,6 м²/сут, коэффициент пьезопроводности – 454,5 м²/сут, радиус водоприемной части скважины – 0,1 м, расстояние между скважинами – 50 м, расчетное время работы водозабора (25 лет) - 9125 сут.

Понижение уровня воды в одиночной скважине, работающей с постоянным расходом, составит 2,87 м. При наличии взаимодействующих скважин и учетом их влияния, понижение в остальных двух скважинах составит 1,15 м соответственно. Суммарное понижение от трех скважин - 5,17 м.

Величина понижения уровня в расчетной скважине не превысит предельно допустимого $S_{\text{доп}}$.

В связи с тем, что скважина не удовлетворяет заявленному водоотбору, предложено пробурить скважину на эксплуатацию павлово-посадско-ассельского карбонатного горизонта. По имеющимся данным был произведен аналогичный расчет по павлово-посадско-ассельскому карбонатному горизонту.

3. Водозахватная способность водозаборной скважины составит 160,6 м³/сут при допустимой входной скорости воды в фильтр, равной 102,3 м/сут, и площади рабочей части фильтра, равной 1,57 м². При расчетах использовались следующие значения: коэффициент фильтрации ($k = 3,9$ м/сут), радиус скважины ($r_0 = 0,1$ м), длина рабочей части фильтра ($l_0 = 25$ м).

Общее количество водозаборных скважин для обеспечения суммарной потребности в воде составит 1 шт.

4. Расчетное понижение уровня подземных вод павлово-посадско-ассельского карбонатного горизонта рассчитано аналитическим методом по формуле Тейса и составляет 3,2 м. Водопроницаемость – 97,5 м²/сут, коэффициент пьезопроводности – 10⁵ м²/сут, радиус водоприемной части скважины – 0,1 м, расчетное время работы водозабора (25 лет) - 9125 сут [1].

Величина понижения уровня в расчетной скважине не превысит предельно допустимого $S_{\text{доп}}$.

5. Предложена следующая конструкция скважины, оборудованная на альб-сеноманский терригенный горизонт: кондуктор диаметром 325 мм, в интервале 0,0-15,0 м; обсадная колонна диаметром 219 мм, в интервале 14,0-47,0 м; 168 мм, в интервале 46,0-65,0 м, рабочая часть фильтра в интервале 46,0-60,0 м, под фильтром отстойник – 5 м. Фильтр щелевого типа. Глубина скважины – 65 м.

Стоимость сооружения, исходя из сегодняшних цен на бурение, составит 5 тыс. руб за метр, итого 975 тыс. руб.

Конструкция скважины, оборудованная на павлово-посадско-ассельский карбонатный горизонт следующая: кондуктор диаметром 325 мм, в интервале 0,0-15,0 м; обсадная колонна диаметром 219 мм, в интервале 14,0-92,0 м; 168 мм, в интервале 91,0-122,0 м, рабочая часть фильтра в интервале 92,0-117,0 м, под фильтром отстойник – 5 м. Фильтр щелевого типа. Глубина скважины – 122 м.

Стоимость сооружения составит 610 тыс.руб.

6. Качество подземных вод альб-сеноманского и павлово-посадско-ассельского горизонтов не соответствует требованиям СанПиН.

В связи с тем, что перечень параметров примерно одинаковый, требуется примерно одинаковая система водоподготовки, в состав которой входит: обезжелезивание и умягчение, стоимостью около 400 тыс. руб.

Выводы

Сравнив два водоносных горизонта, развитых в пределах полигона, для технического и питьевого водоснабжения Сергиево-Посадского учебно-научного производственного полигона МГРИ предложено использовать в качестве целевого водоносного горизонта павлово-посадско-ассельский карбонатный горизонт.

Библиография

1. Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. Москва, Недра, 1973.
2. Бочевер Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В., Шестаков В.М. Основы гидрогеологических расчетов. Москва, недра, 1969.
3. Государственная геологическая карта с объяснительной запиской. Друцкой С.В. и др. Масштаб 1:200 000, лист О-37-XXXIII, 1997.
4. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Секция №13. Инженерная геология.

*Сверхнормативные деформации зданий и сооружений. Методы и технологии защиты объектов. Белоусов А.М. *(РУТ(МИИТ), andrey.belousov.64@mail.ru), Серебряков Я.Э. *(РУТ(МИИТ), serebyasha@mail.ru), Кунеевский А.А. *(a.kuneevskiy@ikon-pt.ru), Телятникова Н.А. *(РУТ(МИИТ), sharklike@mail.ru)*

Аннотации

В статье рассматривается проблема сверхнормативных деформаций, возникающих при строительстве новых объектов в плотной городской застройке, и методы защиты близлежащих зданий и сооружений от негативного воздействия этих деформаций. Описываются процессы, которые происходят при возведении новых сооружений, и анализируются факторы, которые могут привести к усилению нагрузки на основание и остекление соседних построек, что может вызвать их деформацию или разрушение; изучаются различные методы защиты зданий и сооружений от сверхнормативных деформаций, такие как компенсационное нагнетание, подъем грунта, упрочнение основания и другие; описывается опыт применения этих методов на практике; обосновывается важность проведения детальных расчетов и анализов перед постройкой новых зданий, чтобы избежать подобных проблем, также подчеркивается в статье.

Ключевые слова

Сверхнормативные деформации, защитные мероприятия, компенсационное нагнетание, подъем грунта, упрочнение основания, уменьшение деформаций, городская застройка, новые объекты, процессы деформации, анализы и расчеты.

Введение

При возведении сооружений на площадках с плотной городской застройкой нередко недостаточно учитывается влияние нового здания на окружающие его строения. Это может вызвать усиление нагрузок на основание и остекление соседних построек, что приводит к их деформации или разрушению. Важно проводить детальные расчеты и анализы перед постройкой новых зданий, чтобы избежать подобных проблем. Одним из самых востребованных защитных мероприятий на сегодняшний день является устройство геотехнического барьера в вертикальной или наклонной плоскости путем компенсационного нагнетания. Этот метод эффективно защищает существующие здания от котлованов и проходок тоннелей. Статья содержит ключевые слова: компенсационное нагнетание, подъем грунта, осадка, защитные мероприятия, упрочнение основания, уменьшение деформаций [1].

Применение компенсационного нагнетания

Метод компенсационного нагнетания заключается в использовании специальных строительных растворов, которые внедряются в грунтовый массив основания и создает дополнительный объем, компенсирующий просадки фундамента. Кроме того, при этом обеспечивается прекращение развития осадок, а также последующий подъем поверхности земли вместе с фундаментом сооружения [2].

Принципиальная схема технологии компенсационного нагнетания изображена на рисунке 1.

Процесс компенсационного нагнетания подразделяется на четыре этапа:

1) подготовительный Устройство системы мониторинга за осадками здания и напряжением в грунте под ним; мобилизация рабочих сил на объект для производства работ с размещением бурового, гидравлического и смесительного оборудования; организация Центра Управления Подъёмом (ЦУП), который будет собирать информацию о прохождении процесса установки грунта или плано-высотного

положения здания станции. На этом этапе происходит пробное бурение и пробные уколы, корректировка рабочих составов. По истечении определенного времени через заранее установленные манжетные инжекторы, которые могут располагаться в скважинах: горизонтально или вертикально. В грунт под сооружением *нагнетается специальный раствор*. Цель нагнетания - максимальное заполнение раствором пор и увеличение плотности грунта [3].

2) предварительный На этом этапе в определенные расчетом зоны через манжеты инжекторов нагнетается с заданными объемом и давлением жидкость с твердыми частицами, состав которой определяется условиями нагнетания. Суспензия передает по пропитанному слою распределенное по всей площади сооружения давление, создавая «эффект» домкрата, который обеспечивает первичные деформации подъема в грунте. В результате данного подъема грунт в основании сооружения уплотняется и создается однородное напряженное состояние, позволяющее компенсировать осадки грунта в различных точках под сооружением индивидуально по мере необходимости.

3) рабочий Началом этого этапа является начало возведения подземного объекта, в данном случае это строительство тоннеля. При этом проводится локальное компенсационное нагнетание, при котором через каждый инжектор подается свой заранее рассчитанный объем суспензии. Это обеспечивает управление подъемом сооружения для компенсации нерегламентированных осадок.

4) стабилизация сооружения На этом этапе продолжают нагнетать суспензии после завершения строительства подземного объекта (завершения проходки тоннеля под сооружением). Его продолжительность зависит от длительности стабилизации осадок в основании сооружения. После завершения работ, связанных с нагнетанием раствора, скважины ликвидируются при помощи тампонирования их раствором для обеспечения однородности и сплошной структуры грунтового массива в основании конструкции.

Для контроля процесса компенсационного нагнетания устанавливается связь между насосным оборудованием, которое используется для подачи раствора в резервуары с водой и контрольно-измерительной аппаратурой. Она отображает положение конструкции сооружения, под которым производится нагнетание [4]. Главный показатель компенсации нагнетания при выравнивании сооружений - это подъем дневной поверхности основания. Для оценки выполненных инъекционных работ используют понятие коэффициента эффективности компенсационного нагнетания, определяемого по формуле (1).

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{подъема}}}{V_{\text{нагнетания}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Где: $V_{\text{подъема}}$ - объем подъема дневной поверхности основания, $V_{\text{нагнетания}}$ - объем нагнетания раствора, (м^3).

Технико-экономические расчеты по сравнению компенсационного нагнетания с другими специальными методами укрепления и стабилизации грунтового массива показали, что компенсационное нагнетание требует меньших затрат по сравнению с химическим закреплением — на 25—30%, по сравнению с замораживанием — на 35—40%, по сравнению с цементацией — на 30—35% [4]. Виды компенсационного нагнетания указаны на рисунке 2. Эффективное нагнетание - это инъекции растворов, обладающих низкой вязкостью, при достаточно высоких давлениях для подкачки до 18 МПа. Напорное давление позволяет раскрыться трещинам с образованием поверхностей кливажа, которые способствуют дальнейшему проникновению раствора в грунт. При использовании данной технологической схемы возможно выполнение инъекций в

несколько стадий с соблюдением интервалов времени между ними, достаточных для схватывания раствора, введенного на предыдущей стадии [5].

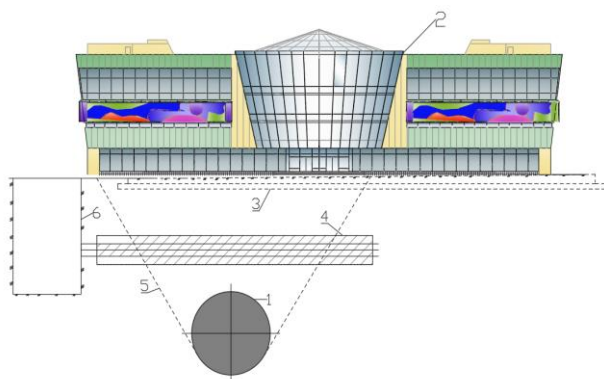


Рисунок 1. Принципиальная схема технологии компенсационного нагнетания: 1 — тоннель; 2 — защищаемое здание; 3 — фундамент здания; 4 — зона компенсационного нагнетания; 5 — предполагаемая плоскость скольжения; б — вспомогательная выработка.

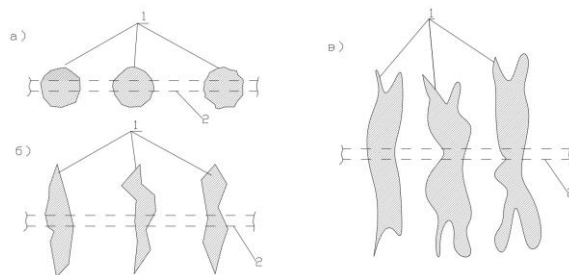


Рисунок 2. Виды компенсационного нагнетания: а — уплотняющее; б — фильтрационное; в — кливажное; 1 — зона компенсационного нагнетания; 2 — иньектор

Метод компенсационного нагнетания был применен при защите десятиэтажного здания, расположенного в центре города Тайбэй (Тайвань). Этот метод был применен для уменьшения возникших деформаций и восстановления первоначального положения здания. До начала проведения строительных работ был ликвидирован образовавшийся в результате выхода из строя трубопровода провал грунта путем укладки в него 200 м³ песка и гравия. Нагнетание начиналось на глубине 14,5 м и продолжалось в направлении к поверхности земли до глубины 9 м с шагом в плане 0,5 м. В процессе инъекций давление нагнетания составляло от 0,3 до 2,2 МПа. На 11-й день проведения работ по компенсационному нагнетанию было достигнуто поднятие южного угла здания на 127 мм, уменьшение крена с 1/110 до 1/285 вдоль восточно-западного направления здания [6]. Еще одним примером применения метода компенсационного нагнетания при строительстве является Лефортовский тоннель в Москве. При строительстве этого тоннеля были использованы сваи большого диаметра, которые проникали в глубокие слои грунта. Для защиты соседних зданий от деформаций была использована технология компенсационного нагнетания грунта. С помощью гидравлических насосов в грунт нагнетался специальный состав, состоящий из цемента, песка и воды. Этот состав образовал цементную грунтовую плиту, которая защищала здания от осадки и деформаций, вызванных строительством тоннеля.

Заключение

Метод компенсационного нагнетания и метод разделительных экранов являются двумя разными подходами к защите окружающих зданий от сверхнормативных деформаций при строительстве.

Метод разделительных экранов заключается в установке специальных экранов между строящимся объектом и соседними зданиями, чтобы предотвратить передачу нагрузок и деформаций на соседние объекты. Однако, при использовании этого метода

возможны проблемы с герметичностью экранов, которые могут привести к просачиванию воды, а также к сложностям в работе при наличии подземных коммуникаций, трубопроводов и других объектов.

Метод компенсационного нагнетания, обеспечивает более надежную защиту, поскольку не требуется установка дополнительных элементов, и он может быть эффективен даже при наличии подземных коммуникаций. Кроме того, использование компенсационного нагнетания позволяет снизить воздействие строительных работ на окружающую среду, поскольку не требуется использование большого количества дополнительных материалов и устройств. Метод *компенсационного нагнетания* в сравнении с методом разделительных экранов, *более эффективен*, благодаря использованию современных вычислительных технологий, что позволяет обеспечить *надежность строительства* на более высоком уровне. Дальнейшее развитие и улучшение метода *компенсационного нагнетания* мы видим в *возможности прогнозировать и контролировать процесс распространения* строительного раствора в грунте. Становится очевидным, что безопасная технология компенсационного нагнетания для достижения заранее установленной цели, требует автоматизированного мониторинга состояния нагнетания и прогнозирования процессов, происходящих в грунте.

Список литературы и источников:

1. Зерцалов М.Г., Симутин А.Н., Александров А.В. Технология компенсационного нагнетания для защиты зданий и сооружений, Статья, (ВЕСТНИК МГСУ), 2015 - №6, М., 2015 г., С. 32-37 - [<https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-kompensatsionnogo-nagnetaniya-dlya-zaschity-zdaniy-i-sooruzheniy/viewer>]
2. Чубатов И. В., Численное моделирование напряженно-деформированного состояния основания гидротехнических сооружений при компенсационном нагнетании, Дисс. к.т.н., М., 2021 г., С. 11-14 [https://mgsu.ru/science/Dissoveti/Zashita_dissert/chubатов_ivan_valeryevich/Dissertaciya_Chubatov.pdf]
3. Харченко А.И., Кунеевский А.А., Пискунов А.А., Харченко И.Я., Пестрякова Е.А., Мазур Е.В., Телятникова Н.А., Немцова С.А., Защита зданий и тоннельных сооружений от сверхнормативных осадочных деформаций в зоне влияния строительства котлованов, Статья, Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 9, №4, М., 2022 С. 12-14 – [<https://t-s.today/PDF/01SATS422.pdf>]
4. Маковский Л.В., Строительство городских автотранспортных тоннелей в сложных условиях, Статьи для высших учебных заведений – [https://bstudy.net/775560/tehnika/kompensatsionnoe_nagnetanie]
5. Применение компенсационного нагнетания стабилизирующих составов, Архив студенческих работ – [https://vuzlit.com/1086261/primenenie_kompensatsionnogo_nagnetaniya_stabiliziruyuschih_sostavov]
6. Харченко А.И., Харченко И.Я., Панченко А.И., Газданов Д.В., Технология выравнивания здания загорской ГАЭС-2 методом компенсационного нагнетания, Статья, (ВЕСТНИК МГСУ), Том 13, №4, М., 2018 С. 490-495 – [<https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-vyravnivaniya-zdaniya-zagorskoy-gaes-2-metodom-kompensatsionnogo-nagnetaniya/viewer>]

Выделение шлиров льда в массиве мерзлых грунтов методом статического зондирования. Блажко А.В.* (ООО "ГЕОИНЖСЕРВИС", bav@fugro.ru), Волков Н.Г (ООО "ГЕОИНЖСЕРВИС", ngv@fugro.ru)

Аннотация

Выявление льдистых толщ грунтов, определение их границ и льдистости за счет видимых включений льда являются одними из ключевых задач при проведении инженерно-геологических и геотехнических изысканиях в областях распространения ММГ. Надежность и точность данной информации исключительно важна при проектировании. Однако, в практике инженерных изысканий, решение этих задач достаточно часто остается условным, оставляющим множество белых пятен. Результаты решения данных задач часто имеют низкую дискретность. Статическое зондирование мерзлых грунтов позволяет непрерывно, с высокой точностью исследовать грунтовый массив по глубине.

Опыт и материалы, накопленные авторами в ходе выполнения изысканий связанных с зондированием мерзлых грунтов, в прошлом позволили подтвердить открытые ранее тепловые эффекты и дать количественное описание тепловому эффекту «охлаждения зонда». В данной работе представлены результаты дальнейшего анализа данного эффекта. В ней подробно описываются механизмы и причины возникновения охлаждения зонда, дается качественное описание эффекту и уточняется его взаимосвязь со льдистостью. На основе проведенного анализа и сопоставлении результатов полученных посредством статического зондирования и иных методов получения геологической информации, высказывается предположение о возможности интерпретации проявления эффекта охлаждения зонда как льдистости за счет видимых ледяных включений.

Ключевые слова

Статическое зондирование; мерзлый грунт; тепловые эффекты; льдистость мерзлого грунта; льдистость за счет видимых ледяных включений.

Теория

Описанные в работе исследования проводились на оборудовании для проведения статического зондирования, которое обеспечивало проведение испытания по следующей схеме [3, 4].

Внедрение зонда в грунтовый массив происходило со скоростью 2 см/с. В процессе внедрения зонд регистрировал и записывал с частотой до 4 Гц показания следующих датчиков:

- Лобовое сопротивление (q_c , МПа);
- Боковое трение (f_s , МПа);
- Поровое давление (u_2 , МПа);
- Температура конуса зонда при погружении зонда с постоянной скоростью (T_{cv} , °С).

Зондирование включало остановки для выполнения испытаний на диссипацию температуры и термометрические определения [4], результатами которых стали:

- Температура конуса зонда в момент времени t_s (T_{cs} , °C) (Рисунок 1, 2)
- Температура грунта (T_n , °C) (Рисунок 1, 2);
- Разница между температурой зонда в ходе пенетрации и температурой грунта, (ΔT , °C) (Рисунок 1, 2);
- и др.

Ранее при проведении статического зондирования были выявлены тепловые эффекты нагрева и охлаждения зонда [1].

Причиной нагрева является накопление зондом тепла, выделяющегося в результате трения [2] (Рисунок 1).

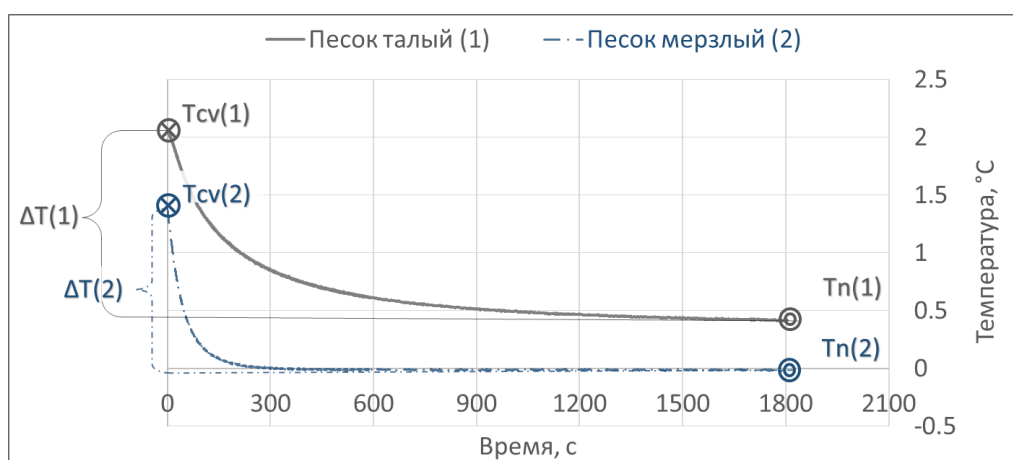


Рисунок 2. График диссипации температуры (выстаивания зонда) после нагрева в талом (1) и мерзлом (2) песке.

Причиной охлаждения, по мнению авторов, является потеря зондом тепла, в результате таяния льда. Таяние льда в свою очередь обусловлено понижением температуры фазового перехода при высоком давлении, оказываемом зондом [1] (Рисунок 2).

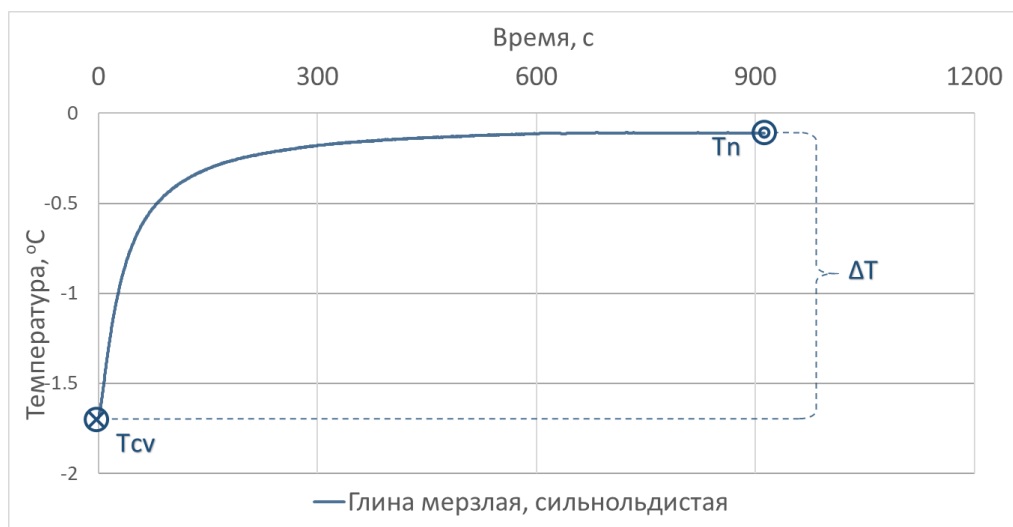


Рисунок 3. График диссипации температуры (выстаивания зонда) после охлаждения в мерзлой, сильнольдистой глине.

По опыту авторов данный эффект проявляется при достижении определенного порога льдистости мерзлых грунтов, а именно при образовании в грунтах достаточно крупных шлиров льда.

Выделение шлиров льда в массиве мерзлых грунтов методом статического зондирования и, как следствие, оценку льдистости за счет видимых включений льда предлагается проводить следующим образом.

Имея в результате проведения статического зондирования график (Рисунок 3) со значениями температуры зонда в ходе пенетрации и температуры грунта по глубине, определяются участки где выполняются следующие условия:

1. Температура зонда равна или ниже температуры грунта
2. Температура зонда продолжает понижаться.

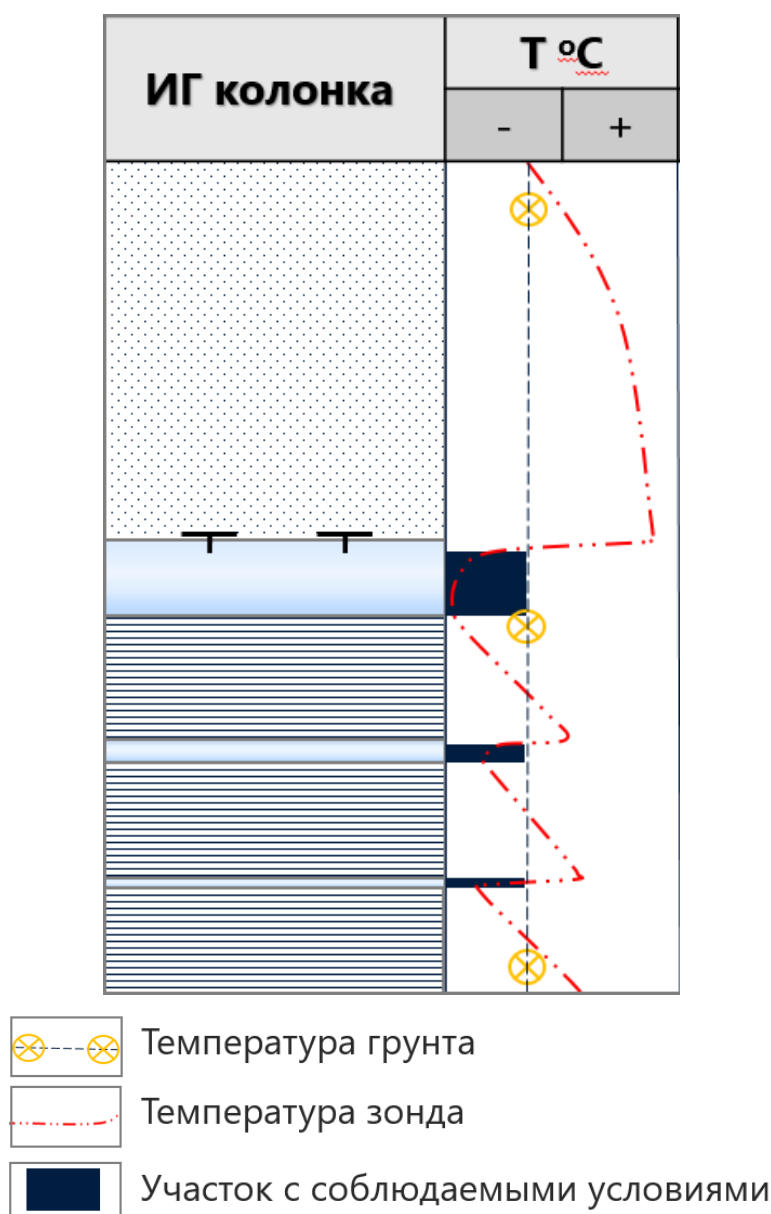


Рисунок 4. Визуализация способа выделения шлиров льда в массиве мерзлых грунтов методом статического зондирования.

Иными словами, итогом обработки данных статического зондирования является график, на котором по глубине, выделяются участки на которых фиксировался процесс охлаждения зонда ниже температуры грунта. Построив отношение общей продолжительности данного эффекта к заданному участку графика получается оценить льдистость за счет видимых включений льда для любого диапазона глубин

Выводы

Предложено анализировать тепловые эффекты, степень их проявления и процесс диссипации температуры.

Предложен способ определения льдистости мерзлых глинистых грунтов путем суммирования отдельных участков проявления эффекта охлаждения зонда.

Библиография

1. Блажко, А.В., Волков Н.Г., 2022 Тепловые эффекты, возникающие в грунтах при статическом зондировании / А.В. Блажко, Н.Г. Волков // Материалы конференции полевые и лабораторные методы исследования грунтов – проблемы и решения – 20 мая 2022 – С. 52–57
2. Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов. М.: АСВ, 2010. 496с.
3. ГОСТ 19912-2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием.
4. ГОСТ 58888-2020 Грунты. Метод полевых испытаний температурно-каротажным статическим зондированием

К вопросу о несущей способности валунных фундаментов памятников русской архитектуры на примере ц. Петра и Павла в дер. Переслегино Тверской области. Буфеев. Ф.К. (ИГЭ РАН, fbufeev@mail.ru), Гудошников.К.О. (МГРИ, gudoshnikov-k@mail.ru.)

Аннотация

Рассмотрены особенности поведения бутовой валунной кладки объектов культурного наследия при снятии культурного слоя и при воздействии морозного пучения. Приведены результаты обследования фундаментов и грунтов основания церкви Петра и Павла в деревне Переслегино Сукромленского сельского поселения Торжокского района Тверской области.

Ключевые слова: объект культурного наследия, памятник архитектуры, церковь Петра и Павла, Переслегино, инженерная геология, бутовый фундамент, морозное пучение.

Теория

При реставрации объектов культурного наследия конечной целью является воссоздание исторического облика сооружений. В связи с этим нередко основное внимание уделяется надземной части сооружений, но именно недоступная глазу подземная часть исторических природно-технических систем – фундаменты и грунты основания определяет состояние всего объекта в целом.

Одним из наиболее распространённых в северных регионах европейской части нашей страны типов фундамента является ленточный, выполненный из бутовой кладки валунов магматических и метаморфических пород. Это обусловлено особенностями истории геологического развития и строения – на большей части территории грунты, залегающие у поверхности земли, имеют ледниковое и водно-ледниковое происхождение. Для грунтов такого генезиса характерно большое количество включений валунов и гальки экзарированных ледником пород балтийского щита. И главной весенней проблемой землешапцев во все века было неожиданное появление на поверхности земли валунов вследствие выпучивания каменного материала в зимнее время. Эти валуны с большим трудом собирались в понижениях рельефа и впоследствии использовались в качестве основного строительного материала для фундаментов крупных сооружений [1].

Фундаменты, выполненные из валунной кладки, не имеют пространственной жёсткости, но при этом обладают высокой несущей способностью в силу значительной прочности самих валунов. Однако, они достаточно сильно подвержены процессам морозного пучения, развивающегося во вмещающих фундамент моренных и флювиогляциальных пылевато-глинистых грунтах. При этом основную роль играют касательные напряжения, формирующиеся на контакте валунов и дисперсных грунтов. Вследствие этого нередко развиваются деформации, связанные с перемещением валунов. Также важную роль играет взаимоотношение ширины фундаментного рва и самого фундамента выполнялась ли засыпка пазух грунтом, либо кладка выполнялась «враспор» с нетронутым грунтом. Самые серьёзные деформации исторических сооружениях, возведённых на бутовых фундаментах, связаны с понижением уровня дневной поверхности ниже обреза валунной кладки, поскольку в таком случае искусственным образом ликвидируется возможность компенсации распорных усилий. Одним из ярких примеров, иллюстрирующих предыдущий тезис церковь Петра и Павла, расположенная в деревне Переслегино Сукромленского сельского поселения Торжокского района Тверской области – объект культурного наследия регионального значения.

У храма неизвестна точная дата постройки разные исследователи приводят доказательства о том, что строительство было в период с 1780 до 1820 годов. Заказчиками являлась семья Полторацких, члены которой похоронены за алтарём. Архитектором вероятнее всего является Николай Львов, который построил несколько очень похожих церквей в Торжокском районе. Храм Петра и Павла был построен как летний, в нём прослеживаются черты и Пантеона, и Парфенона.



*Рисунок 9. Церковь Петра и Павла в Переслегино, Тверская область, арх. Н.А. Львов.
(фото с сайта <https://yablor.ru/blogs/cerkov-petra-i-pavla-v-pereslegino-/6121331>)*

По словам местных жителей, в 2018 году неизвестными вандалами была механизированным способом произведена выемка техногенных грунтов по периметру храма мощностью до 1 м. В результате обнажилась верхняя часть валунных фундаментов. были извлечены техногенные накопления по периметру всего сооружения (от 0,5м до 1м), что привело к обнажению 2-4-х верхних рядов кладки фундамента.

Летом 2022 по заказу фонда «Белый Ирис» ООО «РСК Лазурит» был привлечён студенческий отряд кафедры инженерной геологии МГРИ для выполнения работ по обследованию фундаментов и грунтов основания храма [2].

Целью работ являлась оценка параметров и современного состояния фундаментов, определение физико-механических свойств грунтов основания и разработка рекомендаций по результатам обследования.

В процессе работ была выполнена проходка 7 инженерно-геологических шурфов и 5 разведочных скважин, отбор проб грунтов основания и материалов кладки фундамента, полевые исследования свойств грунтов, а также плановая и высотная

привязка выработок. Затем были выполнены лабораторные исследования физико-механических свойств грунтов.

Результаты обследования показали, что фундаменты ленточные, представлены следующими разновидностями кладки:

- 1) Рядной кладкой из пиленых блоков известняка на известково-песчаном растворе (цоколь);
- 2) Голландской рядной кладкой из керамического полнотелого кирпича пластического формования, на известково-песчаном растворе;
- 3) Бутовой кладкой из валунов магматических и метаморфических горных пород, пролитых известково-песчаным раствором с дресвой и щебнем кирпича.

Глубина заложения фундаментов от уровня поверхности земли по данным проходки шурфов и бурения скважин изменяется в пределах 0,60-1,65 м.



Рисунок 2. Вид на южную сторону храма.

На рис.2 приведена фотография, на которой отчётливо видна степень деструкции кирпичной кладки стен в результате действия процесса морозобойного выветривания. Кроме того, видна обнажённая кладка фундамента трапезной части и юго-западного угла четверика.

Определение расчетного сопротивления сжатию кладок фундаментов выполнено согласно СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции» [3]. Для этого в ходе полевых работ из кладок отбирались образцы материала фундаментов. Определение прочности материалов кладки фундаментов производилось в соответствии с ГОСТ 8.136-74 «Государственная система обеспечения единства измерений. Прессы гидравлические для испытаний строительных материалов. Методы и средства поверки» [4], ГОСТ Р 8.663-2009 на прессе. По результатам лабораторных определений прочности кирпича его марка – М125, плотность 1,95 г/см³, марка раствора в кирпичной кладке – М25, плотность 1,58 г/см³, марка известняка – М150, плотность 2,04 г/см³, марка раствора в кладке известняка М10, плотность 1,40 г/см³, марка бутового камня – М800, плотность 2,04 г/см³.

Согласно СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции» расчетные сопротивления сжатию кладок фундаментов составляют:

- рядной кладки пиленых блоков известняка на известково-песчаном растворе - 2,02 МПа;

- рядной кладки из керамического полнотелого кирпича на известково-песчаном растворе - 1,61 МПа;
- бутовой кладки из валунов магматических и метаморфических горных пород, пролитых известково-песчаным раствором с дресвой и щебнем кирпича от 0,48 МПа.

Сравнение нагрузок от здания на глубине заложения подошвы фундаментов со значениями расчётного сопротивления грунтов основания, представленных московской мореной, позволяет сделать вывод о том, что грунты основания обладают достаточной несущей способностью.

Несмотря на достаточно высокие значения расчётного сопротивления сжатию кладки снятие грунта в 2018 году привело к развитию очень серьёзных деформаций несущих конструкций стен, в результате чего произошло обрушение нескольких перекрытий. Свой существенный вклад в развитие деформаций внесло нарушение вертикальной планировки территории, вследствие чего атмосферные воды инфильтруются в кладку стены и переувлажняют грунты основания. В результате произошла активизация процесса морозного пучения.

Выводы

В сложившейся ситуации необходимо выполнение комплекса мероприятий, направленных на оптимизацию условий функционирования памятника:

1. Разработать проект вертикальной планировки территории с учётом восстановления уровня дневной поверхности.
2. В рамках проекта вертикальной планировки предусмотреть устройство утеплённой отмостки.
3. Выполнить цементацию фундаментов и контакта фундамент-грунт по специально разработанному проекту. Производство данных работ возможно только после выполнения противоаварийных работ по надземным конструкциям.
4. Выполнить утепление полов внутри храма.

Также необходимо создание наблюдательной сети и проведение геодезического мониторинга деформаций конструкций в период, предшествующий ремонтно-реставрационным работам по усилению фундаментов и грунтов основания, в течение всего периода выполнения этих работ, и, как минимум, в течение одного года после завершения ремонтно-реставрационных работ.

Библиография

1. Буфеев Ф.К., Демкин И.А., Кувшинников В.М., Яныкин А.В. Стабилизация деформаций объектов культурного наследия, имеющих малую глубину заложения фундаментов. Сборник тезисов 7-го Международного научно-практического Симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси». сс. 26-28, 2018.
2. F.K. Bufeev, I.A. Demkin, M.A. Naumov, D.D. Shubina. The Chemical and Mineralogical Changes of Soils Composition in the Destroyed Pile Foundations of Russian Architecture Monuments (The example of the Church of St. John the Evangelist). IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 666 042094. 2021
3. СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции».
4. ГОСТ 8.136-74 «Государственная система обеспечения единства измерений. Прессы гидравлические для испытаний строительных материалов. Методы и средства поверки»

*Оценка изменения сопротивления грунта срезу по поверхности смерзания с материалом фундамента при повторном промораживании. Володин А.В. * (Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ), andreymnenravitsa@gmail.com), Гречищева Э.С. (Заведующий сектором лабораторных исследований мерзлых грунтов НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, sruoerika@mail.ru), Алексеев А.Г. (руководитель центра геокриологических и геотехнических исследований ЦГГИ НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, adr-alekseev@yandex.ru)*

Аннотация

В результате эксплуатации сооружения образовались талики, грунты необходимо вернуть в прежнее мерзлое состояние, но что произойдет с прочностной характеристикой сопротивления грунта срезу по поверхности смерзания, может ли быть такое, что изначально определенное значение изменится и если да, то на сколько? Задавшись этим вопросом, провели исследования для грунтов одних и тех же инженерно-геологических элементов, взяв по архивным данным результаты испытаний грунтов в естественном мерзлом состоянии, а затем, после прохождения цикла оттаивание-промораживание были проведены повторные испытания для грунтов тех же инженерно-геологических элементов. Сравнив полученные данные, выявили, что свойство грунта сопротивляться срезу по поверхности смерзания с материалом фундамента действительно изменяется.

Ключевые слова

Многолетнемерзлые породы, повторное промораживание грунта, деградация многолетнемерзлых грунтов сопротивление грунта срезу по поверхности смерзания, изменение свойств.

Актуальность исследований

Сооружение, расположенное в северной части криолитозоны, для которого при строительстве был предусмотрен способ эксплуатации по I принципу – без оттаивания грунтов основания, в соответствии с ГОСТ 25.13330-2020 [2, 3], подверглось образованию локальных таликов в результате эксплуатации сооружения.

Стало очевидным, что в целях безопасности, оттаявшие грунты целесообразно проморозить. Однако неизвестно, достаточно ли будет привести их к прежней отрицательной температуре для сохранения прочностных свойств, использованных при проектировании. На основе этого было принято решение о необходимости уточнить, как изменятся прочностные свойства грунта, если вновь привести их к естественному мерзлому состоянию. В следствие чего была сформулирована гипотеза.

Гипотеза

После повторного промораживания грунта значение сопротивления грунта срезу изменится.

Цель работы

Оценить изменения сопротивления грунта срезу по поверхности смерзания с материалом фундамента при повторном промораживании. Посредством сравнения результатов испытаний, проведенных сначала на изначально мерзлом грунте, а затем на грунте, испытанном после повторного промораживании без подтока и с подтоком воды.

Расположение объекта

Объект исследования расположен в Таймырском Долгано-Ненецком районе Красноярского края, связан с г. Норильском и аэропортом железной и автомобильной дорогой, не имеет наземного сообщения с материковой частью России. С Архангельском район связан по Северному морскому пути, с Красноярском в летнее время по Енисею.

Методика исследований

По архивным данным, в соответствии с требованиями ГОСТ 25100-2020 [4], были приняты следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

ИГЭ №1а Насыпной гравийный грунт магматических пород с супесчаным заполнителем 32%;

ИГЭ №8ст Песок мелкий (сезонноталый, аIQIII-IV);

ИГЭ №16ст Суглинок тугопластичный аIQIII-IV;

ИГЭ №17ст Суглинок мягкопластичный аIQIII-IV;

ИГЭ №18ст Суглинок текучий аIQIII-IV;

В лаборатории мы поместили образцы в обоймы из оргстекла, толщиной 1 см, для одностороннего промерзания. Без подтока образцы промораживались, находясь в этих обоймах. При промораживании с подтоком, обоймы ставились на специальную емкость, в которой находилась вода, которую подогревали нагревателем. Сверху емкость была закрыта перфорированной крышкой, через которую осуществлялся подток воды в промерзающий образец.

Часть грунтов испытывалась после предварительного промораживания без подтока влаги (закрытая система), другая часть – после предварительного промораживания с подтоком влаги (открытая система).

Одноплоскостной срез по поверхности смерзания производился в соответствии с ГОСТ 12248.8-2020 – Грунты. Определение характеристик прочности мерзлых грунтов методом среза по поверхности смерзания [1]. Который применяется для определения прочностной характеристики – сопротивления срезу R_{af} мерзлого грунта по поверхности их смерзания с материалом фундамента или другим твердым материалом (в т. ч. с нанесенными на него специальными смазками и покрытиями) [3].

Испытания производились на приборах одноплоскостного среза по поверхности смерзания – ПРС-1 (рисунок 1).

Сопротивление грунта срезу по цементно-песчаному раствору R_{af} определяется из испытаний по продавливанию модели фундамента, замороженной боковой поверхностью в грунт.

Для испытаний с цементно-песчаным раствором, грунт нарушенного сложения с природными значениями влажности и плотности, послойно уплотняя, набивали в рабочие кольца. Затем кольца с грунтом помещали в морозильный ларь и смораживали с плашкой, выполненной из материала фундамента при температуре $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 24 ч. После промерзания рабочие кольца с грунтом переносились в морозильную камеру с заданной температурой $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. В дальнейшем их устанавливали в приборы и проводили испытания. Испытание заканчивали, когда деформирование с постоянной скоростью было установлено не менее чем для двух ступеней касательной нагрузки.

Предельно длительное значение сопротивления срезу мерзлого грунта по поверхности смерзания R_{af} , определялось как наибольшее касательное напряжение, при котором произошла стабилизация деформации образца при заданном нормальном напряжении. По кривой «деформация — нагрузка» и по графику $\ln l - \ln t$, построенному для моментов окончания каждой ступени.

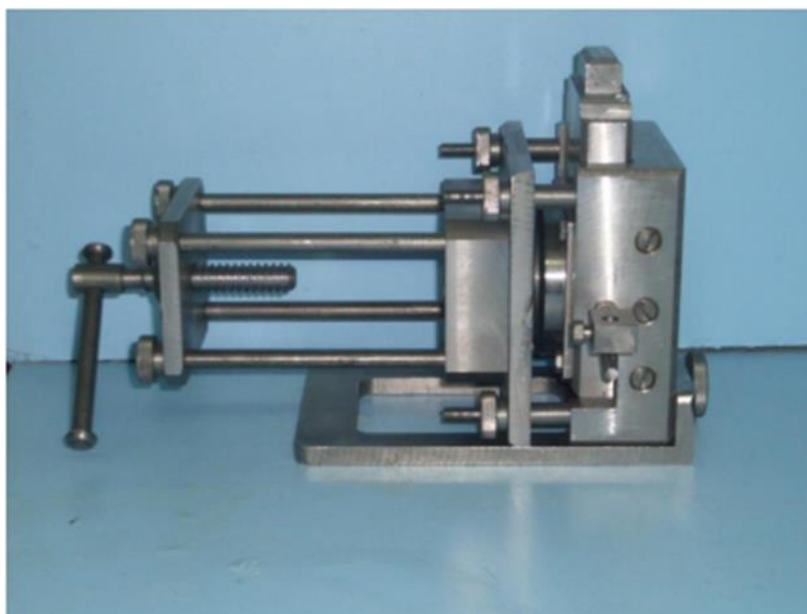


Рисунок 1. Рисунок 8.1.1. Прибор одноплоскостного среза ПРС-1.

Обсуждение результатов

Методом одноплоскостного среза по поверхности смерзания было проведено 75 испытаний с цементно-песчаным раствором (ЦПР) Образцы были представлены ИГЭ-8ст, ИГЭ-16ст, ИГЭ-17ст, ИГЭ-18ст, ИГЭ-1а. Разделение массива грунта на ИГЭ взято из архивных данных, которое проводилось в рамках инженерно-геологических изысканий, выполненных в 2021г, с применением [5].

При смерзании грунта с ЦПР сопротивление грунта срезу по поверхности смерзания для всех рассматриваемых ИГЭ увеличивается при промерзании в условиях открытой системы (с подтоком воды).

Так, для ИГЭ-18ст расчетное значение R_{af} увеличилось на 61%, для ИГЭ-8ст – на 24%, для ИГЭ-16ст – на 84%, для ИГЭ-17ст – на 41%, для ИГЭ-1а – на 15%.

Сопоставление результатов определения прочности смерзания грунтов ИГЭ-аналогов (ИГЭ-8 и 8ст; ИГЭ-16 и 16ст; ИГЭ-17 и 17ст; ИГЭ-18 и 18ст) показало

некоторые различия в полученных значениях. Результаты испытаний, проведенных в Секторе лабораторных исследований мерзлых грунтов ЦГГИ АО «НИЦ «Строительство», показывают, что у всех рассматриваемых ИГЭ нормативные значения сопротивления срезу по поверхности смерзания с ЦПР ниже, чем у ИГЭ-аналогов (под аналогами следует понимать одноименные ИГЭ, находящиеся в естественном мерзлом состоянии, которые не подвергались оттаиванию).

Так, минимальная разница у ИГЭ-17 и ИГЭ-17ст, составляет 35%, максимальная разница у ИГЭ-16 и ИГЭ-16ст – 49%.

Выводы

При повторном промораживании грунтов были получены более низкие значения сопротивления грунтов срезу по поверхности смерзания с материалом фундамента при промораживании, чем у мерзлого грунта до прохождения цикла оттаивание-промораживание.

Это объясняется тем, что грунты подверглись значительным техногенным изменениям в результате оттаивания и даже при промораживании нельзя считать их полными аналогами.

Благодарности

Выражаю благодарность АО «НИЦ «СТРОИТЕЛЬСТВО», и непосредственно руководителю центра геокриологических и геотехнических исследований ЦГГИ НИИОСПа им. Н.М. Герсевича – Алексееву Андрею Григорьевичу и заведующей лабораторным сектором исследований мерзлых грунтов – Гречищевой Эрике Станиславовне за предоставленные материалы и помощь в их интерпретации.

Библиография

1. ГОСТ 12248.8-2020 – Определение характеристик прочности мерзлых грунтов методом среза по поверхности смерзания;
2. ГОСТ 25.13330-2020 – Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах;
3. ГОСТ 25100-2020 – Грунты. Классификация;
4. В.В. Пендин – Учебное пособие «Мерзлотоведение»;

Методы статистической обработки результатов испытаний. Анализ методов изучения геодезического мониторинга в сейсмоопасных районах. Володин А. А. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, volodin.a.a.2002@gmail.com), Дамрин А. Г. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, damrin79@mail.ru)*

Аннотация

Рассматриваются вопросы организации геодезического мониторинга земной коры в регионах с высокой тектонической активностью, которые должны быть учтены при изысканиях, строительстве и проектировании крупных инженерных, транспортных и уникальных сооружений, а также для принятия мер обеспечения безопасности жизнедеятельности населения, с последующим исследованием предвестников землетрясений.

Ключевые слова

Геодезический мониторинг, геодинамический полигон, движения земной коры, землетрясения, нивелирование.

Теория

Проектирование, строительство и эксплуатация таких крупных сооружений, как гидроэлектростанции (ГЭС), атомные электростанции (АЭС), магистральные нефтепроводы и т.д., безопасная и эффективная эксплуатация которых сильно зависит от планово-высотных деформаций основания и стабильности пространственного положения технологического оборудования требуют соответствующего выбора площадок в геологическом отношении и проведения геодезического мониторинга движений земной коры выбранной территории на всех стадиях жизненного цикла таких специальных сооружений.

Изучение деформаций земной коры происходит на прогностических геодинамических полигонах (ГДП). Они предназначены для изучения тектонических деформаций верхних слоев земной коры, предвещающих и сопровождающих землетрясения и извержения вулканов [3]. Основная цель их создания заключается в выявлении и детальном исследовании развития во времени различных аномальных проявлений тектонических деформаций, которые могут рассматриваться как геодезические предвестники землетрясений [2].

Особое внимание уделяется территориям проектируемых и строящихся крупных инженерных сооружений в гидроэнергетике и атомной энергетике. Далее приведены результаты геодезического мониторинга территории строительства Рогунского каскада ГЭС и Крымской АЭС. Данные инженерные сооружения были спроектированы и строились в сейсмоактивных регионах, поэтому геодинамическому мониторингу уделялось особое внимание.

Рогунская ГЭС

В Таджикистане, в ущелье Памира, на реке Вахш ведётся строительство Рогунской ГЭС, которая входит в состав Вахшского каскада, являясь его верхней ступенью. Представляет собой приплотинный тип ГЭС, образованный каменно-набросной плотиной высотой 335 м (рисунок 1).

Комплекс ГЭС расположен в зоне с высокой сейсмоактивностью, оползневой и селевой деятельностью. Под основанием плотины располагается Ионахшский тектонический разлом, который заполнен каменной солью. Однако по проекту конструкция сейсмоустойчива, и для защиты отложений каменной соли от разрыва запланированы специальные мероприятия.

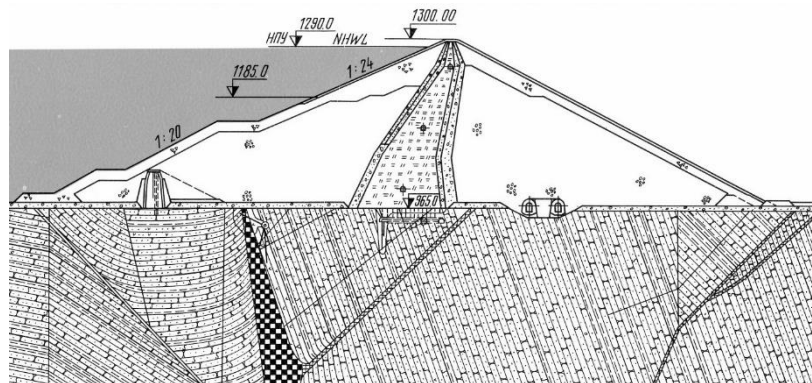


Рисунок 1 - Плотина Рогунской ГЭС.

После заполнения водохранилища на плотине появились трещины. Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР (ГУГК при СМ СССР) было предложено организовать геодезический мониторинг движений земной коры в районе каскада ГЭС. В 1975 г. был заложен ГДП Рогунской ГЭС. Для этого была создана линейно-угловая геодезическая сеть, включающая заложение грунтовых и скальных реперов и марок. Высотная сеть была создана при помощи высокоточного нивелирования I класса. Также, параллельно проводились аэросъемки с высокой разрешающей способностью [3].

По результатам начальных измерений были выявлены горизонтальные смещения пунктов ГПД. В результате повторных нивелирований один из пунктов за 13 лет погрузился на 50 мм. По материалам крупномасштабных и спектрональных съемок были подтверждены плано-высотные деформации земной коры [4].

По результатам геодезических измерений строительство было остановлено. Это позволило оптимизировать конструкции и местоположение плотин ГЭС. Строительство продолжилось в 2004 г. Запуск первого агрегата произошел в 2018 г., второго в 2019 г.

Крымская АЭС

Строительство Крымской АЭС было запланировано еще в 1968 г., тогда же проводились первые геологические и геодезические исследования. Станция должна была обеспечить электроэнергией весь Крымский полуостров, а также создать задел для развития промышленности региона. После строительства города-спутника Щелкино, насыпи Акташского водохранилища и вспомогательных хозяйств с 1982 г. началось возведение непосредственно самой станции. В целом стройка шла по графику с запланированным пуском первого реактора в 1989 г.

Полуостров Крым является сейсмоопасным регионом. На его территории в год проходит около 50 землетрясений с магнитудой 1-3.

В 1983 г. ГУГК при СМ СССР было поручено провести геодезический мониторинг движений земной коры промышленной площадки Крымской АЭС и прилегающей территории. Была спроектирована и заложена высокоточная геодезическая сеть по программе, точности и технологии повторного нивелирования I класса.

В нивелирную деформационную сеть Крымской АЭС были включены пьезометрические скважины, расположенные равномерно по всей территории строительной площадки. Повторные измерения выполнялись в 2018 г. (рисунок 2).

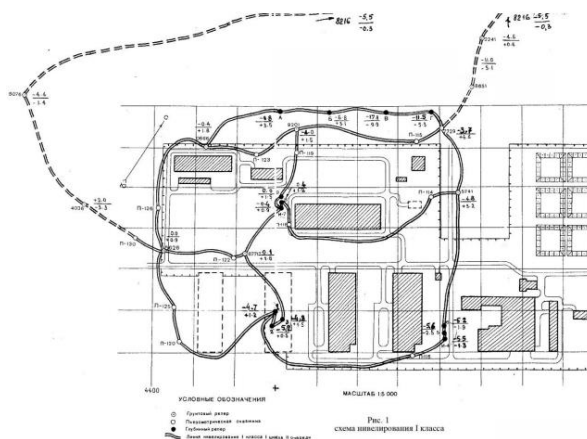


Рисунок 2. Схема нивелирования территории Крымской АЭС.

При обработке результатов повторных нивелировок за исходный был принят грунтовый репер № 5626 как наиболее устойчивый в течение нескольких предыдущих десятилетий. В течение трёх лет было выполнено шесть циклов нивелирования по программе I класса. В 2018 г. был выполнен последний седьмой цикл нивелирования, включивший сохранившиеся реперы и пьезометрические скважины [4].

После математической обработки результатов измерений по всем шести полигонам были вычислены разности окончательных превышений (рисунок 3).

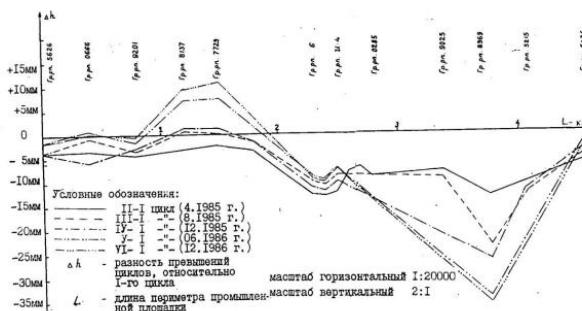


Рисунок 3. Схема накопления разностей превышения нивелирования на полигоне Крымской АЭС.

По наблюдениям 2021 года северной части строительной площадки наблюдается подъем верхнего слоя земной коры до 10 мм за 2,5–3 года; южная часть строительной площадки за это же время опустилась на 35 мм.

Такая деформация земной коры с переменной знака и значительной амплитудой (до 45 мм) не осталась без внимания. На Кавказе в зоне Спитака происходило подобное движение земной коры [1].

На основании приведенных результатов геодезического мониторинга составлена картограмма скоростей вертикальных движений земной коры промышленной площадки Крымской АЭС (рис. 4). Изолинии на картограмме проведены сечением 1 мм/год. Анализ картограммы подтвердил вывод о характере движений земной коры. Это и вызвало у специалистов определенное опасение, которое привело к остановке строительства, а позже к ее уничтожению.

К вопросу о природе коррозии компонентов подземной среды к строительным материалам (на примере Санкт-Петербурга). Дашко Р.Э. (Санкт-Петербургский горный университет, regda2002@mail.ru), Гегенава М.В. (Санкт-Петербургский горный университет, gegenava-02G@mail.ru)*

Аннотация

Проанализированы основные нормативные документы, определяющие оценку коррозионной способности подземных вод и грунтов при инженерно-геологических исследованиях. Отмечается недостаточность исследований природы коррозионных процессов в подземной среде с учетом ее многокомпонентности. Рассмотрены случаи аварийных ситуаций в историческом центре Санкт-Петербурга, произошедшие в результате игнорирования микробиологического фактора, определяющего активность развития биокоррозионных процессов. Приведен пример опасности активной деятельности сульфатредуцирующих микроорганизмов на металлические конструкции и железобетон.

Ключевые слова

Подземное пространство, грунтовые воды, биокоррозия, разрушение материалов, сульфатредукция.

Теория

В практике инженерно-геологических изысканий для строительства наземных и подземных сооружений к обязательным видам работ относятся исследования коррозионной способности подземных вод и грунтов. Существуют нормативные документы для оценки агрессивности подземной водной среды к бетонам, железобетонам, черным и цветным металлам (СП 28.13330.2017). Известно, что выделяются следующие формы коррозии: углекислотная, выщелачивающая, магнизиальная и сульфатная. Один из самых опасных видов агрессивности – сульфатная.

Обычно на практике наблюдается протекание нескольких видов коррозии. Коррозионность грунтов (обычно водонасыщенных) оценивается по водным вытяжкам, а также по величине удельного электрического сопротивления. С ростом минерализации поровых вод снижается величина сопротивления, соответственно повышается уровень агрессивности. Однако, коррозионная способность подземной среды, особенно в мегаполисах и крупных городах, функционирование которых насчитывает сотни лет, формируется за счет других более активно протекающих процессов, вызванных деятельностью подземных микроорганизмов, которые объединяются единым термином – биокоррозия. Данное явление представляет собой сложный физико-химический и многофакторный процесс, на долю биокоррозии приходится примерно 50% всей коррозии [4]. Биокоррозия, как единое направление зародилось еще в начале 20 века и касалось разрушения не только подземных конструкций, но и наземных. Профессор Исаченко Б.Л., исследуя процессы проявления дефектов кирпичной стены оранжереи Ботанического сада Петрограда еще в 1915 году, сделал однозначный вывод, что разрушение такого устойчивого материала, как керамический кирпич, произошло за счет воздействия богатого аэробного и факультативного биоценоза. Позднее академиком Исаченко Б.Л. были изучены некоторые подземные воды в Ленинграде на наличие в них микробиоты [2]. Им исследованы микроорганизмы Полостровских вод, которые, как известно, приурочены к Верхнему межморенному водоносному горизонту и располагаются в пределах правобережной части Санкт-Петербурга. Следует отметить,

что в настоящее время высокая степень биокоррозионной активности Полюстровского водоносного горизонта не учитывается при проектировании сооружений различного назначения. Исследования биокоррозионных процессов проводились и проводятся по сей день в Сибирском отделении РАН и в Санкт-Петербургском государственном университете. С конца 80-х годов 20 века такие работы были начаты в Санкт-Петербургском горном университете под руководством профессора Р.Э. Дашко [1]. Данные исследования проводились в связи с необходимостью анализа и оценки факторов разрушения подземных конструкций архитектурно-исторических памятников, старинных жилых зданий, а также при экспертных оценках причин разрушения ограждающих и несущих конструкций, и последующих аварий в историческом центре города, а именно в зонах, в которых происходила контаминация подземных вод и грунтов на протяжении более 500 лет. К данной зоне относится район «Пески», располагающийся на левобережье реки Невы (рис.1). Именно в пределах этой территории наблюдался прорыв грунтовых вод в котлован глубиной 28 метров при разрушении ограждающей железобетонной конструкции толщиной более 2 метров. Разрушение бетонной стены наблюдалось в условиях отсутствия твердения бетона в течение заданного нормативного времени (28 дней). В этой же зоне отмечено разрушение гидроизоляции глубоких подвалов, состав которой широко применяется в практике строительных работ. Следует отметить, что разрушение гидроизоляции начиналось в первые дни после ее устройства. Подобные явления разрушения гидроизоляции отмечались при проведении реконструкции подземной части Большого драматического театра имени Г.А. Товстоногова, расположенного на берегу реки Фонтанки. Исторический анализ использования территории Большого театра, простроенного в 1975 г., показал, что данная территория была освоена задолго до строительства Санкт-Петербурга. На берегу реки Ерик (нынешняя река Фонтанка) располагались многочисленные поселения рыбаков, здесь же находились сельскохозяйственные угодья, а в конце 18-19 веков – базары, богадельни и прочее.

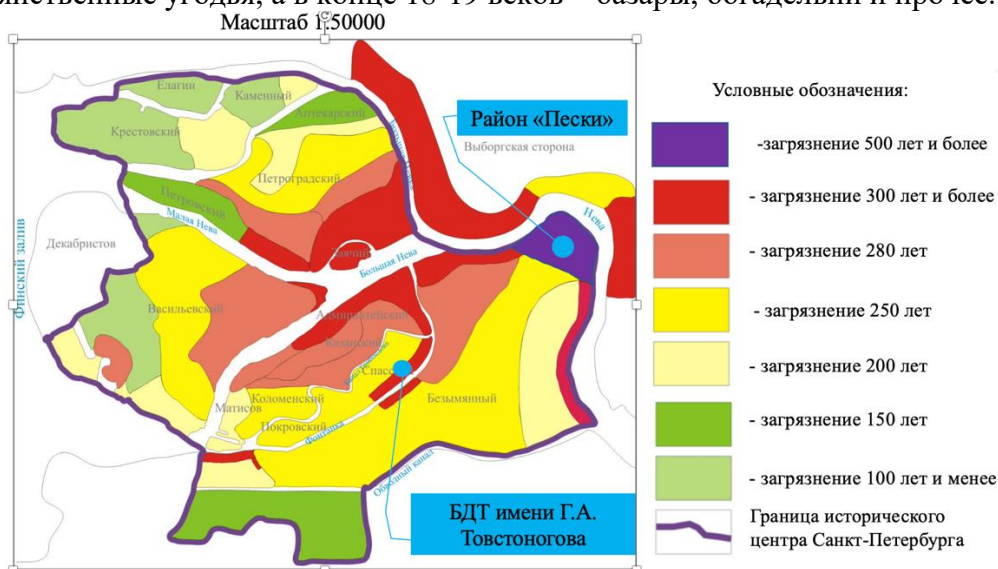


Рисунок 1. Схематическая карта длительности загрязнения подземного пространства исторического центра Санкт-Петербурга (Дашко Р.Э., Горская В.А.)

Как в пределах района «Пески», так и в пределах разреза Большого драматического театра грунтовые воды были отданы на метагеномный анализ 16S рРНК, который показал уникальность сформировавшихся биоценозов благодаря природным условиям существования заболоченности территории, а также длительно действующему техногенному фактору разнообразной хозяйственной деятельности человека, направленной на обогащение компонентов подземной среды микроорганизмами,

обитающими в продуктах жизнедеятельности человека, а также в отходах сельскохозяйственной продукции. В исследованиях было отмечено, что влияние биогенных и абиогенных органических соединений прослеживается на глубину 30 м и более, коренным образом изменяя состояние и свойства песчано-глинистых отложений, агрессивность вод и подземной среды в целом. Следует отметить, что среди богатого биоценоза наиболее высокую численность имеют сульфатредуцирующие бактерии. Кроме того, в разрезе района «Пески» 28,8% численности биоценоза составили водородобразующие бактерии. Деятельность сульфатредуцирующих бактерий хорошо фиксировалась по запаху сероводорода в подвалах театра и по наличию гидротроилита ($\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$) в разрезе села Спасское. Необходимо указать, что слабокислые грунтовые воды в районе Большого театра изменили кислотно-щелочные условия до $\text{pH} = 12,3$. Такая высокая щелочность связана с разрушением цементов, так как выход в подземные воды Ca^{2+} и Mg^{2+} при деградации бетона приводит к резкому повышению щелочности среды.

Исследования наших и зарубежных ученых показали высокую опасность деятельности сульфатредуцирующих бактерий, которые обнаружены в описанных ранее аварийных ситуациях. Следует подчеркнуть, что региональное исследование подземного пространства Санкт-Петербурга показало, что наличие сероводорода фиксируется до глубины 25 метров и ниже. Генерация легкорастворимого газа H_2S происходит благодаря деятельности сульфатредуцирующих бактерий. Данные бактерий представляют собой группу облигатно-анаэробных (развивающихся в бескислородной среде) микроорганизмов. Исследования конца 20 века дали возможность установить, что сульфатредукторы начинают свою жизнедеятельность при $E_h = 50 \text{ mV}$, и генерация сероводорода приводит к мгновенному снижению E_h до отрицательных значений, при которых продолжается их наиболее активная фаза воздействия на конструкционные материалы. В водной среде сероводород подвергается процессу диссоциации в виде:



Образующийся атомарный водород накапливается на поверхности металла и способен проникать внутрь его кристаллической решетки, вступая во взаимодействие с образованием новых соединений – гидридов [3]. Глубина проникновения H^+ , по данным экспериментальных исследований, составляет от 30 до 60 мкм. Образование гидридов приводит к увеличению объема металла на 30-60 %, что способствует снижению его прочности и повышению хрупкости, что приводит к разрушению металлических конструкций, в частности подземных трубопроводов, при незначительных величинах неравномерных деформаций. Описанный процесс называется наводороживанием. Важно отметить, что образование сероводорода и связанное с ним подкисление среды, также негативно сказывается на состоянии железобетонных конструкций. Известно, что в цементе 10-15% приходится на остаточные количества гидроксидов кальция и магния, неустойчивых в кислой среде и подверженных выщелачиванию. В результате чего возрастает пористость и водопроницаемость бетонов. При этом атомарный водород адсорбируется на поверхности арматуры с последующим его диффундированием в кристаллическую решетку металла, приводя к снижению прочности и повышению ее хрупкости в условиях утончения материала в кислой среде. Охрупчивание арматуры внутри конструкции резко снижает прочность и способность железобетона работать на растяжение, за счет чего наблюдается преждевременное разрушение конструкций. Изучению механизма влияния сульфатредуцирующих бактерий на хрупкое разрушение металлических конструкций, а именно анкерных крепей в угольных шахтах, посвящены последние работы Университета Нового Южного Уэльса в Сиднее. Ими экспериментально выделены три характерные стадии разрушения крепей: 1 стадия - зарождение трещин (initiation); 2 стадия – развитие трещин (propagation); 3 стадия –

разрушение конструкции за счет снижения ее прочности (overload) [5]. Согласно современным воззрениям микробиологов, сульфатредукция относится к обратимым процессам, поскольку сульфатредуцирующие бактерии осуществляют также реакции промежуточных соединений – не полностью восстановленных соединений, таких как сульфит и тиосульфат, с одновременным образованием сульфата и H_2S . Таким образом, при деятельности сульфатредукторов идет формирование двух опасных видов агрессии, а именно сульфатной – полностью разрушающей бетоны, и наводороживания металлов, приводящего к их хрупкому разрушению.

Выводы

В настоящее время назрела необходимость расширения сферы изучения агрессивности подземных вод и грунтов по отношению к конструкционным материалам. Коррозионная способность подземной среды крупных городов, функционирование которых насчитывает сотни лет, формируется за счет активно протекающих процессов, вызванных деятельностью подземных микроорганизмов. Следует отметить влияние коррозии не только при эксплуатации сооружений различного назначения, но при проходке горных выработок, поскольку аварии, связанные с преждевременным разрушением крепей чреваты не только денежными потерями, но и могут угрожать здоровью и жизни людей.

Библиография

1. Дашко, Р. Э. Междисциплинарный подход к решению инженерно-геологических проблем при освоении и использовании подземного пространства городов [Текст] / Р. Э. Дашко // Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии : Материалы Всероссийской конференции с международным участием с элементами научной школы, Томск, 23 – 27 ноября 2015 года / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2015. – С. 150–155.
2. Исаченко Б.Л. Избранные труды: в 3 томах / [Отв. ред. чл.-кор. АН СССР А. А. Имшенецкий]; Академия наук СССР. Институт микробиологии. - Москва; Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР, 1951-1957
3. Терюшева С.А. Производные 1,4-гидрохинона в роли ингибиторов коррозии и наводороживания стали в присутствии СРБ / С.А. Терюшева, Г.С. Белоглазов, С.М. Белоглазов // Вестник САМГУ. Серия: Естественнонаучная серия – 2011. – № 5 (86). – С. 136-143.
4. Bryukhanov A.L., Majorova M.A., Tsarovtseva I.M. Communities of potentially corrosive microorganisms of the littoral zone of Kislaya Guba (Barents Sea) // Limnology and Freshwater Biology, издательство Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук (Иркутск), 2020, том 3, No 4, с. 969-970
5. Honghao Ch. Microbiologically influenced stress corrosion cracking responsible for catastrophic failure of cable bolts/ Honghao Chen, Önder Kimyon, Hamed Lamei Ramandi, Peter Craig, Cindy Gunawan, Saisai Wu, Mike Manefield, Alan Crosky, Serkan Saydam // Engineering Failure Analysis. – 2022. – Vol. 131. – P.1-12.

Новые данные об изменении деятельного слоя вдоль региональной трансекты от северной тайги до южной тундры (Западная Сибирь). Голубкова Я.А. (Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ), yana.golubkova.00@inbox.ru), Пономарева О.Е. (Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ), Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, o-ponomareva@yandex.ru), Губарьков А.А. (Тюменский индустриальный университет, agubarkov@rambler.ru), Гравис А.Г. (Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ), ag.gravis@gmail.com), Дроздов Д.С. (Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюменский Государственный Университет, ds_drozдов@mail.ru), Бердников Н.М. (Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, nikolaj-berdnikov@yandex.ru), Мельников В.П. (Тюменский индустриальный университет, sciensec@ikz.ru), Устинова Е.В. (Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, sciensec@ikz.ru), Лешневская Е.Ф. (Тюменский индустриальный университет, leshnevskajaef@tyuiu.ru), Гравис М.В. (Московский Государственный Университет kamillavalerius@gmail.com)*

Аннотация

Мониторинг мощности деятельного слоя проводился на 11 наблюдательных площадках вдоль трасекты, расположенной с севера на юг и охватывающей различные ландшафтные зоны. Он позволил установить, что с конца XX века под влиянием изменения климата увеличивалась мощность деятельного слоя вдоль трансекты, а в южной части формировались и расширялись участки с мерзлотой несливающегося типа, на которых в холодные годы временно сливалась сезонная и многолетняя мерзлота, изменилась прерывистость мерзлоты и тепловой осадке поверхности.

Ключевые слова

Многолетнемерзлые породы, деятельный слой, мерзлые торфяники, изменение климата, тепловая осадка.

Актуальность исследования

Изменения климата последнего 40-летия обусловили разрушение инфраструктуры во многих районах Арктики [4]. Это связано с повышением температуры многолетнемерзлых пород (ММП) относительно принятых в расчет при проектировании. При переходе среднегодовой температуры пород через 0 °С начинается оттаивание ММП сверху и снизу, прочностные свойства пород скачкообразно снижаются, развиваются опасные процессы — прогрессирующий термокарст, термоэрозия и др. [1]. Изменению температуры ММП предшествует трансформация теплового состояния пород деятельного слоя. Точный расчет мощности деятельного слоя затруднен, на темпы протаивания пород влияют литологический состав верхней части разреза, растительный и снежный покров. Мониторинг мощности деятельного слоя позволяет получить реальные натурные данные и избежать неопределенности.

Методика исследований

Мониторинг мощности деятельного слоя выполнялся на 11 площадках, организованных по единому протоколу международной программы по

циркумполярному мониторингу деятельного слоя (CALM). Площадки размером 100 на 100 м оборудованы 121 пикетами по сетке с шагом 10 м. Глубина сезонно-талого слоя определяется у каждого пикета щупом длиной 2 м в конце теплого периода года. По году организации площадки различаются следующим образом: в северной тайге первая площадка организована в 1997, в южной тундре и южной лесотундре в 2008 г. Площадки выбраны на участках съемки 70-х гг. XX века, поэтому есть представление о глубине протаивания и температурах до современного потепления климата. Одна площадка в северной тайге организована в 2013 г. и 6 площадок в 2022. На 2 площадках определяется высота поверхности у пикетов наблюдательной сети для оценки пучения и осадки поверхности и на 2 площадках - геофизические исследования для уточнения положения кровли мерзлоты. В 22 скважинах, глубиной 10 м, расположенных на торфяниках и буграх пучения, производится круглогодичный мониторинг температуры логгерами, с интервалом опроса 4 часа. В 2019 г. на площадке CALM- I и в аналогичных ландшафтах пройдены 3 скважины глубиной около 2 м, оборудованные логгерами, измерения велись 1-2 года.

Краткая характеристика объектов мониторинга

Площадки расположены в 3 природных зонах: южная тундра, южная лесотундра и северная тайга, где распространение ММП по данным на 80 г. XX века изменялась от сплошного на севере трансекты до массивно-островного на юге. Площадки южной части трансекты расположены на торфяниках, поскольку к торфяникам приурочены острова мерзлоты. На севере торфяники встречаются реже, площадка в южной тундре организована на плоском водоразделе, сложенном песками. Мощность торфа на площадке южной части трансекты изменяется от 0,2-0,35 м до 1-1,5 и более м. Под торфом на одной части площадок залегают пески пылеватые, на другой – суглинки. Наиболее низкие температуры ММП, близкие к -3°C наблюдаются в южной тундре. К югу они увеличиваются до $-0,4^{\circ}\text{C} \dots -0,03^{\circ}\text{C}$. Существуют различия в температурах ММП песчаного и суглинистого состава, определенное влияние оказывает мощность торфа. В местах, где торфяной покров отсутствует наблюдается опускание кровли ММП, а температура пород приближается к нулю.

Результаты мониторинга и их обсуждение

В период с 1961 по 1990 г температура воздуха повышалась в среднем на $0,04^{\circ}\text{C}$ в год. В последующие 30 лет тренд увеличился до $0,07^{\circ}\text{C}$ в год. Возрастает количество выпадающих атмосферных осадков, на 24 дня увеличился период протаивания. Изменения климата неблагоприятны для сохранения ММП. Увеличивается глубина сезонного протаивания грунтов. По архивным данным [2, 3] в 70-гг. XX века глубина сезонного протаивания на торфяниках на широте Надыма составляла 0,4-0,6 м, в самой северной части трансекты – 0,2-0,8 м. В песках северной площадки трансекты – 0,6-1,4 м. К 2021 г. глубина сезонного протаивания увеличилась, наметились значительные различия в темпах увеличения глубины. Причина различий связана с мощностью торфа, высотой снежного покрова, составом отложений. Высота снежного покрова меняется в пределах торфяников. В южной части трансекты на торфяниках с маломощным органическим слоем (менее 0,5 м) и песчаным составом (верхней части разреза), глубина оттаивания 1,1-1,6 м. Формируются участки с переуглубленной кровлей ММП, площадь этих участков увеличивается. В 2021 г. на площадке в северной тайге сливающаяся мерзлота была выявлена у 4 пикетов из 121, в 2022 г. – у 2 пикетов. Максимальная глубина промерзания в холодные зимы 2016-2017 гг. составляет около 1,8-2,0 м, и в такие зимы происходит слияние сезонной и многолетней мерзлоты. Торфяники с

растительным покровом и органическим слоем (0,7-1,0 и более м) наиболее устойчивы к потеплению, глубины сезонного оттаивания 0,6-0,8 м. Полученные данные в 2021 г. позволили сделать следующие предположения. По степени устойчивости к изменению климата торфяники южной части трансекты следует различать на устойчивые, с мощностью торфа 1 м и более, неустойчивые, с мощностью торфа менее 0,5 м. Промежуточное положение занимают торфяники с мощностью торфа от 0,5 до (0,75) 1,0 м. В южной лесотундре на торфяниках глубина протаивания увеличилась к 2021 г. до 0,4...1,99 м, в среднем составляет 0,40-0,60 м, зафиксирован отрыв сезонной от многолетней мерзлоты. В южной тундре, в отложениях песчаного состава глубина протаивания в среднем составляет 1,10-1,15 м при максимальных значениях 1,45 м. Увеличение глубины сезонного протаивания в южной части трансекты сопровождается тепловой осадкой поверхности. Просадка установлена на торфяниках и буграх пучения. На торфянике в северной тайге просадка поверхности с 2004 г. по 2022 г. в среднем составила 0,17 м. Следствием просадки поверхности является процесс подтопления. Этот процесс был установлен летом 2022 г. благодаря сухой погоде. На наблюдательных площадках в Тарко-Сале, Губкинском, Ханымее, Муравленко, Ноябрьске, пгт. Уренгой были отмечены участки вымокания ягеля. Наиболее ярко этот процесс проявлялся в районах Ноябрьска и Муравленко. Измерение глубины протаивания на 6 новых площадках (организованы в 2022 г. в южной части трансекты на торфяниках со значительной мощностью торфа) показало, что, предположение о зависимости устойчивости торфяников к изменению климата подтверждается. Глубина протаивания на новых площадках по средним и медианным значениям составила 0,5-0,9 м, участки с мерзлотой несливающегося типа развиты только в заболоченных понижениях с открытой водой. Судя по температурам ММП в южной части трансекты увеличилась степень прерывистости ММП (рис. 1).

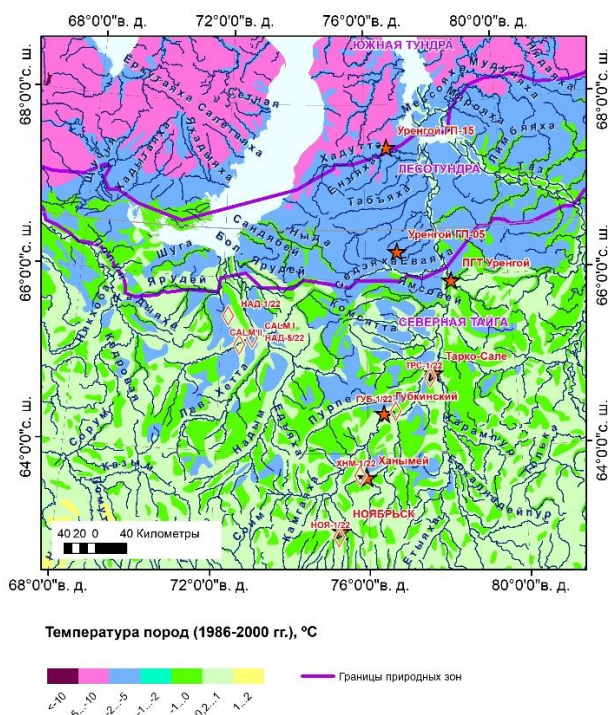


Рисунок 1. Площадки.

Выводы

В Западной Сибири увеличивается глубина сезонного оттаивания на всей трансекте. Максимальная скорость в северной тайге на торфяниках с маломощным (менее 0,5 м) органическим слоем, и песчаным составом подстилающих пород. На торфяниках с маломощным органическим слоем и песчаным составом (верхней части разреза), расширяется площадь участков с мерзлотой несливающегося типа. Процесс расширения площади сокращается во время холодных малоснежных зим. Торфяники с мощным растительным покровом и органическим слоем, превышающим по мощности 1,0 м наиболее устойчивые к потеплению и участки с несливающейся мерзлотой встречаются здесь на ограниченной площади. На отдельных участках южной части трансекты под влиянием изменения климата увеличилась прерывистость мерзлоты по площади. Массивно островная мерзлота сменилась на редко-островную. В южной части трансекты увеличение глубины сезонного протаивания и расширение участков с мерзлотой несливающегося типа приводит к тепловой осадке поверхности и подтоплению.

Благодарности

Работа выполнена по госзаданию №121041600042-7 и при поддержке ГАУ ЯНАО "Научный центр изучения Арктики".

Библиография

1. Булдович С.Н. Оценка устойчивости многолетнемерзлых пород к техногенным воздействиям при освоении северных территорий России.//Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности, 2012, №1 стр 47-60.
2. Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири / Отв.ред.ак. В.П. Мельников.– Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2012. – 207 с.
3. Ландшафты криолизоны Западно-Сибирской газоносной провинции. /Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Москаленко Н.Г и др. Новосибирск: Наука, 1983 г. 165 с.
4. Осокин А.Б., Бомкин С.В. Проблемы устойчивости объектов гражданского строительства в сложных геокриологических условиях ЯНАО.//Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике / Под ред. В.П.Мельникова и М.Р. Садуртдинова. – Салехард: 2021. с. 331-333.и.

Влияние современных инженерно-геологических условий на сохранение исторического комплекса города Дербент. Гончарова Е.И. (МГРИ, elvira.dragon.01@mail.ru), Вязкова О.Е. (МГРИ, wjask@yandex.ru)

Аннотация

В работе проанализировано влияние всех компонентов инженерно-геологических условий на сохранность цитадели Нарын-Кала, находящейся в северо-западной части дагестанского города Дербент. Геологическое строение холма, на котором расположена крепость, создало проблемы для водоснабжения в прежние времена, а в настоящее время способствует развитию опасных для сохранности оползневых процессов.

Ключевые слова: инженерно-геологические условия, крепость Нарын-Кала, сохранение, подземные воды, экзогенные геологические процессы

Теория

Дербент – это уникальный памятник с особой исторической топографией, который взят под охрану ЮНЕСКО в 2003 году, как памятник всемирного культурного наследия. Местоположение города на западном побережье Каспийского моря, являвшемся важным звеном в системе международных стратегических коммуникаций, сыграло значительную роль в истории народов кавказского региона. В древности по приморской равнине пролегал Прикаспийский путь – самая удобная дорога из Юго-Восточной Европы в Закавказье и Переднюю Азию, – где в наиболее узком месте и возник Дербент. Он лежал не только на важном пути, но и на известной торговой трассе мира, а развитие международной торговли в Западном Прикаспии и Поволжье, исполнило огромную роль в превращении Дербента в один из крупнейших городов средневекового Кавказа.

На сегодняшний момент по данным ЮНЕСКО считается, что «существующий город в Республике Дагестан был основан в 438 г. как персидская крепость» [4], что составляет около 2000 лет назад.

Строительство крепостей в горной местности сопряжено со множеством трудностей, но и сохранение памятников при изменчивости во времени инженерно-геологических условий тоже не является простой задачей. Крепость имеет размер 115×200 м². Каменные оборонительные стены возведены в 567 году из ракушечника (рис. 1), но сохранились относительно хорошо.

Современный *климат* Дербента можно охарактеризовать как переходный от умеренного к субтропическому. Среднегодовое количество осадков составляет 1100 мм, основная часть которых выпадает в летнее время.

Крепость Нарын Кала расположена на длинном мысу, являющемся отрогом Табасаранских гор Большого Кавказа, образовавшемся при впадении в Каспийское море оврага. Абсолютная высота поверхности, на которой построена крепость, изменяется от 150 до 180 м. Крутизна северо-западного склона мыса составляет 50–80°, а восточного – 30–50°.

В *геологическом строении* мыса принимают участие неогеновые верхнесарматские отложения чакаурской толщи, представленные прибрежно-морскими песчаниками, известняками и глинами [2]. Породы падают в северо-восточном направлении под углом около 20°.

Камень для строительства стен добывали в нескольких километрах к северу от Дербента, вблизи моря, чтобы иметь возможность доставлять его по воде к месту строительства. По возрасту он относится к дербентской толще, сложенной песками,

песчаниками и детритусовыми известняками, и завершающей разрез артузенской серии нижнего неогена [2].



Рисунок 10. Приближенное фото ракушечника, из которой сложена крепостная стена цитадели Нарын-Кала (фото Е.И. Гончаровой, 20 января 2022 год)

В гидрогеологическом отношении холм, на котором расположена крепость, является областью питания чакаурского горизонта. На самом холме может не формироваться горизонта в связи с фильтрацией воды на более низкие отметки. Но на геологической карте к западу и северу от крепости отмечены родники, что свидетельствует о принципиальной возможности организации водоснабжения за счет подземных вод. По имеющейся на данный момент информации [5] водоснабжение работало так: вода с гор самотеком спускалась по подземным каменным трубам и затем поступала в крепость. Так же на территории цитадели Нарын-Кала есть один родник – Кала-булаг, но его не хватало для водоснабжения всей крепости, поэтому основное водоснабжение – это водосбор атмосферных осадков. Но полностью решить этот вопрос можно будет только после дополнительных исследований.

Район исследования характеризуется широким распространением опасных экзогенных геологических процессов, таких как выветривание пород (рис. 2) и строительных материалов, овражная эрозия, плоскостной смыв, оползни. Овражная эрозия на данной территории распространена повсеместно. Образуя промоины и овраги, но она непосредственно не влияет на крепость Нарын-Кала.



Рисунок 2. Разрушение стены крепости биологическим выветриванием (фото Е.И.Гончаровой, 23 июня 2022 г.)

Наибольшую опасность для сохранности цитадели Нарын-Кала представляют

оползневые процессы, приводящие не только к относительно мелким деформациям стен, но и вызывающие их разрушение (рис. 3). Они преимущественно развиваются на восточном и северо-восточном склонах холма, где, по-видимому, преобладают в разрезе глинистые породы. Развитию процесса способствует падение пород в северо-восточном направлении. Для борьбы с оползнями на восточном склоне крепостного холма созданы искусственные террасы (рис. 4).



Рисунок 3. Разрушение стены крепости оползневыми процессами (фото Е.И.Гончаровой, 20 января 2022 г.)



Рисунок 4. Искусственные террасы на восточном склоне холма (фото Е.И.Гончаровой, 21 января 2022 г.)

В связи с повышением техногенного вмешательства в природную среду объекта: организацию кладбища, строительство новых жилых домов, разрушение почвенного покрова, изменение растительности за счет выпаса скота – приводит к активизации существовавших ранее экзогенных геологических и развитию инженерно-геологических процессов, таких как овражная эрозия, оползни, сели и дефляция.

Также изучаемая территория входит в красную зону интенсивных землетрясений

со степенью сейсмической опасности С (1%), что только усиливает опасность развития экзогенных геологических процессов [3].

К экзогенным процессам, наиболее существенно влияющим на пространственное развитие, относится и абразия. Абразия отмечается по всей длине береговой линии Каспийского моря. В связи с периодическими колебаниями уровня Каспийского моря интенсивность абразии может увеличиваться. Так, в периоды повышения уровня абразионная переработка берегов активизировалась и достигала 25 м/год. Повышение уровня Каспийского моря до критических отметок в сочетании с неконтролируемым извлечением горных пород береговой зоны может привести к затоплению прибрежных территорий [1].

Таким образом, современное колебание уровня Каспийского моря влияет не только на формирование и изменение рельефа в прибрежной зоне, но и в целом на развитие прибрежной части города, а именно северной и южной стены исторического комплекса города Дербент.

Выводы

Все вышеперечисленные компоненты инженерно-геологических условий влияют на сохранность исторического комплекса города Дербент и требуют глубокого анализа аналогов из мировой практики музеефикации, формулирования принципов реставрации памятника и выработки концепции музеефикации крепости Дербент. Однако наиболее пагубное влияние на сохранность памятника оказывают выветривание строительных материалов стен и оползневые деформации их основания, которые наиболее опасны в сочетании с возможными землетрясениями.

Библиография

1. «Аналитическое исследование. Комплексная оценка потенциала развития городского округа «город Дербент», Республика Дагестан», ООО «Агентство стратегического развития «ЦЕНТР», 275с, 2019г
2. Лаврищев В.А., Шейков А.А., Андреев В.М., Семенов В.М. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Скифская. Лист К-37 (Сочи), К-38 (Махачкала), К-39. Объяснительная записка. – СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. 431 с.
3. ОСР_2015 // Отв. ред. Е.А. Рогожин. ИФЗ РАН. 2015.
4. «Цитадель, Старый город и крепостные сооружения Дербента»// Комиссия Российской Федерации по делам ЮНЕСКО
<http://unesco.ru/unescorussia/sites/s1070/>
5. <https://pro-derbent.ru/vodohranilishhe-vi-ix-vv-arhitekturnoe-chudo-derbentskoj-kreposti>

Усиление фундаментов дополнительными вдавливаемыми сваями существующего здания по адресу: г. Нижний Новгород, ул. Вятская дом 9. Горлов А.А. (МГРИ, andrey.gor10@yandex.ru), соавтор Кулешов А.П. (МГРИ, kyleshovap@mgri.ru)*

Аннотация

В настоящее время строительство зданий и сооружений производится на территориях, расположенных в различных инженерно-геологических и природных условиях, детальный анализа которых позволяет избежать разнообразных внештатных ситуаций и аварий. [1]

Степень влияния инженерно-геологических условий на безопасность зданий и сооружений колоссальна, так на основе данных о результатах инженерно-геологических изысканий производится выбор типа, конструкции, материала фундамента и его глубина заложения, наличие или отсутствие подземной части и т.д.

Фундамент зданий и сооружений играет важную роль в системе «сооружение-фундамент-основание» в рамках элементарных и локальных природно-технических систем (ПТС).

Правильно спроектированный фундамент – залог успеха в безопасном функционировании ПТС.

Главной причиной появления деформаций и обрушения зданий можно считать человеческий фактор как на стадии проектирования, так и при выполнении изысканий: неправильно выбран фундамент, определены нагрузки и расчетные показатели основных физико-механических свойств грунтов, характер их пространственной изменчивости, сформированная концептуальная модель не в полной мере отражает инженерно-геологическую обстановку территории.

В следствии допущенных просчетов на разных стадиях проектирования сооружений и этапах инженерно-геологических работ происходят недопустимые деформации зданий и сооружений и как следствие проведение дополнительных работ по устранению данных последствий и увеличение экономической стоимости объекта. [2]

Ключевые слова

Сваи, деформации, проектные ошибки, основание, аналитические расчёты, натурные испытания, геотехнический мониторинг.

Теория

Предметом исследования является взаимодействие всех структурных частей элементарной природно-технической системы «сооружение-фундамент-грунт» на глубину ее сферы взаимодействия, представленной жилым домом, расположенным по адресу: г. Нижний Новгород, Приокский район, ул. Вятская, д. 9 (рисунок 1).

Исследуемое здание 3-х секционное, 10-ти этажное, с мансардным этажом и подвалом под всем зданием, жилое, размерами в плане 72,6×13,5м. Фундаменты – ленточные монолитные ростверки по забивным железобетонным сваям сечением 30×30, длиной 11,0м с расчетной нагрузкой на сваю 30тс. Введено в эксплуатацию 02 января 2009 г.

Исследуемый жилой дом II (нормального уровня ответственности), геотехническая категория объекта II.



Рисунок 1. Фасад жилого дома по адресу: г. Нижний Новгород, ул. Вятская, д. 9

В геоморфологическом отношении территория приурочена к северо-западной части Приволжской возвышенности на водораздельном плато р. Волги и р. Оки, на левом борту долины безымянного ручья, правого притока р. Рахмы.

В толще грунтов основания выделяются 6 инженерно-геологических элементов (ИГЭ), для каждого из которых получены нормативные и расчетные значения основных показателей физико-механических свойств грунтов:

Техногенные образования (tIV)

ИГЭ-1 - насыпной грунт уплотнённый: пески средней крупности и суглинки тугопластичные, с включением мелкого строительного мусора.

Нерасчленённые нижне-верхнечетвертичные отложения (L, epI-III)

ИГЭ-2 - суглинки лёссовые лёгкие, редко тяжёлые пылеватые, полутвёрдые, просадочные.

ИГЭ-3 - суглинки лёссовидные тяжёлые, тугопластичные.

ИГЭ-4 - суглинки лёссовидные тяжёлые, мягкопластичные.

ИГЭ-5 - суглинки лёссовидные тяжёлые, полутвердые.

Отложения верхней перми (P2)

ИГЭ-6 - глины лёгкие и тяжёлые, полутвёрдые.

В толще грунтов вскрыт на глубинах 1,80м-1,95м горизонт грунтовых вод типа «верховодка», имеющий локальное распространение. Воды безнапорные, приурочены к нижней части насыпных грунтов. Горизонт носит сезонный характер: появляется в период продолжительных ливневых дождей и активного весеннего снеготаяния, а также при нарушении поверхностного стока и утечек из водонесущих коммуникаций. Водовмещающими грунтами служат песчаные грунты обратной засыпки пазух котлована. Горизонт подземных вод не оказывает негативного влияния на фундаменты и грунты основания.

Особенностью инженерно-геологических условий изученного участка является наличие в геологическом разрезе: просадочных грунтов и лёссовидных суглинков мягкопластичной консистенции, обладающих низкими прочностными и деформационными свойствами.

Просадочные суглинки (ИГЭ-2) не являются основанием существующих свайных фундаментов, поэтому не требуют дополнительных исследований. Для части обследуемого здания в осях А-Д/10-11 мягкопластичные суглинки (ИГЭ-4) являются основанием свайных фундаментов.

По инженерно-геологическим условиям территория изысканий отнесена ко II категории (средней сложности).

В ходе инженерно-технического обследования состояния верхних строительных конструкций здания выявлены дефекты и повреждения строительных конструкций: многочисленные трещины (рисунок 2), разрушение кирпичной кладки, повреждение отмостки, раскрытие деформационного шва, вздутие и отрыв кровельного ковра, разрывы стальных листов покрытия парапета и т.д. В соответствии с ГОСТ 31937 и ГОСТ 55567 техническое состояние здания в целом классифицируется как ограниченно-работоспособное (III категория): в осях А-Д/1-10 как работоспособное; в осях А-Д/10-11 как аварийное (подавляющее число деформаций).



Рисунок 2. Трещина в стене шириной раскрытия до 35мм.

Причиной деформаций жилого дома является разность осадок свайного основания, испытываемая различными секциями жилого дома. Опираение свай на суглинки ИГЭ-3 и ИГЭ-4 с существенным отличием в прочностных и деформационных характеристиках в значительной мере сказывается на несущей способности свай и разности осадок при идентичной загрузке. Налицо ошибка в выборе длины свай, допущенная при проектировании фундаментов (сваи в осях 10-11 должны быть длиннее на 3,5-4,0м как минимум, вместо принятых 11,0м).

Для подтверждения данного вывода проведен комплекс аналитических расчетов деформаций фундамента в разных осях и полевые испытания производственных свай сечением 30×30см длиной L=11,0м (таблица 1). Сваи испытывались на участках с различными грунтовыми условиями (рисунок 3).

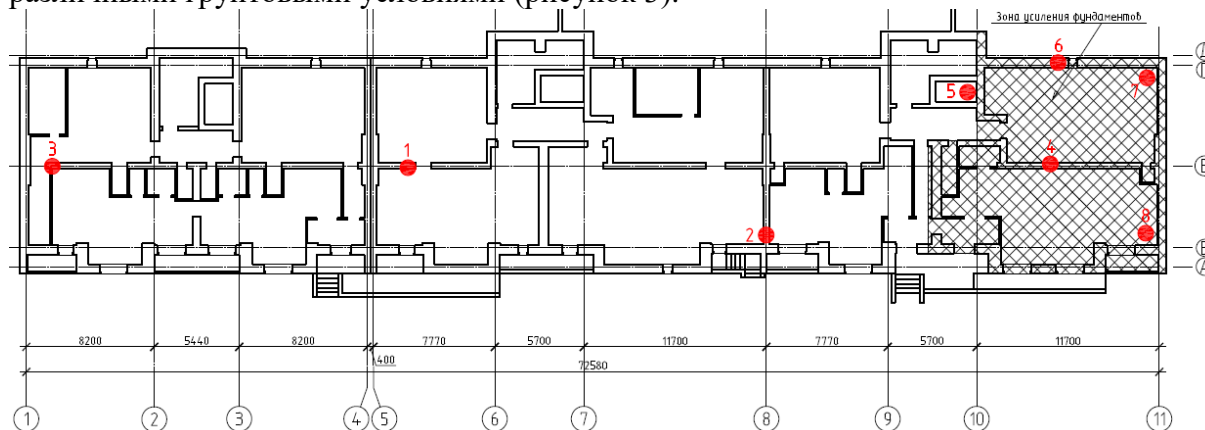


Рисунок 3. Место расположения исследуемых свай

Расчётное значение фактической несущей способности свай с опиранием на мягкопластичные суглинки ИГЭ-4 в осях А-Д/10-11 принятое по результатам испытаний недостаточно для восприятия расчетной нагрузки 35,6тс, при опирании на тугопластичные суглинки ИГЭ-3 в осях А-Д/1-10 обеспечивает восприятие расчетных нагрузок.

Для исключения неравномерности осадок произведено усиление фундаментов существующего здания осях А-Д/10-11 путем устройства дополнительных вдавливаемых стальных свай диаметром 168 мм, длиной L=24,0м, которые включаются в работу с существующими фундаментами путем устройства монолитного ростверка

После завершения процесса усиления выполнен расчет по действующим нормативам деформаций и испытания новых свай, а также на протяжении 2-х лет геотехнический мониторинг с замерами 1 раз в месяц (таблица 1). [4]

Таблица 1. Сводная таблица по результатам деформаций свай, полученных различными методами

ИГЭ	Ось здания	Сваи		Среднее значение осадок, мм			Допустимая осадка для аварийного здания, мм
		диаметр, см	длина, м	испытания	СП 22	СП 24	
3	А-Д (1-9)	30x30	11,0	1,39	1,32	1,34	6,0
4	А-Д (10-11)			6,47	6,29	6,33	
6, 7	А-Д (10-11)	16,8	24,0	0,57	0,84	0,87	

Выводы

Анализ полученных расчетов показывает, что в осях А-Д/10-11 здание подвержено большим деформациям по сравнению с остальной частью, разница составляет порядка 5 раз, вследствие чего наблюдается неравномерность в работе элементов системы «сооружение-фундамент-грунт» - причина состоит в неучете залегания грунтов с наихудшими свойствами под острием свай и как следствие выбор длины не соответствует нагрузкам передаваемых от здания.

Результаты мониторинга, проводившегося в период с 05.2016 года по 04.2018 года (в период производства работ по усилению фундаментов здания в осях 10-11 и в течение 1 года после окончания указанных работ) показали, что процессы осадки фундаментов стабилизировались в результате выполненных работ по усилению фундаментов.

Библиография

1. Кулешов А. П., Пендин В. В., Влияние методики определения свойств грунтов в численных расчётах деформаций / Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2017 — № 12 — с. 63-74.
2. Лапина А.П., Пономаренко А.В., Шенцова К.В., Котесова А.А. Анализ причин аварий на разных этапах жизненного цикла объекта строительства // Строительные материалы и изделия. 2019. Том 2. №2. С. 17 – 22.
3. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. – М.: Стандартинформ, 2011. –166 с.
4. СП 24.13330.2021. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. М.: Минрегион России, 2011

Обработка и анализ результатов мониторинга за оползневым телом, расположенным на левом берегу водохранилища р. Кубань. Гусев Д.Н. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, tein.2013@mail.ru)

Аннотация

Проведен анализ мониторинга оползневого тела геологической среды в период строительства и дальнейшей эксплуатации гидротехнических сооружений (ГТС). Дана количественная оценка параметров смещения оползневого тела за 2022 год.

Ключевые слова

Оползневое тело, смещение, инклинометрия, угол наклона.

В соответствии с порядком организации и ведения инженерно-геологических исследований в районе распространения экзогенно-геологических процессов, в частности развития оползневых процессов, должны сопровождаться мониторингом параметров состояния грунтового массива, которые необходимы для обеспечения своевременной информации для безопасной эксплуатации сооружения и обеспечения безопасности населения [3].

Целью данной работы является изучение состояния оползневого склона в период заполнения нового водохранилища в районе станицы Красногорская на территории Карачаево-Черкесской Республики.

При изучении важно получить наиболее полные данные о деформациях грунтового массива не только по данным геодезических марок, которые отражают поверхностные перемещения, осадку или выпор, но и деформации всего массива грунта, которые измеряются специальной контрольно-измерительной аппаратурой – инклинометром.

Для достижения поставленной цели следует решить следующие задачи:

- выявить отклонения контролируемых параметров;
- провести анализ степени опасности выявленных отклонений;
- установить причины их возникновения.

Материалом для исследования послужили данные производственной практики, проведенной в АО «Мособлгидропроект» в 2022 г.

Объект исследования

Исследуемый оползень расположен на левом берегу р. Кубань в 250 м выше по течению от створа строящихся Красногорских Малых ГЭС-1 и ГЭС-2 и представлен на рисунке 1. Река Кубань – наиболее крупная река Северного Кавказа с уклоном по дну и по урезу воды в межень – 6 ‰ и скоростью от 2 до 6 м/с.



Рисунок 1. Оползень 02.09.2022 г., уровень водохранилища 731,00 м.

Исследуемый оползень расположен на склоне достаточно большой протяженности и высоте. Верхняя бровка оползневого цирка находится на высоте около 849,0 м над уровнем моря, отметка НПУ водохранилища 741,5 м. Активизировавшая часть склона находится в контуре древнего оползня. Рельеф оползневого склона характеризуется крупными оползневыми блоками, крутыми обнажениями, западинами, трещинами, также встречаются и суффозионные воронки.

В геологическом строении изучаемого оползня на глубину 130,0 м принимают участие: современные-верхнечетвертичные оползневые отложения, среднеюрские элювиальные отложения байосского яруса, среднеюрские отложения байосского и ааленского яруса, элювиальные нижнеюрские отложения плинсбахского яруса, нижнеюрские отложения плинсбахского яруса. В гидрогеологическом строении участка исследования распространены три водоносных горизонтов, содержащиеся в современно-верхнечетвертичных коллювиальных отложениях (воды безнапорные), в среднеюрских отложениях байосского яруса (воды преимущественно безнапорные) и в нижнеюрских отложениях плинсбахского яруса (воды в основном безнапорные) [1].

Методика исследований

Определение смещения оползневого тела и его скорость выполнялась посредством визуально-инструментального наблюдения за геологической средой посредством геофизического метода (инклинометрии) [4] в специально оборудованных скважинах в оползневом теле, представленном на рисунке 2.

Измерения с помощью скважинного вертикального инклинометра осуществлялось по двум взаимно перпендикулярным плоскостям вдоль осей X и Y в период с 19.04.2022 по 09.12.2022 гг. В процессе измерений по полученным углам наклона скважины рассчитывается перемещение и скорость оползневого тела. Формула для расчета перемещения представлена ниже:

$$M_{xi} = L \cdot \sin a_{xi} \quad (1)$$

где L – базисное расстояние датчика-зонда, \sin_{xi} - угол отклонения от вертикали и горизонтали [2].



Рисунок 2. Древний оползень на левобережье р. Кубань, космический снимок 07.10.2022г.

Результаты

Расчеты смещения и скорости оползневого тела показали, что наибольшие изменения параметров в приповерхностной зоне происходят в районе скважины И. №2, которая находится в активной зоне склона. Смещения по оси X составили 99,17 мм, по оси У 169,37 мм (Рис. 3); скорость по оси X составила 13,05 мм/месяц и по оси У 22,29 мм/месяц. Результаты измерений по четырем инклинометрическим скважинам представлены в таблице 1.

Таблица 2. Результаты расчетов смещений и скорости с апреля по декабрь 2022 г.

№ п/п	Инклинометрическая скважина	Смещения, мм		Скорость смещения, мм/месяц	
		Ось X	Ось У	Ось X	Ось У
1	2	3	4	5	6
1	И. №1	5,77	15,04	0,76	1,98
2	И. №2	99,17	169,37	13,05	22,29
3	И. №3	51,27	80,56	6,75	10,60
4	И. №4	25,99	69,02	3,42	9,08

Примечания: все расчеты выполнены в наиболее активной приповерхностной зоне.

Общее направление смещения массива грунта направлено преимущественно на юго-восток к р. Кубань (на востоке) и к безымянному оврагу (на юге). Сравнивая результаты архивных инженерно-геологических изысканий 2018 года с результатами мониторинга 2022 г., можно отметить хорошую сходимость представлений о месте расположения зоны скольжения оползневого тела в приповерхностной зоне. По данным инклинометрии прослеживаются смещения не только в дисперсных грунтах в приповерхностной зоне, но и в скальных породах в глубинной части, что вызывает наибольшие опасения для эксплуатации будущего гидротехнического сооружения. В

весенне-осенний период наблюдаются наибольшие приращения деформаций, что связано с большим выпадением атмосферных осадков или таянием снега. Дальнейшие измерения следует проводить в наиболее опасные и нестабильные временные декады (весна, осень).

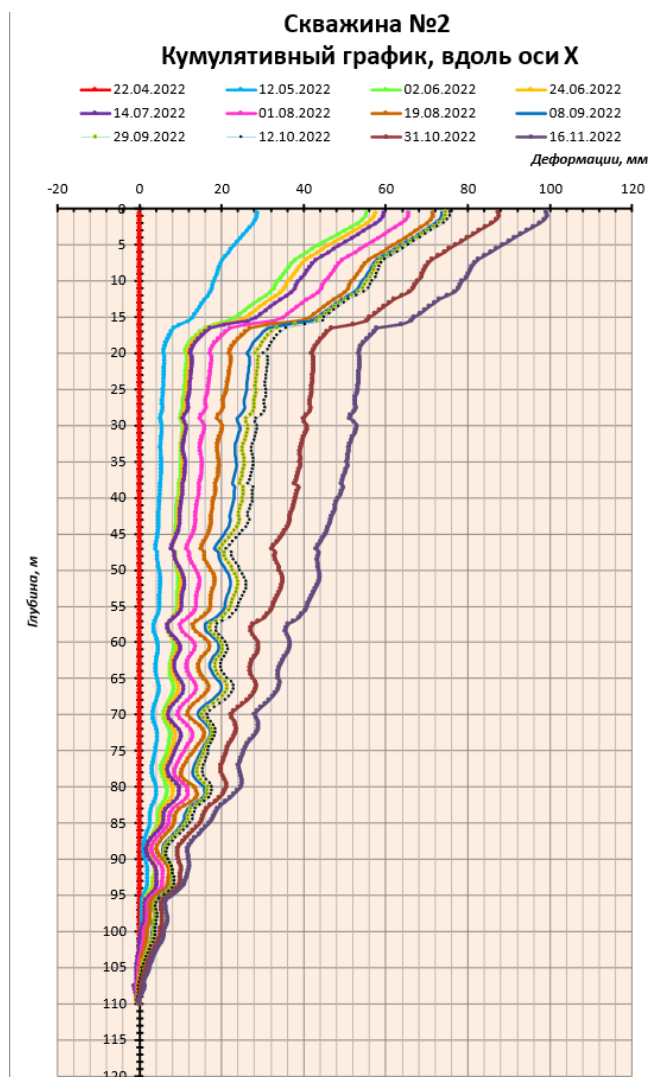


Рисунок 3. Тенденция смещения массива на примере скважины И. №2.

Библиография

1. Отчет по мониторингу за развитием оползневого процесса на левом берегу р. Кубань в период строительства;
2. Руководство по эксплуатации портативного скважинного вертикального цифрового инклинометра РЭ УСМ ИСП, ООО «СПС», 2017 г;
3. СП 420.1325800.2018 "Инженерные изыскания для строительства в районах развития оползневых процессов. Общие требования";
4. ГОСТ Р 54362–2011 "Геофизические исследования скважин. Термины и определения".

Анализ причин преобразования водоупоров (морены) при их длительной контаминации (на примере Санкт-Петербурга). Дашко Р.Э. (Санкт-Петербургский горный университет, regda2002@mail.ru), Колосова Д.Л.* (Санкт-Петербургский горный университет, s225005@stud.spmi.ru)

Аннотация

Рассматривается вопрос о трансформации водоупоров – моренных отложений Санкт-Петербургского региона за счет утечек из канализационных систем, действующих уже несколько столетий и других техногенных загрязнителей. Установлено, что такой тип грунтов не является надежным основанием для сооружений различного назначения, а также проходки в них перегонных тоннелей. Отмечается, что в силу микробной пораженности и газообразования, фильтрационная консолидация водо- и водогазонасыщенной морены наблюдаться не может.

Ключевые слова

Контаминация, моренные отложения, загрязнение водоупоров, структура воды, диффузионный процесс, сорбция, физико-механические свойства грунтов.

Теория

Подземное пространство Санкт-Петербурга характеризуется длительностью его контаминации, история которой насчитывает уже несколько веков, загрязнение наблюдается, прежде всего, за счет функционирования поселений, предприятий по обработке рыбы, а также города Ниеншанц и его окрестностей на правом берегу Невы.

Функционирование города в течение последних 320 лет привело к ускорению и активизации контаминации его подземного пространства за счет отсутствия, а позднее плохого состояния несовершенных систем водоотведения в приповерхностной зоне разреза грунтов, а начиная с 60-х – 70-х годов прошлого века утечки фиксируются из канализационных систем средней глубины заложения (от 10 до 25 м), которые были пройдены в верхней морене.

В данной работе рассматривается вопрос о загрязнении осташковской морены глинистого состава (*gIIIos*), которая рассматривается как водоупор для грунтовых вод, а с 10-х годов XXI века служит средой для размещения перегонных тоннелей метрополитена. Исследования кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Санкт-Петербургского горного университета показали, что грунтовые воды отличаются высоким уровнем контаминации за счет, прежде всего, органических соединений биотического и абиотического генезиса, характерными для болотных вод и состава утечек канализационных сетей [3]. Необходимо подчеркнуть, что происходит значительное обогащение рассматриваемых глинистых грунтов микроорганизмами в основном анаэробных таксонов, поскольку высокое содержание органики обеспечивает отрицательные значения окислительно-восстановительного потенциала (Eh) на большей части режимных скважин подземных вод (>95%). Вполне понятно, что такой высокий уровень загрязнения сказывается на состоянии водоупоров моренных отложений, при этом их контаминация может идти как за счет диффузионных процессов, так и за счет перетекания загрязненных вод в нижележащие толщи при определенных

гидродинамических условиях, если действующий градиент (I_D) характеризуется большими значениями, чем начальный градиент фильтрации (I_H).

В качестве примера можно привести характер загрязнения глинистой морены в пределах северо-восточной части Васильевского Острова, в которой величина органической составляющей ($C_{орг}$) была равна 3%, определенная по методу Тюрина (метод «мокрого сжигания»). Для залегающей на рассматриваемой территории морены был характерен ярко выраженный характер пластического разрушения в условиях их испытаний в стабилометрах, а модуль их деформации варьировал в пределах от 2 до 3 МПа (рис. 1).

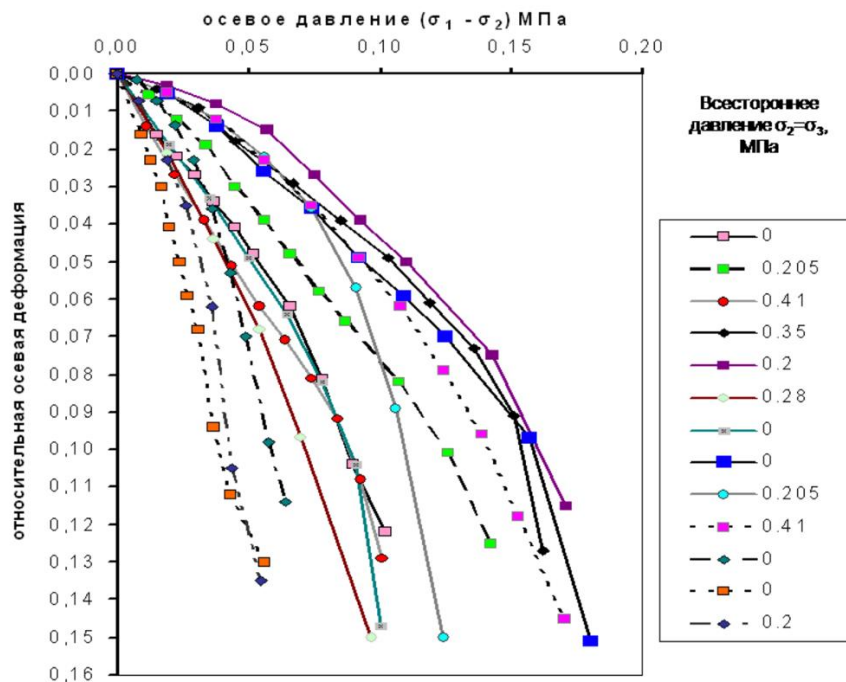


Рисунок 1. Развитие относительной осевой деформации тугопластичных моренных суглинков с площадки на углу ул. Нахимова и ул. Наличной в зависимости от осевого давления в условиях трехосного сжатия при различных значениях всестороннего давления [2].

В этом же районе проводились послойные наблюдения (с помощью глубинных реперов) за деформациями грунтов основания двенадцатиэтажного дома. Сравнительный анализ дал возможность убедиться в том, что численные значения модуля деформации контаминированных морен не имели расхождений и полностью совпадали с вышеприведенным примером. Хотелось бы подчеркнуть, что анализ получения деформационных характеристик грунтов в полевых условиях методами обратного расчета и в лабораториях должны проводиться при работе грунта в условиях двух- или трехмерного сжатия с возможностью бокового расширения, так как одномерной задачи в природе не существует.

Вместе с тем, в нормативных документах, в том числе в ТСН 50-302-2004, морены рассматриваются как надежный несущий слой для свайных фундаментов. Необходимо подчеркнуть, что морена в окислительной среде обладает структурными связями, определяемых наличием гидроксидов железа, в восстановительной среде все структурные связи разрушены в связи с переходом трехвалентного железа (Fe^{3+}) в двухвалентную форму (Fe^{2+}). Морена восстановительной среды представляет собой грунты, где основной тип структурных связей характеризуется молекулярной природой

[1]. Вместе с тем, обобщение наблюдений за эксплуатацией жилых и административных зданий, возведенных на данных глинистых образованиях при их техногенной пораженности дает «печальную» картину: осадки зданий протекают 10 лет и более и по своим абсолютным величинам и неравномерности превосходят допустимые значения, в силу чего в несущих стенах (в кладке несущих стен) формируются трещины, наблюдается перекос оконных и дверных проемов, нарушается тем самым комфортность проживания и эксплуатации таких зданий. Кроме того, контаминированные грунты и грунтовые воды часто способствуют незатвердению бетонов буронабивных свай, а в отдельных случаях бетонов оградительных конструкций.

Органическая и неорганическая компоненты сорбируются на глинистых частицах и наблюдается формирование «рубашек» или пленок смешанного состава. Такие пленки изменяют связность (сцепление пород), а также приводят к резкому снижению угла внутреннего трения, и морена превращается в квазипластичную среду.

Рассмотрим процесс обогащения морены в анаэробной среде. К таким микроорганизмам относятся метанобразующие бактерии, сульфатредуцирующие, водородобразующие, железовосстанавливающие, аммонифицирующие и др. Часть из них способны генерировать малорастворимые и растворимые газы. Образование малорастворимых газов (молекулярный водород, молекулярный азот, метан и др.) приводит к разуплотнению грунтов и переходу их от водонасыщенных в водогазонасыщенные. Еще Ю.К. Зарецкий, который занимался вопросами консолидации глинистых грунтов, отмечал, что снижение степени водонасыщения (S_r) до 0,95 и менее приводит к эффекту отсутствия порового давления и, соответственно, невозможности развития фильтрационной консолидации, деформации глинистых грунтов, в том числе морены, происходят за счет ползучести скелета при условии развития поперечных деформаций.

Как уже было сказано ранее, при внесении техногенных вод в водонасыщенные глинистые грунты состав их поровых вод изменяется. Известно, что под действием таких процессов наблюдается изменение структуры поровой воды в сторону ее упрочнения. Согласно современным научным представлениям, молекула воды имеет тетраэдрическое строение с двумя положительными и двумя отрицательными полюсами, такая структура образует «жидкий кристалл». На структурирование поровой воды влияют сами глинистые минералы за счет действия активных центров [4], а также привнесенные из техногенных вод компоненты: различные анионы и катионы, «твердые» малорастворимые пузырьки газа, микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности. В таком случае структура поровой воды становится сравнима со структурой твердого тела, что практически исключает ее отток из глинистых грунтов, развитие порового давления, а также применение в расчетах проектирования сооружений различного назначения теории фильтрационной консолидации.

Выводы

1. Рассмотренные в данной работе моренные глинистые грунты обладают ярко выраженными свойствами пластических деформаций и не являются надежной средой для сооружений различного назначения, а также необходимо отметить, что проектирование транспортных сооружений требует расчетов с использованием принципов теории пластичности, необходимо учитывать негативное преобразования состояния и свойств рассмотренных грунтов.

2. Под действием давлений от эксплуатируемых сооружений фильтрационная консолидация в моренных глинистых грунтах не протекает;

3. Присутствие в моренных грунтах всех вышеперечисленных компонентов делают их среду агрессивной по отношению к строительным конструкционным материалам.

Библиография

1. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Котюков П.В. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2011. – Т. 1. – С. 1-47.
2. Дашко Р.Э., Горская В.А. Инженерно-геологические и экологические аспекты преобразования моренных грунтов в подземной среде Санкт-Петербурга для оценки их несущей способности // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – №. 12-1 (54). – С. 56-60.
3. Дашко Р. Э., Карпенко А. Г. К вопросу о необходимости изучения влияния болот как биогеоценозов на изменение инженерно-геологических условий // Инженерная геология. – 2021. – Т. 16. – №. 2. – С. 32-41.
4. Distler G. I., Vlasov V. P., Kanevsky V. M. Orientational and long range effects in epitaxy // Thin Solid Films. 1976. Vol. 33. №. 3. P. 287-300.

Инженерная геология и сохранение архитектурно-исторических памятников (на примере Санкт-Петербурга). Дашко Р.Э. (Санкт-Петербургский горный университет, regda2002@mail.ru), Карпенко А.Г. (Санкт-Петербургский горный университет, ange.karpencko2017@yandex.ru)*

Аннотация

В работе дается оценка современного подхода к проведению реконструкционных и реставрационных работ с целью сохранения архитектурно-исторических памятников. Авторы акцентируют внимание на необходимости изучения не только состояния надземных элементов зданий и сооружений, но и их подземной части, при этом подход к исследованию последней должен базироваться на рассмотрении подземной среды как многокомпонентной системы. В работе проводится анализ негативного воздействия различных источников контаминации на специфику условий подземного пространства города. Дается современная оценка состояния подземных несущих и дополнительных конструкций некоторых архитектурно-исторических памятников с учетом воздействия агрессивности подземной среды.

Ключевые слова

Архитектурные памятники, подземное пространство, мониторинг.

Теория

Санкт-Петербург – культурная столица России, приурочен к дельтовой части р. Невы. Исторический центр города, занимающий площадь около 39 км², расположен на 12 крупных островах, имеющих наиболее низкие абсолютные отметки дневной поверхности, в пределах которых расположено около 85% архитектурно-исторических памятников, возведенных русскими, итальянскими, французскими архитекторами в XVIII-начале XX вв. Исторический центр Санкт-Петербурга признан объектом культурного мирового наследия и находится под охраной ЮНЕСКО с 1990 г.

При составлении проектов реконструкции и реставрации большое значение имеет корректность оценки состояния подземной среды, в том числе инженерно-геологических, гидрогеологических и геотехнических условий, которые требуют нетривиального подхода, особенно при высоком уровне сложности освоения и использования подземного пространства. Кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии Санкт-Петербургского горного университета под руководством профессора Дашко Р.Э. был создан и внедрен в теорию и практику подход к рассмотрению подземного пространства как многокомпонентной системы. В рамках данного подхода необходим учет специфики песчано-глинистых и органогенных грунтов, которые в пределах разреза исторического центра Санкт-Петербурга разделены на две толщи. Верхняя представлена четвертичными отложениями (Q₂-Q₄), мощность которых меняется в зависимости от подземного рельефа коренных пород, определяемого наличием палеодолин. Исследования дельтовой части Санкт-Петербурга показали, что погребенными долинами занято от 26 до 75% площади островной территории. Нижняя толща представлена верхневендскими глинами и песчаниками, которые относятся к грунтам высокой степени литификации. Рассматриваемые толщи служат вмещающей средой для подземных вод, микроорганизмов, газов различного генезиса и подземных конструкций, взаимодействующих с выше перечисленными компонентами.

При реконструкции и реставрации проблема корректности составления соответствующих проектов тесно связана не только со спецификой песчано-глинистых грунтов, учетом наличия палеодолин и глубины залегания кровли коренных пород, но и с особенностями гидродинамических, химических, физико-химических и биохимических характеристик, прежде всего, грунтовых вод. Это обстоятельство до сих пор не нашло своего отражения в действующих нормативных документах и при проведении научно-исследовательских работ, без которых составление проектов может не отвечать реальной сложности подземной среды.

На формирование специфики пятикомпонентного подземного пространства города большое влияние оказывало наличие болот, которые до начала функционирования Санкт-Петербурга занимали около 75% будущей территории. По мере освоения территории и развития города болотные отложения мощностью 2 м полностью снимались, а при большей – засыпались техногенными грунтами различного состава. Необходимо отметить, что болота оказывают необратимое воздействие на подстилающую толщу грунтов и подземные воды за счет их обогащения органической составляющей абиотического и биотического генезиса. Обращает на себя внимание богатство болотной микрофлоры, представленной в основном анаэробными и факультативными таксонами микроорганизмов, численность которых может варьироваться от 10^3 - 10^4 до 10^8 - 10^9 клеток на 1 г. Следует отметить, что погребенные болота не «гниют», как указано в ТСН 50-302-2004, а продолжают воздействовать на грунты и подземные воды в условиях анаэробности среды. Так, например, в глинистых отложениях озерно-ледникового и ледникового генезисов, для которых характерно наличие цементационных связей за счет гидроксидов железа, отмечается его восстановление в анаэробной обстановке. Данный процесс обуславливает снижение агрегированности отложений, повышение содержания глинистой фракции и как следствие – рост их гидрофильности. В результате глинистые грунты в анаэробных условиях переходят в квазипластичное состояние. Генерация малорастворимых биохимических газов (CH_4 , N_2 , H_2) соответствующими бактериями болотной микрофлоры способствует разуплотнению грунтов, а их депонирование вызывает изменение напряженно-деформированного состояния толщи пород [3]. Необходимо также иметь в виду, что в настоящее время подземное пространство города и, прежде всего, грунтовые воды контаминированы за счет утечек из систем водоотведения, которые в историческом центре Санкт-Петербурга проложены на небольшой глубине (не более 2 м). Поступающие канализационно-бытовые стоки способствуют дополнительному привносу в подземную среду микроорганизмов и органических соединений (белков, жиров и углеводов).

В процессе реконструкции и реставрации полностью игнорируется деятельность микроорганизмов, прежде всего, с позиции развития процесса биокоррозии. Опыт обследования ряда архитектурно-исторических памятников, среди которых можно назвать комплекс зданий Нового Эрмитажа, Биржа, Исаакиевский собор, Александровская колонна, которые находятся в непосредственной близости друг от друга в сходных инженерно-геологических, гидрогеоэкологических и геотехнических условиях, дал возможность установить особенность разрушения материалов, применявшихся в строительстве XVIII-XIX вв., в том числе известняков (путиловской плиты), кирпича и гончарных труб, дерева (сосны). Так, например, обследование известняковых плит, используемых для кладки фундамента Нового Эрмитажа, в большинстве своем, показало их разрушение до состояния доломитовой муки. Деревянные лежни были поражены бактериями и микромицетами, что отражалось в изменении их цвета: серые, реже красновато-желтые и зеленоватые оттенки, - и

структуры: древесина легко разделялась на отдельные волокна, при нажатии на нее отдавала воду, а при высыхании на воздухе приобретала «псевдокамневидный» вид. Исследование кирпичной кладки фундаментов зданий Нового Эрмитажа установила низкую степень его сохранности: при выбуривании керна более 40% материала дезинтегрировано до тонкодисперсного состояния и состояния крошки; отмечалось его «дискование» [2]. Переход строительных материалов подземных несущих конструкций в ограниченно работоспособное состояние вносит свой вклад в длительную устойчивость архитектурно-исторических памятников: разрушение фундаментов значительно изменяет их площадь, приводя к росту давления на грунты. Рост осадок основания и их неравномерность отражается в развитии длительных деформаций и трещинообразовании в стенах зданий Нового Эрмитажа (рисунок 1).



Рисунок 1. Трещины в несущих конструкциях Нового Эрмитажа со стороны Миллионной улицы (фото В.А. Горской)

В настоящее время особого внимания заслуживает Александровская колонна и проблема ее длительной устойчивости. Проведенный авторами анализ состояния надземных и подземных конструкций приводит к однозначному выводу, что необходима организация комплексного мониторинга для оценки динамики развития деформаций архитектурно-исторического памятника в силу того, что в 1937 и 2000 гг. был зафиксирован крен, скорость развития которого за данный период составила 0,5 мм/год [4]. Развитие крена обусловлено разрушением подземных конструкций и формированием неравномерных осадок водогазонасыщенных грунтов в основании Александровской колонны. До настоящего времени данный вид деформации архитектурно-исторического памятника не принимался во внимание при анализе проблемы его длительной устойчивости.

Для Исаакиевского собора наиболее опасным процессом является выпор грунтов из-под фундамента в юго-западной части, который коррелируется с направлением крена, что было впервые отмечено в 1927 г. Проведенная фотофиксация гранитных колонн Исаакиевского собора, играющих роль несущих конструкций, показала, что наибольшее количество трещин различного направления и конфигурации фиксируется в южном и западном портиках. Трещинообразование идет настолько интенсивно, что их ликвидация с помощью различных мастик помогает лишь на короткое время. Следует отметить, что грунтовые воды в основании Исаакиевского собора характеризуются неравномерной минерализацией, особенно повышенной в его юго-восточной части, что объясняется прорывом вод регионального канализационного коллектора в 2005 г. [1].

Обследование Биржи и ее подземных конструкций также несет на себе все следы развития коррозии, в том числе и биокоррозии. Отмечается поражение лежней,

частичное разрушение известняков фундамента и выщелачивание растворов из его бутовой кладки. В процессе проведения изысканий было зафиксировано образование гидротроиллита, свидетельствующего о деятельности сульфатредуцирующих бактерий, которые обычно встречаются в богатом биоценозе. Также, как и в случае выше упомянутых памятниках, грунтовые воды имеют высокую минерализацию со всеми признаками выщелачивания щелочноземельных элементов (ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}) из подземных конструкций.

Выводы

На основании всего выше сказанного следует, что необходим пересмотр подхода к составлению проектов реконструкции и реставрации, в которых большое внимание должно быть уделено изучению особенностей инженерно-геологических, гидрогеоэкологических и геотехнических условий подземной среды в зоне размещения архитектурно-исторических памятников с учетом специфики ее контаминации в историческом аспекте. Кроме того, подход к изучению подземного пространства должен базироваться на рассмотрении его как многокомпонентной системы, где трансформация одного компонента влечет за собой преобразование всех остальных. Необходим учет деятельности подземных микроорганизмов, негативно воздействующей на состояние грунтов, способствующей развитию процессов (газогенерация, изменение напряженно-деформированного состояния и др.) и формированию высокой коррозионной агрессивности подземной среды по отношению к конструкционным материалам.

Библиография

1. Дашко Р.Э. Особенности разрушения подземных конструкций архитектурно-исторических памятников при агрессивном воздействии компонентов подземной среды в Санкт-Петербурге. Опыт сохранения культурного наследия: проблемы реставрации камня: Сборник материалов международной научно-практической конференции (ГМЗ «Петергоф»). – СПб: Астерион, 2014. - С. 76-87.
2. Дашко, Р.Э. Многофакторная оценка причин прогрессирующего разрушения комплекса зданий Нового Эрмитажа / Р.Э. Дашко, В.А. Горская // Промышленное и гражданское строительство. – Москва, 2015. – №11. – С. 8-14.
3. Дашко Р.Э. К вопросу о необходимости изучения болот как биогеоценозов на изменение инженерно-геологических условий / Р.Э. Дашко, А.Г. Карпенко // Инженерная геология. 2021. Том 16. №2. С. 32-41.
4. Карпенко А.Г. Комплексный анализ длительной устойчивости Александровской колонны с учетом инженерно-геологических и гидрогеологических аспектов. Проблемы геологии и освоения недр: труды XXVI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. Том 1. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2022. – С. 190-192.

Физическое моделирование процессов выветривания известняков из районов Староладожской крепости и пещерного города Чуфут-Кале. Дубровин К.А. * (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе» (МГРИ), kadubrovin@gmail.com)

Аннотация

Процесс выветривания, подразделяющийся на физическое и химическое, часто является причиной угнетенного состояния памятников. В данной работе приведены результаты лабораторного физического моделирования химического и физического выветривания известняков из районов Староладожской крепости и пещерного города Чуфут-Кале, где они выступают в качестве строительного материала (Ладога) или вмещающих пород (Чуфут-Кале). Приведено подробное описание хода выполнения лабораторных исследований.

Ключевые слова

Физическое моделирование, выветривание, Староладожская крепость, пещерный город Чуфут-Кале, известняк.

Теория

В настоящее время все большее предпочтение отдаётся компьютерному численному моделированию, ведутся активные разработки в этом направлении. Однако, некоторые процессы доступнее и достовернее моделировать «по старинке», прибегая к методам физического моделирования. В данной работе приводятся результаты физического моделирования процессов выветривания, с учётом специфики региона и типа расположения исследуемых объектов, их состояния и инженерно-геологических условий участков их расположения.

Объектами исследования являются Староладожская крепость (Ленинградская область) [1] и пещерный город Чуфут-Кале (Республика Крым) [3], однако полученные в ходе эксперимента результаты допустимо проецировать и на другие архитектурно-археологические памятники, находящиеся в тех же регионах [2, 4, 5], а значит схожих инженерно-геологических условиях.

Целью исследования являлось изучение воздействия геологического процесса выветривания на исследуемые архитектурно-археологические памятники.

Для этого были решены следующие задачи:

1. Изучены инженерно-геологические условия (ИГУ) участков расположения исследуемых памятников;
2. Определен главенствующий тип активно протекающего процесса выветривания (химическое, физическое, в зависимости от ИГУ);
3. Оценена интенсивность процесса.

Основными методами решения поставленных задач являлись натурное обследование памятников, сбор, анализ и обобщение как полученной в ходе обследования, так и фондовой информации, и, наконец, само физическое моделирование процессов выветривания.

Методика

Исходя из анализа ИГУ участков расположения исследуемых объектов [1, 3], было выяснено, что для Староладожской крепости наибольшим угнетающим воздействием на состояние памятника обладает физическое выветривание, а именно морозное растрескивание пород известняковой кладки в условиях влажного климата и частых переходов температур через 0°C в зимний период. Как уже было сказано ранее, ожидается, что данный тезис, как и изложенные далее результаты моделирования, будут справедливы и для других ранее изученных автором памятников описываемого региона [2, 5]. Для пещерного города Чуфут-Кале, расположенного в южных широтах в скальном известковом массиве (как и других памятников в схожих условиях [4]) – химическое выветривание, а именно выщелачивание известняков атмосферными осадками (в том числе катастрофическими ливнями [6]).

Процесс моделирования *физического выветривания* сводился к многократной имитации процессов промерзания-оттаивания образца с фиксацией формирующихся в ходе каждого цикла трещин и обломков, а также расчётом общей потери массы образца в конце эксперимента после нескольких подобных циклов.

В ходе полевого выезда с целью изучения Староладожской крепости были отобраны образцы известняка, который использовали в качестве материала для её облицовочной кладки.

Перед началом исследований образцы были очищены под проточной водой без использования абразивных материалов и каких-либо агрессивных чистящих средств от загрязнений, пыли, мелких обломков. Затем образцы промакивались перфорированной водопопитывающей бумагой и высушивались сначала при комнатных условиях (примерно 25°C и влажности 30–45%), затем в духовом шкафу при температуре около 100°C в течение не менее 3 часов с целью удаления влаги, в том числе атмосферной. Далее образцы взвешивались на точных весах (чувствительностью 0,01 г.). Полученные значения были занесены в журнал в качестве исходных для исследуемых образцов.

После вышеописанной подготовки образцы постепенно водонасыщались, затем помещались в герметичный полиэтиленовый пакет с маркировкой номера образца и располагались в морозильной камере при температуре примерно -18°C на 10–12 часов. По истечению данного времени пакеты с образцами извлекались из морозильной камеры и помещались в тару с водой комнатной температуры, где образцы размораживались. После полного их оттаивания осуществлялся осмотр, в ходе которого выявлялись образования трещин, сколов, обломков (рисунок 1).

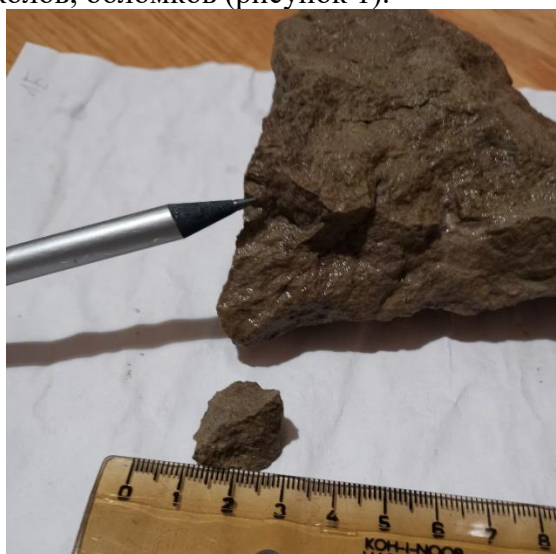


Рисунок 1. Характер разрушения после 15 циклов промораживания-оттаивания

Результаты наблюдений фиксировались в лабораторном журнале. Далее образцы вновь размещались в морозильной камере и начинался новый цикл их промерзания-оттаивания.

Процесс моделирования *химического выветривания* заключался в многократной имитации воздействия атмосферных осадков на исследуемые образцы для оценки процессов химического взаимодействия исследуемых горных пород и атмосферных осадков.

В ходе полевых работ, проведенных для исследования пещерного города Чуфут-Кале, были отобраны образцы слагающих скальный массив известняков, которые можно разделить на два вида: первый – серый перекристаллизованный, залегающий в верхней части разреза (бронирующий), и белый, залегающий в основании скального массива.

Описываемое лабораторное моделирование процесса химического выветривания выполнялось по методике, разработанной и опробированной профессором кафедры инженерной геологии МГРИ Л.А. Ярг в 1977–1993 гг. [7, 8]. Мы пользовались созданной ею установкой для моделирования химического выветривания (МАК).

Первоначально было необходимо подготовить образцы к испытаниям, для этого, с помощью применения молотка и зубила отобранные крупные образцы были расколоты на более мелкие, в среднем 6–8 см в длину и 4–6 см в ширину. Далее полученные меньшего размера образцы породы помещались в духовой шкаф при температуре около 100°C на не менее чем 3 часа с целью удаления из них атмосферной влаги. Затем высушенные образцы взвешивались, а полученные значения были занесены в журнал в качестве исходных. После подготовки и взвешивания образцы помещались в реакторы. Общая схема работы установки следующая – в верхний резервуар объёмом 2 литра заливалась вода, которая по шлангу подачи жидкости с заданной с помощью крана-дозатора скоростью поступала в реактор с образцами исследуемой породы, вступая с ними в контакт. Далее, после взаимодействия с образцами породы вода, обогащенная вымытыми из известняка химическими элементами, попадала в нижний резервуар. Проведение опыта сопровождалось измерением общей минерализации (прибор HANNA DiST 1) и pH (HANNA pH checker) воды в начале и конце каждого цикла.

Всего автором было реализовано 3 модели: 1) Белый известняк, одиночный слив (после опорожнения верхнего резервуара в него снова заливалось 2 литра дистиллированной воды); 2) серый перекристаллизованный известняк, замкнутый цикл из 10 сливов (после опорожнения верхнего резервуара в него заливалась вода из нижнего резервуара); 3) серый перекристаллизованный известняк, одиночный слив. В результате, за 10 циклов в 1 модели минерализация увеличивалась на значения от 36 до 225 мг/л, во 2 модели от 26 до 91, а в 3 модели от 13 до 34 мг/л. pH изменялся на 0,1–0,5, 0,1–0,3 и 0,2–0,4 соответственно.

В качестве жидкости-агента была использована дистиллированная вода.

При появлении в конце цикла на дне нижнего резервуара осадка проводилось переливание жидкости (в случае 2 модели с её сохранением) через заранее взвешенную на точных весах фильтровальную бумагу, с целью улавливания осажденных частиц и расчета их веса после высыхания. Для этого фильтровальная бумага после процесса переливания высушивалась в духовом шкафу и повторно взвешивалась. Полученная разница в весе бумаги соответствовала весу осадка.

По завершении испытаний все образцы были вновь высушены в духовом шкафу и взвешены, после чего вычислялась разница исходных и итоговых значений веса образцов.

Выводы

По итогу проведения работ все поставленные задачи были выполнены, а цель достигнута. Основываясь на прошлых работах автора по изучению ИГУ участков расположения исследуемых объектов были выделены главенствующие типы активно воздействующего на памятники процесса выветривания. Так, в силу региональных особенностей для расположенной в северных широтах Староладожской крепости типичным будет преобладание физического выветривания, в то время как для расположенного на юге пещерного города Чуфут-Кале – химического. Исходя из полученных данных было решено осуществить физическое лабораторное моделирование физического выветривания на образцах, собранных автором в близости Староладожской крепости, а химическое – на собранных автором на территории Чуфут-Кале. Опробованы методы физического моделирования по отношению к исследуемым архитектурно-археологическим памятникам. Дано подробное описание хода выполнения лабораторных исследований. Планируется продолжение исследований по теме данной работы и внедрение её результатов в итоговую научную работу автора.

Библиография

1. Вязкова О.Е., Дубровин К.А. Инженерно-геологические проблемы музеефикации Староладожской крепости // Инженерные изыскания в строительстве. Материалы Четырнадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций. М.: ООО «Геомаркетинг». 2018. С. 528–533.
2. Вязкова О.Е., Дубровин К.А. Анализ влияния инженерно-геологических условий на формирование и функционирование ИПТС «Выборгский замок» // Молодые – наукам о Земле. Материалы IX Международной научной конференции молодых ученых в 7 т. М.: 2020. С. 82–84.
3. Дубровин К.А. Влияние инженерно-геологических условий на музеефикацию пещерных городов Мангуп-Кале и Чуфут-Кале (Республика Крым) // Молодые – Наукам о Земле, Тезисы докладов X Международной научной конференции молодых ученых. Том 5. М.: Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), 2022. С. 144–148.
4. Дубровин К.А., 2021. Влияние инженерно-геологических условий на перспективы музеефикации пещерного города Эски-Кермен (Республика Крым). Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации, Материалы докладов XVI Общероссийской конференции изыскательских организаций, ООО «Геомаркетинг», Москва, 2021, С. 641–647.
5. Дубровин К.А. Влияние изменения гидрографической сети на сооружения крепостей Русского севера // Материалы третьей Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве». М.: Геомаркетинг, 2019. С. 119–125.
6. Официальный сайт МЧС России по Республике Крым, 2021. Информация по прохождению комплекса опасных метеоявлений. URL: <https://82.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/operativnaya-informaciya/4504287> (дата обращения: 08.07.2021).
7. Ярл Л.А. Влияние гидрохимических условий на направленность процесса выветривания горных пород //Изв. Вузов. Геология и разведка. 1982. № 5. С. 122–130.

Оценка оползневой опасности ПТС различного иерархического уровня (На примере в районе Шапа провинции Лаокай Вьетнама). Зьонг Ван Бинь (МГРИ, Ханойский горно-геологический университет, duongvanbinh@humg.edu.vn), Фоменко И. К. (МГРИ, ifolga@gmail.com), Нгуен Чунг Киен (Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий, kien.mgri@gmail.com), Ву Хонг Данг (Вьетнамский институт наук о Земле и минеральных ресурсов, hongdangbg@gmail.com), Сироткина О. Н. (МГУ им. М. В. Ломоносова, onsirotkina@mail.ru), Динь Тхе Хиен (Ханойский университет гражданского строительства, dinhthehien07@gmail.com)*

Аннотация

Эффективный подход к оценке оползневой опасности должен базироваться на комплексном применении современных методов, основанных на разных принципах, с учетом уровня иерархии ПТС, в том числе: состава и значимости учитываемых факторов, качества и типа исходной информации, а также допустимом уровне достоверности результатов исследования. В статье приводятся результаты исследования оползневой опасности для ПТС регионального, локального и элементарного уровня в районе Шапа провинции Лаокай Вьетнама. Региональная оценка была сделана на основе составления карт зон оползневой опасности с использованием ГИС и базирующихся на совместном анализе результатов комплекса количественных статистических методов с обязательной валидацией моделей путем сравнения полученных карт оползневой опасности с картой инвентаризации. Локальная оценка оползневой опасности произведена с применением детерминистического подхода в программном комплексе Scoops 3D, основанного на вычислении коэффициента устойчивости с последующим анализом результатов в геоинформационной системе. На элементарном уровне ПТС оценка оползневой опасности выполнена с использованием комплексного применения методов математического моделирования (предельного равновесия в сочетании с методом конечных элементов), дополненных вероятностным анализом. Результаты исследования показали, что эффективный подход к оценке оползневой опасности должен базироваться на комплексном применении современных методов, основанных на разных принципах, с учетом уровня иерархии ПТС, в том числе: состава и значимости учитываемых факторов, качества и типа исходной информации, а также допустимом уровне достоверности результатов исследования.

Ключевые слова

Оползневая опасность, геоинформационные системы (ГИС), статистические методы, методы математического моделирования, природно-техническая система, Шапа, Вьетнам

Введение

За последние годы в разных странах и разными исследователями были разработаны многочисленные методы комплексного анализа ПТС с целью прогнозирования развития оползневого процесса, которые были классифицированы по трем основным категориям: качественные, количественные и полуколичественные [4]. Корминас, Дж. (2014) [3] классифицировал масштабы исследования на основе площади территории и, в соответствии с этим рассмотрел вопросы, связанные с оценкой оползневой восприимчивости, опасности и оползневого риска. В этом исследовании

оценка оползневой опасности была выполнена на трех иерархических уровнях ПТС с использованием статистического, детерминистического метода и методов математического моделирования.

Теория

Район Шапа (Рисунок 1) расположен в северо-западной провинции Лаокай и характеризуется сложной геологической структурой, мощной корой выветривания и большим количеством осадков [2]. Общее количество наблюдаемых оползней на территории района Шапа составляет 150, при этом самый большой оползень составляет 70447,4 м². Чунгчай - одна из трех коммун в районе Шапа с самой высокой оползневой опасностью, включая знаменитый оползень Монг Сен [1].

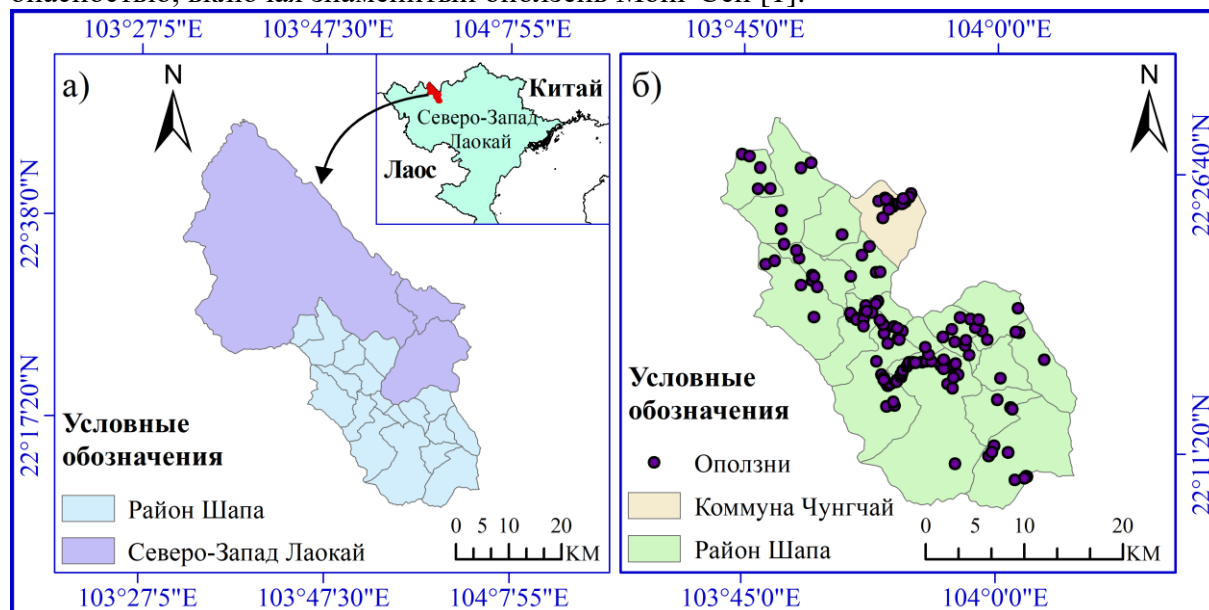


Рисунок 1. Расположение района Шапа и коммуны Чунгчай

Подход к оценке оползневой опасности для ПТС различных иерархических уровней будет различен. Таким образом, иерархический уровень ПТС должен определять методику оценки и прогноза оползневой опасности. На рисунке 2 приведена иерархическая структура ПТС для оценки оползневой опасности района Шапа провинции Лаокай.

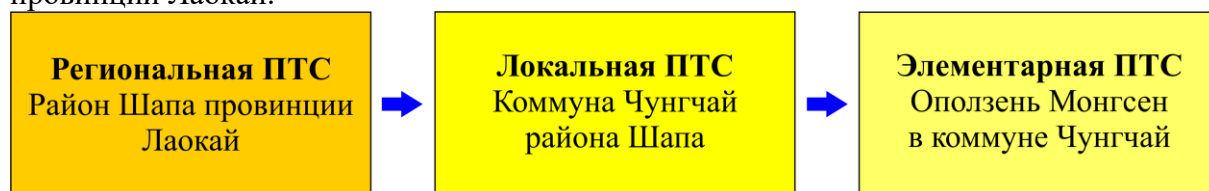


Рисунок 2. Иерархическая структура ПТС оценки оползневой опасности района Шапа

При оценке региональной оползневой опасности использовались следующий комплекс статистических методов: соотношения частот (FR), анализа оползневой восприимчивости (LSA) и статистического индекса (SI). В результате территория района Шапа была разделена на пять зон по оползневой опасности: очень низкую, низкую, среднюю, высокую и очень высокую (Рисунок 3). Зона очень высокой оползневой опасности составляет примерно 20% исследуемой территории. Значения AUC для всех трех статистических моделей превышают 70%, что указывает на то, что все они обладают хорошей эффективностью прогнозирования.

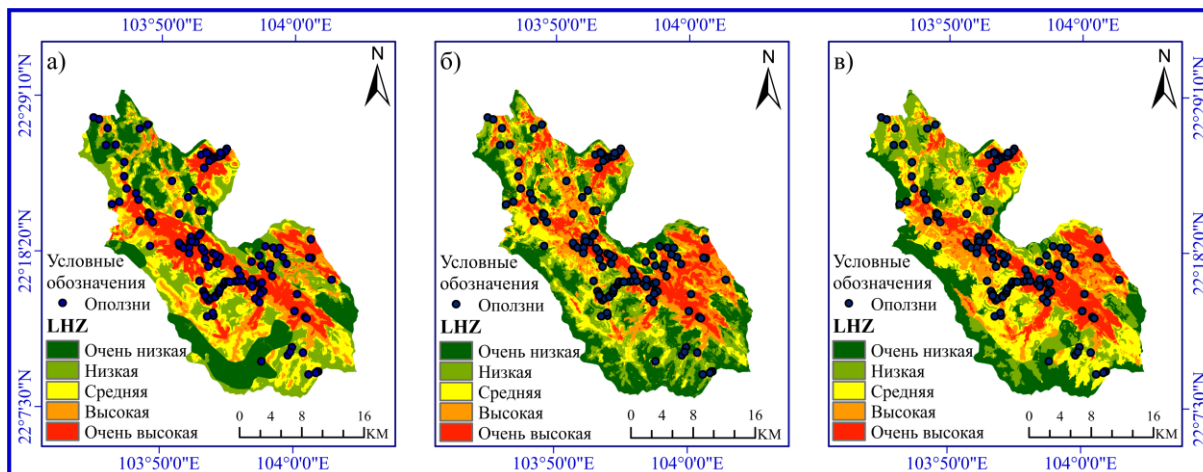


Рисунок 3. Карты оползневой опасности с использованием FR (а) LSA (б) и SI (в) моделей

Локальная оценка оползневой опасности оценивалась на основе расчетов устойчивости склонов в коммуне Чунгчай с использованием программы Scoops3D для различных сценариев, учитывающих различные варианты воздействия основных триггеров оползней - осадков и землетрясений (Рисунок 4). Достоверность моделей Scoops3D была оценена путем сравнения полученных результатов с картой инвентаризации оползней с использованием индекса подтверждения %LR_{class} который превысил 64%, что может считаться удовлетворительным результатом.

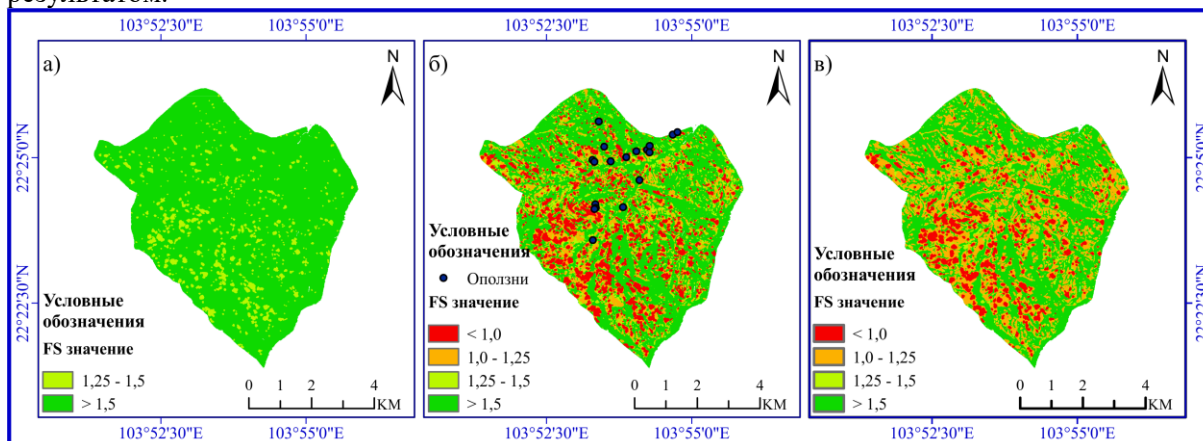


Рисунок 4. Карта оползневой опасности в сухом сезоне (а), с учетом влиянием осадков (б) и с учетом сейсмического воздействия ($keq = 0,2$) (в)

Оценка оползневой опасности ПТС элементарного уровня выполнена на основе обратных расчетов устойчивости оползня в коммуне Чунгчай района Шапа, с использованием метода предельного равновесия в объемной постановке задачи (Рисунок 5). Анализ полученных результатов на основе метода предельного равновесия (МПР) показал, что в «сухой» период склон является устойчивым, коэффициент устойчивости (FS) составляет 1,258 и 1,178 при вероятностном и детерминистическом анализе соответственно. Вероятность активизации оползневой процесса (PF) составляет 3,2%. При $PF > 2,3\%$ уровень надежности системы оценивается как опасный. Поэтому, несмотря на тот факт, что моделируемый склон в «сухой» период является устойчивым, уровень надежности ПТС к развитию оползневой процесса следует оценивать как опасный. При увеличении коэффициента порового давления в период интенсивных ливневых осадков от 0 до 0,144 FS уменьшается с 1,258 до 0,995 при вероятностном анализе и с 1,178 до 0,954 при детерминистическом расчете. Вероятность активизации оползневой процесса (PF) при этом увеличивается с 3,2 до 50,4%.

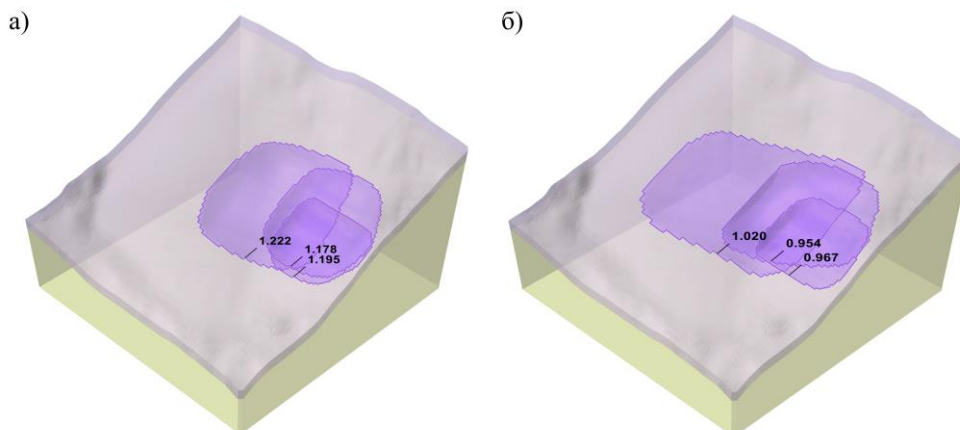


Рисунок 5. Результаты оценки устойчивости склона на основе 3D МПР модели (а) - в «сухой» период, (б) – в период интенсивных ливневых осадков

Выводы

Все методы оценки оползневой опасности имеют свои ограничения в использовании. По этой причине при использовании того или иного метода всегда требуется анализ его применимости для решения конкретной задачи. Эффективный подход к оценке оползневой опасности должен базироваться на комплексном применении современных методов, основанных на разных принципах, с учетом уровня иерархии ПТС, в том числе: масштаба анализа, состава и значимости учитываемых факторов, качества и типа исходной информации, а также допустимом уровне достоверности результатов исследования.

Благодарности

Мы хотели бы поблагодарить Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий и национальный научно-технический проект под номером гранта ĐТĐL.CN-81/21 за данные исследования, а также компанию Rocscience за предоставление академической лицензии на программное обеспечение (кафедра инженерной геологии МГРИ является участником программы Rocscience Academic Bundle).

Библиография

1. Зьонг В. Б., Фоменко И. К., Нгуен З. Ф., et al., 2022. Локальная оценка оползневой опасности с использованием Scoops3D на примере территории коммуны Чунгчай (Шапа, Вьетнам). Инженерная геология, Том XVII, № 1, с. 34–47.
2. Зьонг В. Б., Фоменко И. К., Нгуен Ч. К., et al., 2022. Применение статистических методов на основе ГИС для оценки потенциального развития оползней в районе Шапа, Вьетнам. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов., Т. 333, № 4, с. 126-140.
3. Corominas J., van Westen C., Frattini P., et al., 2014. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 73, Issue 2, pp. 209-263.
4. Shano L., Raghuvanshi T. K., Meten M., 2020. Landslide susceptibility evaluation and hazard zonation techniques – a review. *Geoenvironmental Disasters*, Vol. 7, Issue 1.

Опасные экзогенные геологические процессы республики Гвинея. Камара А.С.
(МГРИ, aboubacarsidiki.camara@yandex.ru), Невечеря В.В. (МГРИ,
nevecheryavv@mgri.ru)*

Аннотация

Данное исследование посвящено составлению схематической карты распространения и краткой характеристики основных опасных экзогенных геологических процессов в Гвинейской республике.

Ключевые слова

Экзогенные геологические процессы; республика Гвинея, инженерная геодинамика.

Теория

Гвинейская республика, расположенная в западной части африканского континента, на берегу Атлантического океана, в связи со своим географо-климатическим расположением на территории распространены ряд опасных экзогенных геологических процессов (абразия, оползни, подтопление и некоторые другие).

Опасные экзогенные геологические процессы определяются как совокупность геологических явлений, исходящих от внешней энергии, вызывающих неблагоприятное воздействие на людей, сельскохозяйственных животных и растения, инфраструктуру, экономические объекты и природную среду. Они проявляются на поверхности земной коры под влиянием различных природных или геодинамических факторов или их комбинаций, а также антропогенных факторов [3]. К ним относятся, среди прочего, географические, метеорологические, гидрологические, геологические, геоморфологические факторы, солнечно-земные взаимодействия и технологические процессы. Все эти факторы имеют свою динамику и в той или иной степени влияют на активность экзогенных геологических процессов [3].

В настоящее время Гвинейская республика в своем развитии добилась значительных успехов в создании базовой инфраструктуры благодаря многочисленным реализованным и находящимся в стадии реализации проектам: строительство и реконструкция гостиниц, строительство аэропортовой, портовой и железнодорожной инфраструктуры, дорог и развязок, строительство и восстановление инфраструктуры передачи и распределения электроэнергии, строительство плотин гидроэлектростанций Суапити, Амария, Кукутамба, Фоми и другие. Эти достижения способствуют удовлетворению огромных потребностей страны и знаменуют собой динамику, которая в ближайшие годы будет усиливаться, чтобы окончательно заложить основы для подлинного развития.

В свете этих различных проектов целью работы будет определение зон, благоприятных для проведения работ, чтобы предотвратить или минимизировать последствия проявления экзогенных геологических процессов, которым они могут подвергаться. В дальнейшем работа будет продолжена для составления карты инженерно-геологического районирования территории республики, что позволит оптимизировать предварительные инженерно-геологические изыскания и даст

возможность применять типовые решения для различных объектов, что значительно удешевит и облегчит проектирование зданий и сооружений.

Географические, геологические условия.

Гвинейская республика, расположенная в западной части африканского континента, является прибрежной страной с атлантическим побережьем протяженностью 300 км, на Западе она ограничена Гвинеей-Бисау и Атлантическим океаном, на севере-Сенегалом и Мали, на востоке-кот-д'Ивуаром и на юге. через Сьерра-Леоне и Либерию. Климат Гвинеи имеет тропический влажный тип со среднегодовой температурой 31 градус. Он характеризуется чередованием двух сезонов: сухого сезона, который длится с ноября по апрель, и сезона дождей, который длится с мая по октябрь. Обладая богатой и разнообразной гидрографической системой, он имеет 1161 рек, сгруппированный в 23 водораздела, в том числе 14 международных, которые орошают все соседние страны и превращают Гвинею в «водонапорную башню» субрегиона.

С точки зрения геологии Гвинеи расположена на западноафриканском кратоне, общегеологическое строение страны достаточно простое. Она имеет платформенную структуру [1], состоящую из совокупности кристаллического фундамента докембрийского возраста и палеозойского осадочного покрова [4]. Кристаллический фундамент докембрийского возраста, состоящий из эруптивных и метаморфических пород, содержащих значительное минеральное богатство, обнажается в основном в верхней Гвинее и Лесной Гвинее. В средней и нижней Гвинее образовавшийся осадочный покров в основном заполнен палеозойскими отложениями кембрийского, ордовикского, силурийского и девонского периодов. Мезозой включает долеритовые пороги, богатые алмазами кимберлитовые трубы и дайки, расположенные в южной зоне [1]. Четвертичные отложения, с другой стороны, встречаются вдоль побережья и в речных бассейнах.

Абразия.

Рассматриваемые как один из основных факторов физической деградации береговой линии Гвинеи (рис. 1), результаты исследований [2] в достаточной степени доказывают, что интенсивность истирания на береговой линии Гвинеи является результатом как ориентации, так и величины течений, частоты ветров. и повышения уровня моря. В 1997 году значительные отступы береговой черты на 1,80 м в год были выявлены в населенных пунктах Коба, Табунсу (южное побережье) и в окрестностях полуострова Конакри. Создавая серьезную угрозу жилым домам, инфраструктуре и вызывая потерю сельскохозяйственных угодий. В последние годы в нескольких населенных пунктах гвинейской прибрежной зоны было зафиксировано отступление от береговой линии на расстояние от 300 м до более чем одного километра, в том числе на островах Кабак, Какосса и острове Тайди в Камсаре.

Оползни.

Оползни – это явления геологического, морфологического, климатического и антропогенного происхождения, которые могут нанести значительный ущерб сооружениям и сооружениям со значительными экономическими последствиями, а иногда и привести к жертвам.

Риски массовых перемещений (оползней, обвалов и грязевых потоков) в Гвинейской республике очень высоки и вызывают беспокойство (рис. 1) из-за рельефа страны. В 2012 году в отчете о Национальной стратегии уменьшения опасности бедствий сообщалось о нескольких крупных оползнях, зарегистрированных в Гвинее с 60-х годов. Самыми крупными остаются оползни, произошедшие в Койе в 1962 и 1963 годах, в Йому в 1991 году и в Сенко (Бейла) в 1993 году. 26 мая 2011 года в Секу-Сории в субпрефектуре Мадина-Оула (префектура Киндия) был зарегистрирован оползень, состоящий из отрыва комка земли на глинистом субстрате длиной почти 1000 метров, шириной 170 см и глубиной 2 метра. Также в 2015 году оползень произошел в деревне Колонкола префектуры Боффа. Что касается обвалов, то они часто происходят в районе добычи золота Сигуири, где развита кустарная добыча.

Подтопление.

Большинство наводнений вызваны наводнениями и являются наиболее опасными природными явлениями во всем мире, но их трудно оценить. Из-за климатических, морфологических условий и важности национальной гидрографической системы подтопления в Гвинейской республике повторяются (рис. 1). Они происходят каждый сезон дождей, после продолжительных ливней, вызывающих затопление рек. Основными наиболее пострадавшими районами являются: столица Конакри, префектуры Маму, Киндия, Дабола, Канкан, Масента, Гауаль, Мандиана, Сигуири, Дингуири, Лелума, Телимеле, Фарана, Гекеду, и Лабэ.

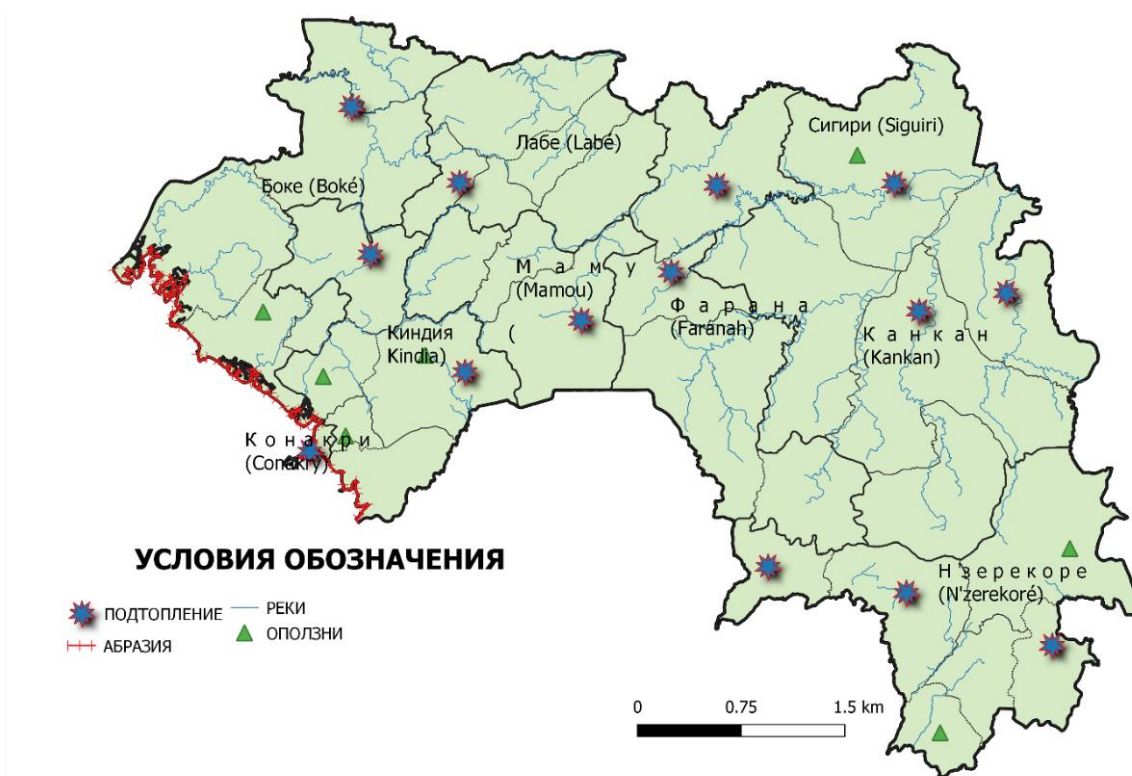


Рисунок 1. Схематическая карта проявления опасных экзогенных геологических процессов Гвинеи

Выводы

Таким образом, в результате анализа фондовой литературы была составлена карта проявления экзогенных геологических процессов, описанных выше (рисунок 1). В дальнейшей работе данные по процессам будут сопоставлены с геологическим строением, на основе чего будет составлена карта инженерно-геологического районирования республики Гвинея.

В результате анализа собранных данных, можно сделать следующие выводы о распространении опасных экзогенных геологических процессов:

1. Опасны только три вида процессов, в их числе абразия, оползень и наводнение;
2. Оползни происходят в районах Койя, Киндия, Дубрека, Боффа, Сигири, Бейла и Йому в связи с наличием, там глинистых грунтов четвертичного возраста;
3. Наводнения распространены в районах Конакри, Киндиа, Телимеле, Гауля, Лелума, Маму, Дабола, Дингуирай, Сигири, Канкан, Мандиана, Гек-эду, Лола и Масента.

Исходя из анализа материала, необходимо отметить, что проявления опасных геологических процессов в республике Гвинея в последние годы неоднократно было причиной гибелью большого количества людей и серьезного экономического ущерба.

Библиография

1. Мамедов В.И, Буфеев Ю.В., Никитин Ю.А. Геология гвинейской республики, том I, министерство горных дел и геологии, компания geoprospects ltd, московский государственный университет им.М.В.Ломоносова (геологический факультет), Москва 2011.
2. Renforcement de la résilience et adaptation au changement climatique du littoral guinéen, Analyse de préféabilité Avril 2018.
3. Шитов А.В., Достовалова М.С., Анализ факторов, влияющих на некоторые экзогенные геологические процессы Горного Алтая ; e in Georisk Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards March 2014.
4. Stephen A., Irinyemi D. L., Syed M.A. Probabilistic seismic hazard assessment for West Africa region, Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 2021, DOI: 10.1080/17499518.2021.1952608.

***Определение мерзлого состояния грунтов путем анализа тепловых эффектов, возникающих при проведении статического зондирования. Кольцова В.М.*
(Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), Москва, valeriakoltsova15@mail.ru), Блажко А.В. (ООО «ГЕОИНЖСЕРВИС», bav@fugro.ru)***

Аннотация

Определение фазового состояния грунтов в массиве, особенно в зоне распространения прерывистой и высокотемпературной мерзлоты, является актуальной задачей, решение которой на практике зачастую проблематично. Статическое зондирование грунтов позволяет с высокой точностью провести измерение их температуры. Однако, знания температуры грунта недостаточно, чтобы определить фазовое состояние грунта, другими словами, установить мерзлый грунт или нет.

Материалы по статическому зондированию талых и мерзлых грунтов и их сопоставление с результатами иных методов получения геологической информации позволили дать количественную оценку тепловых эффектов, возникающих при статическом зондировании и сделали возможным определение фазового состояния грунтов в процессе выполнения статического зондирования непосредственно в полевых условиях посредством анализа диссипации температуры зонда в процессе испытания на определение температуры грунта.

Ключевые слова

Статическое зондирование; тепловые эффекты; мерзлые грунты; льдистые грунты; температура мерзлых грунтов.

Теория

При выполнении статического зондирования зонд внедряется в грунтовый массив со скоростью 2 см/с и параллельно записывает показания различных датчиков [3, 4]:

- Лобовое сопротивление (q_c , МПа),
- Боковое трение (f_s , МПа),
- Поровое давление (u_2 , МПа),
- Температура (T , °С),

Зонд разогревается в процессе его задавливания в талый грунт. Величина разогрева варьируется от малых величин (илы, текучие глины) до десятков градусов (плотные пески). В мерзлых грунтах зонд разогревается меньше и остывает быстрее, чем в талых. По результатам исследования, разогрев зонда редко превосходил несколько градусов. В мерзлых грунтах достаточно часто встречается охлаждение зонда (рис. 1). Этот эффект известен и впервые опубликован в работе Рыжкова И.Б. и Исаева О.Н. [2], подробнее изучен и описан Блажко А.В и Волковым Н.Г [1].

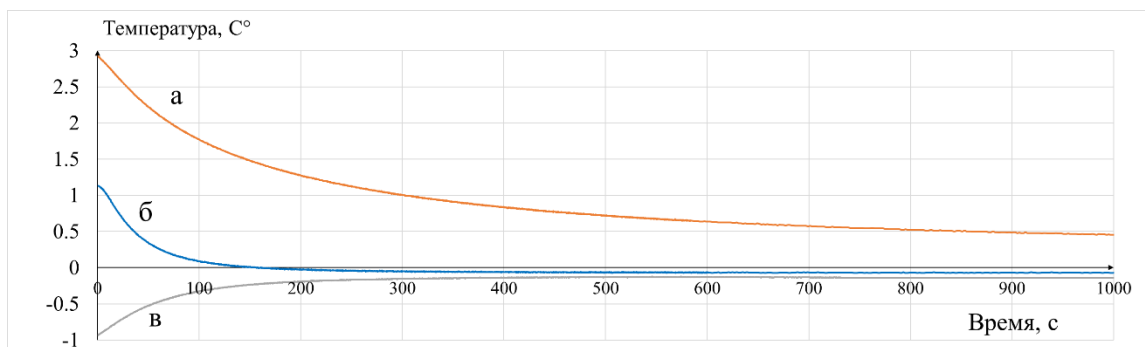


Рисунок 1. Термограмма диссипационного испытания после: а) теплового эффекта «нагрева зонда» в талом грунте, б) теплового эффекта «нагрева зонда» в мерзлом грунте, в) теплового эффекта «охлаждения зонда» в мерзлом грунте.

Апробация

Всего было проанализировано 535 термограмм, полученных в ходе измерения температуры в 123 точках на 7 площадках, расположенных на территории России.

При проведении данных испытаний наблюдались результаты эффектов охлаждения и разогрева зонда [1]. На основе статистических данных сопоставления скорости изменения температуры в грунтах различного состава и фазового состояния были проанализированы термограммы, выведены формулы для определения состояния грунтов в массиве при проведении термометрических определений.

Предлагается использовать коэффициенты, которые рассчитываются по следующим формулам:

1. Коэффициент рассеивания температуры для определений на 1, 2 и 5 минуте испытания
 - $TtK1 = |(T_{t0} - T_{t30})| / |(T_{t30} - T_{t60})|$
 - $TtK2 = |(T_{t0} - T_{t60})| / |(T_{t60} - T_{t120})|$
 - $TtK5 = |(T_{t0} - T_{t150})| / |(T_{t150} - T_{t300})|$

Где T_{t0} , T_{t60} ... T_{t300} – значение температуры зонда на соответствующей секунде термометрического определения.

2. Коэффициент ускорения рассеивания температуры
 - $TtK2/1 = TtK2 / TtK1$

Процесс испытания грунтов с целью определения указанных коэффициентов предложено называть «испытанием на диссипацию температуры», итоговым состоянием которого является приближение температуры зонда к естественной температуре грунта в окружающем массиве, то есть определение температуры грунта.

Физическим смыслом коэффициентов $TtK1$, $TtK2$ и $TtK5$ является соотношение скорости изменения температуры за первую и вторую половину рассматриваемого участка температурной кривой, где 1, 2 и 5 отражают общую продолжительность исследуемого участка температурной кривой в минутах.

Коэффициент $TtK2/1$ отражает ускорение, с которым изменяется температура зонда в ходе испытания.

Следующим шагом стало построение диаграмм, в которых по оси абсцисс выносятся значения предлагаемых коэффициентов, по оси ординат – значение q_c в начале испытания на диссипацию температуры. В результате значения $TtK5$ и $TtK2/1$, представленные на диаграмме, можно разделить на две не пересекающиеся области талых и мерзлых грунтов (рис. 2).

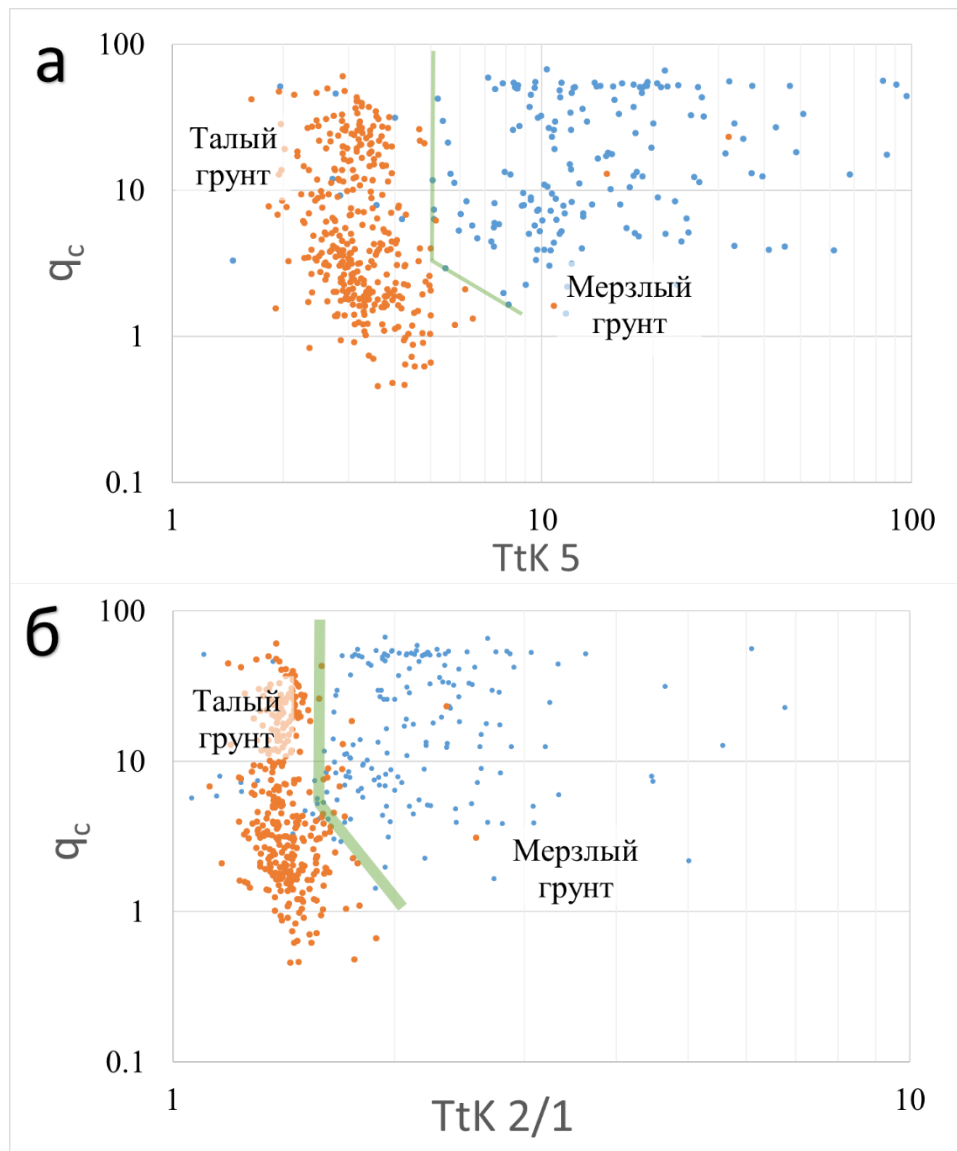


Рисунок 2. Диаграммы определения состояния грунта по данным испытания на диссипацию температуры, с вынесением значений: а) $TtK5$ по оси абсцисс и q_c по оси ординат; б) $TtK2/1$ по оси абсцисс и q_c по оси ординат.

Для дальнейших исследований выборка была сокращена до 296 испытаний в точках статического зондирования, данные по которым подтверждены иными методами получения геологической информации. Точки на диаграмме окрашены в соответствии с состоянием и составом грунтов, в которых проведены испытания (рис. 3).

На диаграмме заметно общее повышение значений q_c в мерзлых грунтах относительно талых грунтов и меньшая дифференциация мерзлых грунтов по их составу. Объясняется это тем, что помимо гранулометрического состава и плотности скелета, в мерзлых грунтах на величину q_c влияет льдистость грунтов. Это затрудняет дифференциацию грунтов по типу их поведения. При определении состава талых

грунтов традиционно применяются классификационные диаграммы, которые помимо q_c как правило используют значения фрикционного отношения.

Авторы считают, что большая по размерам, более детальная выборка (включающая иные характеристики грунтов), а также применение иных параметров грунтов, получаемых при статическом зондировании, позволят создать единую классификацию грунтов как по признаку их состава, так и состояния

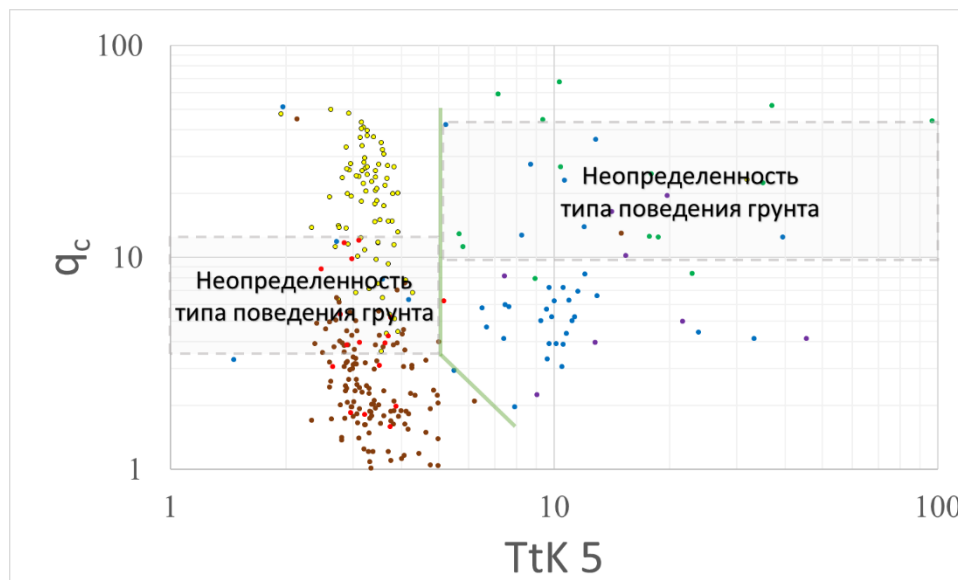


Рисунок 3. Диаграммы определения состояния грунта по данным испытания на диссипацию температуры, с выделением состава грунтов (Желтый цвет – талый песок, красный – талая супесь; коричневый – талая глина и суглинки, зеленый – мерзлый песок, фиолетовый – мерзлая супесь; синий – мерзлая глина и суглинки).

Выводы

При применении предложенного способа определения состояния грунта наблюдается дифференциация грунтов по признаку фазового состояния содержащегося в нем порового раствора.

Определение $TtK2/1$ в 2,5 раза, быстрее, чем определение $TtK5$, в свою очередь определение $TtK5$ дает более надежный результат относительно $TtK2/1$.

Отмечается ухудшение дифференциации типов грунтов по признаку его состава по причине значительного увеличения значения лобового сопротивления грунтов при увеличении льдистости.

Библиография

1. Блажко, А.В., Волков Н.Г., 2022 Тепловые эффекты, возникающие в грунтах при статическом зондировании / А.В. Блажко, Н.Г. Волков // Материалы конференции полевые и лабораторные методы исследования грунтов – проблемы и решения – 20 мая 2022 – С. 52–57
2. Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов. М.: АСВ, 2010. 496с.
3. ГОСТ 19912-2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием.
4. ГОСТ 58888-2020 Грунты. Метод полевых испытаний температурно-каротажным статическим зондированием

Оценка структурной неоднородности и прочности скальных грунтов экспериментальными методами. Кочанов А.Н. (ИПКОН РАН, kochanov@mail.ru)

Аннотация

Рассмотрены возможности применения ультразвуковых исследований и метода микро- и наноиндентирования для оценки структурной неоднородности скальных грунтов. На основании ультразвуковых измерений и прочностных испытаний образцов горных пород на примере песчаника установлен значительный разброс значений прочности и скорости продольных волн, что свидетельствует о их неоднородности. Представлены экспериментальные показатели для количественной оценки структурной неоднородности горных пород.

Ключевые слова

Скальный грунт, неоднородность, прочность, скорость продольной волны, микро- и наноиндентирование

Теория

Скальные грунты как правило представлены прочными горными породами различного генезиса, которые в абсолютном большинстве представляют собой поликристаллические или гетерогенные природные минеральные системы, состоящие из совокупности отдельных элементов - зерен различных минералов, имеющих, как правило, различные упругие и прочностные характеристики. Структурные особенности горных пород как совокупность зерен различных минералов определяют изменчивость их прочностных и упругих свойств.

Характерной особенностью горных пород является их неоднородность, под которой понимают пространственную изменчивость их строения, состояния и свойств, обусловленную особенностями генезиса, историей развития и динамикой эндо- и экзогенных процессов. *Неоднородность горных пород* проявляется при любых масштабах исследования, носит многоуровневый характер и является основным фактором, влияющим на прочность и процесс разрушения в целом, затрудняющим оценивать механические процессы на базе математических и компьютерных моделей.

Неоднородность массива горных пород проявляется не только за счет залегания различных типов пород, но и в виде трещиноватости, которая возникает в горных породах при природных и техногенных процессах. Для оценки степени трещиноватости массивов горных пород используется акустический показатель A_t , определяемый по формуле $A_t = (C_{p1}/C_{p2})^2$, где C_{p1} и C_{p2} — скорость упругих колебаний в образце породы и в массиве. В зависимости от степени развития трещиноватости массивов этот показатель может принимать значения от 0,6-1,0 для практически монолитных пород и до 0,1 для весьма трещиноватых мелко блочных пород [6].

Неоднородность на уровне образцов обусловлена полиминеральным составом горных пород, а также локальными остаточными напряжениями и наличием микродефектов. Для изучения неоднородности образцов используем ультразвуковой метод, который широко применяется при решении задач, связанных с оценкой свойств,

состояния и структурных особенностей горных пород, их изменений в результате внешних воздействий [3, 5, 9].

В качестве информативного параметра ультразвуковых исследований была принята скорость продольных волн. Методика определения этого параметра хорошо отработана, и оценка состояния образцов горных пород осуществлялась по схеме прозвучивания, основанной на использовании прямых волн при расположении излучателя и приемника колебаний на противоположных гранях образца, которые перемещались по сетке с шагом 3 см. В качестве примера на рисунке 1 показано распределение значений скорости продольных волн (м/с) в неоднородном образце песчаника с характерными размерами 50x20x12,5 см.

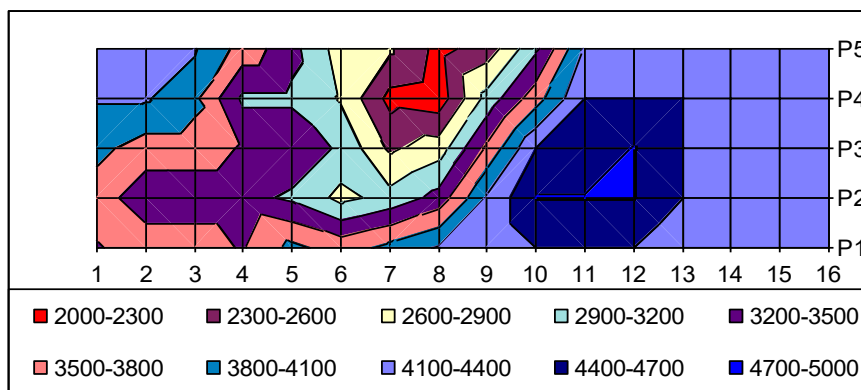


Рисунок 1. Распределение скорости продольных волн в образце песчаника по данным ультразвукового прозвучивания

Структурные особенности кварцевого песчаника отражает рисунок 2. Размер зерна – 0,2-0,3 мм, содержание кварца – 99%, размер пор составлял 0,06 - 0,13 мм, микропористость – 4-10%.

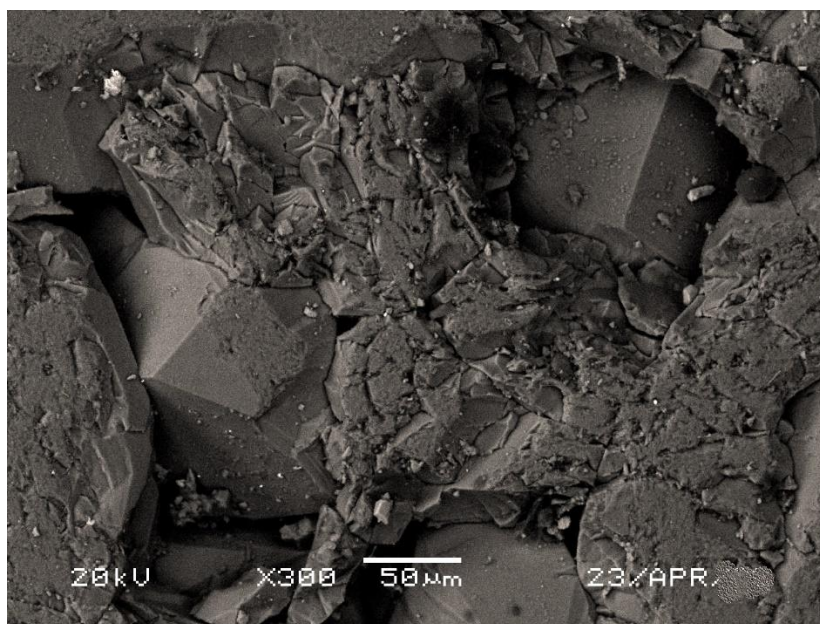


Рисунок 2. Структура поверхности песчаника по данным электронной микроскопии. Масштабная линейка – 50мкм

Результаты исследований свидетельствуют о том, что их локальные объемы образца песчаника характеризуются значительным разбросом значений скорости продольных волн вплоть до максимальных значений 5000 м/с, характерных для данного типа горной породы. Можно предположить, что наблюдаемое распределение значений скорости продольной волны обусловлено локальными неоднородностями образцов за счет наличия остаточных напряжений и микротрещин. Концепция минимальной и максимальной скорости для образцов горных пород, очевидно, впервые рассматривалась в работе [8]. Для оценки неоднородности локальных объемов образца и степени их поврежденности можно ввести акустический структурный показатель образцов горных пород A_{MT} в виде: $A_{MT} = (C_{рф}/C_{рmax})^2$, где $C_{рф}$ — фактически измеренная скорость упругих колебаний в локальном объеме образца и $C_{рmax}$ — максимально возможная скорость для данного типа горной породы.

Наряду с значительным диапазоном изменения значений скорости в локальных объемах образца песчаника наблюдается разброс прочностных характеристик. Предел прочности образцов песчаника при испытаниях на сжатие образцов с характерным размером 2,5 см изменяется от 40 до 190 МПа. При использовании неразрушающих методов ультразвукового контроля определению прочностных показателей горных пород по параметрам упругих волн придается большое значение. О наличие корреляционной связи между пределами прочности и акустическими параметрами свидетельствуют многочисленные экспериментальные данные [2]. Следует отметить, что все зависимости носят частный характер и не всегда отражают тенденции изменения этих параметров, например, при водонасыщении. Наиболее общая зависимость между пределом прочности на сжатие σ_c и скоростью продольных волн C_p для различных пород имеет вид [7]:

$$\sigma_c = \rho C_p^2 (1 - 2\mu) / 2V (1 - \mu)$$

где ρ - плотность; μ - коэффициент Пуассона; $V = 180-240$ - в зависимости от типа горной породы

Механическое поведение и макроскопическая деформация, а также характеристики повреждения горных пород зависят от механических свойств их отдельных составляющих минералов, имеющие, как правило, различные упругие и механические свойства, в том числе на границе зерен. Макроскопические лабораторные испытания образцов, например в условиях одноосного сжатия, не обеспечивают взаимосвязи между микроструктурной неоднородностью, механическими свойствами отдельных фаз и реакцией на деформацию. Для оценки микроструктурной неоднородности и оценки локальных свойств минералов может использоваться метод микро и наноиндентирования. В настоящее время в связи с разработкой нового класса оборудования метод внедрения штампа в поверхность материалов превратился в мощный инструмент, позволяющий изучать закономерности их деформационного поведения на разных масштабных уровнях, варьируя нагрузку, глубину и время нагружения. Основные результаты применения этого метода для оценки физико-механических свойств отдельных минералов и их границ представлены в работах [1,4]. Построены карты распределения механических свойств и показана их корреляция с морфологией исследованных образцов. Данные по картированию механических свойств могут быть использованы для построения распределений физико-механических свойств по образцу, а коэффициент вариации значений по твердости или модулю упругости может служить для оценки степени неоднородности горной породы на микроуровне.

Выводы

Изучение неоднородности образцов скальных грунтов на микроуровне возможно с использованием ультразвукового метода по скорости продольных волн и метода микро и наноиндентирования как оценка вариации прочностных и упругих параметров отдельных минералов и их границ. Между значениями скорости продольных волн и прочности, как правило, наблюдается статистическая взаимосвязь. Результаты исследований могут быть использованы для развития представлений о скальных грунтах в специальном инженерно-геологическом отношении.

Библиография

1. Головин Ю.И., Тюрин А.И., Викторов С.Д., Кочанов А.Н., Пирожкова Т.С. Размерные эффекты и картирование физико-механических свойств отдельных фаз и межфазных границ поликристаллических материалов // Известия РАН. Сер. Физическая. 2018. Т.82. №7. С.945-950.
2. Жабин А. Б., Поляков А. В., Аверин Е. А., Линник Ю. Н., Линник В. Ю. Обобщение современных сведений о корреляционных зависимостях предела прочности на сжатие с иными прочностными показателями горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 6. С. 5–19. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_5
3. Кочанов А.Н. Ультразвуковые исследования образцов песчаника при нормальных условиях и динамическом воздействии // Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле. Двадцать третья международная конференция. Материалы конференции. ИГЕМ РАН. 2022. С.123-126.
4. Кочанов А.Н., Головин Ю.М., Тюрин А.И., Пирожкова Т.С. Петрофизические исследования свойств минералов и горных пород / Тезисы докладов XIV Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле. М.: МГРИ. 2019. Т.2. С.293-296.
5. Краснова М.А., Белобородов Д.Е., Пономарев А.В. Ультразвуковые исследования гранитоидов сейсмогенной зоны Койна-Варна при нормальных условиях /Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле. Двадцать вторая международная конференция. Москва 27-29 сентября, Борок, 1 октября 2021 г. Материалы конференции. М.: ИГЕМ РАН. 2021. С.125-126.
6. Ольховатенко В.Е., Трофимова Г.И., Ожигина Т.В. Методы изучения трещиноватости горных пород /Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы по курсу «Инженерная геология» Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та. 2015. 80 с.
7. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмологии. М.: МГУ. 1981.176 с.
8. Шаумян Л.В. Природа физико-механических свойств массивов горных пород. М.: МГУ.1988. 192 с.
9. Blake O.O., Faulkner D.R. & Rietbrock A. The Effect of Varying Damage History in Crystalline Rocks on the P- and S-Wave Velocity under Hydrostatic Confining Pressure. // Pure Appl. Geophys. 2013. 170, 493–505. <https://doi.org/10.1007/s00024-012-0550-0>.

***Инъекционное укрепление грунта и свайного основания: решение проблем несущей способности фундаментов. Лисихина К.А. * (ПУТ (МИИТ), почта: kklisikhina@mail.ru), Сerezин К.К. * (ПУТ (МИИТ), почта: sereginkiryxa@yandex.ru).
Научный руководитель: к.т.н., доцент Телятникова Н.А. (ПУТ (МИИТ), sharklike@mail.ru)***

Аннотация

В данной статье описывается технология укрепления грунта и свайного основания, имеющего поры, пустоты и другие ослабления, при помощи инъекционного нагнетания смеси, методика и параметры инъекционных работ.

Ключевые слова

Методика укрепления грунтов, восстановление несущей способности свайного основания, инъекционные работы, технология нагнетания.

Введение

Мостовые сооружения являются важнейшим элементом транспортной инфраструктуры, но вследствие естественного износа или увеличения нагрузок на них, могут потребоваться работы по их ремонту и укреплению. В настоящее время для восстановления и обеспечения работоспособности мостовых сооружений широко используется метод укрепления несущего основания. Одним из главных научных подходов, используемых для укрепления несущих оснований, является теория грунтовых оснований и их взаимодействия с искусственными конструкциями. Эта теория базируется на физических законах механики грунтов и деформации, что позволяет разработать эффективные методы укрепления мостовых сооружений и обеспечивать их долговечность и надежность [1].

Методы восстановления несущей способности свайного фундамента

В современной строительной индустрии одной из наиболее важных задач является восстановление несущей способности свайного фундамента. Причинами потери несущей способности могут быть устаревший проект, повреждения конструкций, естественное старение и деформации грунта. Решение этой проблемы имеет большое значение, так как свайный фундамент является основой для большинства сооружений.

На данный момент существует несколько самых распространенных способов восстановления несущей способности свайного фундамента. Выбор способа зависит от большого количества факторов, включая вид используемых свай.

Первым способом является применение железобетонных обойм (рисунок 1). Такой вид усиления подходит для сооружений с высоким ростверком [5]. Данный метод очень трудоемок.

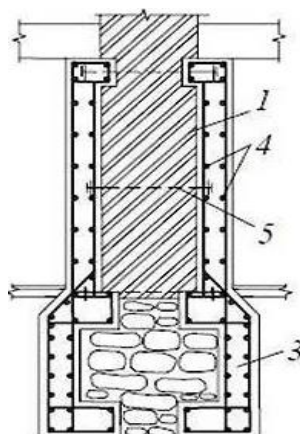


Рисунок 1. Усиление фундамента железобетонными обоймами

Также используют метод установки забивных и буронабивных свай вплотную к требующему ремонта брусу (рисунок 2). Данный способ не восстанавливает прежнее состояние начальной сваи, новые же погружаются для того, чтобы перенять на себя нагрузку конструкции [2].

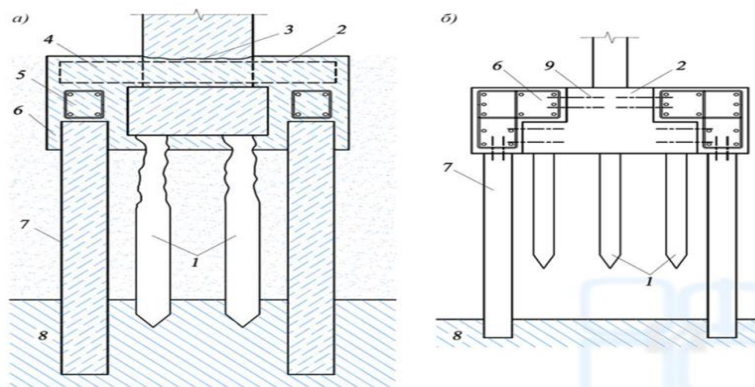


Рисунок 2. Усиление фундамента выносными дополнительными сваями

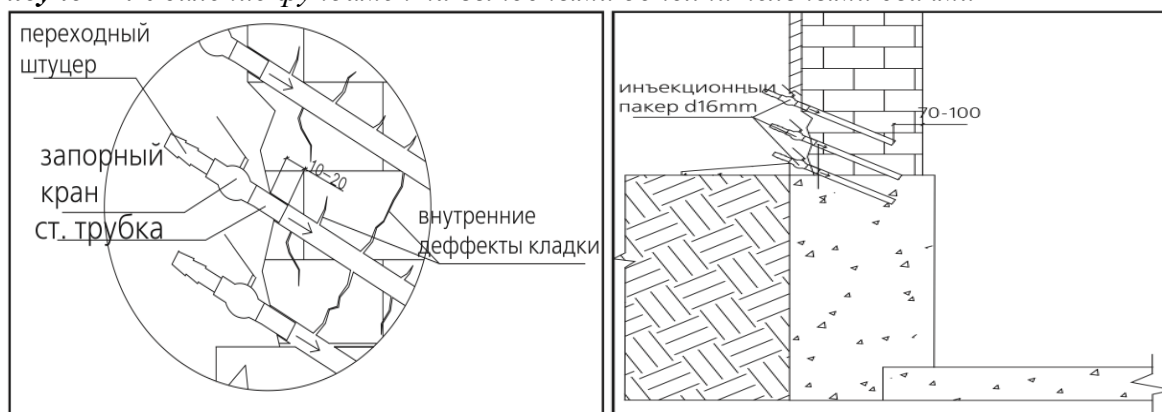


Рисунок 3. Усиление фундамента инъекционным нагнетанием

Способ инъекционного восстановления несущей способности грунта

Инъекционные работы – это технология ремонта и восстановления новых или уже существующих искусственных сооружений при помощи нагнетания инъекционных материалов для заполнения пустот и трещин, герметизации швов цементными или полимерными материалами, путем подачи их под давлением.

Инъекционные смеси имеют высокую проникающую способность, связность, подвижность и нерасплаиваемость. Также обеспечивает долговечную работу бетонных, железобетонных и каменных конструкций за счет стойкости к циклическому замораживанию и оттаиванию, водонепроницаемости и отсутствием усадки при твердении, в том числе под водой [3].

Метод нагнетания инъекционных материалов при использовании манжетных труб-инъекторов по горизонтам инъекции основан на объединении трех последовательных процессов [4]:

- помещение и фиксация двустороннего обтюлятора (пакера) на проектном горизонте с помощью опрессовочного оборудования;
- предварительное нагнетание воды в установленный горизонт для разрыва оболочки из обойменного раствора и предварительного увлажнения капиллярно-пористой структуры сухих грунтов;
- приготовление инъекционной смеси и нагнетание в режиме пропитки или компрессионного управляемого гидроразрыва.

Для нагнетания инъекционной смеси в проектный горизонт применяются двойные пакеры (рисунок 4).

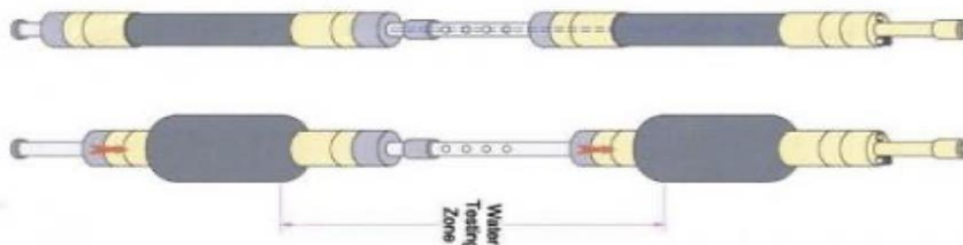


Рисунок 4. Двойной пакер

При выполнении инъекционных работ необходимо:

- установить план расположения скважин, точек инъектирования, мест выполнения опытных работ, линий профилей;
- сведения о максимально допустимом давлении, расходе и интенсивности нагнетания при инъектировании;
- количество и периодичность повторных инъекций – один раз;
- последовательное нагнетание всех зон подряд, начиная с самой нижней.

Вывод

Инъекционное укрепление грунта и свайного основания, рассмотренное в данной статье, является крайне эффективным и применяется для различных искусственных сооружений, возводимых или существующих, вне зависимости от сложности рельефа и сложности грунта. Инъекционный метод усиления несущей способности грунта может

использоваться также в случае разрушения фундамента из-за неверных расчетов или нарушения строительных технологий. Более того, инъекционные смеси позволяют полностью избавиться от смещения грунта под объектом или просадки искусственного сооружения.

Однако, перед использованием методов восстановления несущей способности свайного фундамента необходимо провести научные исследования, которые позволяют определить состояние грунта и его физические свойства. Научные данные позволяют выбрать оптимальный метод и состав для восстановления несущей способности фундамента, а также оценить эффективность и долговечность результата.

Библиография

1. Морозова Л.Н., Пархоменко В.В., Пархоменко О.Л. Современное состояние и перспективы восстановления взорванных мостов и путепроводов г. Горловки. – 2019. – С. 21 - 30.
2. Муратов А.А., Хижавский О.А. Анализ применения свай при восстановлении железнодорожных мостов в годы великой отечественной войны и последующее время. . – 2020. – С. 29 - 36.
3. Петрухин, В.П. Новые способы геотехнического строительства: науч. изд. / В.П. Петрухин, О.А. Шулятьев, О.А. Мозгачева. – М.: Изд-во АСВ., 2015 – 224 с.
4. Нуждин М.Л. Усиление грунтового основания методом пакетного высоконапорного инъецирования. – 2021. – № 5.2.
5. *Тер-Мартirosян, З.Г. Взаимодействие анкеров с упругопластическим массивом грунта / З.Г Тер-Мартirosян., В.С. Аванесов // Вестник МГСУ. – 2015 – № 7 – С. 47–56*

Инженерная гравиметрия, возможности и технологии. Лобанов А.М. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), г. Москва, Россия Lobannet@mail.ru)

Аннотация

Рассматриваются возможности высокоточной гравиметрии при решении некоторых геоинженерных и геотехнических задач, таких, как например, контроль состояния горных пород в затоннельном пространстве метро, мониторинг уровня подземных вод и др. Автор имеет большой практический опыт применения гравиметрии для решения прикладных задач.

Ключевые слова

Гравиметрия, гравиметрический мониторинг состояния инженерных объектов, рандомизация помех, гравиметр-сейсмограф.

Теория

Именно гравиметрия, а не гравиразведка. Термин «гравиразведка» означает поиск и обнаружение неизвестных геологических объектов, а также их детальное изучение. При инженерно-геологических исследованиях расположение объектов, как правило, известно. Физико-геологические и физико-технические условия изучаемых объектов известны. Задачей инженерных гравиметрических работ является чаще всего изучение поведения объектов во времени, определение и прогнозирование развития их динамических характеристик. Для решения таких вопросов применяют многократные гравиметрические измерения через определенные интервалы времени по сети долговременно закрепленных гравиметрических пунктов (ДГП). Поэтому при проведении таких работ целесообразно использовать термин «гравиметрия». Особенностью инженерной гравиметрии является обнаружение слабых аномалий силы тяжести, оцениваемых микрогалами и частотами, коррелируемые с помехами. Современное развитие гравиметрической аппаратуры, технологий полевых измерений, лазерное и спутниковое геодезическое оборудование позволяют уверенно обнаруживать и изучать такие аномалии [1, 5, 6, 8].

К задачам инженерной гравиметрии, например, относятся следующие виды работ:

- определение динамики изменения водо-нефтяного, нефте-газового и газодляного контуров разработки залежей углеводородов [1, 3, 8];
- мониторинг состояния подземных хранилищ газа (ПХГ) выполненных в подземных геологических структурах [1, 8];
- обнаружение зон обводнения и образования пльвунов в заобделочном пространстве тоннелей метро [9]. Достигнутые при проведении опытных работ среднеквадратические погрешности определения значений поля силы тяжести внутри тоннелей позволяют при проведении повторных серий наблюдений контролировать изменения гравитационного поля амплитудой до $0.030 \div 0.040$ мГал. По нашим оценкам это позволит выявлять образование заполненных водой пустот в затоннельном

пространстве мощностью от 1м или незаполненных («сухих») полостей мощностью от 0.5метра, либо зон (соответствующего размера) разуплотненных, ослабленных карстовыми, оползневыми процессами пород;

- мониторинг уровня подземных вод и оценка пористости водоносных горизонтов в районах распространения осадочных (рис.1) [4];

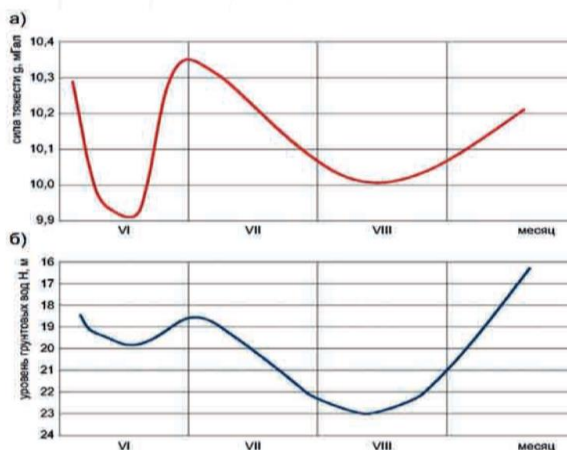


Рисунок 1. График изменения силы тяжести (а) и уровня грунтовых вод (б) [4]

- мониторинг деградации вечной мерзлоты в северных районах;

- динамика развития подземных полостей, возникающих при подземной добычи полезных ископаемых (соли, угля и др. пород, рис.2) [2];

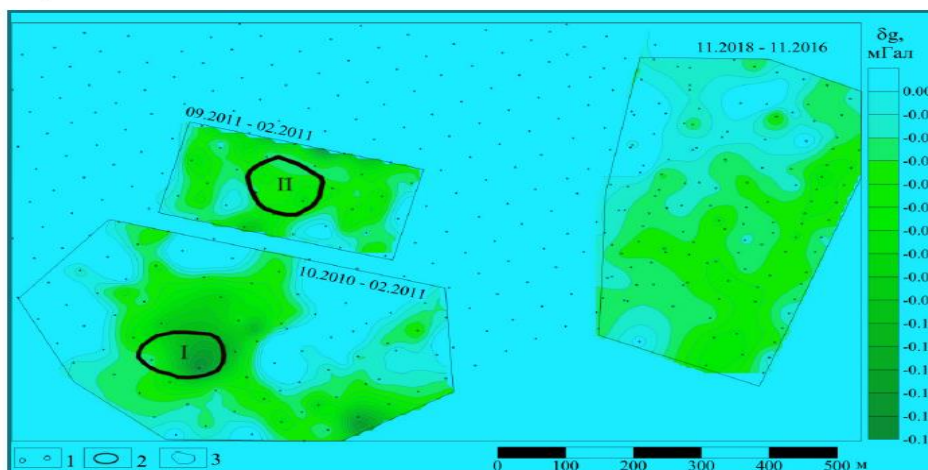


Рисунок 2. Динамические аномалии силы тяжести в разные периоды времени: 1 – пункты гравиметрических наблюдений; 2 – провалы земной поверхности (I – 11.2010 г. и II – 12.2011 г.), 3 – участки повторной гравиметрической съемки (датами указан период аномалии)

- картирование палеорельефа при археологических исследованиях в районах городской застройки;

Преимуществами гравиметрии перед другими геофизическими методами при решении инженерных задач являются:

- однозначная зависимость гравитационного поля от изменения массы объектов и (или) его геометрических параметров относительно вмещающего пространства;

- отсутствие анизотропии плотности при ее изменении вследствие внешних геологических и техногенных факторов;

- отсутствие экранов гравитационного поля;

- инженерная гравиметрия может проводиться в условном уровне поля силы тяжести без привязки к государственной гравиметрической сети;

Относительные гравиметры представляют собой приборы двойного назначения: - они одинаково реагируют как на инерциальные ускорения, так и на ускорения силы тяжести. Для измерения только гравитационного поля необходимо, чтобы гравиметр находился в состоянии покоя.

Инерциальные помехи (микросейсмы) характеризуются широким частотным и амплитудным спектром. Если высокочастотные колебания (от 5гц и выше) легко ослабляются путём осреднения измерений, то низкочастотные составляющие (от 0.5гц и ниже) могут внести существенные искажения в измеряемое гравитационное поле. Уменьшить влияние инерциальных помех низких и инфранизких частот можно особой технологией измерений – методиками рандомизации помех и аномалий или достаточно длительными измерениями на пунктах [1, 5, 7].

Современный относительный гравиметр можно рассматривать как портативный сейсмограф очень высокой чувствительности к инерциальным ускорениям. Собственные частоты гравиметров практически не отличаются от амплитудно-частотных характеристик стационарных сейсмологических станций (гравиметры ГНУ-КВ, Burris, La Coste - Romberg имеют собственные частоты в пределах 0,05 – 0,5гц, гравиметр Scintrex CG-3; 5; 6 auto – 6гц), что позволяет их использовать в новом качестве, в виде сейсморегистраторов. Благодаря наличию в приборе измерительного компенсационного устройства, этими приборами можно моделировать и оценивать амплитуды и частоты колебаний грунтов и инженерных объектов (мостов, трубопроводов, ПХГ, месторождений УВ, тоннелей и др.) в микронах и ускорения в мкм/с², а также конструировать фильтры для выделения нужных частот.

Выводы

В последние десятилетия интерес к гравиметрическому методу разведки в РФ резко снизился. Это связано с отсутствием отечественных гравиметров, с низкой финансовой стоимостью гравиметрических изысканий и недостаточным профессиональным уровнем менеджеров геофизической разведки. Приведенные несколько примеров успешного применения гравитационного метода, надеюсь, привлекут внимание руководителей производственных и научных организаций.

Библиография

1. Андреев О.П., Кобылкин Д.Н. Ахмедсафин С.К. и др. Гравиметрический контроль разработки газовых и газоконденсатных месторождений. Состояние, проблемы, перспективы. – М.; ООО «Издательский дом Недр», 2012. – 374 с

2. Бычков С.Г. Выявление областей природного и техногенного разуплотнения подработанной толщи по гравиметрическим данным. Горное эхо.-2020.-№1.с.55-58
3. Ведерников Г.В. Новые возможности изучения геодинамических шумов от нефтегазовых залежей. Геофизика, 2006, № 5, с.9-12
4. Костицын В.И. Геофизический полигон «Предуралье» для прохождения полевых учебных практик студентов и научных исследований. Геофизический вестник 2022. № 5.с. 9-12
5. Лобанов А.М. Рандомизация, как способ уменьшения корреляционных связей помех и аномалий. Геофизика. 2012. №1.
6. Лобанов А.М., Романов В.В. Перспективы гравиметрии при изучении динамически нестабильных природных объектов. Разведка и охрана недр, № 7, 2015.
7. Лобанов А.М. Пути повышения эффективности гравиметрического контроля разработки нефтегазовых залежей. Материалы международной научно-практической конференции «Полярная геофизика Ямала», Салехард, 2013.
8. Tokjell Stenvold. Offshore Gravimetric and Subsidence Monitoring. NTNU. Norwegian University of Science and Technology, 2008.
9. Бондаренко В.М., Веселов А.К., Лобанов А.М. Максимчук В.П., Пополитов К.Э., Смирнова И.А. Отчет об опытных гравиметрических исследованиях в тоннеле московского метрополитена (перегон ст. Щукинская – ст. Спартак). МГРИ - ОАО НПО «Нафтаком». 2015 – 22с.

Влияние современных инженерно-геологических условий на создание, эксплуатацию и сохранение городища Иднакар в республике Удмуртия.
Мамажанова А.Р. (МГРИ, arina.mamazhanova@yandex.ru), Вязкова О.Е. (МГРИ, wjask@yandex.ru)

Аннотация

В работе представлены характеристики компонентов инженерно-геологических условий, которые влияли на функционирование городища Иднакар, находящегося в северной части Удмуртии, на всех этапах. Экзогенные геологические процессы, развивающиеся в сфере взаимодействия городища, приводят к постепенному разрушению мыса, на котором оно расположено и пагубно влияют на его сохранность.

Ключевые слова

Инженерно-геологические условия, городище Иднакар, сохранность, экзогенные геологические процессы

Теория

Городище Иднакар расположено в Глазовском районе на севере Республики Удмуртии, в четырёх километрах от города Глазов и занимает мысообразный отрог горы Солдырь, образованной слиянием рек Пызеп и Чепца. Площадь городища составляет около 4 га, рядом проходит дорога Глазов-Карсовой. Средневековое городище существовало в период VII–XIII веков, и является памятником чепецкой археологической культуры [4].

На сегодняшний момент городище Иднакар включено в список подлежащих охране объектов как памятник археологии, истории и культуры государственного значения (Рис.1).



Рисунок 11. Вид городища Иднакар с северо-западной стороны [5]

Современный климат можно назвать умеренно-континентальным с определяющим влиянием континентальных воздушных масс умеренных широт. В летнее время приходят очень тёплые воздушные массы с юга и юго-востока, вызывающие жаркую засушливую погоду. Наиболее сильные морозы наблюдаются в декабре-марте. При вторжении морского воздуха умеренных широт с запада наблюдаются потепления, вплоть до оттепелей. Среднегодовое количество осадков составляет 525–550 мм. Но в момент формирования городища климатические условия были абсолютно другими.

Период существования городища относится к времени так называемой тепловой климатической аномалии Европы [2], т.е. потепление между похолоданием III–VIII вв. и малым ледниковым периодом XIV–XIX вв. Городище перестало существовать скорее всего, именно из-за смены климатических условий, так как произошла активизация экзогенно-геологических процессов, которые продолжают развиваться на территории бывшего городища.

Территория городища в региональном отношении располагается в пределах Верхне-Камской возвышенности, очертания ее в северной, восточной и особенно в северо-восточной части напоминают горный рельеф. Возвышенность холмистая, сильно пересечена глубокими речными долинами и логами с крутыми, местами обрывистыми склонами. Гора Солдырь является примером возвышенности, которая ограничена двумя речными долинами Пызэпа и Чепцы (Рис.2).

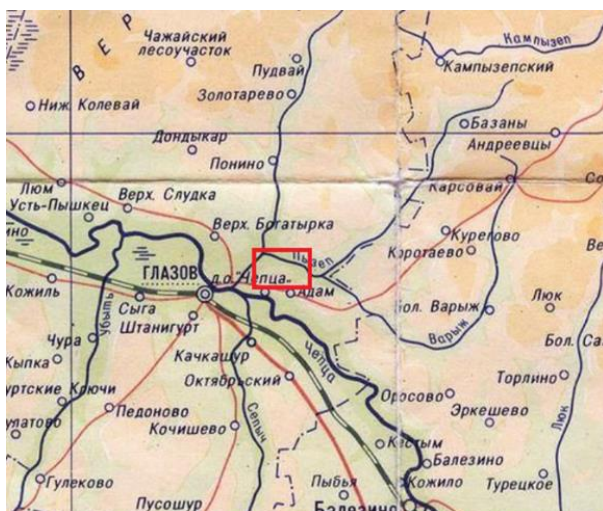


Рисунок 2. Расположение городища Иднакар

В геологическом строении территории района присутствуют накопления осадочного чехла, состоящего из девонских, каменноугольных, пермских, среднечетвертичных и современных четвертичных отложений. По большей части на поверхность выходят отложения нижней и верхней путятинских подсвет северодвинского горизонта татарского яруса верхнего отдела пермской системы (глина, алевролиты, песчаники, мергели и известняки) (Рис.3) [1,3].

Фундамент сложен рифейским и вендским комплексами, представленными гранитами, гнейсом и гранитными амфиболитами.

В гидрогеологическом отношении выделяются два структурных этажа. Нижний представлен чередованием терригенных и карбонатных водоносных комплексов от рифейско-вендского до среднекаменноугольного-верхнепермского, с порово-трещинно-пластовыми водами в терригенных и трещинно-карстово-пластовыми в карбонатных породах. Верхний представлен преимущественно терригенными комплексами от уфимского до татарского. Гидрогеологические этажи разделены региональным водоупором, представленным толщей нижнепермских гипсов и ангидритов.

Участок расположения городища характеризуется распространением экзогенных геологических процессов, таких как выветривание, боковая эрозия водотоков и оползни в элювиально-делювиальных образованиях (edQ_{III-IV}).

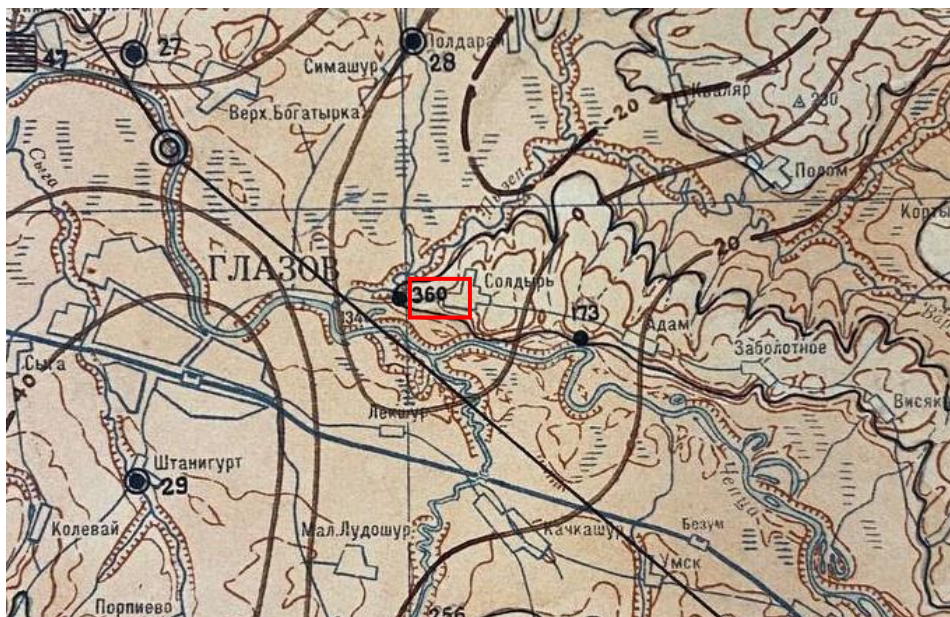
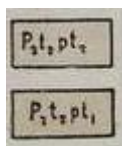


Рисунок 3. Фрагмент геологической карт дочетвертичных отложений масштаба 1 : 200 000. Условные обозначения



Северодвинский горизонт. Верхнепутятинская подсвита.
Мергели, известняки, песчаники, алевролиты, глины.

Северодвинский горизонт. Нижнепутятинская подсвита.
Мергели, известняки, песчаники, алевролиты, глины.

Для сохранности массива пород, на котором расположено городище, наибольшую опасность представляет эрозионная деятельность р. Пызеп, которая способствует активному развитию оползневых процессов на северном склоне. По словам археологов, река сильно «придвинулась» к городищу в последние годы вследствие меандрирования.

Выводы

Все выше перечисленные компоненты инженерно-геологических условий влияют на сохранность городища Иднакар и требуют дополнительного и глубокого изучения. Исследования поспособствуют предотвратить развитие и активизацию процессов.

Библиография

1. Овсянникова И.А «Сводная легенда Средне-Волжской серии листов для гидрогеологических карт масштаба 1:200000 экологической напряженности». 1995 г.
2. Соломина О.Н. Колебания ледников в голоцене и возможное влияние на них орбитального сигнала, солнечной и вулканической активности и антропогенного воздействия //Лёд и снег, 2014. № 3 (127). С. 81–90.
3. Стрельников С.И «Объяснительная записка. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1:1000000. Серия новая, Листа О-(38)-39». 1999 г.
4. https://otherreferats.allbest.ru/geography/00099210_0.html
5. https://uvalibrary.ucoz.net/index/uvinskij_rajon_v_ranee_srednevekovye/0-117

Влияние хемолитотрофного сообщества на агрегацию и дезинтеграцию карбонатно-глинистых частиц. Маннапова Л.М. (Казанский федеральный университет, lialisan.mannarova@yandex.ru)

Аннотация

Экспериментально смоделирована типичная ситуация техногенного воздействия на биогеохимические процессы ранее незатронутых грунтов терригенно-карбонатного комплекса. Исследована динамика агрегатообразования в модельной системе, состоящей из карбонатного глинистого грунта, фильтрующейся воды и карбофильного психрофильного олиготрофного микробного сообщества.

Эксперимент показал, что модельное микробная деятельность в течение 6 мес вызывала перераспределение микроагрегатов по размерам, увеличивала долю кристаллических контактов между частицами грунта [4]. Результаты исследования могут быть учтены при проектировании оснований сооружений, контактирующих с органическими веществами.

Ключевые слова

Микроагрегаты, экспериментальное моделирование, гранулометрический состав, фундаменты сооружений

Источники финансирования

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-05-00151.

Теория

Под влиянием поверхностно-активных веществ при малой их концентрации наблюдается увеличение прочности образующихся структур вследствие пептизации частиц и увеличения числа контактов. При больших концентрациях поверхностно-активных веществ прочность структур снижается в результате блокировки контактов сцепления частиц [1].

Состав минеральных и органических компонентов грунтов определяет характер развивающихся в них структурных связей [3]. Решающую роль при этом имеет состав поглощенных катионов (влияющих на поведение глинистой, органической и карбонатной части и определяющих реакцию среды) наличие электролитов. Соотношение между стабилизирующими, коагулирующими и цементирующими факторами определяет характер преобладающих в них структурных связей.

Агрегация и дезинтеграция почвенных частиц зависят от типа контакта между частицами. При гидратации грунта гидрофильные частицы самопроизвольно диспергируют, а гидрофобные могут агрегировать. Грунты, где преобладают гидрофильные взаимодействия, легко размокают, приобретают пластичность и текучесть в ненасыщенном состоянии. При гидрофобных взаимодействиях образуются водостойкие агрегаты, постепенно уплотняющиеся и увеличивающие число крупных пор в грунте без нагрузки, поскольку твердое вещество стягивается в плотные структуры, а пространство между ними освобождается (Осипов, Соколов, 2013).

Методы

Для характеристики прочности и типа контактов между частицами грунта в эксперименте определяли гранулометрический состав частиц и микроагрегатов методом лазерной дифракции на анализаторе размера частиц Beckman Coulter LS 13 320 XR particle size analyzer (США). Для определения кривой распределения гранулометрического состава грунт измельчали и просеивали через 0,25 мм, а перед началом измерений грунтовую суспензию тщательно перемешивали и обрабатывали ультразвуком до момента постоянства оптической плотности суспензии в пучке света. Расчет индекса агрегированности производился согласно И. М. Горьковой. На основании соотношения полученных индексов для частиц менее 1 и менее 5 мкм сделан вывод о преобладающем типе структуры грунта, как это описано в (Горькова, 1975) [1].

В качестве основного объекта исследования выбран элювиальный карбонатно-глинистый грунт, отобранный с глубины 1,5–2,5 м на водоразделе рек Волги и Свияги. Он образовался на коренных отложениях красных глин пермской системы. Такие грунты довольно распространены на осадочных породах, содержащих прослой известняков и доломитов. Все осадочные породы в верхних слоях земной коры и на ее поверхности проходят стадию гипергенеза при образовании элювия. На инженерное поведение этих грунтов, относящиеся к уржумскому терригенно-карбонатному комплексу, оказывают влияние инфильтрационные подземные воды, обедненные органическим веществом.

Используемый в эксперименте карбонатный глинистый грунт имел плотность твердой фазы 2,662 г/см³. По механическому составу он относился к классу глин. Основной минеральный состав грунта соответствовал монтмориллониту (22 мас. %), кальциту (12 мас. %) и обломочной компоненте (кварц, мусковит, альбит, клинохлор, микроклин).

Грунт выдерживался в экспериментальных установках при двух уровнях углекислого газа и стимулятора в течение 2-6 месяцев в условиях полного влагонасыщения при температуре +12 °С [2].

Полученные индексы агрегированности показали стабилизационный структурный тип исходного грунта. Этот тип сохранялся в течение первых двух месяцев эксперимента. Однако за 6 месяцев структура пластифицировалась, приобрел коагуляционно-кристаллизационный тип строения. Произошла смена стабилизационного структурного типа исходного грунта пластифицированно-коагуляционным и коагуляционно-кристаллизационным, т.е. появились новые структурные связи в грунте, в т. ч. цемент (рис.1).

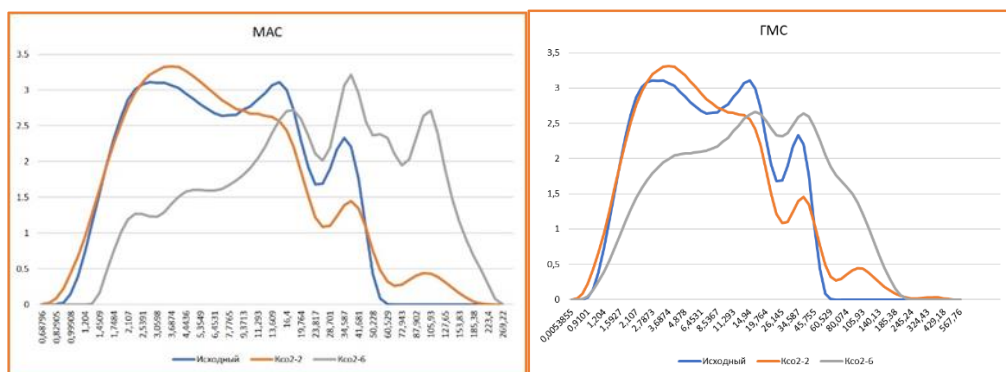


Рисунок 1. Микроагрегатный и гранулометрический состав контрольных грунтов двух экспозиций

Первоначально содержащиеся в грунте кристаллические вещества в течение первых 2 месяцев быстро растворялись по причине экспериментального воздействия на образцы — разуплотнения, измельчения, гидратации (рис. 2).

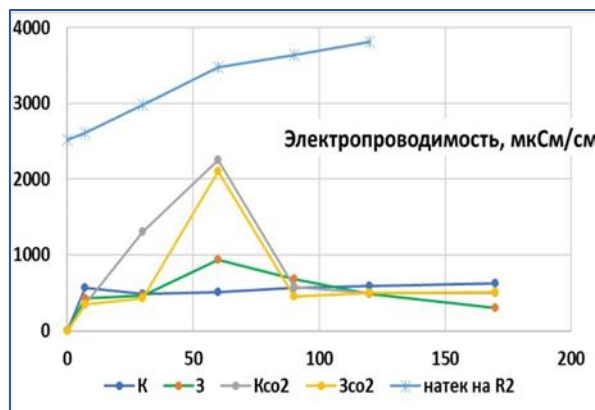


Рисунок 2. Показатели гидрогеохимической обстановки в эксперименте

Однако данное воздействие оказалось обратимым, и даже в условиях полного влагонасыщения через 6 месяцев опыта образовывались новые кристаллы, что доказано появлением коагуляционно-кристаллизационного типа структуры грунта и упрочнением структуры.

Выводы

Эксперимент показал, что модельное техногенное воздействие на карбонатно-глинистый грунт, направленное на гидратацию и стимуляцию олиготрофного сообщества, запускает процесс изменения состава и прочностных свойств грунта. Стимулированная олиготрофная биопленка в проведенном опыте приводила к падению гидрофильности поверхности частиц грунта и образованию микроагрегатов размером >50 мкм за счет отложения частично кристаллического цемента. Наряду с этим, у мелкодисперсной фракции грунта под действием стимулированных олиготрофов понижалась агрегационная устойчивость, то есть толщина гидратных оболочек вокруг частиц стала меньше, агрегация частиц продолжали меняться и через 6 месяцев. Таким образом, деятельность микрофлоры представляется важным фактором изменения инженерных свойств карбонатно-глинистого грунта.

Библиография

1. Горькова И.М. (1975) Физико-химические исследования в дисперсных осадочных породах для строительства. Стройиздат, Москва
2. Маннапова Л.М., Софинская О.А. Aggregation and disintegration of clay soil particles under carbon dioxide and a chemolithotrophic community. 2022, 128-129
3. Осипов В.И., Соколов В.Н. (2013) Глины и их свойства. ГЕОС, Москва
4. Cuadros J. Clay minerals interaction with microorganisms. Clay minerals 52, 235-261 (2017).

*Бетон, созданный с добавлением отходов горнодобывающей, и оценка его состояние деформации-напряжения при использовании в качестве засыпки при подземных работах. Медина Х.П. * (магистрант кафедры гидрогеологии ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», г. Москва, juanmedinageologia@gmail.com), соавтор Бейлон А. (Исследователь Национального университета Лоху, eisabelbailon@hotmail.com)*

Аннотация

Бетон был спроектирован, а затем изменен по своему составу с добавлением сухих хвостов, полученных в результате добычи металлов. Наилучшие результаты дозирования показывают увеличение простой прочности на сжатие по сравнению с базовой дозой и соответствуют бетону с содержанием сухого осадка 5% и 10% при прочности 25,75 и 28,00 МПа соответственно в течение 28 дней. Соотношение воды и цемента составляет 0,49, кроме того, для его приготовления требуется добавка: пластификатор.

В свою очередь, представлен деформации-напряжения анализ приповерхностных подземных раскопок с использованием метода конечных элементов (MEF). Предлагаются три сценария анализа: без заполнения-SR, заполнение бетоном RH5 (+5% сухого осадка), заполнение бетоном RH10 (+10% сухого осадка). Результаты показывают уменьшение смещения, а также улучшение коэффициента силы натяжения.

Ключевые слова

Напряжение; деформация; заполнение; бетон, отходов.

Введение

В Эквадоре добыча полезных ископаемых в небольших масштабах (добыча менее 150 тонн в день) в основном ведется без плана работ, что приводит к ряду экологических и геотехнических проблем. Так обстоит дело с минерализованными зонами на юге Эквадора, в горнодобывающем регионе Зарума-Портовело (Рисунок 1), Чинапинца, Кордильера-дель-Кондор, где ситуация осложняется существующей незаконной добычей полезных ископаемых. В этой горнодобывающей деятельности отсутствует надлежащее обращение с отходами горнодобывающей промышленности (влияющими на реки) и нестабильность геологических материалов.

В настоящем исследовании предпринята попытка проанализировать использование сухие хвосты, образующиеся в результате горнодобывающей деятельности при производстве бетона и их использование в качестве засыпки при подземных раскопках. Предыдущие исследования демонстрируют улучшение физических свойств раствора и бетона, а также отсутствие загрязняющих веществ в этих материалах из-за герметизации [5, 6].

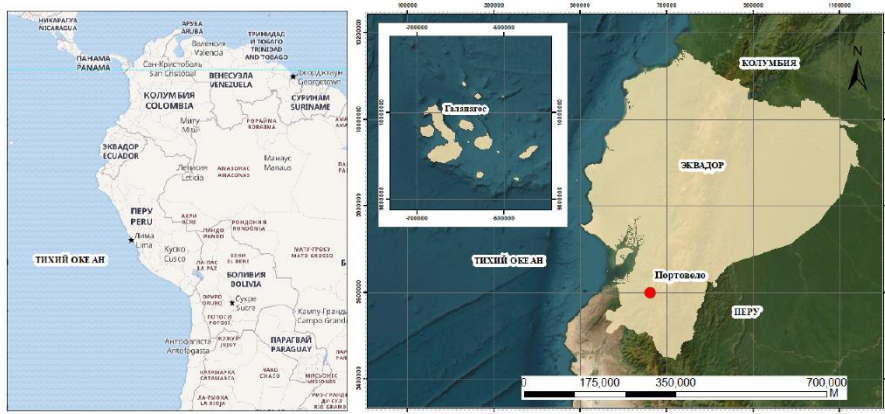


Рисунок 1. Расположение зоны исследования

Фактический материал и методы исследования

Бетон был спроектирован и разработан в соответствии с методологией Международной Ассоциация бетона – АСІ. Для изготовления бетона использовались следующие материалы: вода, песок, гравий, цемент, а также добавка: пластификатор (дозированный в соответствии с рекомендациями производителя). Используемые горнодобывающие отходы соответствуют сухому осадку, поступающему из хвостохранилища горнодобывающей зоны кантона Портовело, расположенного к югу от Экватора.

Дозы для обработки бетона с использованием сухого осадка хвостохранилищ были разработаны в соответствии с экспериментальным методом исследования изменения переменных [4], в данном случае путем замещения количества заполнителя (мелкий + крупный), всего было оценено 40 образцов конкретный.

Методы, применяемые при характеристике, оценке и разработке испытаний материалов и бетона, соответствуют методам, установленным эквадорским стандартом INEN. Модуль Юнга бетона (E) был получен с помощью уравнения АСІ363: $E = 3,32((f_c)^{0,5}) + 6,9$ Гпа.

Анализ напряжения-деформации с использованием метода конечных элементов (MEF), соответствует горнодобывающей зоне в андской части к югу от Экватора, в минерализованном комплексе типа "Штокворк", на высоте 2460 м над уровнем моря, в результате проведенной горнодобывающей деятельности образовалась полость: мощность 15 м на ширину 11 м на глубине 3,7 м.

Геология и топография были изучены в полевых условиях, а также качество горных пород было определено с помощью геомеханической классификации RMR Bieniawski 1989 г. Дополнительные геомеханические параметры были получены и адаптированы из вторичных источников [2,3], материалы и условия которых аналогичны тематическому исследованию.

Анализ и результаты

В результате лабораторных испытаний было получено, что сухой шлам, поступающий из хвостохранилища, не содержит органических примесей, превышающих установленный предел для использования в качестве заполнителя в бетоне, его гранулометрия выделяется тем, что все частицы проходят через сито № 8 (2,36 мм).

Кроме того, он содержит значительное количество мелких частиц (59,82% <75 мкм), модуль тонкости составляет 0,1581.

Физико-механические свойства бетона, изготовленного из сухого осадка хвостохранилищ, улучшаются по сравнению с основным (стандартным) бетоном, увеличивая прочность на простое сжатие на 6 МПа (27%) через 28 дней после схватывания при использовании 5% этих материалов. И 3,75 МПа (17%) с использованием 10%. Дозы представлены в таблице 1.

Тип Бетон	сухие хвосты (%)	Дозировка (кг)					Пластификатор (л)	прочность (28-д.) МПа
		Вода	Цемент	сухие хвосты	Песок	Гравий		
Стандарт	0	177,51	360,00	0	891,47	890,19	1,80	22
RH5	5	177,51	360,00	89,08	846,89	845,68	1,80	28
RH10	10	177,51	360,00	178,17	802,32	801,17	1,80	25,75

Таблица Ошибка! Неизвестный аргумент ключа.. Дозировки бетона

Состояние напряжения-деформации в исследуемом примере анализируется по следующим переменным: без заполнения – SR и с заполнением бетоном RH5 (+5% замещенных материалов) и RH10 (+10% замещенных материалов). Результаты отражают общее смещение 3 мм в варианте SR, в то время как значения значительно снижены до почти незаметных значений 0,12 мм для переменной RH5 и 0,18 мм для переменной RH10, Рисунок 2. Следует отметить, что условия грунта были упрощенные для использования в программном обеспечении, условия уровня грунтовых вод не были приняты во внимание.

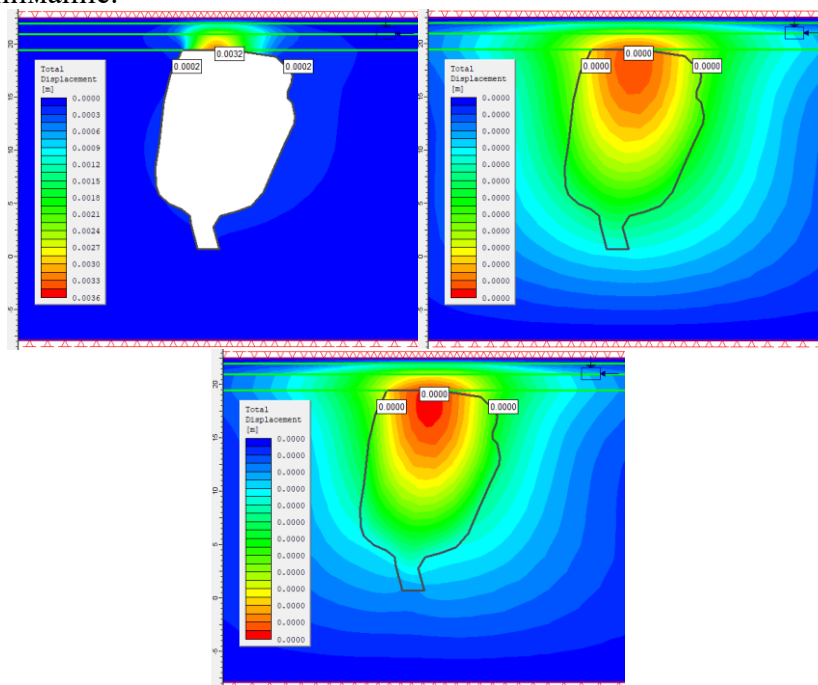


Рисунок 2. 2D-модель подземной добычи полезных ископаемых в разных состояниях, слева: исходное состояние без заполнения. Центр: предлагаемый вариант начинки с дозировкой RH5-5%. Справа: вариант RH10 – 10%.

Выводы

Бетон, изготовленный из сухого осадка, полученного из хвостохранилища, улучшает прочность бетона на простое сжатие, увеличиваясь на 27% при условии RH5 (5% замещенных материалов) и на 17% при RH10% (10% замещенных материалов). Являясь индикатором для использования в производстве бетона.

Модель напряжения-деформации при подземных работах без заполнения он показывает смещение 3 мм, которое уменьшается при заполнении бетоном RH5 (+5% сухие хвосты) и RH10 (+10% сухие хвосты), получая значения 0,12 и 0,18 мм соответственно.

Библиография

1. Белявский 1989. Инженерные классификации горных пород.
2. Burbano et. Al. 2021. Stress-strain analysis of works remediation implemented to stabilize the mining subsidence under La Inmaculada School, Zaruma-Ecuador.
3. Campoverde C. 2017. “Análisis de subsidencia por la actividad minera en el casco urbano de Zaruma. caso de estudio escuela La Inmaculada”.
4. Hernández R., Fernández C. y Baptista P. (2010). Metodología de la Investigación. McGraw-Hill. México.
5. Iglesias R. (2012). Hormigón autocompactante mejorado con aditivos químicos y uso de áridos reciclados. Universidad de Cantabria-España.
6. Romero A. & Flores S. (2010). Reúso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. Lima-Perú.

Специальные технические условия строительства тоннелей в зонах сейсмической активности, разработка обделок тоннелей с учетом сейсмостойкости.

Митрофанова Д.О. *(РУТ МИИТ, terrabia@mail.ru), Телятникова Н.А. (РУТ МИИТ, sharklike@mail.ru), профессор, д.т.н. Пискунов А.А. (РУТ МИИТ)

Аннотация

В этой статье рассматривается концепция сейсмического воздействия на тоннельные конструкции, способы устранения этого воздействия и проектные решения для повышения сейсмостойкости.

Ключевые слова

Сейсмическая активность, сейсмическое микрорайонирование, антисейсмические швы, сейсмоизоляция, Северомуйский тоннель.

Введение

Специальные технические условия (СТУ) - это технические стандарты, разработанные для конкретных объектов капитального строительства, которые дополняют существующие или отсутствующие технические требования безопасности и отражают особенности технического проектирования, строительства, эксплуатации и демонтажа конструкций.

Подготовка СТУ необходима при отсутствии необходимых технических требований или при необходимости установления стандартов в дополнение к утвержденным. Этот документ также необходим, когда невозможно выполнить требования действующих нормативных документов; СТУ имеют приоритет над требованиями других технических документов; стандарты, такие как ГОСТ, СП и СНиП [7], недействительны, если они противоречат ГСС.

Северомуйский тоннель будет строиться в районе, где сейсмический фон согласно карте ОСР-97 Б превышает 9 единиц по шкале MSK-64; СНиП II-7-81*, раздел 1 "Строительство в сейсмических районах" гласит: "Как правило, при сейсмической активности более 9 единиц строительство в данном районе не допускается". SWPPP должен быть разработан в соответствии с Постановлением Министерства регионального развития № 36 от 01/04/2008.

Краткое описание объекта строительства

Северомуйский 2 тоннель расположен на северо-восточной стороне зоны Байкальского разлома, одного из самых геологически активных районов планеты. Район характеризуется высокой сейсмической активностью (9 баллов), сложными техническими, геологическими и гидрологическими условиями и суровым климатом (летний сезон составляет всего 80-100 дней, температура колеблется от +39° летом до -58° зимой).

Согласно проектной работе по новому участку второго Северомуйского тоннельного комплекса, основные требования к проектированию комплекса были следующими:

Категория железнодорожной линии с учетом перспективы увеличения объема перевозок - особо грузонапряженная по СП 119.13330.2017; Руководящий уклон - 12 ‰;

Проектируемый железнодорожный тоннель располагается справа от существующей транспортно-разведывательной дренажной штольни (ТРДШ) по ходу пикетажа, от разъезда Итыкит до разъезда Окусикан. Длина тоннеля - 15358 м (уточняется при проектировании);

Вентиляционно-технологические сбойки между проектируемым тоннелем и существующей транспортно-разведывательной дренажной штольной (ТРДШ). Количество сбоек - 39 шт. (уточняется при проектировании);

- Число путей в тоннеле - один;

- Тяга - электровозная;
- Род тока в контактной сети - переменный;
- Габарит приближения строений «С», по ГОСТ 9238-2013 для электрифицированных линий;

Рекомендации по конструированию обделки тоннеля в зонах тектонических нарушений и антисейсмических швов

Исходные данные:

Проектирование глубоких тоннелей требует знания параметров обделки тоннеля, характеристик грунта, в котором расположен тоннель, и параметров продольных и поперечных волн, возникающих в обделке тоннеля.

Сейсмичность площадки в соответствии с местными грунтовыми условиями должна быть проверена на основе карт сейсмического микрорайонирования и микрорайонирования инструментальных наблюдений. Результаты сейсмического микрорайонирования должны быть неотъемлемой частью данных предварительного проектирования [3].

На основании результатов комплексных инженерно-геологических и сейсмологических исследований при сейсмическом микрорайонировании трасс подземных и транспортных тоннелей должны быть получены предварительные данные для проектирования тоннелей в сейсмических районах. уточнения сейсмичность площадки строительства по длине тоннеля и для притоннельных сооружений;

- плотность породы;
- скорости распространения продольных и поперечных волн в грунте;
- резонансные свойства грунта (преобладающий период сейсмических колебаний массива);
- контрастность и активность движений, ожидаемые возможные амплитуды колебаний массива
- модуль упругости;
- коэффициент отпора;
- коэффициент Пуассона грунта;
- прогноз дизъюнктивных нарушений (тектонических зон, и т.п.).

При сейсмическом воздействии на тоннельные сооружения рекомендуется проводить следующие серии расчетов

- Определение сейсмологических характеристик района строительства с использованием карт сейсмического микрорайонирования и обследований.
- Разделение тоннельного сооружения на участки в соответствии с техническими, геологическими и гидрологическими условиями, расстоянием от поверхности и типом обделки, которая будет использоваться для каждого участка.
- На основании рекомендаций данного раздела выбрать метод сейсмического расчета для каждого участка [2].
- Определить расчетные усилия на элементы облицовки и затвора от статических и сейсмических воздействий.
- На основании максимальных сил определяется несущая способность конструкции обделки тоннеля.
- Расчеты для тоннелей с сейсмическими воздействиями могут быть выполнены простыми аналитическими методами и численными методами с использованием программных пакетов. [1-4].

Сеймотектонические условия площадки строительства

Согласно проектной документации, железнодорожный тоннель Северомуйск 2 расположен в северо-восточной части зоны Байкальского разлома, одного из наиболее геологически активных регионов мира. Район характеризуется сложными геологическими, мерзлотными и гидрогеологическими условиями на фоне сейсмогенного и сурового климата.

Массив вдоль оси тоннеля состоит из гранита, который был смещен в результате структурных процессов, образуя многочисленные (до 300) зоны разломов в различных направлениях.

В западной части портала тоннель пересекает древнюю Ангараканскую структурную полость, заполненную аллювиальными отложениями с высоким водным потоком (общий водный поток из этой зоны достигает 1 240 м³ /ч).

Зона разлома заполнена глиной, песком и щебнем и имеет обильные родники с дебитом 500-700 м³ /ч на поверхность.

Имеются данные изысканий, проведенных во время строительства 1 Северомуйского тоннеля.

Из-за отсутствия данных микросейсмической съемки оба значения, принятые для расчета, требуют дальнейшего уточнения [5-6].

Конструктивные решения

Согласно пункту 9.2.14 СП 268.1325800.2016 антисейсмические швы рекомендуется устраивать в монолитных бетонных и железобетонных обделках. Рекомендации по устройству антисейсмических швов для сборных обделок, сооружаемых щитовым способом отсутствуют.

Высокое гидростатическое давление и изменяющиеся грунтовые условия усложняют задачу сейсмоизоляции [4]: необходимо использовать гибкие сегментные конструкции, которые снижают усилия на облицовку, сохраняя водонепроницаемость.

При сейсмоизоляции целесообразно использовать конструкции, которые были испытаны в туннельных проектах по всему миру. Примером может служить туннельная обделка, используемая при строительстве тоннеля под проливом Босфор ((Bosphorus Eurasia highway) рисунок 1),

Схематическое изображение конструкции сейсмоизоляции изображено на рисунке 2.

Водонепроницаемость обеспечивается двумя слоями водонепроницаемой резины, а движение поглощается демпферами. Элементы, предназначенные для использования под Босфором, могут принимать следующие характеристики деформации: растяжение/сжатие до 75 мм, сдвиг до 50 мм.

Исходя из вышесказанного, в случае принятия решения об устройстве сейсмоизоляции, целесообразно применять проектные решения, предложенные на рисунках 1-2 с обязательной адаптацией под условия строительства второго Северомуйского тоннеля.



Рисунок 1. Сегмент кольца обделки тоннеля Мармарай под проливом Босфор

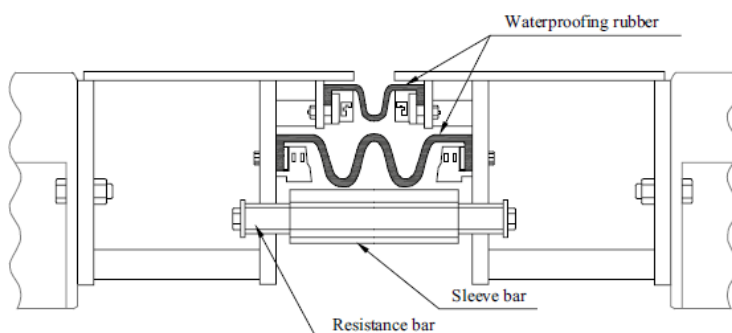


Рисунок 2. Схематическое изображение конструкции сейсмоизоляции

Библиография

1. Коричинский И.Л., Поляков С.В. и др. Основы проектирования зданий в сейсмических районах. М.: Госстройиздат, 1961. 488 с.
2. Карцивадзе Г.Н., Медведев С.В., Напетваризде Ш.Г. Сейсмостойкое строительство за рубежом. М.: Госстройиздат, 1962. 225 с.
3. Карапетян Б.К., Карапетян Н.К. Сейсмические воздействия на здания и сооружения. М.: Наука, 1978. 159 с.
4. Казина Г.А., Килимник Л.Ш. Конструкции сейсмостойких зданий в зарубежном строительстве: Обзор. М.: ЦИНИС Госстроя СССР, 1974. 60 с.
5. Медведев С.В. Инженерная сейсмология. М.: Госстройиздат, 1962. 284 с.
6. Назаров А.Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил / АН Арм. ССР. Ереван, 1959. 141 с.
7. Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81. М.: Стр

*Анализ влияния инженерно-геологических условий на сохранность сооружений
Снетогорского монастыря в г. Псков. Михайлин Е.Д. (МГРИ,
mihailinev100@gmail.com), Вязкова О.Е. (МГРИ, wjask@yandex.ru)*

Аннотация

В работе проанализировано влияние компонентов инженерно-геологических условий на сохранность сооружений Снетогорского монастыря, находящегося на обрыве Снятной горы, на правом берегу реки Великой в городе Псков. Геологическое строение основания, на котором расположен монастырь, сложено четвертичными отложениями, с подстилающими их скальными породами девона, на которые оказывают влияние экзогенные геологические процессы, что ставит под сомнение безопасность эксплуатации ограждающих сооружений монастыря.

Ключевые слова

Инженерно-геологические условия, Снетогорский монастырь, Псков, река Великая, экзогенные геологические процессы.

Теория

Снетогорский монастырь Рождества Пресвятой Богородицы – действующий женский монастырь во Пскове. Один из древнейших из ныне существующих псковских монастырей. Снетогорский монастырь впервые упоминается в Псковских летописях под 1299 годом, когда ливонские рыцари совершили внезапное нападение на Псков. Тогда обитель была разорена, а её настоятель и 17 монахов были сожжены в храме. За свою 700-летнюю историю обитель пережила не одно вражеское нашествие и разорение. Сейчас в монастыре проживает около ста монахинь, многие живут в монастырской богадельне [4].

Монастырь является важным духовным памятником и памятником архитектуры, так как внутри, на его стенах, сохранена иконопись XIV века. Вертикальный откос с обнажением известняков представляет собой природную достопримечательность, формирующую в совокупности с архитектурными памятниками монастыря живописный пейзаж излучины р. Великой. Особенности положения ансамбля сооружений Снетогорского монастыря ставят под сомнение возможность длительного сохранения некоторых построек.

Анализ влияния инженерно-геологических условий участка расположения монастыря на сохранность сооружений позволил выявить следующие моменты.

Климат умеренно-континентальный. Многолетняя среднегодовая температура – +4,6°C. Средняя многолетняя температура зимы – -5°C, средняя многолетняя температура лета – +15°C.

Монастырь расположен на продолговатом холме, склоны которого ориентированы в западном и восточном направлениях. Рельеф территории волнисто-равнинный. Абсолютные высоты изменяются в пределах 40–55 м.

Гидрографическая сеть района относится к бассейну Балтийского моря. Основной водной артерией является р. Великая, впадающая в Псковское озеро. Весной в паводок уровень воды поднимается на 3–5 м.

В геологическом строении присутствуют верхнечетвертичные отложения, представленные техногенными образованиями, а также моренными песками и супесями крестецких слоёв осташковского подгоризонта. В береговом обрыве Снятной горы, высотой от 15 до 30 м, протяженностью 200 м, обнажаются дочетвертичные отложения, относящиеся к снетогорским и псковским слоям изборского горизонта франского яруса верхнего девона. Первые представлены переслаиванием мергелей, доломитовых мергелей и доломитов с прослоями глин, алевролитов и известняков. Псковские слои

сложены в основном доломитами в основании и известняками – в большей части обнажения (рис. 1) [3].



Рисунок 1. Геологический разрез Снятной горы в естественном обнажении правого берега реки Великой

В гидрогеологическом отношении массив горных пород является зоной аэрации. Исходя из анализа компонентов инженерно-геологических условий территории было выявлено, что наиболее важный компонент, влияющий на сохранность и эксплуатацию сооружений – экзогенно-геологические процессы. Очевидными разрушающими факторами на данный момент являются выветривание и боковая эрозия правого берега реки Великой в основании Снятной горы.

Наиболее неустойчивыми сооружениями комплекса являются южные башня и стена, находящиеся на краю обрыва. Фундамент башни был частично обрушен во второй половине 2000-х годов (рис. 2). В результате вышечисленных процессов произошло обрушение фрагмента бутовой кладки из известняка, устроенной для выравнивания площадки, на которой была возведена Южная башня монастырской ограды. В результате Южная башня оказалась на самом краю обрыва.

Для предотвращения окончательного разрушения на берегу р. Великой под Южной башней монастыря в 2007 г. было начато и не завершено устройство железобетонной монолитной конструкции берегового укрепления. Предусматривалось устройство берегового гидротехнического укрепления, закрывающего железобетоном весь береговой откос на всю высоту. Предложенное проектом решение включало наземную конструкцию берегового укрепления на свайных фундаментах с анкерными сваями [2].

Склон, на котором располагается часть каменной ограды монастыря, в связи с проходящими там процессами, является обвалоопасным. В скальных грунтах имеются трещины скольжения, и вследствие этого по результатам визуальных наблюдений были обнаружены наклонные трещины в основании Южной башни монастыря. Это говорит о том, что сооружение теряет устойчивость.

За счет протекающих процессов наблюдаются осыпания массива грунта. У основания обрыва наблюдаются обломки, оторвавшиеся от склона. Но благодаря ежегодному паводку реки Великая эти обломки вымываются, результатом чего является отсутствие накопления большого количества материала.



а

б

Рисунок 2. Обрушение грунтов основания смотровой башни на южной стене Снетогорского Псковского монастыря: а – состояние склона до обрушения, контуром обведен фрагмент, который вскоре обрушился, 2001 г.; б – строительство защитной железобетонной стенки на месте самого крупного вывала, 2010 г. (фото О.Е. Вязковой) [1]

Несколько в глубине от склона находятся Никольский корпус и собор Рождества Богородицы, находящийся под охраной ЮНЕСКО. Склоновые процессы пока не затронули их конструкции. Однако со слов представителей монастыря за прошедшие 20 лет край обрыва продвинулся внутрь скального массива на глубину около 1 м [2].

Выводы

Компоненты инженерно-геологических условий, влияющие на сохранность сооружений Снетогорского монастыря требуют глубокого анализа условий, причин и механизмов ЭГП для прогноза их развития. Также необходимо формулирование принципов реставрации памятника.

Библиография

- 1) Вязкова О.Е., Никишина Т.А. К вопросу о влиянии геоморфологических условий на проявление геологических процессов на территориях монастырей Центральной России / Инженерная геология 2020. Том 15, № 4/2020. С.68-89
- 2) Плечкова И.Л., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г., Шашкин В.А., Евсеев Н.А. Обеспечение безопасности основания сооружений Снетогорского монастыря / Геотехника 2020, Том XII, № 2/2020. С. 52–66.
- 3) Саммет Э.Ю., Шмасенок А.И., Вербова И.М. «Объяснительная записка для листа О-35-XXIII», 1979 г.
- 4) <https://snetogor.ru/monastyir/>

**Определение давления всасывания ненасыщенных грунтов методом
фильтровальной бумаги. Рыжков А.О.* (МГРИ, Mr.Sellch-AD@yandex.ru),
Новгородова М.А. (МГРИ, novgorodovama@mgri.ru)**

Аннотация

Характеристическая кривая грунт-вода SWCC для грунта представляет собой отношение между матричным всасыванием (химическим потенциалом) и содержанием воды (гравиметрическим или объемным) или степенью насыщения (S). SWCC является обязательной для оценки различного поведения ненасыщенного или частично насыщенного грунта с точки зрения прочности, жесткости, проводимости, пригодности к эксплуатации и т.д. Чтобы получить SWCC, необходимо измерить матричное всасывание грунта в зависимости от содержания воды или степени насыщения. Метод фильтровальной бумаги — это косвенный и самый простой метод оценки матричного всасывания грунта. В последние годы этот метод широко использовался для оценки всасывания грунта и теперь является стандартом США (ASTM D5298-2016). Метод фильтровальной бумаги основан на водопоглощающих свойствах фильтровальной бумаги: когда фильтровальная бумага подвергается воздействию грунтовой среды, она либо десорбирует, либо поглощает влагу до тех пор, пока всасывание внутри фильтровальной бумаги и грунта не станет идентичным. Метод фильтровальной бумаги — это универсальный метод испытаний для оценки всасывания грунта из-за его преимуществ по сравнению с другими методами оценки всасывания.

Ключевые слова

Механика ненасыщенных грунтов, характеристическая кривая грунт-вода SWCC, метод фильтровальной бумаги, фильтровальная бумага Whatman № 42.

Введение

Характеристическая кривая грунт-вода SWCC представляет собой отношение между матричным всасыванием (химическим потенциалом) и содержанием воды (гравиметрическим или объемным) или степенью насыщения (S_r). Первые SWCC были получены Эдгаром Бэкингом в 1907 г. для шести различных грунтов от песка до глины [1]. SWCC является обязательной для оценки различного поведения ненасыщенного или частично насыщенного грунта с точки зрения прочности, жесткости, проводимости, пригодности к эксплуатации и т.д. Чтобы получить SWCC, необходимо измерить матричное всасывание грунта в зависимости от содержания воды или степени насыщения. В инженерно-геологических работах матричное всасывание имеет большее значение, чем осмотическое всасывание, которое определяется как давление, стремящееся выровнять содержание влаги в образце грунта и равное разнице между поровым воздухом (u_a) и (отрицательной) водой (u_w) давления.

В области инженерной геологии существует множество методов и инструментов для измерения всасывания грунта. Одним из таких методов измерения всасывания грунта является метод фильтровальной бумаги, который был разработан в Европе в 1920-х. С тех пор метод фильтровальной бумаги использовался и исследовался многочисленными исследователями, которые занимались различными аспектами метода фильтровальной бумаги.

Для эксперимента было подготовлено 10 образцов грунта для измерений всасывания. Образцы были отобраны в г. Зеленограде на глубине от 2 до 16 м. Представлены суглинками мягкопластичными, среднечетвертичными

флювиогляциальными водно-ледниковыми и озерно-ледниковыми отложениями московского горизонта, f,lgQIIms.

Измерения проводились в соответствии со стандартом ASTM [9] (используемое оборудование указано на Рисунке 1) с использованием беззольных фильтровальных бумаг Whatman № 42 (Рисунок 2).



Рисунок 1. Необходимое оборудование для выполнения опыта.



Рисунок 2. Фильтровальная бумага Whatman № 42.



Рисунок 3. Запечатанный контейнер.

Бумажные фильтры сушили в сушильном шкафу не менее 16 часов, потому что калибровочные кривые, представленные в стандарте и литературе, которые используются для получения как общего, так и матричного всасывания в зависимости от содержания влаги в фильтре, действительны для первоначально высушенных бумажных фильтров [6], т.к. между изначально сухой и изначально влажной фильтровальной бумагой существует гистерезис. Затем каждый из подготовленных образцов грунта разрезали на две половины и помещали внутреннюю фильтровальную бумагу между двумя внешними фильтровальными бумагами.

Внутренняя фильтровальная бумага имеет диаметр на 3-4 мм меньше. Затем внутреннюю и внешнюю фильтровальную бумагу помещали между двумя половинками в непосредственном контакте с образцом грунта. С этой целью внутреннюю фильтровальную бумагу использовали для определения матричного всасывания грунта. Если образец недостаточно влажный, прямого контакта между фильтровальной бумагой и образцом может не быть. После этого образец грунта помещали в банку, покрывающую не менее 75% его объема, чтобы поддерживать время равновесия как можно меньше. Затем кольцо из ПВХ с острыми краями было помещено поверх образца грунта в банке, и две фильтровальные бумаги были помещены на кольцо без прямого контакта между фильтровальной бумагой и грунтом для измерения общего всасывания грунта (Рисунок 3). К фильтровальной бумаге нельзя прикасаться голыми руками, а только пинцетом и в перчатках, и на ней ничего не должно быть написано.



Рисунок 4. *Хранение контейнеров в холодильнике при $t=20^{\circ}$.*



Рисунок 5. *Перед взвешиванием.*

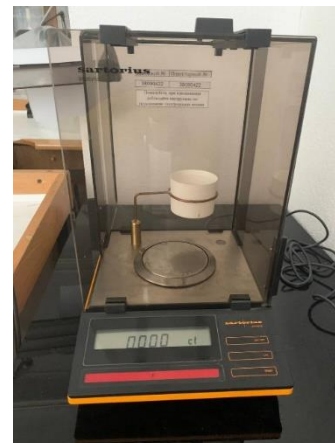


Рисунок 6. *Используемые в течение опыта весы.*

В соответствии со стандартом ASTM время достижения равновесия, принятое в этом исследовании, составляло семь дней. Банки были запечатаны изоляцией и хранились в холодильнике с регулируемой температурой (Рисунок 4).

После достижения равновесного времени к каждой банке готовили по два бюкса с крышками и регистрировали их холодный вес (T_c) с помощью весов с чувствительностью 0,0002 г (0,001 карат) (Рисунок 5 и 6).

После того, как банка была открыта, верхнюю фильтровальную бумагу помещали в банку, закрывали крышкой и взвешивали на весах (M_1) в течение 5 секунд для предотвращения потери и/или изменения содержания влаги. То же самое было сделано для нижней фильтровальной бумаги. Затем извлекали верхнюю половину грунта, а внешнюю фильтровальную бумагу удерживали пинцетом для извлечения внутренней фильтровальной бумаги, которую помещали в банку и взвешивали в течение 5 секунд. Внешняя фильтровальная бумага затем была утилизирована. Их нельзя использовать снова ни по какой причине. После этого банки выдерживали частично закрытыми/запечатанными в печи в течение 2 часов и полностью закрытыми в течение 15 минут. Впоследствии банки были извлечены из печи и помещают на алюминиевый блок для охлаждения в течение 20 секунд; и их веса были записаны соответственно (M_2). Наконец, фильтровальную бумагу утилизировали, а вес банок и крышек в горячем состоянии регистрировали (T_h). Массу воды в каждой фильтровальной бумаге рассчитывали по уравнению 1.

$$M_w = (M_1 - M_2 - T_c + T_h) \quad (1)$$

Содержание воды рассчитывали по уравнению 2:

$$W_f = \frac{M_w}{M_2 - T_h} \quad (2)$$

Результаты

Используя влажность фильтровальной бумаги и калибровочную кривую, можно получить значения полного и матричного всасывания. Для данного типа бумаги существует общепринятая калибровочная кривая.

Можно преобразовать содержание воды на фильтровальной бумаге w_f в значение всасывания по калибровочной кривой или можно рассчитать всасывание по формуле:

$$h = m w_f + b \quad (3)$$

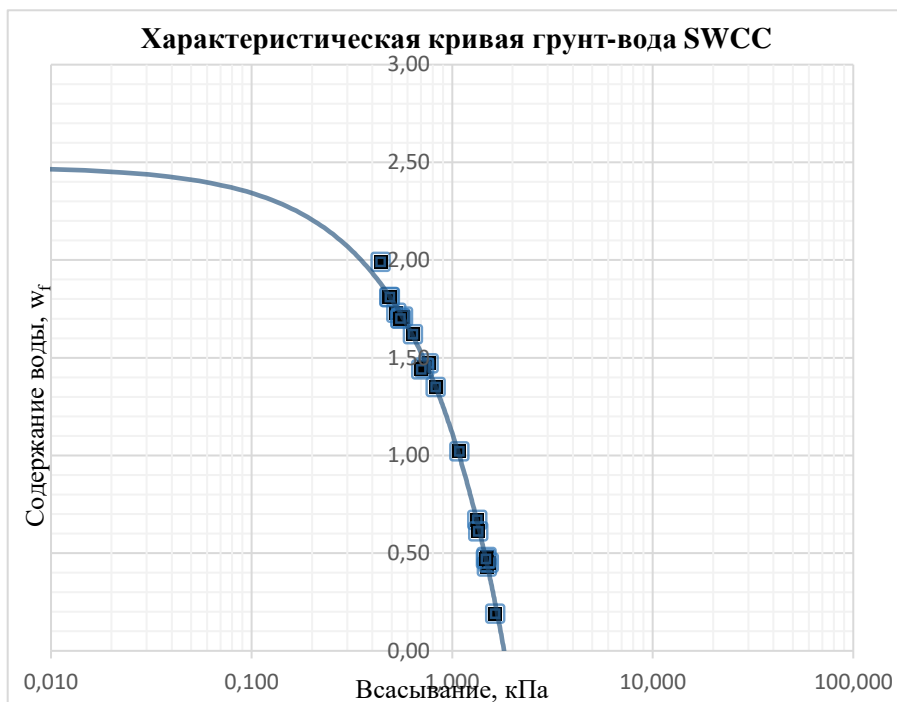
где

m – наклон калибровочной кривой фильтровальной бумаги, \log_{10} кПа

w_f – % содержания воды

b – точка пересечения калибровочной кривой фильтровальной бумаги, \log_{10} кПа.

Результаты эксперимента представлены в таблице. По полученным значениям всасывания строится характеристическая кривая грунт-вода SWCC.



Библиография

1. Houston, S.L., It is time to use unsaturated soil mechanics in routine geotechnical engineering practice. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2019, 145(5), p.02519001. [Doi: 10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002044](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002044).
2. Fredlund, D.G. and Rahardjo, H., *Soil mechanics for unsaturated soils*, 1993, John Wiley & Sons.
3. Lu, N. and Likos, W.J., *Unsaturated soil mechanics*, 2004, Wiley.
4. M. T. van Genuchten, "A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 44, no. 5, pp. 892-898, 1980.
5. D. G. Fredlund and A. Xing, "Equations for The Soil-Water Characteristic Curve," *Can. Geotech. J.*, vol. 31, no. 4, pp. 521-532, Aug. 1994.
6. Zhang, C. and N. Lu. 2019. "Unitary Definition of Matric Suction." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 145, no. 2 (February): 02818004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002004](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002004)
7. R. Bulut and E. C. Leong, "Indirect Measurement of Suction," *Geotech. Geol. Eng.*, vol. 26, no. 6, pp. 633-644, Dec. 2008.
8. E.-C. Leong, R. Kizza, and H. Rahardjo, "Measurement of Soil Suction Using Moist Filter Paper," in *E3S Web of Conferences*, vol. 9, pp. 1-6, 2016.
9. ASTM-D5298, "Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper," *ASTM Int.*, vol. 04.08, pp. 1-6, 2016.
10. E.-C. Leong, R. Kizza, and H. Rahardjo, "Measurement of Soil Suction Using Moist Filter Paper," in *E3S Web of Conferences*, vol. 9, pp. 1-6, 2016.

*Изучение характеристик сдвиговой прочности мела лабораторными методами.
Овчинников А.В.* (Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, ovchinnikov@bsu.edu.ru), Нестерова Л.Л.
(Индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО ЮГУ, L_Nesterova@ugrasu.ru)*

Аннотация

На примере мелового грунта, рассмотрены лабораторные методы определения характеристик сдвиговой прочности, предусмотренные ГОСТ: метод одноплоскостного среза, метод трехосного сжатия. Рассмотрены косвенные расчетные методы: по результатам испытаний методом одноосного сжатия и растяжения, измерения углов наклона площадок сдвига в образцах после испытаний и другие. Для полускального мела в водонасыщенном состоянии приведены результаты сравнительных экспериментальных исследований.

Ключевые слова

Мел, специфический грунт, удельное сцепление, угол внутреннего трения

Теория

Мел не относится к типично скальным грунтам. Данный грунт является специфическим элювиальным, что создает трудности при изучении его физико-механических свойств в процессе инженерно-геологических изысканий. В Белгородской и соседних областях России мел залегает на небольшой глубине, сильно разрушен процессами выветривания до дисперсного глиноподобного, древесно-щепнистого или глыбового состояния, а его свойства сильно зависят от геоморфологической приуроченности исследуемого участка, глубины залегания, гидрогеологических условий. Фактор влажности оказывает определяющее влияние на свойства мела и это было подробно исследовано автором [7]. В данной работе рассмотрим методы определения характеристик сдвиговой прочности, предусмотренные ГОСТ, а также другие косвенные методы.

Самый распространенный в России лабораторный метод определения удельного сцепления и угла внутреннего трения – метод одноплоскостного среза. Действующий ГОСТ [3] регламентирует определение эффективных и остаточных значений данных параметров по двум схемам: консолидировано-дренированное (КД) испытание и сдвиг «плашка по плашке» соответственно. С 2020 года ГОСТ не предусматривает применение быстрой схемы неконсолидированного сдвига, ввиду невозможности создания в современных приборах недренированного режима в ходе испытаний. При работе с меловым грунтом особое значение имеет стадия подготовки образцов для испытаний. Наиболее простая ситуация, когда мы имеем дело с мелом в дисперсном пластичном состоянии. Большие сложности возникают в вырезке образцов из монолитов, представленных полускальным мелом или дисперсного мела с крупными включениями. Разрушение подобного неоднородного грунта при сдвиге будет происходить по наиболее энергетически выгодному пути, и мы будем получать завышенные частные значения предельного сопротивления сдвигу. В данном случае приобретает актуальность применения метода многоплоскостного среза и простого сдвига, который реализуется в мировой практике геотехнических исследований. Не менее просто готовить образцы из плотного полускального мела, так как данный грунт является высокопористым макро и микро трещиноватым, а его текстура может довольно легко нарушаться в процессе

бурения и отбора монолитов. В результате при вырезке грунт часто ломается и подготовка образцов для испытаний занимает большое время. Пример вырезанных образцов мела для испытаний методом одноплоскостного среза представим на рисунке 1.



Рисунок 1. Образцы мела для испытаний методом одноплоскостного среза

Метод трехосного сжатия [4] предусматривает определение характеристик сдвиговой прочности по трем схемам. Неконсолидированно-недренированные испытания направлены на определение сопротивления недренированному сдвигу. Консолидированно-недренированные испытания выполняются для определения характеристик сдвига в полных и эффективных напряжениях, а консолидированно-дренированные – для определения данных параметров только в эффективных напряжениях. Сложности возникают при испытании мела в дисперсном состоянии с повышенной естественной влажностью еще на стадии загрузки образца в камеру, а также мела в дресвяно-щебнистом состоянии, обломки которого часто повреждают герметичность резиновой оболочки. При вырезке образцов из полускального мела, они легко разрушаются, что объясняется особенностями строения мела. Так, например, при пропитывании образцов машинным маслом, на их поверхности проявляются скрытые текстуры: жильчатые, органогенно-обломочные и брекчиевидные (рисунок 2). Они не выражены на поверхности сухих образцов мела, и едва заметны на образцах в увлажненном состоянии.



Рисунок 2. Скрытые текстуры мела: жильчатая (слева) и органогенно-обломочная (справа)

Сопротивление недренированному сдвигу возможно установить и методом одноосного сжатия [5].

Важную информацию можно получить из разрушенных образцов мела после испытаний методом трехосного и одноосного сжатия. В разрушенных образцах необходимо выявить трещины сдвига, а также измерить углы наклона площадок сдвига к горизонтали (рисунок 3), установить их среднее значение и оценить расчетные величины угла внутреннего трения и удельного сцепления [6]:

$$\varphi = 2\alpha - 90^\circ; c = \frac{\sigma_{сж}}{2} \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right),$$

где φ – угол внутреннего трения, град.; α – угол наклона площадок сдвига к горизонтали, град.; c – удельное сцепление, МПа; $\sigma_{сж}$ – предел прочности на одноосное сжатие, МПа.



Рисунок 3. Измерения угла наклона площадок сдвига на образцах мела после испытаний

На образцах мела правильной геометрической формы можно определить предел прочности на одноосное сжатие и одноосное растяжение. Для оценки прочности в условиях сложного напряженного состояния возможно использование паспорта прочности – огибающей предельных кругов Мора, построенных в координатах касательных и нормальных напряжений. Прямолинейный участок огибающей (паспорта прочности) вблизи начала координат характеризуется двумя параметрами: удельным сцеплением и углом внутреннего трения. Для случая прямолинейной формы паспорта прочности справедливы соотношения [1]:

$$c = 0,5\sqrt{\sigma_{сж} \cdot \sigma_p}; \operatorname{tg}\varphi = \frac{\sigma_{сж} - \sigma_p}{2\sqrt{\sigma_{сж} \cdot \sigma_p}},$$

где c – удельное сцепление, МПа; $\sigma_{сж}$ – предел прочности на одноосное сжатие, МПа, σ_p – предел прочности на одноосное растяжение, МПа; $\operatorname{tg}\varphi$ – коэффициент внутреннего трения.

Параметры предельного состояния, удельное сцепление и угол внутреннего трения также можно установить при проведении исследований грунта в условиях компрессионного сжатия с измерением бокового давления. Для этой цели используются одометры с введенными в боковые стенки двумя или тремя датчиками напряжений [2].

Приведем сравнительные результаты экспериментальных исследований (таблица 1) для полускального мела в состоянии полной влагоемкости, образцы которого отобраны в карьере по добыче мела месторождения «Зеленая поляна» г. Белгорода.

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований

Одноплоскостной срез (схема КД)		Трехосное сжатие (схема КД)		Одноосное сжатие и растяжение		По углу наклона площадок сдвига	
С, кПа	φ, град.	С, кПа	φ, град.	С, кПа	φ, град.	С, кПа	φ, град.
202	33	229	25	143	33,5	278	11,4

Выводы

Среди лабораторных методов определения характеристик сдвиговой прочности самый распространенный – метод одноплоскостного среза. Ввиду того, что меловой грунт относится к категории специфических, особую актуальность приобретает метод трехосного сжатия, а также методы полевых испытаний. Выбор метода испытаний мелового грунта для определения параметров прочности зависит от конкретной задачи проектирования зданий или сооружений и метода расчета их оснований.

Результаты сравнительных экспериментальных исследований показывают, что значения параметров прочности, полученные косвенными расчетными методами, совпадают, или очень близки с результатами испытаний на одноплоскостной срез и трехосное сжатие.

Библиография

1. Баклашов И.В., Давиденко Б.Ю., Кузьяев Л.С., Христолюбов В.Д. Лабораторный практикум по дисциплине «Геомеханика». – М.: Горная книга, 2011. – 71 с.
2. Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов с комментариями к ГОСТ 12248-2010: монография. – М.: ООО «Прондо», 2014. – 812 с.
3. ГОСТ 12248.1-2020 Грунты. Определение характеристик прочности методом одноплоскостного среза. – М.: Стандартиформ, 2020. – 18 с.
4. ГОСТ 12248.2-2020 Грунты. Определение характеристик прочности методом одноосного сжатия. – М.: Стандартиформ, 2020. – 11 с.
5. ГОСТ 12248.3 – 2020 Грунты. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия. – М.: Стандартиформ, 2020. – 33 с.
6. Ермолович Е.А., Овчинников А.В., Лычагин Е.В. Механика грунтов и горных пород: физико-механические свойства. Практикум: учебное пособие для вузов. 2-е изд. Москва: Издательство «Юрайт», 2020. – 289 с.
7. Овчинников А.В., Ермолович Е.А. Влияние теплового и вещественного полей на физические свойства мела: монография. – Белгород: ИД «БелГУ», 2022. – 164 с.

***Метод ультразвуковой диагностики для оценки состояния свайного фундамента.
Покусаев Е.В. *(ПУТ (МИИТ), epokusaev7@gmail.com), Шенитько А.А. *(ПУТ
(МИИТ) aleksashep@mail.ru). Научный руководитель: к.т.н., доцент Телятникова
Н.А. (ПУТ (МИИТ), sharklike@mail.ru)***

Аннотация

В статье рассматривается метод ультразвуковой диагностики для оценки технического состояния свайного фундамента, включая определение несущей способности свай и выявление возможных нарушений ее работы с использованием программы "PLAXIS 3D". Также рассматривается роль метода ультразвуковой диагностики при изучении нарушенного технического состояния объекта и возможности устранения выявленных проблем.

Ключевые слова

Ультразвуковая диагностика, свайный фундамент, несущая способность свай, PLAXIS 3D, грунтовый массив.

В наше время сваи широко используются для обеспечения устойчивости фундамента любой сложной строительной конструкции. Однако, со временем, свайный фундамент может подвергаться различным воздействиям, что может привести к нарушениям его работы и ухудшению технического состояния объекта. Для оценки технического состояния свайного фундамента используются различные методы, включая метод ультразвуковой диагностики с использованием программы "PLAXIS 3D". Этот метод позволяет определить несущую способность свай и выявить возможные нарушения ее работы, а также оценить возможности для устранения выявленных проблем.

Введение

В современном строительстве сваи играют важную роль в обеспечении устойчивости и долговечности фундаментов. Однако, в процессе эксплуатации возможны нарушения работы свай, что может привести к серьезным последствиям для всей конструкции.

Для определения несущей способности сваи используют следующие методы: метод теоретического расчета, метод пробных статистических нагрузок, метод динамических нагрузок, метод зондирования [1,2].

В качестве объекта исследования в статье взят мост А в пункте Б на реке С, где произошло обрушение железнодорожного моста из-за того, что несущая способность сваи не выдержала нагрузку в результате паводка.

Опора моста представляет собой свайный фундамент из четырех железобетонных буронабивных свай диаметром 1200мм и длиной 20м, объединенных между собой монолитным ростверком (рисунок 1). Размер ростверка в плане 4,9м x 4,3м, высота переменная 1,26...1,50м.

Буронабивные сваи – это скважины, в которые могут опускаться различные типы металлокаркасов [3].

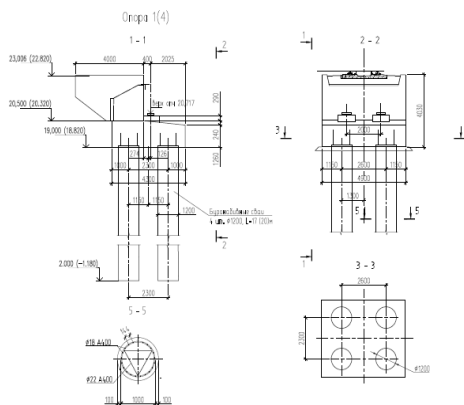


Рисунок 1. Общий вид опоры

Ультразвуковая диагностика свай

Метод ультразвуковой диагностики является одним из наиболее эффективных способов определения несущей способности сваи, так как он позволяет оценить качество контакта сваи с грунтом, наличие пустот и других дефектов, которые могут снизить несущую способность сваи [4].

С помощью ультразвуковой диагностики было обнаружено, что на глубине 19,0–20,10 м от верха сваи произошло нарушение сплошности.

Расчеты и моделирование

Расчет и моделирование несущей способности свайного основания с учетом ультразвуковой диагностики велось при помощи современного расчетного комплекса программ «PLAXIS 3D». Предназначенная для решения сложных задач инженерной геотехники [5].

В основу комплексов положен метод конечных элементов (МКЭ), позволяющий выполнить математическое моделирование процессов, протекающих в грунте. Программные средства расчетного комплекса автоматически сопоставляют напряжение с прочностными свойствами грунтов и с помощью определенных процедур обеспечивают соответствие картины напряжений условием равновесий и заданным свойствам грунта [6].

Моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) свайного основания с грунтовым массивом.

Программный комплекс «PLAXIS 3D» позволяет проследивать изменения напряженно-деформируемого состояния (НДС) грунтового массива и конструкций сооружений на каждой стадии.

Определение усилий и деформаций конструкций сооружений производилось поэтапно, в соответствии со следующими стадиями строительства: исходная стадия – на данной стадии определялись НДС грунтового массива до начала строительных работ; Строительная стадия – на данной стадии определялись НДС грунтового массива и свай опоры; Эксплуатационная стадия – на данной стадии определялись НДС грунтового

массива и свай опоры на период эксплуатации с учетом временной вертикальной нагрузки от подвижного состава (рисунок 3;4).

Геометрическая модель в трехмерной постановке представляет собой параллелепипед, соответствующий фрагменту грунтового массива 40х40 м, глубиной 29,0 м. параллелепипед разбит на определенные слои исходя из инженерно-геологических условий (рисунок 2).

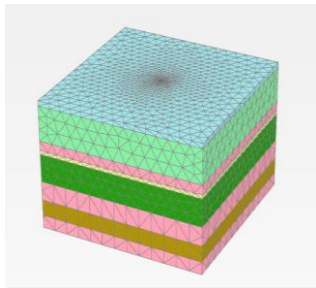


Рисунок 2. КЭ модель грунтового массива без закрепления грунтов

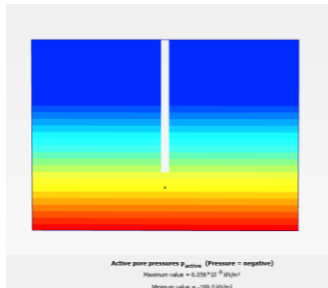


Рисунок 3. Гидростатическое поровое давление в грунтовом массиве без закрепления грунтов

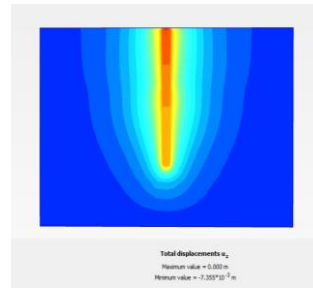


Рисунок 4. Вертикальные перемещения (от расчетных нагрузок) в грунтовом массиве без закрепления грунтов

По результатам расчета вертикальные смещения свай опоры моста без учета усилия основания составляют 7,4мм (от расчетных нагрузок). Максимальное значение вертикальных напряжений в теле свай без учета усилия основания составляет 2393 кН/м². Максимальное значение вертикальных напряжений в «пустотной» зоне свай без учета усилия основания составляет 1537 кН/м². Согласно СП 63.13330.2011 расчетное сопротивление бетона сжатия для класса В25 – 14,5 Мпа.

<p>Вычислим допустимое напряжение для сплошной сваи:</p> $[\sigma] = R_b \cdot \gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2} \cdot \gamma_{b3} = 14,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,85 = 12,325 \text{ Мпа} \quad (1)$	<p>Выполним проверку по допускаемым напряжениям:</p> $[\sigma] = 12,325 \text{ МПа} > \sigma = 2,393 \text{ МПа} - \text{условие прочности выполняется}$
<p>Вычислим допустимое напряжение для «пустотной» зоны свай:</p> $[\sigma] = R_b \cdot k \cdot \gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2} \cdot \gamma_{b3} = 14,5 \cdot 0,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,85 = 1,2325 \text{ Мпа} \quad (2)$	<p>Выполним проверку для пустотной зоны свай по допускаемым напряжениям:</p> $[\sigma] = 1,2325 \text{ МПа} < \sigma = 1,537 \text{ Мпа} - \text{условие прочности не выполняется.}$ <p><u>Перегруз сечения составляет 25%.</u></p>

Вывод

Исходя из выполненного исследования можно прийти к выводу, что нарушение несущей способности свай происходит при образовании пустотных зон. Это влечет нарушение работоспособности объекта и его полный отказ. Была определена причина обрушения опоры железнодорожного моста, произошедшего вследствие ильного паводка, который превысил условия прочности свай.

Применение ультразвуковой диагностики, с использованием программного обеспечения PLAXIS 3D, позволяет проводить диагностику свайного фундамента в режиме реального времени и получать более точные и надежные данные, а также позволяет повысить эффективность и точность оценки несущей способности свайных фундаментов, что способствует повышению качества строительных работ и обеспечению безопасности объектов в эксплуатации.

Библиография

1. Оценка несущей способности свайного фундамента на основе результатов нагрузочных испытаний, В.А. Курганский, В.П. Шульга, 2016 г. - опубликована в журнале "Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики" (https://ntv.ifmo.ru/ru/article/13226/otsenka_nesushchei_sposobnosti_svainogo_fundamenta_na_osnove_rezultatov_nagruzochnykh_ispytaniy.htm)
2. Анализ результатов комплексной диагностики несущей способности свайных фундаментов на объектах жилищного и гражданского назначения", С.В. Крылов, И.В. Полушин, 2013 г. - опубликована в журнале "Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова" (<https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-rezultatov-kompleksnoy-diagnostiki-nesushchey-sposobnosti-svaynyh-fundamentov-na-obektah-zhilischnogo-i-grazhdanskogo-poznacheniya>)
3. СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов. -СПб.: ДЕАН, 2004. – 191 с.
4. Комплексирование ультразвуковых и сейсмоакустических методов при диагностике состояния буронабивных свай и стен в грунте. Архипов А.Г., Матинян А.А.; Материалы VIII международной научно-практической конференции. 2017. С. 5-12.
5. Оценка несущей способности свай в глинистых грунтах с помощью ПК PLAXIS 3D FOUNDATION. Полищук А.И., Самарин Д.Г., Филиппович А.А.; Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. №3. С. 351-359.
6. Метод конечных элементов. Галлагер Р. Основы / Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 428 с.

Районирование территории городского округа города Дзержинска по механизму провалообразования. Романова Е.Р.* (НИУ МГСУ, liza170298.romanova@yandex.ru)

Аннотация

В данной работе автором была собрана информация о геологическом строении и карстопроявлениях исследуемой территории, составлены базы данных инженерно-геологических скважин и карстопоявлений для последующей обработки в системе пространственных данных программы QGIS. Составлена карта районирования территории по механизму провалообразования. Произведен расчет частоты и интенсивности провалообразования для территорий с различным механизмом.

Ключевые слова

Карст, провалы, воронки, механизм провалообразования, интенсивность, частота.

Теория

В геоморфологическом отношении изучаемая территория находится на III надпойменной террасе р. Оки. Абсолютные отметки земной поверхности колеблются в пределах 75-100 м. На территории города поверхность очень сильно спланирована. Характерным элементом природного рельефа являются провальные формы, которые образуют поля или располагаются в виде цепочек и обычно имеют диаметр в пределах 6-8 м и глубину 2-4 м [3].

Геологическое строение территории изучено довольно подробно благодаря большому объёму изыскательских работ, проведённых при строительстве города. В геологическом строении территории до глубины 100 м принимают участия отложения четвертичной и пермской систем. Отложения четвертичной системы распространены повсеместно и представлены песками, их мощность изменяется от 15 до 80 м, и возрастает с юга на север, от долины реки к водоразделу, абсолютные отметки подошвы слоя изменяются от 24 до 65 м. Ниже залегают слабопроницаемые глинистые отложения уржумского яруса среднего отдела пермской системы P_{2ur} мощностью от 0 до 20 м, распространены они практически повсеместно, однако встречаются локальные участки их отсутствия, абсолютные отметки подошвы слоя варьируются от 20 до 50 м. Под ними залегают отложения казанского яруса среднего отдела пермской системы P_{2kz} , представленные известняком, так же местами наблюдаются участки их отсутствия, мощность изменяется от 0 до 10 м и в среднем в черте городской застройки не превышает 3-5 м, а абсолютные отметки подошвы слоя изменяются от 20 до 50 м. Ниже залегают мощная гипсово-ангидритовая толща сакмарского яруса нижнего отдела пермской системы P_{1s} .

Был проведен сбор информации о карстопоявлениях задокументированных на изучаемой территории в период с 1950 г. по 2005 г. [3, 4]. Составлены две базы пространственных и атрибутивных данных в формате excel, одна из которых содержит информацию о месторасположении провалов, их размерах (диаметре и глубине), а вторая информацию о инженерно-геологических скважинах, в которую входят данные о мощности и абсолютных отметка кровли отложений четвертичной и пермской систем, также в базу были занесены данные о подземной закарстованности (высоты полостей). Базы данных состоят из информации о 277 провалах и о 654 инженерно-геологических

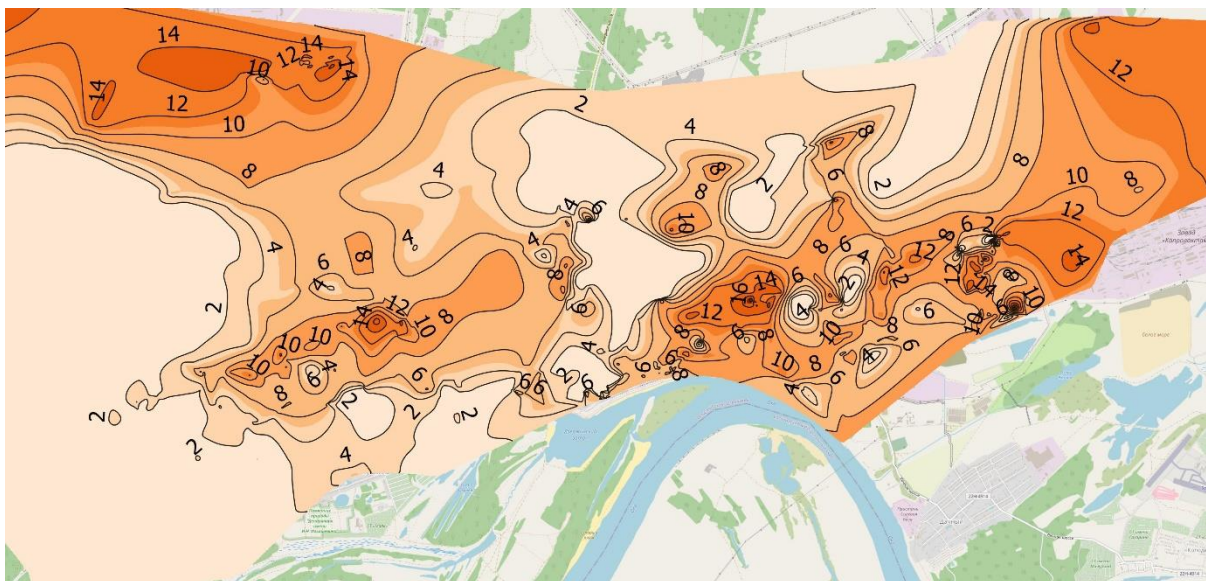
скважинах. Составленные базы пространственных и атрибутивных данных были интегрированы в геоинформационную систему QGIS. Информацией покрыто около 79 км.

Подземные проявления карстового процесса, а именно заполненные и не заполненные полости, а также зоны разрушенных пород встречаются и в карбонатных отложениях среднего отдела пермской системы P_2kz и в гипсово-ангидритовых отложения нижнего отдела пермской системы P_1s , проявления в отложениях P_2kz встречены в 396 скважинах, а в отложениях P_1s в 60 скважине. Не смотря на то, что большая часть проявлений зафиксирована в карбонатных отложениях среднего отдела пермской системы P_2kz , основную опасность образования провалов на дневной поверхности представляют именно гипсово-ангидритовые отложения P_1s , так как мощность карбонатных отложений P_2kz на большей части территории не превышает 3 м, а скорость их растворения на порядок ниже.

Механизмов провалообразования описано много. Но все их можно разделить на суффозионные и гравитационные. Основным показателем, отличающим один механизм от другого, является наличие или отсутствие перекрывающего глинистого слоя, залегающего непосредственно над карстующимся горизонтом. При его отсутствии и, следовательно, непосредственном залегании песчаной толщи на карстующихся трещиноватых породах и нисходящем фильтрационном потоке, происходит перемещение частиц несвязных грунтов в трещинно-полое пространство карстующихся отложений [2]. В случае наличия перекрывающего глинистого слоя залегающего на карстующихся отложениях, при выходе в его основание карстовой полости до достижения полостью определенного критического размера, глинистый слой за счет своих физических и механических свойств способен удерживать себя и вышележащие отложения, однако, при достижении карстовой полости в основании перекрывающего глинистого слоя критических размеров происходит смещение самого глинистого слоя и вышележащих отложений в эту полость по одному из нескольких сценариев (например, путем последовательного формирования сводов обрушения, или смещение всей вышележащей толщи по круглоцилиндрической поверхности) [1].

Именно поэтому одним из основных показателей для районирования территории по механизму провалообразования является наличие или отсутствие глинистых отложений уржумского яруса среднего отдела пермской системы P_2ur . Автором была построена карта мощности отложений P_2ur (рис. 1).

На следующем этапе было произведено районирование территории по наличию или отсутствию отложений P_2ur , территории, где отложения P_2ur отсутствуют, были определены как территории с суффозионным механизмом провалообразования, участки на которых отложения P_2ur в разрезе присутствуют (в любом количестве) были охарактеризованы как участки с гравитационным механизмом провалообразования (рис.2).



Условные обозначения

Мощность отложений P2ug, м:

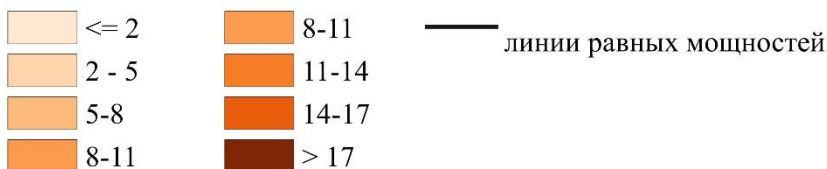
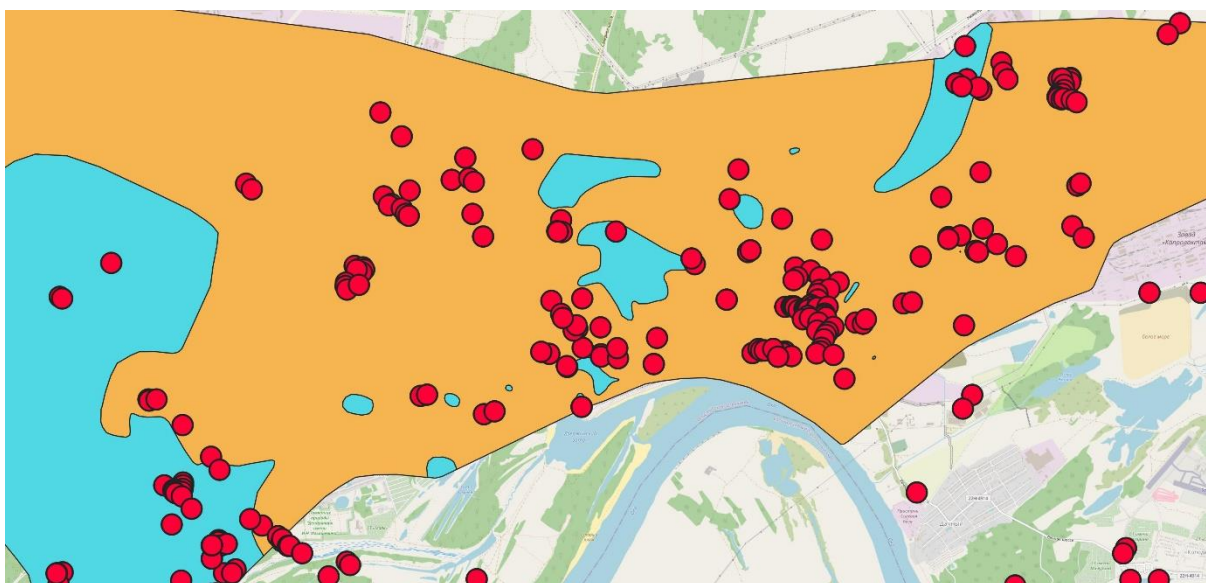


Рисунок 1. Карта мощности глинистых слабопроницаемых отложений P2ug



Условные обозначения

Механизм провалообразования:

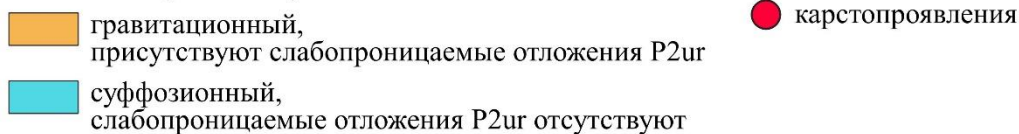


Рисунок 2. Карта районирования территории по механизму провалообразования

Для всего участка и для участков с каждым типом механизма провалообразования были рассчитаны частота и интенсивность провалообразования, в расчеты были взяты только лишь воронки с известной датой образования (таблица 1).

Таблица 1. Частота и интенсивность провалообразования

Характеристика участка	Площадь S , км ²	Количество провалов N	Период образования T , год	Частота λ^* $\lambda^* = N/T$, провалов/год	Интенсивность $\lambda = \lambda^*/S$ провалов/год·км ²
весь участок	79.4	176	69	2.55	0.032
гравитационный механизм провалообразования	60.8	126	69	1.83	0.030
суффозионный механизм провалообразования	18.6	50	53	0.94	0.051

Выводы

Результаты расчета статистических характеристик провалообразования говорят о том, что частота и интенсивность зависят от механизма провалообразования. Не учет механизма формирования провалов на территориях с различным типом строения толщи может значительно завышать или занижать результаты оценки риска и опасности на карстоопасных территориях.

Библиография

1. Аникеев А.В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска : монография / Москва : РУДН, 2017. – 328 с. : ил.
2. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. – Москва: ГЕОС, 2003. – 216 с.
3. Карстово-суффозионные процессы на территории г. Дзержинска Нижегородской области в 2001 г. Информационный билльотень. Министерство природных ресурсов Российской Федерации Департамент природных ресурсов по Приволжскому региону ГП «Противокарстовая и береговая защита», г. Дзержинск 2002 г.
4. Отчет о многолетних результатах карстологического мониторинга района г. Дзержинска Нижегородской области (1995-200 г.г.). г. Дзержинск – 2001 г.

Основы оптимизации методов оценки карстовой опасности городов на примере г.Москвы. Савельев П.М.* (МГРИ-РГГРУ, pivpav_sav@mail.ru)

Аннотация

Под карстовой опасностью чаще всего понимают характер и степень воздействия карстопроявлений на геологическую среду, которые могут привести к разрушению сооружений, нарушению или затруднению их нормальной эксплуатации, а также к недопустимому загрязнению геологической среды, утечкам воды из водоёмов и др. Территория Москвы приурочена к наличию покрытого карста, где формирование подземных и особенно поверхностных карстопроявлений негативно влияет на устойчивость покрывающей толщи, которая служит основанием для зданий и сооружений. Соответственно, для сохранения безопасных условий эксплуатации крайне важно прогнозирование и своевременное предупреждение опасных проявлений.

Вопрос оценки карстовой опасности на территории Москвы остается весьма актуальным и дискуссионным. Усложняется вопрос и тем, что образование современных воронок на земной поверхности не является прямым проявлением карста, а является частью механизма проявления карстово-суффозионных процессов, т.е. связаны с выносом песков в существующие покрытые карстовые полости и трещиноватые зоны через незначительные нарушения в водоупорных глинах. Таким образом, получается, что на территории Москвы, т.е. в зоне покрытого карста, наибольшую опасность представляет суффозионный процесс, который выносит покрывающие породы в существующие карстовые пустоты, провоцируя провалы на поверхности. На данный момент зафиксировано 42 карстово-суффозионные воронки на территории Москвы. Однако существующие методы оценки карстоопасности и районирования территории не всегда могут выполнить возложенные на себя функции. то первый абзац аннотации. Все стили этого шаблона имеют необходимый формат и сохранены в настройке «Стили».

Ключевые слова

Карстово-суффозионные процессы, экзогенные процессы

Источники финансирования

Исследование выполнено за счет личных средств автора.

Теория

История изучения карстоопасности на территории Москвы и отсутствие до сих пор единого подхода к вопросу говорит о сложности и исследуемого участка. Современные нормативные документы предполагают сначала оценку территории на предмет района карстовой опасности для проведения детальных инженерно-геологических изысканий, а уже затем, если участок оказывается опасным или потенциально опасным районы, то необходимо получить значение расчетного диаметра карстового провала. Применение данной модели зачастую может приводить к недостаточной защите зданий и сооружений на действительно опасных территориях и, наоборот, – к завышению объемов защитных мероприятий на потенциально опасных территориях, которые часто после детальных инженерно-геологических изысканий оказываются неопасными.

Многие модели, которые используются для расчета диаметров карстовых провалов основываются на том, что карстовая полость находится непосредственно в кровле карбонатных пород. Однако московский карст зачастую располагается ниже кровли растворимых карбонатных пород на 5-50м, т.е. применение расчетов осложняется необходимостью учета устойчивости слоя карбонатных пород. Кроме того, на некоторых участках наблюдаются прослойки юрских и верхнекаменноугольных глин, что также влечет за собой необходимость корректировки применяемых расчетных моделей.

В результате комплексных инженерно-геологических исследований на северо-западе Москвы был выявлен механизм образования карстово-суффозионных воронок. Так, резкий скачок уровня подземных вод в каменноугольных отложениях (порядка 2–5 м за 1–2 дня) приводит к гидродинамическому разрыву относительно водоупорных глин в местах их повышенной трещиноватости. При этом размеры таких зон могут быть весьма невелики – 0,1–0,5 м в диаметре. Под действием градиента вертикальной фильтрации через нарушение в водоупоре происходит прорыв воды и вынос четвертичных песков в закарстованный карбонатный массив. В связи с этим над указанной зоной нижняя часть песчаной толщи оказывается разуплотненной. Далее процесс развивается снизу вверх, захватывая все новые части разреза. В водоносной толще формируется зона разуплотнения. По достижении этой зоны уровня грунтовых вод начинается перераспределение масс песков зоны аэрации, где формируется «конус разуплотнения» с обращенной вниз вершиной, над которым, собственно, и образуется воронка оседания. Иными словами, проблема усугубляется тем, что карстующийся массив залегает на глубинах 40–50 м, а образующиеся на земной поверхности воронки связаны не с карстовыми провалами в классическом их проявлении, а с выносом песков покровной толщи в карстовые полости и трещиноватые зоны через незначительные нарушения в водоупорных разделяющих глинах. Трансляция зон разуплотнения от кровли юрских глин до поверхности земли может длиться до 2-х месяцев, то есть в московском регионе изыскатели имеют дело не с быстрым провалообразованием, а с относительно медленным карстово-суффозионным оседанием [3].

Также следует уделить внимание принципам и методам районирования территории по оценке карстово-суффозионной опасности. Оценить степень закарстованности можно лишь при выполнении детальных инженерно-геологических изысканий в масштабах 1:200–1:500, т.к. описаны случаи, когда вблизи образовавшихся воронок степень закарстованности, зафиксированная по результатам бурения, была весьма высокой, а на расстоянии в 20–40 м от воронок менялась до средних и даже низких значений. На некоторых участках, отмеченных на карте опасности древних карстовых форм и современных карстово-суффозионных процессов, составленной сотрудниками ГБУ «Мосгоргеотрест» и ИГЭ РАН в масштабе 1:10 000, как неопасные, при бурении встречаются полости глубиной более 1 м.

Исследования инженерно-геологических условий карстовых воронок северо-запада Москвы, проведенных Кочевым А.Д., Чертковым Л.Г. и Зайонц И.Л., выявили следующие закономерности и критерии для выделения районов карстоопасности:

- Мощность юрских глин до 5м – опасные районы, т.к. на сегодняшний день не зафиксированы случаи развития современных карстово-суффозионных воронок с мощностью юрских глин более 5м;
- Мощность юрских глин 5-10м – потенциально опасные районы, т.к. в настоящее время невозможно спрогнозировать возможность активизации карстово-

суффозионных процессов при резких изменениях техногенной нагрузки, а также по причине регламентации [1];

- Мощность юрских глин более 10м, суммарная мощность юрских и верхнекаменноугольных глин более 12м.

Необходимая уточняющая информация о карсте и условиях его развития должна быть получена в ходе инженерно-геологических изысканий, осуществляемых в пределах отдельных площадок. Однако в Москве не практикуется оценка карстовой опасности по категориям устойчивости территорий в соответствии с требованиями СП 11-105-97. Обычно площадка предварительно оценивается по степени карстовой опасности на основе схематических карт, присутствующих в действующих на территории Москвы инструктивных и методических документах, а эта оценка уточняется по определенным качественным критериям на основе анализа результатов инженерно-геологических изысканий [4]. Таким образом, используемые методы могут приводить к недостаточной или избыточной противокарстовой защите зданий и сооружений.

Например, при построении карты, приведенной на рисунке 1, в ходе исследования карсто-суффозионных воронок на северо-западе Москвы использовались данные горных выработок, а также комплекс инженерно-геологических методов изучения воронок [2]. В результате получен фрагмент карты с выделенными районами.

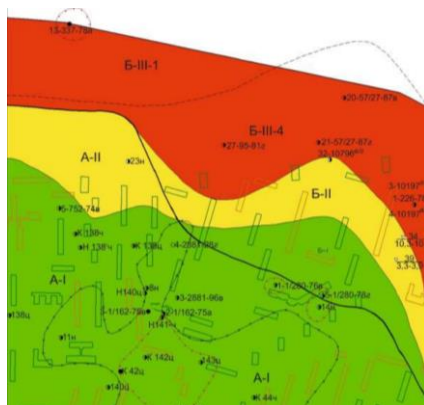


Рисунок 1. Фрагмент карты инженерно-геологического районирования территории по степени опасности карсто-суффозионных процессов (красная – опасная зона; желтая – потенциально опасная; зеленая – неопасная)

Автором предлагается районирование на основе данных бурения, возможно с применением метода аналогии. Для Москвы характерна неравномерная изученность, определяющая на данный момент «схематичность» карты районирования по карстоопасности. Изученность территории связана с тем, что при количестве горных выработок порядка 664 тысяч порядка 98% приходится на скважины глубиной до 30 метров: в интервале от 0 до 10 метров расположено 52%, а в интервале от 10,01 до 20 метров расположено 36,6% горных выработок, на интервал от 20,01 до 30 метров приходится еще около 9,5% горных выработок. На остальные интервалы приходятся доли процента от 0,8% (в интервале 30,01-40м) до 0,02% (90-100м). Таким образом, геологическая среда города наиболее подробно изучена на глубину до 30 метров, так как 98% всех горных выработок имеют глубину менее 30 метров, кроме того неравномерно и само распределение скважин по территории Москвы. Однако при верно подобранном

масштабе и детальном применении метода геологических аналогий возможно построение достаточно точной карты.

Выделение таких районов на основе комплекса данных по результатам бурения позволяет строить районы и выделять области. Такие уточненные карты могут использоваться при проектировании строительства, подготовке программ инженерно-геологических изысканий и разработке противокарстовых мероприятий.

Выводы

Основа оптимизации оценки карстово-суффозионной опасности территории должна начинаться с модернизации подхода к районированию территории. Представленный метод может позволить проводить достоверную предварительную оценку территории по возможным проявлениям и развитию карстово-суффозионных процессов. Данный метод можно экстраполировать на всю территорию города с целью модернизации нормативно-правовой базы инженерно-геологических изысканий при строительстве на закарстованных территориях (уйти от расчетов диаметров воронок на поверхности, т.к. они не всегда приводят к объективным результатам оценки карстоопасности). Кроме того, современные методы оценки карстовой опасности территории должны развиваться и с применением современных технологий по хранению и обработке данных, а также с применением новейших геофизических методов исследования.

Библиография

1. Инструкция по проектированию зданий и сооружений в районах г. Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов. М.: Мосгорисполком, 1984. 14 с.
2. Кочев А. Д., Л. Г. Чертков, И. Л. Зайонц К вопросу инженерно-геологического районирования территории северо-запада г. Москвы по степени опасности развития карстово-суффозионных процессов//Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения: Материалы научно-практической конференции, Москва, 13–14 апреля 2017 года. – Москва: Геомаркетинг, 2017. – С. 24-40
3. Кочев, А. Д. Проблема оценки карстово-суффозионной опасности на территории г. Москвы// Изучение опасных природных процессов и геотехнический мониторинг : Материалы первой Общероссийской научно-практической конференции, Москва, 21–22 сентября 2017 года. – Москва: Геомаркетинг, 2017. – С. 31-43
4. Хоменко В.П., Калашников М.А., Потапов И.А. Карстовые и суффозионные провалы в г. Москве: особенности инженерно-геологических изысканий и прогнозирования // Вестник МГСУ. 2010. №4-2.

*Строение и особенности эрозионного разрушения насыпных грунтов города
Иннополис. Салихова Э.Н.* (Казанский федеральный университет, e-mail
salikhova.en@gmail.com), Королёв А.Э. (Казанский федеральный университет, e-mail
albert-korolev-kpfu@mail.ru)*

Аннотация

Рассмотрено строение техногенных насыпных грунтов, которые отсыпаются на склонах древней овражно-балочной системы. Искусственные грунты сложены перемещенными выветрелыми глинами, мергелями и песчаниками пермского возраста с добавками строительного материала. Массив насыпи характеризуется весьма неоднородным строением и преобладанием слабых структурных связей. За счет этого он активно подвергается водной эрозии. Нарушенный поверхностный сток со склона возвышенности и ручейковая эрозия приводят к развитию в массивах насыпных грунтов просадочных явлений и овражной эрозии.

Ключевые слова

Иннополис, насыпные грунты, строение, водная эрозия

Теория

Иннополис является одним из наиболее динамично развивающихся городов Республики Татарстан. Начав свою историю в 2012 г с небольшого поселения, в 2022 году в нем числилось уже около 10000 проживающего населения, а к 2040 г. планируется увеличение населения до 40000 чел. Активное освоение геологического пространства под застройки жилых комплексов и объектов социальной культуры вызывает необходимость проводить планировку местного ландшафта. Если срезка поверхностей неровностей рельефа не вызывает особого беспокойства с точки зрения инженерной геологии, то засыпка ложбин погребенных овражно-балочных систем и карстово-суффозионных воронок может в будущем привести к развитию негативных геодинамических процессов. Учитывая эту возможность, было проведено исследование динамики изменения состояния насыпных грунтов, которые в период весна-осень 2022 г. использовались для засыпки выположенной балки.

Выположенная балка до начала работ по планировки территории представляла собой корытообразное полого наклонное понижение в рельефе местности субширотного простираения. Ее ширина в верхней части составляет 15,0 м в нижней расширяется до 30,0 м. Вершинный перепад отсутствует, балка отделяется от склоновой части денудационной возвышенности округлой циркоподобной границей, где происходит резкое уменьшение гипсометрических отметок поверхности рельефа. Углы наклонов балки в средней части составляют 30-40° с тенденцией выполаживания в сторону широкого тальвега. Днище балки имеет хорошо выраженный наклон (10-15°) в сторону долины р. Свияга. Притальвежная область увлажнена за счет сезонной скрытой разгрузки подземных вод, стекающих со склонов балки. Водопроницаемыми породами являются трещиноватые глины, мергели и доломиты северодвинского и уржумского ярусов пермской системы, слагающие эрозионно-денудационный холм в основание г. Иннополис [1]. Дно древних овражно-балочных эрозионных врезов выполнено темно-бурыми делювиальными суглинками, участками лессовидными, четвертичного возраста, поверх которых залегает темно-серый почвенный горизонт. Суглинки слабо

уплотненные, характеризуются рыхлым сложением, содержат редкие включения обломков коренных пород пермского возраста. За счет этого они могут аккумулировать в себе инфильтрационные воды атмосферных осадков, формируя сезонные водоносные горизонты грунтовых вод. Повышенная увлажненность балок способствует развитию здесь растительного покрова. Большая часть склонов и дно балки покрыты кустарниками и деревьями. Лишь в пределах верхней и средней части склонов преобладает травянистая растительность. Устоявшийся растительный покров свидетельствует, что склоны и дно балки до начала ведения строительных работ находились в устойчивом состоянии. Даже повышенная увлажненность отдельных участков в тальвеге не приводила к активизации эрозионных процессов, чему способствовал почвенно-растительный покров, снижающий интенсивность поверхностного стока, и низкие скорости фильтрации грунтовых вод в суглинках, исключающие создания гидродинамического напора с последующим выносом дисперсного грунта [3].

Согласно плану застройки территории в пределах юго-восточной части балки предполагается строительство общежитий для учащихся IT-лицея города Иннополис. В этой связи на склонах балки стал отсыпаться техногенный насыпной грунт. Основу техногенных насыпей составляют в различной степени выветрелые глины, мергели и песчаники северодвинского яруса, слагающие возвышенности микрорельефа эрозионно-денудационной возвышенности, в участках, где уже были проведены застройки территории. Из ранее сформированных отвалов грунт перемещается на окраины балки, где отсыпается на склоны. В процессе хранения в отвалах и перемещения коренные породы претерпевают дезинтеграцию, приобретая свойство дисперсных грунтов, близкие по свойствам к суглинкам. В искусственные техногенные насыпи периодически сбрасывается копившийся на строительных площадках мусор, представленный битым кирпичом, фрагментами бетонных конструкций и кусками стекол. Уложенные послойно перемещенные грунты и строительный мусор периодически уплотняются с помощью тяжелой техники. Таким образом, на юго-западном склоне балки был постепенно сформирован слой техногенного насыпного грунта мощностью от 1,5 до 10,0 м. В пределах разрезов толщи насыпных грунтов со стороны тальвега балки отчетливо видно их неоднородное строение, обусловленное включениями крупных фрагментов осадочных пород и строительного мусора в дисперсной массе красно-бурых суглинков. Несмотря на выполняющуюся технологию уплотнения, отсыпанный сухим способом грунт представляет собой достаточно плохо структурированную массу, между элементами которых нет прочных связей. Отсутствие почвенно-растительного слоя, способного нивелировать геологическую деятельность атмосферных осадков, будет способствовать переуплотнению техногенного грунта, а также развитию эрозионных процессов. Согласно рекомендации [2] насыпной грунт можно классифицировать: по однородности состава и сложения, как свалка грунтов, отходов производства и бытовых отходов, характеризующихся неоднородным составом и сложением, неравномерной плотностью и сжимаемостью, а также содержанием органически включений; по виду исходного материала, составляющего основу части насыпи, как естественные грунты, крупнообломочные, песчаные, глинистые; по степени уплотнения от собственного веса, как неслежавшиеся – процесс уплотнения от собственного веса продолжается [4].

Подобные особенности формирования и сложения насыпных грунтов обуславливают их слабую устойчивость к эрозионной деятельности поверхностных вод, стекающих со склонов возвышенности. При небольших по интенсивности выпадениях атмосферных осадков техногенные грунты за счет слабой уплотненности впитывают в себя влагу, не подвергаясь существенным изменениям. Лишь на отдельных участках их выровненной поверхности отмечаются небольшие проседания. В случаях ливневых

дождей водные потоки на склоне возвышенности сливаются в неглубоких ложбинах, усиливаются и в виде ручьев устремляются к участкам отсыпки техногенных грунтов. Имея относительно высокую скорость течения, ручьи оказывают размывающее действие на неслежащиеся, слабо связанные насыпи перемещенных грунтов. В результате этого здесь начинают развиваться промоины, постепенно переходящие в молодые овраги. Наиболее пораженным процессами овражной эрозией является юго-западный склон балки возле площадки изыскания под строительство общежитий, где была проведена планировка рельефа (рис. 1). Очевидно, снятие растительно-покровного слоя с участка строительных работ способствовало усилению поверхностного площадного стока вод атмосферных осадков.

Поверхностные временные водные потоки по краевой части насыпного массива сформировались молодые активные овраги незначительной протяженности, с крутыми отвесными бортами и крутым уклоном осевой части в сторону балки. Базисом эрозии образовавшихся оврагов является уровень поверхности тальвега балки. Устье оврагов открываются в балку, в устьевой части оврагов отмечены конусы выноса продуктов разрушения насыпи.



Рисунок 1. Схема овражной сети

Все новообразованные овраги сформированы в массиве насыпи, имеют V-образную форму, борта оврагов сложены неоднородным насыпным грунтом. Высота бортов оврагов варьируется от 0,3-0,5 м в верхних до 8,0 м в средней и нижней части. Угол наклона бортов – 20-85°, борта оврагов преимущественно незадернованы, редко – слабозадернованы. Овраги активно развиваются, как в длину, в сторону коренного склона, сложенного породами пермского возраста, так и в глубину, то есть вглубь массива насыпи. В нижней и средней частях растущих оврагов отмечается уширение их поперечных профилей вследствие разрушения откосов (бортов). Среди молодых оврагов отмечен один из крупных и протяженных (на схеме - ОВР-6), в нижней (приустьевой) части которого отмечено разрушение подземных коммуникаций, а именно отрыв и дальнейшее перемещение водными потоками труб ливневой канализации вниз по днищу оврага. Также в нижней части данного оврага отмечен размыв борта балки, подмыв

корневой системы деревьев и их дальнейшее перемещение вниз по днищу балки. Склоновые процессы наблюдаются вдоль верхней бровки массива насыпных грунтов практически повсеместно. Выявлены незначительные трещины отрыва и сползания грунта. В нижней части тела насыпи (на уровне базиса эрозии) отмечены осыпи техногенного грунта. Исходя из всего вышеизложенного, можно сказать, что на данный момент дальнейшее развитие и активизация эрозионных процессов на данной территории неизбежны, ввиду широкого распространения неконсолидированных насыпных грунтов преимущественно глинистого состава и их высокой степени подверженности эрозионным процессам.

Выводы

Техногенные насыпные грунты, которые используются для засыпки балки древнего оврага, характеризуются неоднородным составом и сложением. Они представлены перемещенными выветрелыми глинами, мергелями и песчаниками с включениями различных по размерам кусков строительного мусора. Наличие слабых структурных связей между минеральными частицами обуславливает неустойчивость массива насыпных грунтов в водной эрозии. За весенне-осенний период ручейковая эрозия сформировала в насыпных грунтах молодые овраги, в участках с преобладанием нисходящей фильтрации атмосферных осадков образовались локальные понижения за счет уплотнения рыхло сложенных минеральных зерен перемещенных пород. Особенности морфологии оврагов, а также отсутствие на их бортах и в тальвеге растительного покрова указывает, что эрозионные промоины являются активными. Следует ожидать дальнейшее развитие оврагов, даже при постоянной подсыпке новых объемов насыпных грунтов. В качестве профилактических мероприятий рекомендуется снизить интенсивность поверхностного стока за счет организованного сбора с территории вод атмосферных осадков и последующего их удаления через отводящие трубы-коллекторы за пределы участка аккумуляции насыпных грунтов. Для временной стабилизации поверхности выравненной площадки насыпного техногенного массива можно провести работы по травосеянию.

Библиография

1. Королёв А.Э., Салихова Э.Н., Бариева Э.Р. Строение грунтового массива в основании города Иннополис // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана и сопредельных территорий. 2022. №14. С. 89-93.
2. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М.И. Горбунов-Посадов, В.И. Ильичев, В.И. Крутов и др.; под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с. – (Справочник проектировщика).
3. Побединский А. В. Водоохранная и почвозащитная роль лесов : изд. 2-е / А. В. Побединский. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2013. – 208 с
4. Сазонова С.А., Пономарев А.Б. О необходимости комплексного изучения свойств техногенных грунтов и использования их в качестве оснований зданий // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2013. №2. С. 98-106.

**Безопасное выполнение тоннелепроходческих работ с применением буро-инъекционных технологий и инъекционных систем. Сергеев С. В.* (ПУТ(МИИТ), ses.nmsk@yandex.ru), Андронников Ф.О.* (ПУТ(МИИТ), filippandronnikov@yandex.ru), Кунеевский А.А.* (a.kuneevskiy@ikon-pm.ru).
Научный руководитель: д., к.т.н. Телятникова Н.А. (ПУТ(МИИТ), sharklike@mail.ru)**
Аннотации

В статье рассматривается необходимость обработки грунтов с целью их упрочнения и стабилизации, защиты от водопроявлений в тело тоннеля с помощью буро-инъекционного оборудования и специальных инъекционных систем.

Ключевые слова

Буро-инъекционное оборудование, противодиффузионные завесы, инъекционная смесь, сверхнормативное водопроявление, нагнетание инъекционных смесей.

Общие сведения о тоннелепроходческих работах

При выполнении тоннельных работ существует высокая вероятность возникновения осложнений и аварий при обрушении и вывалах заиленных грунтов, обладающих пльвинными свойствами. При проектировании и строительстве Второго Северомуйского тоннеля необходимо полностью использовать накопленный опыт строительства подземных сооружений в условиях разломов и крупных тектонических трещин для гарантированного обеспечения безаварийного выполнения работ [1].

Необходимость разработки СТУ

Наиболее эффективным способом обеспечения безопасности прокладки тоннеля является предварительная обработка грунта с помощью методов бурения и использования систем инъектирования на минеральной основе. В качестве дополнительной меры защиты конструкции тоннеля от чрезмерного притока воды могут быть установлены водопонизительные скважины. При проектировании и строительстве тоннельных объектов следует руководствоваться СП 28.13330.2017, СП 72.13330.2016, СП 102.13330.2012, СП 120.13330.2012 и СП 122.13330.2012. Однако защиты тоннельных конструкций от чрезмерных протечек не всегда достаточно, поэтому необходима разработка специальных технических условий (СТУ); Он необходим для обеспечения безопасности и эффективности тоннеля, а также для того, чтобы проект соответствовал нормативным актам и техническим стандартам. Трасса второго Северомуйского тоннеля расположена в очень сложных инженерно-сейсмологических и гидрогеологических условиях, характеризующихся наличием различных видов грунтов от сплошных монолитных до интенсивно разрушенных и диспергированных, мелкозернистых с содержанием до 30% глины и ила.

Реализация мероприятий в соответствии с СТУ

В соответствии с требованиями, разработанными для СТУ, должны быть реализованы следующие мероприятия: исключение чрезмерного проникновения воды в тело тоннеля в процессе строительства и эксплуатации; формирование грунтобетонных массивов в качестве экрана или разгрузочного экрана, исходя из проектных параметров; предотвращение выхода грунтовых вод и переноса взвешенных слоев грунта в теле тоннеля.

В качестве основной меры по обеспечению безаварийного строительства и эксплуатации 2-го Северомуйского тоннеля следует рассматривать формирование

грунтобетонного массива [2], обоснованного предварительными расчетами прочностных и деформационных характеристик, требований герметичности и коррозионной стойкости.

Оборудование

В качестве основного буро-инъекционного оборудования следует рассматривать применение:

- ударно вращательного метода бурения с использованием малогабаритных универсальных самоходных агрегатов;
- турбулентных смесителей непрерывного и периодического действия;
- активаторов инъекционных смесей;
- манжетных инъекторов;
- односторонних инъекторов с выпускными клапанами;
- разжимные двухсторонние пакера;
- разжимные односторонние пакера;
- малогабаритное буровое оборудование с диаметром бурения до 120 мм и длиной управляемого бурения до 100 м.;
- насосное оборудование для равномерной подачи инъекционных смесей с регулируемым давлением до 100 бар и регулируемой интенсивностью нагнетания 2-30 л/мин;
- малогабаритное насосное оборудование для одно и двухкомпонентной струйной цементации.

Методология

Основным методом обработки грунтов зон разломов является инъекция твердеющих составов через кондуктор нисходящими заходками. В качестве основных инъекционных материалов следует применять минеральные композиции:

- на основе сульфатостойких строительных цементов;
- на основе особо тонкодисперсных минеральных вяжущих с повышенной сульфатостойкостью, с дисперсностью $d_{95} < 6$ мкм;
- на основе коллоидного кремнезёма [2];
- на основе гидроактивных полиуретановых смол [3-4].

Геометрические параметры зоны уплотнения и твердения неустойчивого насыщенного грунта определяются с учетом физико-механических параметров конструкции, гидростатического значения давления грунтовых вод и параметров технического регламента проходки. Объем инъекционной смеси для приведения грунта к проектным требованиям определяется с учётом проектного объёма закрепляемого грунта, коэффициента пористости грунта и эмпирических коэффициентов, учитывающих степень заполнения объёма пор или трещин, коэффициента потерь инъекционной смеси, коэффициента выхода цементного камня.

Сплошной целик грунта (неразрушенный плотный слой грунта, который находится под поверхностью земли; он может включать в себя различные типы материалов, такие как глина, песок или камень) формируется во время тоннелепроходческих работ с применением буро-инъекционных технологий и инъекционных систем для улучшения устойчивости грунта и защиты тоннеля от возможных оползней и деформаций. Это достигается за счет введения инъекционных материалов в грунт, что улучшает его упругость и стабильность. С целью формирования сплошного целика грунта целесообразно применять многорядную треугольную схему размещения скважин. (Рис.

2)

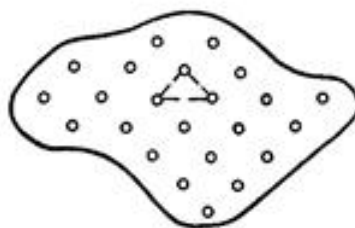


Рисунок 2. Треугольная схема размещения скважин

Расстояние между соседними рядами не должно превышать расстояния между соседними скважинами. При этом величина "нахлёста" должна быть не менее 15% расчётного диаметра закрепляемого грунта.

Расстояние между кондукторами, устанавливаемыми в бетонной превентерной стенке, должно быть не менее 0,3 м.

Расстояние между скважинами в зависимости от характера закрепляемых грунтов:

- грунты средней устойчивости, с умеренной водопроницаемостью (2 я группа) не более 4,0 м;
- грунты слабоустойчивые, сильно трещиноватые с количеством трещин более 20 шт./м, с высокой водопроницаемостью (3 я группа) не более 3,0 м;
- грунты неустойчивые, интенсивно дезинтегрированные, сильнообводнённые, с содержанием глинистой фракции до 20% (4 я группа) не более 1,5 м;
- грунты неустойчивые, интенсивно дезинтегрированные, сильнообводнённые, с содержанием глинистой фракции более 20%, обладающие плавунными свойствами (5 я группа) не более 1,0 м.

В общем виде, при предварительном уплотнении и упрочнении грунтов из штольни, необходимо предусмотреть выполнение следующих технологических операций:

- сооружение специальной камеры для размещения бурового и инъекционного оборудования;
- сооружение превентерной бетонной стенки;
- разметка стенки перемычки под установку кондукторов;
- установка кондукторов, их закрепление в скважинах;
- монтаж устьевого оборудования;
- закрепление грунта в заобделочном пространстве превентерной стенки, формирования грунтобетонного целика толщиной не менее 2,0 м;
- бурение инъекционных скважин;
- промывка инъекционных скважин;
- определение удельного водопоглощения;
- приготовление и нагнетание инъекционных смесей;
- бурение контрольных скважин;
- определение качества упрочненного грунта.

Бурение инъекционных скважин осуществляется вращательным или ударно-вращательным способом сплошным забоем. Инъекционные скважины бурят вкрест простирающаяся основной системы трещин для обеспечения качественной обработки неустойчивых грунтов инъекционными растворами.

После завершения буровых работ и обустройства скважин выполняются инъекционные работы, включающие в себя следующие технологические операции:

- очистка скважин от бурового шлама путём нагнетания воды насосами до появления на устье скважины чистой воды;

- замер водопритока из скважины и определение удельного водопоглощения;
- нагнетание инъекционных смесей с контролируемым давлением интенсивностью.

Инъекционное закрепление грунтов следует начинать с нижних скважин, постепенно переходя к вышерасположенным. Инъекционные работы выполняют непосредственно после гидропробирования скважин. Гидропробирование - это исследовательская процедура, которая проводится для определения водяных уровней и подземных водоносных слоев в грунте в определенной области. Во время гидропробирования в скважины внедряются вода или газ, а затем измеряется их уровень в грунте, чтобы оценить наличие и качество подземных вод. После достижения давления отказа скважина должна находиться под давлением не менее 0,5 часа. Если заданное давление не достигнуто, опрессовка должна быть прекращена после достижения общего расхода, рассчитанного по проекту. Оценка пригодности инъекционных смесей на основе микроцементов или коллоидного кремнезёма проводится по следующим показателям качества: условная вязкость по Маршу; седиментация раствора (водоотделение); плотность раствора; сохранение свойств раствора во времени; кинетика затвердевания. Пропиточный состав должен при нагнетании легко проникать в грунт, не нарушая его природную структуру (скелет), при этом вытеснять воду из структуры грунта.

Результаты упрочнения следует считать удовлетворительными при улучшении показателей динамического модуля Юнга и коэффициента Пуассона не менее, чем на 30%.

Выводы

Современные инъекционные системы позволяют обеспечить безопасную проходку тоннелей, исключая главным образом сверхнормативные водопроявления. Эффективность зависит от применяемой технологии и технологических параметров инъекции (наряду с выбором инъекционного материала), соблюдения последовательности работ и контроля качества, результатов упрочнения и пригодности инъекционной смеси по всем показателям качества.

Библиография

1. Ланис, А. Л. Применение метода напорной инъекции для усиления насыпей / А. Л. Ланис // Путь и путевое хозяйство / ОАО «Российские железные дороги». – М., 2009. – № 6. – С. 33 – 35 – [\[https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-usileniya-zemlyanogo-polotna-inektirovaniem\]](https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-usileniya-zemlyanogo-polotna-inektirovaniem)
2. Самарин Е.Н., Попова А.М., Чернов М.С. Закрепление песчаных грунтов раствором коллоидного кремнезема // Геотехника. 2015. № 5. С. 32-39 - [\[https://istina.ips.ac.ru/publications/article/10674868/\]](https://istina.ips.ac.ru/publications/article/10674868/)
3. Аргал Э.С. Современные технологии и проблемы инъекционного закрепления грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2020. № 3. С. 12-18 - [\[https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=PRSV-ofmg/2020/3-810260786\]](https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=PRSV-ofmg/2020/3-810260786)
4. Нахаев М.Р., Муртазаев С.А.Ю., Абуханов А.З., Касумов М.М. Инъекционное закрепление структурно-неустойчивых грунтов специальными составами // В сборнике: Актуальные проблемы современной строительной науки и образования. Материалы всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 105-109 - [\[https://vestnik.dgtu.ru/jour/article/view/72\]](https://vestnik.dgtu.ru/jour/article/view/72)

Возможности создания 3D моделей местности и ортофотопланов при помощи аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов. Силина А. Р.* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, silinaanastasia011@mail.ru), Дамрин А. Г. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, damrin79@mail.ru)

Аннотация

В работе рассматриваются технологии, лежащие в основе использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для реализации построения 3D моделей в программе Agisoft Metashape. Задача пространственного моделирования заключается в последующем построении ортофотопланов, которая помогает решать большинство геодезических задач. В работе раскрываются технические особенности выполнения съемки с использованием БПЛА. Дается оценка комплексной технологии аэрофотосъемки и пространственного моделирования.

Ключевые слова

3d-модель, ортофотоплан, аэрофотосъемка, беспилотные летательные аппараты, облако точек

Теория

Ортофотоплан, как фотографический план местности, полученный на основе аэрофотоснимков, дает детальное представление о ситуации местности. Он служит базой для геодезических чертежей (схем, топопланов, карт) и широко используется в землепользовании, экологии, мониторинге экзогенных процессов и сельском хозяйстве^[1]. Аэрофотосъемку производят с помощью беспилотных летательных аппаратов. Аэрофотосъемка принципиально не отличается от съемки с «больших самолетов», но имеет определенные особенности. Полет БПЛА, как правило, производится со скоростью 70-110 км/ч (20-30 м/с) в диапазоне высот 300-1500 м.

3D моделирование основано на использовании пространственной информации о территории и объектах. Основой сбора информации для пространственного моделирования длительное время служили технологии сбора, включающие обычные полевые геодезические работы. Методы пространственного моделирования основаны на математическом и геоинформационном построениях^[2]. Применение беспилотных летательных аппаратов расширило не только технологии сбора пространственной информации, но создало новые возможности для моделирования, поскольку именно БПЛА может по заказу проводить съемку отдельных объектов или их фрагментов с разных ракурсов и высот. Существует практика применения БПЛА для крупномасштабного картографирования. Именно в этой области БПЛА имеет преимущество перед высотной аэрофотосъемкой. В настоящее время развитие науки создало условия для применения БПЛА при решении ряда практических и образовательных задач.

Для тщательной фотограмметрической обработки данных аэрофотосъемки и получения наиболее точных результатов снимки одного маршрута должны иметь тройное перекрытие, а перекрытие между снимками соседних маршрутов в районе съемки должно составлять не менее 20%. На практике эти параметры не всегда соблюдаются при съемке с БПЛА^[3]. Полет летательного аппарата не является стабильным и подвержен влиянию порывов ветра, турбулентности и других мешающих

факторов. Если съемка с обычных самолетов планируется с перекрытием 60 % по маршрутам и 20-30 % между маршрутами, то съемку с БПЛА следует планировать с перекрытием 80 % по маршрутам и 40 % между маршрутами, чтобы по возможности избежать пробелов в блоке фототриангуляции^[5].

Если во время съемки использовался двухдиапазонный GPS-приемник в дифференциальном режиме (или PPP-обработка GPS-данных), для получения наиболее точных результатов обработки требуется минимальное количество опорных точек, обычно 1-2 точки на 100 снимков, в некоторых случаях обработка может проводиться без опорных точек^[4]. В случае отсутствия точных проекционных центров требования к наземному контролю стандартные: одна точка наземного контроля на 6-10 баз съемки.

В качестве объекта исследования был выбран аэродром Волосово, где была выполнена фотосъемка с квадрокоптеров DJI Mavic 2 Pro и DJI Mavic Mini 2.

В результате работы было сделано 2500 снимков, по которым построена 3d модель и ортофотоплан в программе Agisoft Metashape.

В начале камеральной обработки результатов добавляем все фотоснимки в программу и выполняем их выравнивание в высоком качестве. Далее сопоставляем реальное местоположение этих снимков поскольку неправильно выровненные снимки могут создать лишние связующие точки и тем самым исказить модель местности.

По результатам выравнивания снимков строится плотное облако точек в трехмерной системе координат (рисунок 1).



Рисунок 1. Плотное облако точек аэродрома Волосово.

После загрузки получаем более точную модель, на которой в высоком качестве видны все лишние связующие точки, которые необходимо удалить. Для создания ортофотоплана этап построения полигональной модели можно пропустить (рисунок 2).



Рисунок 2. Модель аэродрома Волосова

Далее выполняется построение цифровой модели местности (ЦММ) (рисунок 3), для этого расставляем маркеры на опорные точки на снимках и записываем их координаты и высоты (X, Y, Z) в установленной системе координат.

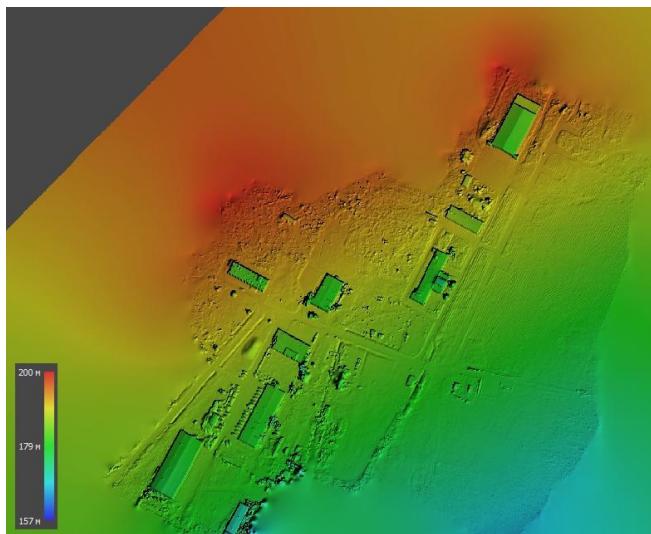


Рисунок 3. Цифровая модель местности аэродрома Волосово

После построения ЦММ получается ортофотоплан с привязкой к общепринятой системе координат. По нему выполняются дальнейшие геодезические и иные виды работ.

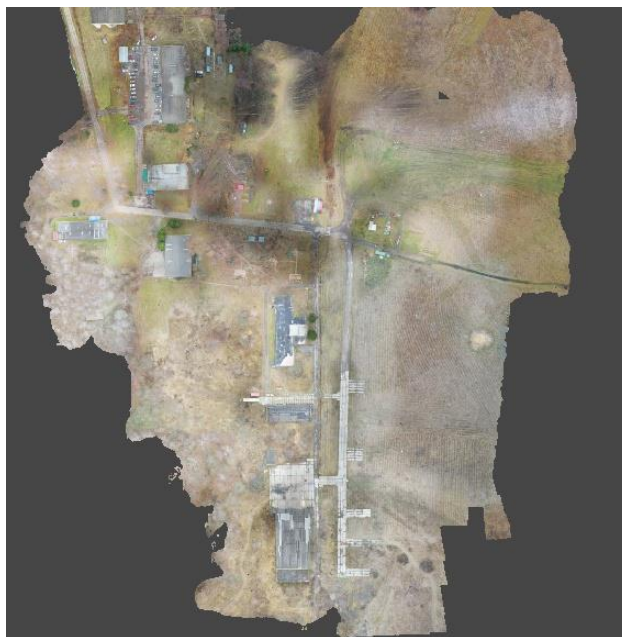


Рисунок 4. Ортофотоплан аэроклуба Волосово

В результате был получен ортофотоплан аэродрома Волосово (рисунок 4).

Выводы

Возможности создания 3D моделей местности и ортофотопланов при помощи аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов доказали свою эффективность. Использование БПЛА в качестве платформ для аэрофотосъемки имеет большой

потенциал для обследования небольших территорий и линейных исследований. Данные БПЛА позволяют получить высококачественный картографический материал в формате пространственных данных при выполнении определённых требований к геодезическому оборудованию и процессу съёмки, а также точной фотограмметрической обработки. Точность может быть увеличена в десятки раз и может превышать GSD, как и при обычных и пространственных аэрофотосъёмках.

При аэрофотосъёмке с помощью БПЛА главную роль играет фактор экономической целесообразности. Технология съёмки с помощью БПЛА является комплексной технологией, включающей разные каналы сбора информации и разные режимы, включая интерактивные и режимы онлайн.

Съёмка с применением БПЛА и последующее моделирование имеет вариативность и инвариантность. Ее недостаток – ограничение полетного времени, преимущество – фотосъёмка объектов с разных высот и с разных ракурсов.

Библиография

1. Карпович М., Герштейн Л.М., Паневин Н.В., Карпович А.М. Применение БПЛА при проведении топографо-геодезических изысканий // Транспортная стратегия – XXI век. – 2013. – № 22. – С. 66–68.
2. Лёвин Б.А., Бугаев А.С., Ивашов С.И., Разевиг В.В. Дистанционно-пилотируемые летательные аппараты и безопасность пути // Мир транспорта. – 2013. – Т. 11, № 2 (46). – С. 152–157.
3. Мордвинов В.А., Братусь Н.В., Кутузов М.В. Семантическое конструирование информационно-методического обеспечения образовательных технологий в инструментальной среде QR-кодирования // Славянский форум. – 2018. – № 4 (22). – С.31–38.
4. Нгуен В.Н., Чан Ч.Т., Нгуен Т.Ч., Ву В.Т. Применение БПЛА с целью построения 3D-крупномасштабных карт // Славянский форум. – 2015. – № 4 (10). – С. 224–231.
5. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. – 2012. – № 4. – С. 54–58.

Оценка особенностей мониторинга динамических процессов поверхности земли с помощью спутниковых систем. Собченко А.А. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, Vambi.201202@gmail.com), Дамрин А. Г. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, damrin79@mail.ru)*

Аннотация

В настоящее время в мире всё чаще используются глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС). Эти системы применяются в самых различных областях человеческой деятельности, в том числе для мониторинга динамики поверхности земли. Наряду с глобальными спутниковыми системами, в последнее время начали развиваться региональные спутниковые системы, охватывающие навигационным полем некоторые локальные регионы Земли. В связи с этим ключевым вопросом является изучение ситуации в динамике на общих и локальных уровнях. В работе даётся оценка возможностей мониторинга динамических процессов с помощью спутниковых систем.

Ключевые слова

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), геодинамические процессы, ГЛОНАСС, глобальная съёмка, космическая съёмка, мониторинг.

Теория

Дистанционное зондирование Земли из космоса является инновационной научно-методической основой изучения структуры и геодинамики земной коры. Благодаря современным спутниковым технологиям стало реальным оперативное и высокоточное геоинформационное обеспечение региональных геологических исследований, поисков месторождений полезных ископаемых, мониторинга и картографирования состояния верхней части литосферного пространства.[1].

Примером возможности мониторинга динамических процессов могут служить снимки, сделанные со спутников. На рисунке 1 представлен космический снимок.



Рисунок 1. Снимок динамических процессов, сделанный из космоса

Данный снимок служит примером возможности отслеживания динамики геологических процессов. Также это демонстрация упрощения и автоматизации работ по наблюдению и изучению поверхности.

Наблюдения за состоянием суши, океана и атмосферы, контроль геофизических параметров природной среды, изучение их пространственно-временной динамики являются одними из основных задач наук о Земле. В этом плане космические методы изучения окружающей среды являются важнейшим средством для получения информации различных пространственно-временных масштабов о состоянии суши, Мирового океана и атмосферы. Космические исследования расширяют и углубляют знания о Земле, окружающем мире, закладывают основы для решения фундаментальных научных, народнохозяйственных и прикладных проблем.[2].

Данные необходимые для наблюдений могут предоставлять такие системы, как глобальные навигационные спутниковые системы. ГНСС, состоящие из нескольких элементов, а именно ГЛОНАСС (Глобальная Навигационная Спутниковая Система) и американская GPS (Global Positioning System) NAVSTAR (NAVigation Satellite providing Time And Range). Системы включают в себя три сегмента: космический сегмент, сегмент управления и пользовательский сегмент (рисунок 2).

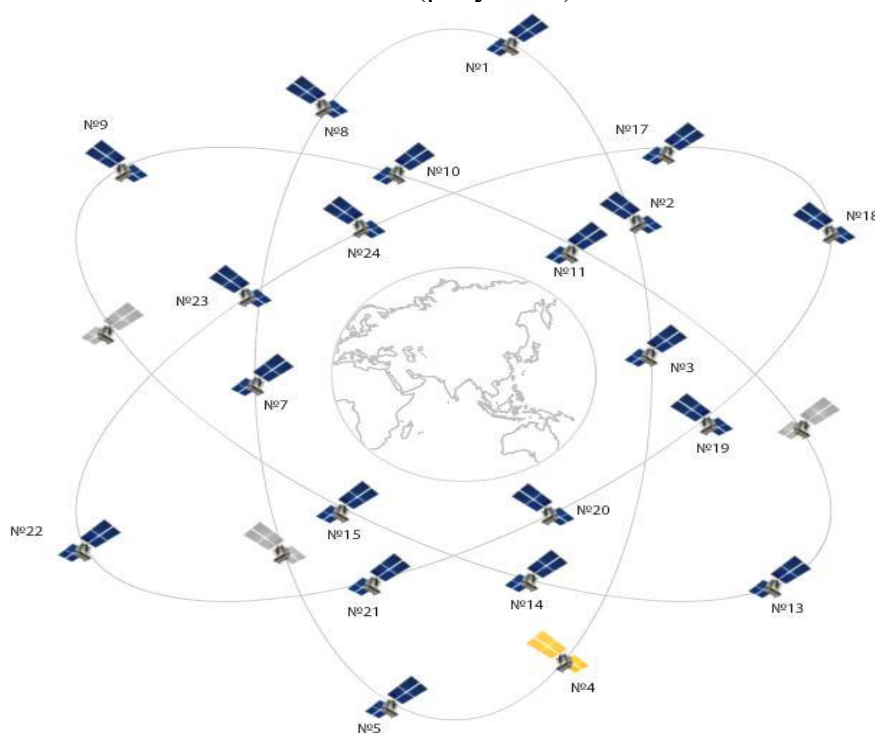


Рисунок 2. Структура ГНСС

За последние десятилетия было построено множество сетей ГНСС. Например, в США были созданы региональные сети, которые в основном охватывают сейсмически и вулканически активные районы, как система разломов Сан-Андреас, Алеутская дуга и Гавайские острова. Распределение станций отражает цель этих сетей для мониторинга деформации в региональном масштабе.

Геодинамические процессы, как быстрые, так и медленные, независимо от их масштабов, которые проявляются в виде деформаций земной поверхности на уровне сантиметров, исследуются в настоящее время, помимо традиционных методов, также и с помощью спутниковых фотоснимков:

- движения литосферных плит;
- вариации параметров вращения и фигуры Земли, положение геоцентра;
- сейсмические процессы, включая предсейсмические и постсейсмические;

- вулканизм;
- ионосферные возмущения различного происхождения;
- техногенные последствия эксплуатации недр.

Основными объектами исследований являются:

-характеристики пространственно-временных изменений параметров системы «океан-атмосфера», а также характеристики параметров взаимодействия океана и атмосферы;

-пространственно-временные характеристики деструкционных процессов на земной поверхности, зон экологических бедствий;

-методики изучения катастрофических явлений и оценки их пространственно-временных масштабов и последствий;

-предложения по аппаратурному составу специализированных космических аппаратов для решения конкретных задач дистанционного зондирования;

-методы и методики проведения измерений, обработки и долговременного хранения экспериментальных данных, обмена данными[3].

Космическую съемку ведут разными методами. По характеру покрытия земной поверхности космическими снимками можно выделить следующие съемки:

- одиночное фотографирование,
- маршрутную,
- прицельную,
- глобальную съемку.

Одиночное фотографирование выполняется космонавтами ручными камерами. Снимки обычно получаются перспективными со значительными углами наклона.

Маршрутная съемка земной поверхности производится вдоль трассы полета спутника. Ширина полосы съемки зависит от высоты полета и угла обзора съемочной системы[4].

Прицельная (выборочная) съемка предназначена для получения снимков специально заданных участков земной поверхности в стороне от трассы.

Глобальную съемку производят с геостационарных и полярно-орбитальных спутников. спутников. Четыре-пять геостационарных спутников на экваториальной орбите обеспечивают практически непрерывное получение мелкомасштабных обзорных снимков всей Земли (космическое патрулирование) за исключением полярных шапок.

На основе получаемых данных, можно наблюдать за динамикой развития процессов. Также возможным становится прогнозирование геологических процессов, способных нанести ущерб хозяйству.

Выводы

Оценка возможностей мониторинга с помощью глобальной навигационной спутниковой системы показала актуальность и целесообразность её применения при мониторинге динамических процессов поверхности Земли.

Фотоснимки, полученные со спутников, доказывают возможность отслеживания динамики геологических процессов. Также это демонстрирует сокращение работ по наблюдению и изучению поверхности наземными, наиболее затратными методами.

Библиография

1. Дамрин А.Г. Использование автоматизированной системы дистанционного зондирования при осуществлении государственного мониторинга земель и земельного кадастра /В сборнике: Наука и образование: фундаментальные основы, технологии, инновации. // Сборник материалов Международной научной конференции, посвященной 60-летию Оренбургского государственного университета. 2015. С. 162-165.
2. А.О. Куприянов Глобальные навигационные спутниковые системы: Учебное пособие. – М.: МИИГАиК, 2017 – 76 с.
3. Мониторинг деформаций земной поверхности, зданий и сооружений спутниковыми системами Авторы: Спиридонов В. П., Бирюков Г. Н.
4. Современное развитие ГНСС ГЛОНАСС и GPS Авторы: Гарин Е.Н., Крылова В.А., Лютиков И.В.

Возможности использования программного обеспечения RSLog в инженерно-геологических целях. Тоцева Ю.О. (Российский государственный геологоразведочный университет МГРИ, elsukova-01@mail.ru).

Аннотация

В тезисах рассматривается новый модуль в программе Rocscience – RSLog. В данной работе были изучены функции и возможности программы.

Ключевые слова

Rocscience, RSLog, обработка данных, буровые журналы, геотехнический анализ.

Теория

Для выполнения комплексного геотехнического анализа специалисты уже давно полагаются на инновационные численные инструменты. Обычное параллельное использование нескольких или многих компьютерных программ может дать необходимую всестороннюю информацию, однако при этом приходится часто переключаться с одной программы на другую и вручную передавать между ними данные. Именно поэтому так важна тема их интеграции.

Rocscience — это программная система конечно-элементного анализа, используемая для решения задач инженерной геотехники и проектирования. Представляет собой пакет вычислительных программ для конечно-элементного расчёта напряжённо-деформированного состояния сооружений, фундаментов и оснований [1]. Мгновенная интеграция между продуктами Rocscience (рис.1) обеспечила простоту и скорость передачи информации.

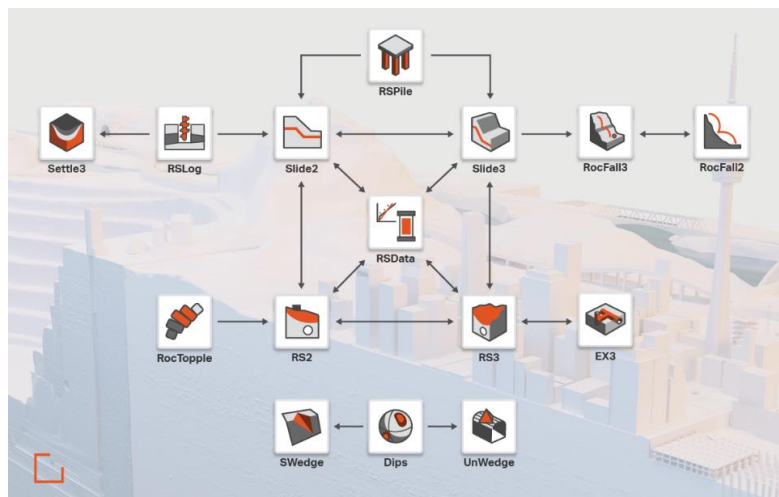


Рисунок 12. Состав пакета Rocscience

RSLog – это новое простое в использовании web-приложение для создания буровых журналов и управления геотехническими данными по скважинам. RSLog может охватить любые скважины и может использоваться для геотехнических, экологических, нефтегазовых и/или горнодобывающих проектов. С помощью RSLog возможно централизовать данные бурения и упростить процесс сбора, просмотра и подготовки

каротажа скважины без необходимости загрузки программного обеспечения, таким образом получаете доступ к своим проектам из любого места и с любого устройства.

RSLog включает конструктор шаблонов для разработки журналов скважин, позволяющий настраивать способ представления данных скважин, а также представлять журналы с логотипом компании. Приложение также поставляется со встроенным конструктором поперечных сечений для визуализации разрезов с использованием или без использования других инструментов САПР или чертежей [2].

Как правило, для инженерно-геологического проекта рабочий процесс начинается с ввода данных (проект, скважины и т. д.), после чего следует отчетность (журналы скважин, отчетные цифры и т. д.). Программа RSLog имеет удобный и простой функционал.

Одним из главных достоинств программы, что большинство таблиц в RSLog имеют функцию импорта CSV. Используя эту функцию вместо построчного ввода данных, можно импортировать все данные из файла значений, разделенных запятыми (.csv). Формат CSV — это распространенный формат обмена данными, широко поддерживаемый потребительскими, деловыми и научными приложениями. Среди его наиболее распространенных применений — перемещение табличных данных между программами, изначально работающими с несовместимыми (часто проприетарными или недокументированными) форматами. Файл CSV представляет собой текстовый файл с разделителями, в котором для разделения значений используется запятая. Каждая строка файла представляет собой запись данных. Каждая запись состоит из одного или нескольких полей, разделенных запятыми. Файл CSV обычно хранит табличные данные (числа и текст) в виде обычного текста, и в этом случае каждая строка будет иметь одинаковое количество полей [2].

RSLog использует несколько типов координат для вставки проекта или местоположения скважины на карту. Для каждого нового проекта необходимо выбрать свою систему, например: географическая (в этой системе координат используются широта и долгота), локальная (в этой системе необходимо вводит X и Y точки относительно локальной системы отсчета), Universal Transverse Mercator (UTM). UTM — это система картографической проекции для присвоения координат местам на поверхности Земли.

Также на платформе RSLog есть возможность назначать различные роли. Роль — это набор разрешений для действий, доступных в веб-приложении (например, создание проекта, удаление проекта, создание каротажа скважины и т. д.). Роль может быть назначена одному или нескольким пользователям. Можно назначить несколько ролей администратор или инженер. Администратор — имеет самый высокий уровень разрешений. Это единственная роль, которая может добавлять или удалять пользователей в учетной записи компании. Инженер — по умолчанию имеет все права роли «Администратор», за исключением того, что не может добавлять или удалять пользователей. Вместе с тем есть функция контакт. Контакт — это компания или физическое лицо, у которого есть договорные отношения с компанией пользователя в нескольких проектах. Например, клиент, буровая компания, субподрядчик по земляным работам, подрядчик по размещению коммунальных услуг и т. д. может быть определен как контакт. Данная концепция весьма удобная в работе с большим количеством клиентов, всегда есть возможность быстро отправить нужную информацию.

Для создания нового проекта в программе необходимо ввести: название проекта, имя заказчика, местоположения буровых работ, номер проекта, ведущего инженера проекта, систему координат и систему измерений. После этого нужно создать тестовые скважины, для этого нужно указать: точные координаты скважины, способ проходки, глубину и диаметр, приблизительный уровень подземных вод, сроки начала и окончания работ, стратиграфию, информацию об отобранных образцах, полевые испытания. Затем, зная всю информация можно построить инженерно-геологический разрез.

С целью опробования программного обеспечения были взяты данные бурения скважин на склоне города Зеленограда. Исходные данные были внесены в программу RSLog и на их основе был создан буровые журналы (рис. 2).

Active Project: Tosheva Julia

Test Holes

The following is a list of all test holes for this project:

Showing 1 to 6 of 6 entries

Name	Depth (m)	Groundwater Depth (m)	Investigation Date	Coordinates	Engineers
Скв. 38	42	21.3	START DATE: 2023-02-06 END DATE: 2023-02-08	LAT: 55.65222° LONG: 37.51934°	LOGGED: REVD:
Скв. 22	42	18.6	START DATE: 2023-02-07 END DATE: 2023-02-08	LAT: 55.65263° LONG: 37.51193°	LOGGED: REVD:
Скв. 35	42	17	START DATE: 2023-02-12 END DATE: 2023-02-15	LAT: 55.65341° LONG: 37.50981°	LOGGED: REVD:
Скв. 36	42	18.1	START DATE: 2023-02-05 END DATE: 2023-02-06	LAT: 55.65308° LONG: 37.51972°	LOGGED: REVD:
Скв. 37	42	18.3	START DATE: 2023-02-08 END DATE: 2023-02-13	LAT: 55.65286° LONG: 37.51124°	LOGGED: REVD:
Скв. 7	42	17.5	START DATE: 2023-02-01 END DATE: 2023-02-02	LAT: 55.65355° LONG: 37.50941°	LOGGED: REVD:

Рисунок 2. Буровые журналы

На основании информации из буровых журналов был построен инженерно-геологический разрез скв. 7 – скв. 22 (рис. 3) [3], [4].

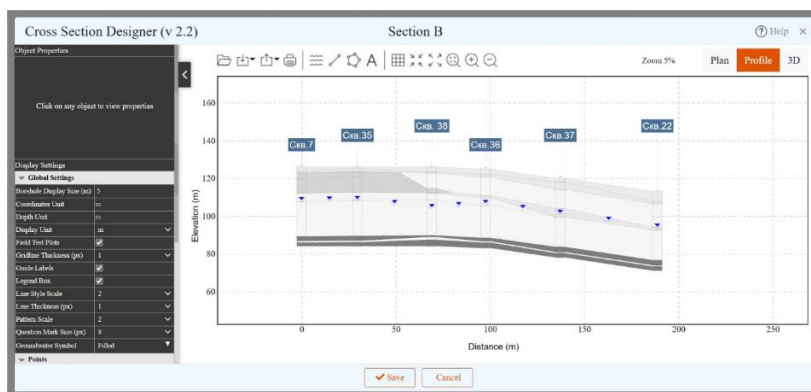


Рисунок 3. Инженерно-геологический разрез скв. 7 - скв. 22

Одним из главных преимуществ RSLog в том, что в отличие от других аналогичных программ, интегрируется со всеми модулями Rocscience. Благодаря этому можно без проблем переносить данные из одной программу в другую.

Выводы

Подводя итоги, хотелось отметить, что новый пакет RSLog прост и удобен в использовании, он упрощает процесс сбора, просмотра и подготовки журналов бурения.

Библиография

1. Аналитическая служба «Геоинфо», ООО «Современные изыскательские технологии» Интеграция геотехнических программ от компании Rocscience ОБЛЕГЧАЕТ проектно-изыскательские работы, 2018 г., - 1-2 с.
2. Учебное пособие RSLog, 2022 г., 4 – 10 с.
3. ГОСТ 25100 – 2020. Грунты. Классификация (с Поправками). М.: Стандартинформ;
4. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений.

Оценка возможностей использования беспилотных летательных аппаратов в геологических изысканиях. Федорова А. Р. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, angelinka.fedorova.02@mail.ru), Дамрин А. Г. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), г. Москва, damrin79@mail.ru)*

Аннотация

Рассматриваются возможности использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в инженерно-геологических изысканиях. Акцент делается на геологические и геофизические исследования: применение в горнодобывающей отрасли, геологоразведке, оценке состояния карьеров, подземных шахт и их инфраструктуры, при использовании аэромагнитной съемки, создании ортофотопланов и цифровых моделей местности. Для проведения оценки результатов, полученных с использованием различных методов, был проведен анализ снимков геофизической съемки квантовым магнитометром ММС-214 с использованием авиации (масштаб 1:25000) и снимков с комплекса «Геоскан 401 Геофизика», где в качестве носителя использовался БПЛА (масштаб 1:10000).

Ключевые слова

Беспилотные летательные аппараты, геологоразведка, геология, аэромагнитная съемка, геофизическая съёмка

Теория

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в последнее десятилетие стали находить широкое применение в различных отраслях производства, а также при выполнении прикладных задач геологии, геодезии, геофизики и др.

БПЛА эффективны, экономичны в использовании на любом этапе работ: при разведке, планировании, согласовании, на горных работах, рекультивации, а также в инженерно-геодезических изысканиях [1].

Одним из главных преимуществ использования беспилотных летательных аппаратов является экономичность. Это позволяет применять новые подходы и методы к исследованиям при минимальных затратах и получать качественные результаты за более короткий промежуток времени. Например, составление карты участка местности в высоком разрешении с помощью БПЛА занимает меньше одного рабочего дня. Камеры на современных летательных аппаратах дополняются малогабаритными и высококачественными датчиками.

Кроме аэроснимков, полученных с БПЛА информация может использоваться для построения точных топографических карт и подготовки ГИС-информации по отдаленным участкам. На основе сочетания аэроснимков и данных по разведке местности современный специалист получает подробную репрезентацию любого объекта в трехмерном масштабе. Такие возможности на ранних стадиях способствуют существенному повышению качества планирования проекта, снижению расходов на разведку, ускоряют процесс выполнения полевых работ [2].

Аэрофотосъемка, осуществляемая с использованием беспилотных летательных аппаратов, представляет собой современную технологическую разработку в геодезии, заменяя применение спутникового позиционирования в режимах RTK, тахеометрии, воздушного лазерного сканирования и пилотируемой аэрофотосъемки вследствие их

неконкурентоспособности по таким основополагающим критериям, как и продолжительность работ. Современный потенциал применения БПЛА в горном деле крайне велик, поскольку беспилотные комплексы дают возможность эффективно и экономично решать многие вопросы надёжности и безопасности.

Применение БПЛА в геологоразведочной отрасли

Обеспечение геологоразведочной отрасли беспилотными летательными аппаратами позволяет решить следующие классы задач:

- миссии по геологоразведке, включая картографию местности и 3D-моделирование окружающего пространства;
- выполнение миссий по контролю процесса добычи, строительства объектов и их охраны;
- управление хвостовыми отвалами;
- исследование подземных шахт и их инфраструктуры;
- мониторинг состояния заброшенных шахт и прилегающих зон;
- оптимизация подъездных дорог и инфраструктуры в целом.

Миссии по геологоразведке

Это направление применения воздушных БПЛА сформировалось одним из первых и в настоящий момент считается базовым для их применения в геологических изысканиях. Применение M300 RTK или других моделей DJI с соответствующим оборудованием на борту и ПО для обработки позволяет выполнять несколько достаточно сложных, но чрезвычайно важных миссий: создание карт местности, ортофотопланов, трёхмерных моделей рельефа и объектов на нём, а также обнаружение различных аномалий геологического характера.

Миссии по контролю добычи и охране объектов

Второе направление использования БПЛА, которое также становится одним из базовых, сводится к выполнению полётов для круглосуточного мониторинга работы объекта (или целого комплекса объектов), работы сотрудников, а также миссий по охране различных объектов. При этом такие миссии могут выполняться и днём, и ночью.

Исследование состояния карьеров, подземных шахт и их инфраструктуры

Наиболее простым является применение БПЛА в случаях, когда добыча полезных ископаемых осуществляется открытым способом. Мониторинг состояния карьеров и подъездных путей к ним выполнять сравнительно несложно. Для БПЛА в таких случаях есть больше пространства для полётов, и съёмка с воздуха осуществляется сравнительно легко [3].

Мониторинг состояния заброшенных шахт и прилегающих зон

В мире насчитывается не один десяток тысяч заброшенных шахт. И эти объекты представляют собой серьёзную опасность, если не выполнять регулярный мониторинг. Проводить его непосредственно на земле и традиционными методами очень опасно и затратно. Видеокамеры различного типа, лазерные сканеры, газоанализаторы - позволяют контролировать ситуацию со скоплением и утечкой газов, наблюдать за геологическими изменениями, которые могут привести к катастрофическим последствиям, наводнениям и другим стихийным бедствиям [5,6].

Оптимизация подъездных дорог и инфраструктуры в целом

Сеть подъездных дорог оказывает значительное влияние на эффективность горнодобывающей деятельности. Для обеспечения безопасного и равномерного транзита необходимо постоянно следить за дорожными условиями. БПЛА позволяют облегчить этот процесс за счёт сбора большого количества аэрофотоснимков, точнее охватывающих более широкие области, которые затем могут использоваться

инженерами для планирования, проектирования, строительства и технического обслуживания [2].

Аэромагнитная съемка с БПЛА

Использование БПЛА в сочетании с геофизическим оборудованием помогает соединить преимущества наземных методов геологоразведки с дистанционными. Применение технологии аэромагнитной съемки с БПЛА позволяет в значительной степени снизить трудоемкость и затраты на проведение работ по разведке полезных ископаемых без ущерба для качества измерения магнитных полей на исследуемых участках.

Анализ использования БПЛА для проведения магнитометрической съемки позволил выделить ряд преимуществ:

- возможность ежедневно выполнять 12-16 вылетов и обследовать около 200 погонных километров территории, что обеспечивается простотой замены аккумуляторных батарей;
- высокая точность измерений вне зависимости от особенностей рельефа;
- наглядный результат, обеспечиваемый возможностью построения трехмерных полей, значительно увеличивает степень эффективности работ;
- при построении маршрута учитываются особенности ландшафта и растительности, что позволяет значительно снизить или исключить вероятность повреждений оборудования;
- съемка выполняется более плавно и на некотором удалении от земной поверхности, что в разы уменьшает степень влияния сильномагнитных приповерхностных объектов на точность полученных данных;
- применение БПЛА позволяет магнитометру перемещаться на одинаковом расстоянии от поверхности вне зависимости от рельефа (огибание рельефа). Скорость полета БПЛА наиболее подходит для получения требуемой частоты отсчетов [4].

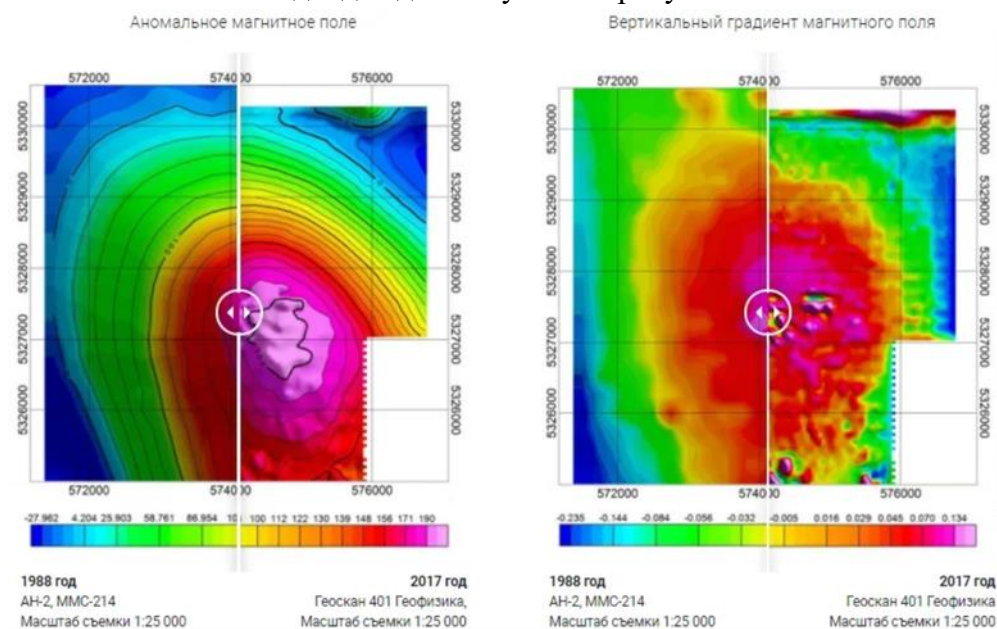


Рисунок 1. Сравнение результатов геофизической съемки.

Для проведения анализа результатов, полученных с использованием различных методов, была проведена геофизическая съемка с помощью квантового магнитометра

ММС-214 с использованием авиации (масштаб 1:25000) и комплекса Геоскан 401 Геофизика, где в качестве носителя использовался БПЛА (масштаб 1:10000) (рисунок 1).

На рисунке видно, что, применяя БПЛА-комплексы, в результате получаем более детальную и четкую карту магнитного поля, чем при использовании большой авиации. Таких результатов возможно добиться, снизив скорость съемки и уменьшив высоту полета.

Выводы

Оценка возможностей использования беспилотных летательных аппаратов показала, что применение БПЛА является инновационным направлением в геологоразведочной отрасли.

Одним из главных преимуществ использования беспилотных летательных аппаратов является экономичность. Это позволяет применять новые подходы и методы к исследованиям при минимальных затратах и получать качественные результаты за более короткий промежуток времени.

На основе сочетания аэроснимков и данных по разведке местности и данных по разведке местности современный специалист может получить подробную репрезентацию любого объекта в трехмерном масштабе.

Библиография

1. Кузнецов Г.А., Кудрявцев И.В., Крылов Е.Д. Ретроспективный анализ, современное состояние и тенденции развития отечественных беспилотных летательных аппаратов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2018. – № 9 (81). – С. 1-22.
2. Лукьянов И.В. Методика топографической съёмки квадрокоптером при инженерно-геодезических изысканиях автомобильных дорог: выпуск. квалиф. работа: 08.03.01 / Иван Владимирович Лукьянов; Сиб. фед. ун-т. – Красноярск, 2020. – 74 с.
3. Оника С.Г., Куликовская О.Е., Атаманенко Ю.Ю. Использование беспилотных летательных аппаратов для решения инженерных задач маркшейдерии и геодезии // Горная механика и машиностроение. – 2018. – № 2. – С. 15-21.
4. Полетаев С.Н. Аэромагнитная съемка с БПЛА как наиболее прогрессивный метод геологоразведки / Сергей Николаевич Полетаев; филиал МАГУ – Кировск, 2021. – 31 с.
5. Самойловский А. Применение беспилотных летательных аппаратов на горнодобывающих предприятиях // Горная промышленность. – 2018. – № 6 (142). – С. 60-61.
6. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. – 2012. – № 4. – С. 54–58.

Схематизация опасных природных и природно-техногенных процессов под влиянием деятельности микроорганизмов в подземном пространстве мегаполиса (на примере Санкт-Петербургского региона). Дашко Р.Э. (Санкт-Петербургский горный университет, regda2002@mail.ru), Ходус В.Р.* (Санкт-Петербургский горный университет, victoria.khodus@gmail.com)

Аннотация

Проблему развития опасных природных и природно-техногенных процессов под влиянием деятельности микроорганизмов в подземном пространстве следует рассматривать как одну из наиболее сложных и малоизученных в настоящее время. Современными исследованиями доказано, что жизнедеятельность микробиоты существенно влияет на преобразование физико-механических свойств водонасыщенных песчано-глинистых грунтов; на развитие природно-техногенных процессов в подземном пространстве в результате биохимической генерации малорастворимых и хорошо растворимых газов и ухрупчение конструкционных материалов в подземной среде за счет биокоррозии. Опыт строительства и эксплуатации новых зданий и сооружений, в том числе фундаментов, несущих отделок тоннелей метрополитена свидетельствуют о том, что их разрушение происходит достаточно активно за счет биокоррозии сравнительно за короткие промежутки времени [1,6,7]. При этом разрушение несущих и ограждающих конструкций не прогнозируется в разрабатываемых проектах, что приводит к некорректным решениям, и ограничивает срок службы объектов за счет их преждевременного перехода в предаварийное состояние или в состояние с ограниченной работоспособностью.

Ключевые слова

Микробиота, подземное пространство, газогенерация, биокоррозия,

Теория

Развитие крупных городов и мегаполисов должно идти по пути интенсивного освоения подземного пространства, что предполагает решение многих социальных вопросов, экономических и экологических проблем. Следует отметить, что школа инженерной геологии и гидрогеологии горного университета при анализе безопасности проблем освоения подземного пространства базируется на его рассмотрении как пятикомпонентной системы, состоящей из пород (грунтов), выступающих в качестве, вмещающей среды, подземных вод (водоносные горизонты и воды водоупоров), микроорганизмов, газов, подземных конструкций [1]. Исследования, проводимые на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии горного университета с 1998 г., дали возможность оценить источники микроорганизмов в подземном пространстве. Организмы, которые рассматриваются как аборигенные культуры и те, которые были привнесены, в основном, при техногенном загрязнении. Профессором Р.Э. Дашко была выполнена систематизация природных источников микроорганизмов в подземном пространстве Санкт-Петербурга, которые разделены на локальные, региональные и объектные по площади распространения [3].

В Санкт-Петербурге к региональным природным источникам следует относить болота и торфяные отложения, которые покрывали до 70% территории будущего мегаполиса до создания города. Отмечено, что биогенные отложения влияют на

подстилающие грунты на глубину до 50,0 м и более. При инфильтрации болотных вод, которое происходит привнос в подземное пространство анаэробных и факультативных микроорганизмов. Наибольшая численность и разнообразие микроорганизмов характерна для анаэробных условий, в которых развиваются следующие физиологические группы: аммонифицирующие, сульфатредуцирующие, железоредуцирующие, метанобразующие бактерии, целлюлозоразлагающие. Кроме того, региональным источником поступления микроорганизмов в подземное пространство служит высоконапорный вендский водоносный комплекс, который обогащает выше и ниже залегающую толщу также анаэробными формами микробиоты, в небольшом количестве аэробными. Величина Eh, замеренная *in situ*, составляет - 35 mV, pH = 7,2 - 7,4; в водах присутствуют биогенные элементы – калий, азот; микрокомпоненты - селен, бром) Состав воды и ее минерализация подтверждают наличие питательных и энергетических субстратов для развития микроорганизмов [3,4].

К природным локальным источникам поступления анаэробных микроорганизмов в подземное пространство можно отнести межморенные миктулинские (mIIImk) отложения с битуминозной органикой, распространенные на севере, востоке и юго-востоке города, в которых происходит генерация азота, метана, диоксида углерода; а также незагрязненные воды полостровского водоносного горизонта [1].

К природно-техногенным региональным источникам следует относить грунтовые воды, загрязненные промышленными стоками и утечками из систем водоотведения, которые характеризуются высоким содержанием микроорганизмов: Стоит отметить, что утечки из систем водоотведения активизируют деятельность аборигенных форм микробиоты [1,3].

К природно-техногенным локальным источникам необходимо относить хозяйственно-бытовые отходы, а также ликвидированные и действующие кладбища, привносящие в подземное пространство микроорганизмы, соединения серы, азота. На территории Санкт-Петербурга были обнаружены 65 ликвидированных кладбищ. В верхней части разреза исторической зоны города прослеживается от 2000 до 3000 т отходов хозяйственно-бытового типа XVIII-XIX вв. 1 км² площади. Подземные воды в районах такого типа загрязнения характеризуются отрицательными значениями окислительно-восстановительного потенциала вод. Величина химического потребления кислорода подземных вод, определяющая общее количество органических соединений, может достигать сотен мгО₂/дм³ [3].

Изучение источников микроорганизмов и их деятельности в подземном пространстве необходимо для прогноза и схематизации развития различных опасных процессов:

- изменения НДС за счет генерации малорастворимых газов (депонирования или диссипации);
- переход водонасыщенных песков в пльвуны в результате депонирования газа и накопления биомассы;
- биокоррозии.

Наибольший отрицательный эффект микробной деятельности по изменению состояния и свойств грунтов устанавливается для песков, наименьший – в грунтах с высоким содержанием глинистой фракции. Установлено, что в условиях тонкопористой среды отчетливо прослеживаются практически равномерное распределение биомассы в грунтах. Отмечена трансформация глинистых грунтов устойчивых консистенций в

квазипластичные разности. Абиотическое и биотическое органическое вещество формирует пленки различной толщины на минеральных частицах песчано-глинистых грунтов, что приводит к резкому снижению угла внутреннего трения грунта – φ° . Школой Санкт-Петербургского горного университета в полевых и лабораторных условиях проводилось изучение влияния деятельности микроорганизмов и продуктов их метаболизма на дисперсные грунты с различным содержанием глинистых фракций. Было установлено, что наибольшее воздействие накопление биомассы оказывает на трансформацию водонасыщенных песчаных отложений, которые при содержании микробного белка более 50-60 мкг/г переходят в состояние пльвунов [1-3].

Полный цикл биохимического разложения органического вещества в анаэробных условиях приводит к образованию газов: малорастворимых (метан, азот, водород), среднерастворимых (углекислый газ – продукт дыхания микроорганизмов) и хорошо растворимых (аммиак, сероводород). Депонирование малорастворимых газов (CH_4 , N_2 , H_2) вызывает рост напряженно-деформированного состояния грунтовых толщ, кроме того, наблюдается обогащение водонасыщенных грунтов пузырьками этих газов, диаметр которых меньше диаметра пор грунта, что позволяет их рассматривать как твердые пузырьки в силу высокого поверхностного натяжения с эффектом шарикоподшипника [1,2].

Влиянию деятельности микроорганизмов на грунтовые толщ проявляется в следующих негативных последствиях: преобразование физико-механических свойств водонасыщенных песчано-глинистых грунтов; развитие природно-техногенных процессов в подземном пространстве в результате биохимической генерации малорастворимых и хорошо растворимых газов; развитие пльвунов в песчаных водонасыщенных грунтов; ухрупчение конструкционных материалов в подземной среде за счет биокоррозионных процессов [1-4] (рисунок 1).



Рисунок 1. Активная коррозия и биокоррозия железобетонных трубков на больших глубинах (фото из архива проф. д. г.-м. н. Дашко Р.Э.).

Выводы

Интенсивный путь развития мегаполисов предполагает решение социальных, экономических и экологических проблем, путем освоения подземного пространства на значительные глубины. Отсюда возникает задача рассмотреть подземное пространство с позиции его многокомпонентности, а именно изучить взаимное влияние его составляющих друг на друга. Тщательное исследование вопросов преобразования физико-механических свойств грунтов и биохимического состава подземных вод, газов; опасности развития биокоррозионных процессов конструкционных материалов в подземной среде, а также анализ развития природных и природно-техногенных процессов под влиянием деятельности микроорганизмов позволяет предупредить крупные аварии. Такой подход позволит выявить принципиально важные факторы, которые необходимо учитывать при строительстве и эксплуатации сооружений различного типа в концепции устойчивого развития крупных городов в конкретных инженерно-геологических, геотехнических и гидрогеологических условиях.

Библиография

1. Дашко, Р. Э. Геотехника и подземная микробиота [Текст] / Р. Э. Дашко, Д. Ю. Власов, А. В. Шидловская. – СПб.: Институт «ПИ Геореконструкция», 2014. – 279 с.
2. Дашко, Р. Э. К вопросу о необходимости изучения влияния болот как биогеоценозов на изменение инженерно-геологических условий / Р. Э. Дашко, А. Г. Карпенко // Инженерная геология. – 2021. – Т. 16. – № 2. – С. 32-41.
3. Дашко Р.Э., Горская В.А. О необходимости изучения микробиологической компоненты в подземном пространстве мегаполисов для решения инженерно-геологических проблем (на примере Санкт-Петербурга) // Научный альманах. 2015. № DOI 10.17117/na.2015.09.1100. (9 (11)). С. 1100–1105.
4. Дашко Р.Э., Лохматиков Г. А. Верхнекотлинские глины Санкт-Петербургского региона как основание и среда уникальных сооружений: инженерно-геологический и геотехнический анализ. // Записки Горного института. 2022 Том 254. С. 180-190. DOI: 10.31897/PMI.2022.13
5. Eckert R. B., Skovhus T. L. Failure Analysis of Microbiologically Influenced Corrosion / R. B. Eckert, T. L. Skovhus, CRC Press, 2021
6. Marciales A. [и др.]. Mechanistic microbiologically influenced corrosion modeling—A review // Corrosion Science. 2019. Т. 146. С. 99–111.
7. Voronov A. S., Dashko R. E., Vlasov D. Y. The impact of contamination of the underground environment on the transformation of its components by organic compounds in St Petersburg // Journal of science and education. 2018. (47).