

На правах рукописи

АХАПКИН Дмитрий Александрович

**Обоснование показателей оценки и выбора технологических параметров
эффективности алмазного бурения**

Специальность 25.00.14 – Технология и техника геологоразведочных работ

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2010 г.

Работа выполнена на кафедре общей физики и механики в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (РГГРУ)»

Научный руководитель: д.т.н. Ребрик Борис Михайлович

Официальные оппоненты: д.т.н. Лачинян Леонид Артемьевич
к.т.н. Полежаев Андрей Петрович

Ведущая организация: ФГУП «Центргеология»

Защита диссертации состоится 18 марта 2010 г. в 13:00 в аудитории 4-15Б на заседании диссертационного совета Д 212.121.05 при Российском государственном геологоразведочном университете имени Серго Орджоникидзе.

Адрес: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, РГГРУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГРУ.

Автореферат разослан

февраля 2010г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук



Назаров А.П.

Актуальность работы. Бурение скважин – весьма энергоемкий процесс, который требует всестороннего изучения. Проведение опытных и экспериментальных работ в области влияния технологических факторов и изучения затрат мощности связано, главным образом с задачами экономии энергоресурсов и совершенствования технологии и техники бурения. Необходимы глубокие исследования в этой области бурения с целью экономии материальных затрат и ресурсов. Изучение затрат мощности дает возможность определять установленную мощность двигателей буровых станков и осуществлять прогнозный расчет затрат энергии. Ранее проведенные исследования показали, что данный вопрос изучен недостаточно. Необходимы новые экспериментальные и аналитические исследования. В связи с этим и выбрана тема диссертационной работы.

Цель работы. Целью диссертации является совершенствование технологии алмазного бурения путем выбора более обоснованного соотношения осевой нагрузки и частоты вращения снаряда.

Идея работы. Установлена связь удельного механического критерия технической эффективности с режимными параметрами, глубиной скважины и скоростью проходки и определены возможности использования этого критерия для оценки эффективности алмазного бурения.

Основные задачи исследований. Для достижения указанной цели в диссертации поставлены и решаются следующие задачи:

1. Разработать теоретические предпосылки и построить соответствующую математическую модель для оценки обобщенного коэффициента обобщенных окружных сопротивлений при вращательном бурении скважин на основе привлечения представлений Жозефа Луи Лагранжа.
2. Установить приближенную зависимость обобщенного коэффициента обобщенных окружных сопротивлений от удельной осевой нагрузки для случая бурения скважин алмазным способом.
3. Изучить влияние на обобщенный коэффициент обобщенных окружных сопротивлений глубины скважины и установить зависимость проходки за сутки от обобщенного коэффициента.
4. Исследовать влияние глубины скважины и проходки за сутки на удельный механический критерий технической эффективности при бурении глубокой скважины комплексом КССК-76 с использованием энергии, затраченной на проходку соответствующего интервала, и с учетом привлечения указанного критерия для оценки не только забойного процесса, но и бурения всей скважины.
5. Произвести приближенную оценку технической и экономической эффективности результатов проведенных исследований и дать ряд практических рекомендаций.

Методика исследований. Для решения поставленных задач применялись общие принципы методологии научных исследований, включающие в себя анализ и обобщение литературных источников, проведение экспериментальных и теоретических исследований.

Расчеты проводились в программах MATHCAD и Excell, основное содержание работы изложено в программе MS Word.

Научная новизна работы.

- Выявлена взаимосвязь обобщенного коэффициента окружных сопротивлений с удельной осевой нагрузкой и механической скоростью бурения

- Выявлены зависимости рейсовых скоростей бурения от глубины скважины для различных коронок.

- Выявлены зависимости средней механической скорости бурения от удельной осевой нагрузки при различной окружной скорости вращения коронки и от окружной скорости коронки при различных удельных осевых нагрузках.

- Выявлены зависимости проходки за сутки и затрат мощности при бурении от глубины скважины и от режимных параметров – частоты вращения и осевой нагрузки.

- Установлена связь удельного механического критерия технической эффективности с режимными параметрами, глубиной скважины и скоростью проходки и определены возможности использования этого критерия для оценки эффективности алмазного бурения.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Для решения задач совершенствования процесса алмазного бурения дано теоретическое обоснование понятия обобщенного коэффициента окружных сопротивлений и показана необходимость использования этого коэффициента.

2. Выявлено, что при увеличении частоты вращения механическая скорость монотонно возрастает. Прирост механической скорости снижается по мере увеличения удельной осевой нагрузки, которую целесообразно наращивать до определенного предела, после которого существенного выигрыша в скорости бурения не происходит.

3. Доказано, что при алмазном бурении в крепких породах с использованием породоразрушающего инструмента диаметрами 46, 59 и 76 мм рациональными являются режимные параметры, при которых частота вращения должна быть более 1000 об/мин, а удельные нагрузки не должны превышать 5-10 мПа на породоразрушающий инструмент.

4 Установлена связь комплексного показателя и критерия технической эффективности алмазного бурения с режимными параметрами, глубиной скважины и проходкой за сутки.

Практическое значение работы. Установлена техническая и экономическая эффективность новых алмазных коронок, созданных в ТулНИГП. С помощью удельного критерия технической эффективности уточнены области рационального использования комплекса КССК-76. Комплекс нерационально использовать при глубинах скважины более 2000 м. и при обеспечении суточной проходки менее 7 м/сутки. Полученные результаты могут быть использованы в учебном процессе, при изложении курсов, относящихся к бурению скважин.

Достоверность научных выводов и рекомендаций. Практические рекомендации и защищаемые научные положения обоснованы необходимым объемом теоретических и экспериментальных исследований и достаточной сходимостью опытных данных с результатами ранее проведенных теоретических исследований.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на научных конференциях: «Новые идеи в науках о Земле», РГГРУ 2007г., 2009г.; «Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленного комплексов города Москвы», РГГРУ 2008 г..

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 15 публикациях, 4 из которых – в рецензируемых изданиях.

Объем и структура работы

Диссертационная работа состоит из оглавления, введения, пяти глав, основных выводов и рекомендаций, списка использованной в работе литературы, включающего 110 наименований. Диссертация содержит 131 страницу машинописного текста, в том числе 27 рисунков и 6 таблиц.

В процессе работы автору оказывали бескорыстную помощь и поддержку ценными советами и замечаниями: Н.В.Соловьев, Д.Н.Башкатов, Б.М.Ребрик, Л.Г.Грабчак, А.П.Назаров, В.В.Куликов, Н.И.Сердюк, А.А.Тунгусов, Е.Д.Хромин, Р.А.Ганджумян, С.Ю.Некоз, Г.И.Гурджиев, Л.А.Лачинян, А.П.Полежаев, П.А.Егоров, В.И.Склянов, В.Н.Родионов и другие.

Основное содержание работы

Изучение сопротивлений при бурении скважин вообще и разведочных скважин в частности имеет огромное значение, особенно, в свете задач экономии энергоресурсов. В сущности, весь процесс бурения состоит из преодоления различных сопротивлений в процессе углубления скважины. Однако очевидно, что уменьшение этих сопротивлений, которое должно приводить к снижению энергозатрат, без углубленного изучения процесса формирования сопротивлений невозможно. Изучению сопротивлений в бурении посвящена огромная литература. Постановленные задачи решались путем обобщения и анализа фондовых и литературных источников,

проведения теоретических исследований, постановкой и проведением опытно-производственных работ. Широко привлекались работы основоположников теории и практики разведочного бурения: Б.И.Воздвиженского, Е.А.Козловского, А.Г.Калинина, В.Г.Кардыша, Д.Н.Башкатова, Л.Г.Грабчака, Л.А.Лачиняна. Использовались также работы А.М.Лимитовского, В.В.Алексеева, О.С. Брюховецкого, В.И.Комащенко, Н.В.Соловьева, С.С.Хворостовского, Е.Д.Хромина, Р.А.Ганджумяна, Г.В.Лукошкова, В.В.Куликова, А.П.Полежаева, И.П.Петрова, С.Ю.Некоза и др. Основные заслуги в определении и анализе критериев оптимизации бурения разведочных скважин принадлежат Д.Н.Башкатову.

Показателями бурения называются параметры, характеризующие количество и качество результатов проходки скважин. В диссертации используются: скорость бурения (механическая, рейсовая, проходка за сутки и др.), стоимость 1 м пробуренной скважины, проходка за рейс, обобщенный коэффициент обобщенных окружных сопротивлений, комплексный показатель и др.; из технических параметров: осевая нагрузка, частота вращения снаряда, расход промывочной жидкости, длина рейса, диаметр скважины и т.д.; из технических средств: буровые станки и установки, буровая колонна, породоразрушающий инструмент и т.д.

Комплексный показатель режимов бурения - по своей сути мощность, реализуемая при бурении, а сама мощность при многих экспериментальных работах не измерялась. Показатель равен произведению осевой нагрузки на частоту вращения снаряда ($P_0 \cdot \omega$).

Комплексное теоретическое, экспериментальное и опытно-производственное изучение затрат мощности при бурении позволяет решать многие задачи совершенствования бурового процесса. Оно дает возможность осуществлять прогнозный (проектный) расчет мощности, определять установленную мощность двигателей буровых станков, осуществлять текущий расчет и замеры мощности с целью сопоставления расчетного значения с фактически затрачиваемой мощностью, разрабатывать научно-обоснованные мероприятия по снижению непроизводительного расходования энергии, оптимизировать процесс бурения скважины по уровню потребляемой энергии, оценивать возможные перегрузки двигателей и создавать предпосылки для эффективной борьбы с ними.

Общим методологическим принципом в определении числа и характера, составляющих мощности при бурении является выделение их по месту потребления. Исходная схема к расчету баланса мощности представлена на рис 1. Общая структурная формула баланса мощности N , расходуемой двигателем станка, соответствующая этой схеме имеет вид:

$$N = N_3 + N_{км} + N'_{XB} + N''_{XB} + N'_c + N''_c, \quad (1)$$

где N_3 – мощность, потребляемая в зоне работы породоразрушающего инструмента (забойная мощность); $N_{КТ}$ – мощность, потребляемая в зоне работы колонковой трубы и утяжеленной бурильной трубы; N'_{XB} и N''_{XB} – мощность, потребляемая в зоне соответственно сжатой и растянутой частей

бурильных труб; N'_c , N''_c – мощность, затрачиваемая соответственно в буровом станке и вертлюге-сальнике.

В составляющей мощности N'_c иногда выделяют еще две составляющие:

$$N'_c = N'_{c1} + N'_{c2}, \quad (2)$$

где N'_{c1} – мощность, расходуемая в двигателе станка, N'_{c2} – мощность, расходуемая собственно в станке.

При детальном анализе затрат мощностей следует рассматривать расход энергии в каждом из выделенных каналов ее потребления. Однако на практике такая необходимость возникает редко. Чаще используют схему, при которой выделяют только три канала потребления мощностей – на забое, на холостое вращение бурильных труб и в станке:

$$N = N_3 + N_{XB} + N_c, \quad (3)$$

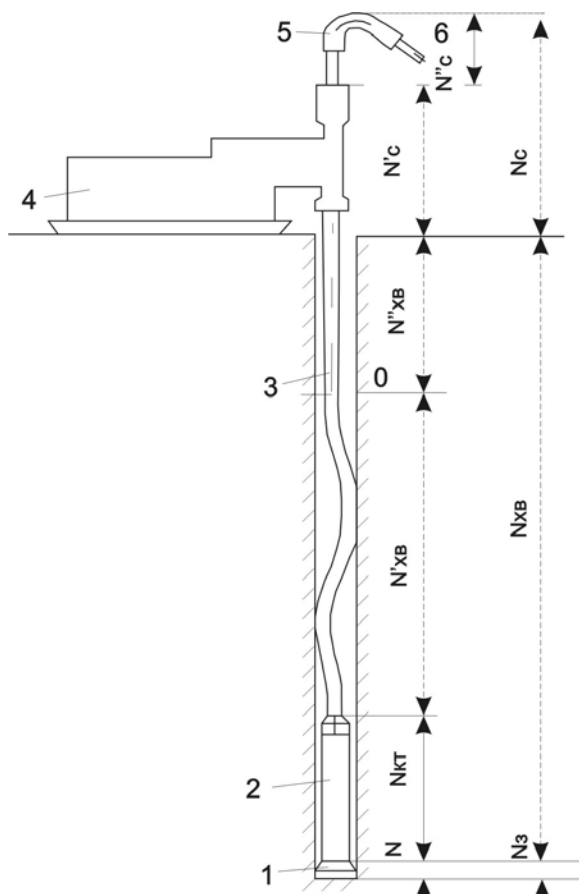


Рис 1. Схема к расчету баланса мощности при вращательном бурении скважин

1 – породоразрушающий инструмент; 2 – колонковая труба; 3 – бурильные трубы; 4 – буровой станок; 5 – вертлюг сальник; 6 – нагнетательный рукав; 0 – нейтральная зона (зона растяжения бурильных труб переходит в зону сжатия).

Первое защищаемое положение. Для решения задач совершенствования процесса алмазного бурения дано теоретическое обоснование понятия обобщенного коэффициента окружных сопротивлений и показана возможность использования этого коэффициента.

Понятие «обобщенный коэффициент» сопротивления впервые в техническую литературу по бурению ввел Б.М.Ребрик. Им это было сделано на основе привлечения знаменитой работы Жозефа Луи Лагранжа «Аналитическая механика», в которой названным автором был предложен совершенно новый подход к решению задач динамики сложных механических систем.

Выражение для оценки коэффициента f , полученное из предположения, что забойная мощность прямо пропорциональна механической скорости бурения, имеет вид:

$$f = \frac{1850 \cdot V}{P \cdot n}, \quad (4)$$

где V – механическая скорость бурения в см/мин; P – осевая нагрузка в кН, n – частота вращения снаряда в об/мин; 1850 – размерный переводной коэффициент в кН·об/см.

Будем исходить из предположения, что буровой процесс стационарен, т.е. все скорости постоянны, колебания бурового снаряда отсутствуют, т.е. силы инерции не действуют. Тогда вся подводимая мощность будет расходоваться только на преодоление возникающих при бурении сопротивлений.

В качестве обобщенных координат введем вертикальное смещение снаряда вдоль оси скважины h и угол поворота снаряда φ . Приращения этих координат будут их возможными перемещениями δh и $\delta \varphi$. Введем понятие обобщенных сил. Все действующие силы сопротивления при бурении могут быть представлены: обобщенной силой Q_1 , препятствующей вертикальному смещению (эту силу можно отождествить с осевой нагрузкой), обобщенной окружной силой Q_2 на забое скважины (крутящий момент затрачиваемый на преодоление сопротивления разрушению забоя и преодолению сил трения), обобщенной окружной силой Q_3 при вращении бурильной колонны и обобщенной окружной силой сопротивления Q_4 , возникающей в буровом станке.

Тогда алгебраическая сумма возможных работ всех обобщенных сил сопротивления приобретет вид: $\sum \delta A^a_k = Q_1 \delta h + Q_2 \delta \varphi + Q_3 \delta \varphi + Q_4 \delta \varphi$ (5)

Именно для совершения этой возможной работы подводится энергия двигателя бурового станка $\delta A_{об}$: $\sum \delta A^a_k - \delta A_{об} = 0$ (6)

Равенство (6) можно представить в виде: $\delta A_{об} = \sum \delta A^a_k$ (7)

Выражая левую часть равенства через $Q \cdot \delta \varphi$ и подставляя вместо правой части выражение (5), получим: $Q \cdot \delta \varphi = Q_1 \delta h + Q_2 \delta \varphi + Q_3 \delta \varphi + Q_4 \delta \varphi$ (8)

Разделим зависимость (5) на возможное время δt :

$$\frac{Q \delta \varphi}{\delta t} = Q_1 \frac{\delta h}{\delta t} + Q_2 \frac{\delta \varphi}{\delta t} + Q_3 \frac{\delta \varphi}{\delta t} + Q_4 \frac{\delta \varphi}{\delta t} \quad (9)$$

Но $\frac{\delta \varphi}{\delta t} = \omega$, а $\frac{\delta h}{\delta t} = V_m$. Тогда: $Q \omega = Q_1 V_m + Q_2 \omega + Q_3 \omega + Q_4 \omega$ (10)

Произведение $Q\omega$ является не чем иным, как мощностью N подводимой двигателем станка к бурильной колонне.

В то же время: $Q_1V_m = P_o \cdot V_m$, (11), $Q_2\omega = N_3$, (12), $Q_3\omega = N_{xв}$, (13),

$$Q_4\omega = N_c. \quad (14)$$

После соответствующих подстановок выражение (10) приобретает вид:

$$N = P_oV_m + Q_2\omega + N_{xв} + N_c, \quad (15)$$

$$\text{но: } Q_2 = M_{кз} = F_oR_{cp}, \quad (16)$$

$$\text{а } F_o = P_of, \quad (17)$$

где $M_{кз}$ – крутящий момент на забое; F_o – окружная сила сопротивления на забое; P_o – осевая нагрузка; f – обобщенный коэффициент окружных сопротивлений на забое; R_{cp} – средний радиус коронки.

Подставляя (17) в (16) и затем в (15) после преобразований получим:

$$f = \frac{N - P_oV_m - N_{xв} - N_c}{P_o\omega R_{cp}} \quad (18)$$

При малой длине колонны бурильных труб и не учете мощности, расходуемой в станке формула (18) приобретает вид:

$$f = \frac{N_\delta - P_oV_m}{P_o\omega R_{cp}}, \quad (19)$$

где N_δ – мощность расходуемая на процесс бурения.

Если скорость бурения мала (бурение осуществляется по крепким и весьма крепким породам), произведением P_oV_m можно пренебречь и выражение для оценки обобщенного коэффициента окружных сопротивлений приобретет весьма простой вид:

$$f = \frac{N_\delta}{P_o\omega R_{cp}} \quad (20)$$

В ряде случаев может возникнуть необходимость оценки обобщенного коэффициента f_o всех обобщенных окружных сил, соответствующих обобщенной координате φ . Для этого следует воспользоваться выражением

$$(18), \text{ преобразовав его к виду: } f_o = \frac{N - P_oV_m}{P_o\omega R_{cp}} \quad (21)$$

$$\text{В формуле (21): } f_o = f_з + f_{xв} + f_c, \quad (22)$$

где $f_з$ – обобщенный коэффициент сопротивления на забое, $f_{xв}$ – обобщенный коэффициент окружных сопротивлений при холостом вращении бурильных труб; f_c – обобщенный коэффициент окружных сопротивлений при работе бурового станка.

Были построены и проанализированы зависимости f_o от G_o (удельной осевой нагрузки) и зависимость механической скорости V_m от обобщенного коэффициента f_o окружных сопротивлений. Поскольку f_o вычисляется по приближенной формуле (4) путем использования трех замеренных статистических величин: механической скорости V_m , удельной осевой нагрузки G_o и окружной линейной скорости ω , то за счет нарастания статистической погрешности «разброс» точек оказался огромным. Можно сделать предположительный вывод о том, что f_o с увеличением G_o сначала

снижается, а затем начинает нарастать, что, в общем, не противоречит ранее полученным зависимостям. Прослеживается закономерность: первоначально механическая скорость с увеличением f_0 нарастает (за счет увеличения осевой нагрузки), а затем монотонно падает, что также не противоречит ранее поставленным опытам. Таким образом, нами с использованием введенного Лагранжем понятия «обобщенная сила» дано теоретическое обоснование обобщенного коэффициента обобщенных окружных сопротивлений при вращательном бурении скважин. Далее установлено, что обобщенный коэффициент обобщенных окружных сопротивлений объективно характеризует общие сопротивления при бурении разведочных скважин и может быть использован для изучения и совершенствования бурового процесса; возможная работа, путем введения понятия «возможное время» может быть преобразована в мощность, потребляемую на бурение; для оценки обобщенного коэффициента сопротивлений, целесообразно использовать мощность, расходуемую на бурение и легко замеряемую показывающим или самопишущим ваттметром; обобщенный коэффициент обобщенных окружных сопротивлений с увеличением удельной осевой нагрузки на снаряд первоначально снижается, а затем начинает нарастать; механическая скорость бурения с увеличением обобщенного коэффициента сопротивлений в начале возрастает (за счет увеличения осевой нагрузки), а затем монотонно падает, что не противоречит поставленным ранее опытам.

Для дальнейшего анализа нами были использованы данные бурения глубокой скважины (2504м), пробуренной в районе г. Норильска комплексом КССК-76 в крепких и весьма крепких породах (VII-IX категорий). На этой скважине фиксировались следующие данные: глубина скважины на каждом интервале бурения, осевая нагрузка P , крутящий момент M_{ep} , проходка l за стуки. В процессе бурения, в качестве промывочной жидкости использовали полимер-солевой раствор. Обобщенный коэффициент сопротивлений вычислялся по формуле: $f = \frac{2M_{ep}}{d_{cp} \cdot P}$, где d_{cp} – средний диаметр скважины (0,076м.).

Общий анализ полученных данных позволяет констатировать, что значения коэффициента f колеблются в пределах от 0,4 до 1,8. Таким образом, они более высоки, чем для забойного процесса, но более чем в два раза ниже, зафиксированных в опытах ТулНИГП. Проанализировав данные, мы построили соответствующие зависимости, а именно: зависимость коэффициента f от глубины скважины, взаимосвязь осевой нагрузки и обобщенного коэффициента окружных сопротивлений при бурении скважины комплексом КССК-76. Четко отмечается возрастание коэффициента по мере увеличения глубины скважины. Характер зависимости – примерно линейный. С увеличением глубины скважины возрастают окружные сопротивления, отсюда происходит и возрастание коэффициента. К сожалению, диапазон изменения осевой нагрузки был незначителен: от 1500 до 2500 кг. Тем не менее, даже в этом интервале

происходила существенная трансформация коэффициента f . При возрастании осевой нагрузки от 1500 до 1800 кг происходит небольшое падение f , затем от 1800 до 2000 он резко снижается (почти в два раза), и далее кривая выполаживается, но опять же в сторону снижения f (до 0,4).

Второе защищаемое положение. *Выявлено, что при увеличении частоты вращения механическая скорость монотонно возрастает. Прирост механической скорости снижается по мере увеличения удельной осевой нагрузки, которую целесообразно наращивать до определенного предела, после которого существенного выигрыша в скорости бурения не происходит.*

Частота вращения снаряда существенно влияет на показатели работы коронок: изменение механической скорости в зависимости от частоты вращения носит нелинейный характер и соответствует параболе; с ростом частоты вращения механическая скорость вначале, как правило увеличивается. Максимальное значение механической скорости бурения для каждого диаметра коронки соответствует различной частоте вращения.

Осевая нагрузка влияет на механическую скорость бурения параболически. Исследования показывают, что рост механической скорости бурения при изменении нагрузки не беспределен, и для каждой породы имеется максимум, определяемый прочностными характеристиками породы. Этот вывод был подтвержден на кафедре разведочного бурения МГГА.

Также было высказано важное предположение, что забойная мощность при алмазном бурении прямопропорциональна механической скорости. Для этого мы использовали полученные А.Л. Базановым опытные данные. Стенд включал в себя буровой станок СКБ-4, насос НБ-3 и другое оборудование. В качестве породоразрушающего инструмента использовали алмазную коронку 02НЗ (алмазы после рекуперации) диаметром 59 мм. Бурение осуществлялось в породном блоке из гранита X — XI категорий. Всего было пробурено 12 скважин глубиной от 15 до 30 см. При бурении осевая нагрузка изменялась от 5 до 30 кН, частота вращения снаряда - от 435 до 1100 об/мин. В основном бурили при частоте 710 об/мин и осевых нагрузках 10 и 15 кН.

В процессе бурения замеряли: время бурения - через каждые 5 см, общую мощность и мощность холостого хода станка. Были построены зависимости механической скорости бурения от осевой нагрузки и от частоты вращения снаряда. Средние значения механической скорости бурения вычислялись для $P=10$ кН по 14 значениям V_m , для $P=15$ кН - по 35 и для $P=30$ кН - по одному значению V_m . Сопоставление зависимостей позволяет сделать следующий вывод: с увеличением частоты вращения снаряда механическая скорость бурения гранита растет почти по линейному закону, тогда как с увеличением осевой нагрузки - по выполаживающейся кривой. Это лишний раз указывает на предпочтительность использования режимов бурения с повышенными частотами вращения снаряда, особенно при фиксированной подводимой забойной мощности.

Сопоставительные испытания нового цикла были проведены в 2004 – 2005 гг. в ФГУПП «Запсибгеологосъемка» на участках «Черемшанский» и «Шахта Сибиргинская».

На участке «Черемшанский» бурение скважин осуществлялось станками Diames-262. Глубины скважин 25–250 м., угол наклона 60° . Проходимые породы: песчанки VI – VII категории; алевролиты, аргиллиты IV – VI, уголь IV – V категорий. Частота вращения снаряда от 500 до 1000 об/мин; осевая нагрузка 3,5–15 кН., расход промывочной жидкости от 20 до 40 л/мин. Испытаны коронки К – 75 – 3СВ ТулНИГП и импрегнированные коронки «Boart Longyear». На участке «Шахта Сибиргинская» бурение осуществлялось станками Diames – 282, YKS и Boyles B–40. Вертикальные скважины бурили на глубины от 400 до 600 м в песчаниках VII–VIII категории, в алевролитах и аргиллитах V–VII категории, по углю V категории. Частота вращения снаряда, осевая нагрузка и количество промывочной жидкости были такими же, как и на участке «Черемшанский». К изучаемым коронкам еще добавили коронку фирмы «Atlas Copco». Наружный диаметр всех коронок составлял 76 мм. Средняя проходка на коронку во всех случаях примерно одинакова.

Нами была получена интересная взаимосвязь между механической скоростью v_m бурения и проходкой L_k на коронку. Отмечено, что ранее вопрос о наличии подобной взаимосвязи не только не рассматривался, но и не ставился. Однако, раньше график строился в координатах $v_m = f(L_k)$. При более углубленном изучении вопроса, мы пришли к выводу, что такой график следует строить в координатах $L_k = f(v_m)$, поскольку скорее механическая скорость влияет на проходку на коронку, чем наоборот. Оказалось, что большим значениям механической скорости соответствуют и большие значения проходки на коронку. В менее крепких породах достигаются большая проходка на коронку, чем в более крепких, даже при равных механических скоростях бурения.

Весьма ценная и информативная в научном отношении получена в серии опытов по сопоставлению коронок при бурении скважин в окрестностях г. Хайфа и г. Иерусалима (Израиль). Бурение осуществлялось буровым станком CLV PONTEL.

Глубина вертикальных скважин изменялась от 0 до 672 м. Бурили в скальных породах слабой трещиноватости. Бурение проводилось с частотой вращения 750–850 об/мин., осевой нагрузкой 7–8 кН., с расходом промывочной жидкости – до 5 л/мин. Испытаны две коронки ТулНИГП (№ 3824 и № 3825). В качестве аналога использовались две коронки Longer. В отличие от предыдущих опытов здесь фиксировалась не механическая, а рейсовая (v_p) скорость бурения. Были построены зависимости рейсовых скоростей бурения от глубины скважины для различных коронок. Глубина скважины по мало влияет на значение рейсовой скорости. Большой интерес однако представляет сопоставление средних значений механической скорости и проходок на коронку. По своим показателям коронки ТулНИГП

не уступают коронкам Longer, и при более низкой стоимости превосходят последние.

В 1995 г. были поставлены специальные, существенно приближенные к производственным условиям, экспериментальные исследования. На сурмяно-золоторудном месторождении Кончоч (Центральный Таджикистан) в горной выработке, гранит-порфиров VIII – IX категорий по буримости, была пройдена и оборудована соответствующим образом специальная камера, из которой бурились экспериментальные скважины. Общее число скважин 45 (наклонных-18, восстающих-18 и горизонтальных - 9), средняя длина каждой скважины 26 м. Расстояния между скважинами от 0,25 до 0,3 м. В каждом ряду бурились по три скважины диаметрами: 46, 59 и 76 мм (всего 9). Угол наклона скважин составлял 30° . Для бурения использовали станок СБА-500 с комплектом контрольно-измерительных приборов (КИП), промывочный насос ГР-16/40, однослойные и импрегнированные алмазные коронки диаметрами 46, 59, 76 мм. При бурении коронками 59 и 76 мм применяли бурильные трубы диаметром 50 мм с замковыми соединениями ЗА-42, а коронками диаметром 46 мм – бурильные трубы 33,5 мм с ниппельно-замковыми соединениями специальной конструкции. Применение оборудования, инструмента и КИП позволило изменять и замерять окружную скорость коронок ω , удельную осевую нагрузку на коронку G_o и расход промывочной жидкости на единицу площади коронки. Рассмотрим влияние на механическую скорость V_m : окружной скорости ω и удельной осевой нагрузки G_o . Из зависимости $V_m = f(\omega)$ для различных диаметров алмазных коронок следует, что механическая скорость прямо пропорциональна окружной скорости. Более того, для диаметра коронки 59 мм можно говорить о слабо выраженном параболическом характере анализируемой зависимости. Рассмотрев зависимость проходки на коронку от средней категории проходимых пород, материал для анализа которой также был получен в результате сравнительных испытаний отработки коронок различных типов на ряде объектов (Чудакском рудном поле, объектах ГТП «Шаркий», Узбекистан; участке Сюрената Красногорской ГГЭ, Амлейлыкской ГРП) в 2005 г., можно сделать вывод, что в диапазоне поставленного эксперимента категория пород существенно влияет на проходку на коронку: чем выше категория пород, тем ниже проходка на коронку (закон, близкий к гиперболическому). Это обстоятельство следует учитывать при разработке новых коронок.

Были построены зависимости механической скорости бурения от удельной осевой нагрузки для всех диаметров коронок и для фиксированных значений окружных скоростей. Скорость прироста механической скорости снижается по мере увеличения удельной осевой нагрузки. Отсюда следует, что наращивать осевую нагрузку целесообразно до определенного предела, после которого существенного выигрыша в скорости бурения не происходит. При выборе соотношения между частотой вращения снаряда и удельной осевой нагрузкой предпочтение следует отдавать более интенсивному наращиванию первой по сравнению со второй. Полученные данные

свидетельствуют о возможной оценке коэффициента окружных сопротивлений при бурении. «Выполаживание» кривых механических скоростей свидетельствует об отсутствии линейной связи между осевой нагрузкой и окружной силой сопротивления, т. е. о нарушении закона сухого трения, при котором сила трения прямо пропорциональна нормальной реакции связи.

Третье защищаемое положение. Доказано, что при алмазном бурении в крепких породах с использованием породоразрушающего инструмента диаметрами 46, 59 и 76 мм рациональными являются режимные параметры, при которых частота вращения должна быть более 1000 об/мин, а удельные нагрузки не должны превышать 5-10 МПа на породоразрушающий инструмент.

Чему отдавать предпочтение: увеличению осевой нагрузки или наращиванию частоты вращения снаряда? Изучение данного вопроса, как правило, производится на основе экспериментальных исследований путем построения графиков зависимости механической скорости V_m от осевой нагрузки P и частоты вращения снаряда при фиксированных значениях одного из параметров. Почти во всех случаях с увеличением названных параметров механическая скорость возрастает. Правда, при значительных осевых нагрузках кривая $V_m = f(P)$ начинает «выполаживаться», а то и вовсе падать.

Для рассмотрения данного вопроса был проанализирован опытный материал, представленный кафедре механики РГГРУ Тульским НИГП. Поскольку в опытах ТулНИГП забойная мощность не замерялась, пришлось возвратиться к прежней методике: подразделять опытные данные на выборки с примерно одинаковым произведением удельной осевой нагрузки G_0 и линейной окружной скорости вращения коронки ω (т.е. $G_0 \cdot \omega$). Были построены графики $V_m = f(\omega)$, и $V_m = f(G_0)$.

Оказалось, что с возрастанием G_0 механическая скорость сначала проявляет тенденцию к возрастанию, а затем начинает падать. Таким образом, на основе полученных новых данных можно с уверенностью утверждать, что при алмазном бурении в крепких породах с использованием породоразрушающего инструмента 46,59 и 76 мм предпочтительными являются режимные параметры с повышенными частотами вращения снаряда (более 1000 об/мин), но с пониженными удельными нагрузками (не более 5-10 МПа).

Четвертое защищаемое положение. Установлена связь комплексного показателя и критерия технической эффективности алмазного бурения с режимными параметрами, глубиной скважины и проходкой за сутки.

Мы уже констатировали, что к числу важнейших параметров режима бурения, оказывающих непосредственное влияние на механическую скорость, относятся передаваемая на забой осевая нагрузка и частота вращения бурового снаряда.

В 2004 – 2005 гг. в ТулНИГП при нашем участии осуществлены специальные исследования по выявлению величины выступов алмазов из

матрицы коронки и сопоставлению механической скорости при бурении коронками двух типов: с электрохимической заточкой и без нее. Мы использовали этот материал и построили зависимости средней механической скорости бурения от удельной осевой нагрузки при различной окружной скорости вращения коронки и от окружной скорости коронки при различных удельных осевых нагрузках. Оказалось, что с увеличением и удельной осевой нагрузки P_0 и линейной окружной скорости ω вращения коронки, механическая скорость бурения возрастает. Полученный результат, как уже отмечалось, также свидетельствует о перспективности режимов бурения с повышенными частотами вращения снаряда. Были построены зависимости и механической скорости от указанных режимных параметров, но для разных типов алмазных коронок: без электрохимической заточки и с заточной. Можно сделать следующий вывод, что коронки с электрохимической заточкой обладают более высокими эксплуатационными качествами, чем коронки без заточки. Средняя механическая скорость бурения такими коронками при прочих равных условиях превышает аналогичную скорость бурения коронками без заточки более чем в 1,5 раза.

Одна из идей, используемых в диссертации введение комплексного показателя режимов бурения, равного произведению осевой нагрузки на частоту вращения снаряда ($P_0 \cdot \omega$), и изучение влияния именно этого показателя на механическую скорость бурения. Данный показатель по своей сути мощность, реализуемая при бурении. Сама мощность при многих экспериментальных работах не измерялась. Материал, полученный в таких исследованиях подразделен на группы, для каждой из которых произведение $P_0 \cdot n$ (где n – частота вращения снаряда) примерно одинаково, т. е. можно более точно проследить влияние P_0 и n на механическую скорость бурения. В результате получены более четкие зависимости механической скорости бурения от названных параметров, на основании которой можно сделать следующие выводы. Первоначально устанавливается максимально возможная для данной коронки осевая нагрузка и в соответствии с мощностью двигателя станка подбирается частота вращения снаряда. Измеряется механическая скорость бурения. Далее уменьшается осевая нагрузка и пропорционально ей увеличивается частота вращения. Механическая скорость бурения должна возрастать. Операции продолжают до тех пор, пока механическая скорость не понизится. Предыдущее сочетание осевой нагрузки и частоты вращения снаряда (т.е. до снижения скорости) и будет оптимальным.

Представляется, что использование комплексного показателя режимных параметров для дальнейшего изучения процесса бурения скважин с целью его интенсификации весьма перспективно.

В районе Норильского рудного узла была пробурена разведочная скважина глубиной 2504м. Бурение осуществлялось станком ЗИФ 1200МР. В качестве промывочной жидкости применяли полимер-солевой раствор. Подачу раствора осуществляли двумя насосами НБ-4, которые работали поочередно, один на обслуживании. Была использована буровая вышка ВМР

24/30. Конструкция скважины следующая: до 20 м скважину бурили инструментом диаметром 168 мм с постановкой кондуктора, далее до глубины 32 м – диаметром 146 мм с посадкой промежуточной колонны, всю остальную часть скважины бурили комплексом КССК-76 с диаметром алмазного породоразрушающего инструмента 76 мм.

Были построены зависимости проходки за сутки от глубины скважины и зависимость затрат мощности N при бурении от глубины скважины, а также зависимость средней проходки Π за сутки от режимных параметров – числа оборотов в минуту; и осевой нагрузки. Из этих зависимостей следует, что по мере возрастания глубины скважины проходка за сутки монотонно падает.

Переходим к рассмотрению возможностей критерия технической эффективности q_1 . Для изучения бурового процесса первоначально рассмотрим зависимость этого критерия от глубины скважины L . Эта зависимость представлена на рис.2.

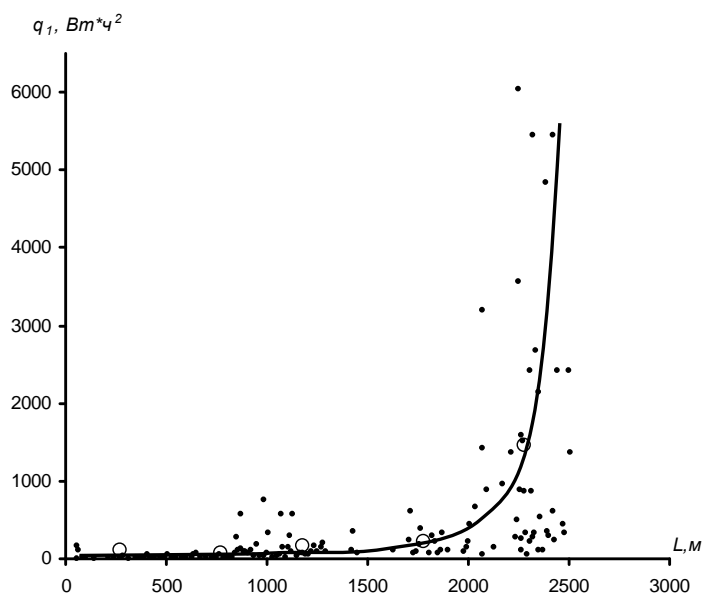
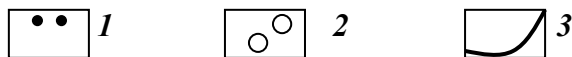


Рис.2. Зависимость удельного механического критерия технической эффективности q_1 от глубины скважины.



1 – индивидуальные значения q_1 ; 2 – среднеарифметические значения q_1 (по участкам); 3 – эмпирическая аппроксимация функции среднеарифметических значений q_1 (по участкам).

Из нее следует: на начальных интервалах бурения вплоть до глубины скважины 2000 м этот критерий монотонно возрастает, затем резко ползет вверх. Это значит, что эффективность бурения после 2000 м резко уменьшается. Этот результат получен впервые и он говорит сам за себя. Использование комплекса КССК-76 нерационально после глубины скважины 2000 м. Далее получен еще более поразительный результат. На рис.3. показана зависимость q_1 от проходки за сутки. Оказывается, что чем больше проходка за сутки, тем ниже q_1 и, следовательно, процесс бурения протекает

более эффективно. При n меньше 10 м/сутки процесс бурения становится вообще малоэффективным! Таким образом, если бурение скважины, аналогичной описанной, осуществляется с производительностью менее 10 м/сутки, то такой процесс бурения протекает наименее эффективно, т.е. с наибольшими затратами энергии и с наибольшими затратами времени. Это, безусловно, новый и в научном и в практическом отношении результат.

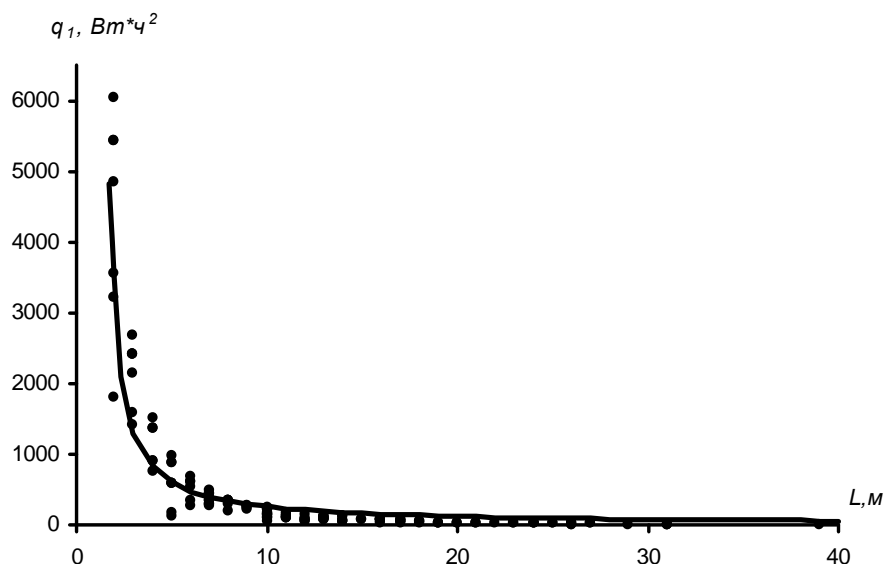
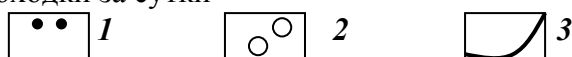


Рис.3. Зависимость удельного механического критерия технической эффективности q_1 от проходки за сутки



1 – индивидуальные значения q_1 ; 2 – среднеарифметические значения q_1 (по участкам); 3 – эмпирическая аппроксимация функции среднеарифметических значений q_1 (по участкам).

Техническая и экономическая часть. В таблице представлены результаты сопоставления коронок ТулНИГП и Voart Longyaer.

Критерии уровней	Коронки	
	ТулНигп	Voart Longyaer
Техническая эффективность	4,625	4,650
Надежность	3,7	3,7
Долговечность	3,3	3,58
Универсальность	4	4
Перспективность конструкции	3,5	4
Уровень дизайна	4	4
Расход дефицитных материалов	2,6	1,8
Критерий технического уровня	3,433	3,333

Вывод: по технической эффективности коронки ТулНИГП мало превосходят коронки «Boart Longyaer», но при более низкой стоимости коронки ТулНИГП более предпочтительны для использования в отечественной практике, чем коронки «Boart Longyaer».

Экономическая эффективность при рациональной организации бурения скважины комплексом КССК-76

Общая стоимость проходки всей скважины

$C = 3000000$ руб.

Стоимость всей скважины при использовании рациональной технологии

$C' = 2395356.54$ руб.

Возможный экономический эффект

$\Delta = 3000000 - 2395356.54 = 604643.46$ руб

Вывод: при рациональной организации бурения скважины возможная экономия составит 20,15%.

Основные выводы и рекомендации

1. Изучение имеющихся литературных источников показало, что целый ряд вопросов технологии и техники бурения разведочных скважин алмазным способом изучен недостаточно и требует проведения дальнейших исследований. Не дано теоретическое обоснование обобщенного коэффициента обобщенных окружных сопротивлений, недостаточно обосновано рациональное соотношение между осевой нагрузкой и частотой вращения снаряда в различных условиях и др.

2. С использованием введенного Лагранжем понятия «обобщенная сила» дано теоретическое обоснование обобщенного коэффициента обобщенных окружных сопротивлений при вращательном бурении скважин.

3. Обобщенный коэффициент обобщенных окружных сопротивлений объективно характеризует общие сопротивления при бурении разведочных скважин и может быть использован для дальнейшего изучения и совершенствования бурового процесса.

4. Проведенные, достаточно масштабные исследования, показали, что обобщенный коэффициент обобщенных окружных сопротивлений с увеличением удельной осевой нагрузки на снаряд первоначально снижается, а затем начинает нарастать.

5. Интенсивность нарастания механической скорости снижается по мере увеличения удельной осевой нагрузки. В связи с этим наращивать осевую нагрузку целесообразно до определенного предела, после которого существенного выигрыша в скорости бурения не происходит. Этот предел рекомендуется устанавливать опытным путем для каждого конкретного случая бурения.

6. При алмазном бурении в крепких породах с использованием породоразрушающего инструмента диаметром 46, 59 и 76 мм предпочтительными являются режимные параметры с повышенными

частотами вращения снаряда (более 1000 об/мин), но с пониженными удельными нагрузками (не более 5-10 мПа).

7. Проведенные исследования показали, что обобщенные показатели бурения, например такие как проходка скважины за сутки (вместо рейсовой скорости) или расход топлива (вместо потребляемой мощности) могут быть использованы для изучения бурового процесса и его рационализации.

8. Эффективность процесса бурения, определяемая удельным механическим критерием эффективности q_1 позволяет оценить возможные пределы эффективного использования, например, комплекса КССК-76 по глубине скважины и особенно по производительности. Бурить скважины с производительностью менее 10 метров в сутки явно нерационально.

9. Категория пород существенно влияет на величину проходки на одну алмазную коронку. Изменение проходки на коронку с увеличением категории пород происходит примерно по линейному закону.

10. Коронки с электрохимической заточкой обладают более высокими эксплуатационными качествами, чем коронки без такой заточки.

11. Проведенные исследования позволили произвести примерную оценку технической и экономической эффективности рекомендуемых мероприятий. За счет их внедрения может быть получен эффект, соответствующий увеличению на 10% производительности бурения, снижению стоимости 1м бурения на 5%, уменьшению износа коронок на 10%.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Власюк В.И., Ребрик Б.М., Некоз С.Ю., Ахапкин Д.А. Влияние рейсовой и механической скорости на эффективность алмазного бурения.// Изв. Вузов. Геология и разведка, 2007, №1. с.70-71.

2. Власюк В.И., Ребрик Б.М., Некоз С.Ю., Ахапкин Д.А. Исследование влияния линейной окружной скорости и удельной осевой нагрузки при их постоянном произведении на механическую скорость бурения.// Изв. Вузов. Геология и разведка, 2007, №5. с.86-87.

3. Власюк В.И., Ребрик Б.М., Некоз С.Ю., Ахапкин Д.А. Изучение влияния режимных параметров на механическую скорость алмазного бурения.// Изв. Вузов. Геология и разведка, 2008, №3. с.77-80.

4. Власюк В.И., Ребрик Б.М., Некоз С.Ю., Скрипка В.И., Ахапкин Д.А. Влияние комплексного показателя режимных параметров на эффективность алмазного бурения.// Изв. Вузов. Геология и разведка, 2008, №5. с.75-77.

5. Ахапкин Д.А. Исследование влияния линейной окружной скорости и удельного осевого усилия на механическую скорость бурения при постоянном произведении указанных параметров. Сборник докладов VIII международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». М., Изд.РГГРУ, 2007. с. 3-4.

6. Ахапкин Д.А., Власюк В.И. Влияние рейсовой и механической скорости на эффективность алмазного бурения. Сборник докладов VIII

международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». М., Изд.РГГРУ, 2007. с. 5-6.

7. Некоз С.Ю., Власюк В.И., Ребрик Б.М., Ахапкин Д.А. Изучение влияния режимных параметров на механическую скорость алмазного бурения. Сборник докладов VIII международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». М., Изд.РГГРУ, 2007. с. 15-16.

8. Ребрик Б.М., Некоз С.Ю., Ахапкин Д.А. Теоретические основы обобщенного коэффициента обобщенных окружных сопротивлений при вращательном бурении скважин. Сборник докладов VIII международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». М., Изд.РГГРУ, 2007. с. 17-19.

9. Сидоренко С.В., Ахапкин Д.А. Влияние осевого усилия на механическую скорость и износ буровой коронки, оснащенной вставками АКТМ. Сборник докладов VIII международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». М., Изд.РГГРУ, 2007. с. 20-21.

10. Ахапкин Д.А., Ребрик Б.М., Жаров А.С. Развитие представлений о обобщенном коэффициенте окружных сопротивлений при бурении скважин. Материалы конференции «Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленного комплексов города Москвы». М., Изд. КДУ, 2008, с.270-272.

11. Жаров А.С., Склянов В.И., Ахапкин Д.А., Ребрик Б.М. Экспериментальные исследования бурения глубокой скважины КССК-76. Материалы конференции «Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленного комплексов города Москвы». М., Изд. КДУ, 2008, с.276-277.

12. Сидоренко С.В., Ахапкин Д.А., Некоз С.Ю., Ребрик Б.М. Влияние комплексного показателя режимных параметров на эффективность алмазного бурения. Материалы конференции «Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленного комплексов города Москвы». М., Изд. КДУ, 2008, с.279-281.

13. Власюк В.И., Ребрик Б.М., Некоз С.Ю., Ахапкин Д.А. Обобщенный коэффициент обобщенных окружных сопротивлений при вращательном бурении скважин. // Совершен. техн. и технолог. бур. скважин на твердые полезн. ископаемые.: Межвуз. научн. темат. сб. – Екатеринбург: Издательство УГГУ, 2009. С.3-9

14. Склянов В.И., Ахапкин Д.А., Ребрик Б.М., Жаров А.С. Экспериментальные исследования бурения глубокой скважины комплексом КССК-76. // Совершен. техн. и технолог. бур. скважин на твердые полезн. ископаемые.: Межвуз. научн. темат. сб. – Екатеринбург: Издательство УГГУ, 2009. С.33-41

15. Ахапкин Д.А. Исследование влияния технологических факторов на механическую и рейсовую скорости и затраты мощности при алмазном бурении (защищаемые положения). Сборник докладов IX международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». М., Изд.РГГРУ, 2009. с.268