

На правах рукописи



ЖАРОВ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

**МЕТОДЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА
ТЕХНОЛОГИИ БУРЕНИЯ ГЛУБОКИХ РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН**

Специальность 25.00.14 – Технология и техника геологоразведочных работ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2010

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: доктор технических наук, профессор
Ребрик Борис Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Соловьев Николай Владимирович
кандидат технических наук
Петров Игорь Петрович

Ведущая организация: ФГУГП «Гидроспецгеология»

Защита диссертации состоится 24 ноября 2010 года в 13 ч. 00 мин. в аудитории 4-15^Б 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 22 октября 2010 года.

Ученый секретарь диссертационного
совета, кандидат технических наук



Назаров А.П.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Бурение скважин, особенно большой глубины, представляет собой достаточно сложный производственный процесс, включающий в себя совокупность отдельных частных процессов, отличающихся друг от друга как технологическими особенностями, так и применяемыми техническими средствами.

Всё возрастающая стоимость 1 м скважины диктует необходимость приведения технологических процессов бурения скважин к более высоким техническим и качественным характеристикам, а также к разработке, в дополнение к имеющимся, новых методов оценки и контроля ведения буровых работ.

В настоящее время для бурения скважин применяется широкая номенклатура различных способов бурения и технических средств. В этих условиях принятие решения по выбору технологических решений и целесообразности их сочетания, в зависимости от поставленных задач, представляет довольно сложную научную задачу. И здесь особую актуальность приобретает вопрос разработки достаточно простых, сравнительно надежных и, главное, объективных методов оценки эффективности существующих технических средств и технологий в их совокупности.

Изучение и анализ литературных источников и фондовых материалов показал, что данный вопрос изучен недостаточно, по отношению к бурению глубоких геологоразведочных скважин на твердые полезные ископаемые. Необходимы новые исследования в этой области.

Таким образом разработка методов комплексной оценки эффективности и качества технологии бурения глубоких разведочных скважин является актуальной задачей требующей решения.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью диссертационной работы является повышение эффективности и качества технологии бурения глубоких разведочных скважин за счет разработки системы методов оценки эффективности и качества технологий бурения последних.

Для реализации указанной цели в диссертации поставлены и решаются следующие задачи:

1. Анализ и обобщение литературных источников и фондовых материалов, относящихся к тематике исследований в данной области.
2. Создание терминологической базы для исследований.

3. Разработка перечня объектов и элементов эффективности бурового процесса.

4. Определение подхода оценки технического уровня эффективности и уровня производительности бурения скважины, позволяющего определить границы «идеальной» и средней (допустимой, «приемлемой») степени эффективности.

5. Создание приближенной методики комплексной оценки эффективности бурения скважины, позволяющей провести безотносительное сопоставление уровня эффективности.

6. Разработка методики и рассмотрение численных примеров оценки уровня качества бурения для таких параметров, как точность попадания забоя в заданную зону, угол встречи забоя скважины с выдержанным по падению и простирацию пластом полезного ископаемого и степень соответствия трассы скважины проектной.

7. Возможная оценка технико-экономической эффективности результатов исследований.

8. Формулирование ряда практических рекомендаций.

9. Рассмотрение путей и направлений дальнейших исследований.

ИДЕЯ РАБОТЫ

Идея диссертации состоит в разработке системы методов оценки эффективности и качества технологий бурения глубоких разведочных скважин.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Поставленные задачи решались путем проведения теоретических и экспериментальных исследований. При проведении исследований широко использовалась современная измерительная техника и новые автоматические электронные системы записи выходных параметров. Обработка результатов наблюдений, расчеты полученных теоретических зависимостей и их анализ проводились с использованием методов математической статистики с помощью современных технических и программных средств.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА

Научная новизна представленной работы заключается в следующем:

1. Установлены зависимости уровня качества бурения на твердые полезные ископаемые:

- от величины отклонения забоя скважины от заданной зоны,
- от угла встречи забоя скважины с выдержанным по падению и простирацию пластом полезного ископаемого,

- от величины отклонения трассы скважины от проектной (заданной) зоны проводки при бурении вдоль продуктивной части пласта.

2. Выявлены зависимости удельного механического критерия эффективности, рассчитываемого через объем потребленного топлива:

- от глубины скважины,
- от механической скорости бурения.

3. Установлены зависимости предложенного экономического показателя – величины убытка:

- от величины отклонения забоя скважины от заданной зоны,
- от такого элемента качества как выход керна.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

Практическая ценность диссертационной работы заключается в следующем:

1. Новые термины, разработанные методы, подходы и программные средства оценки эффективности и качества технологии бурения являются базой для дальнейших исследований, а также могут быть использованы производственными предприятиями, которые занимаются бурением глубоких скважин.

2. Разработана приближенная методика оценки механического критерия технической эффективности как процесса бурения в целом, так и технологий, с помощью которых реализуется буровой процесс.

3. Предложен вариант оценки отдельных элементов достигнутого качества разведочного бурения с помощью такого экономического показателя как степень убытка.

4. Разработано программное средство позволяющее осуществлять прогнозирование и контроль ожидаемого качества бурения скважин.

5. Разработанные методики, приведенный в работе теоретический материал и результаты исследований могут быть использованы в учебном процессе, например, при изложении курсов «Бурение скважин на твердые полезные ископаемые».

ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

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

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

Основные положения диссертации докладывались на научных заседаниях научно-практической конференции «Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленного комплексов города Москвы» (РГГРУ, 2008 г.), IX Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (РГГРУ, 2009 г.).

Также основные положения, разработанные в диссертации, неоднократно докладывались на научных конференциях профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе с 2008 года, отражались в научно-исследовательских отчетах кафедры общей физики и механики и освещались в печатных работах (в том числе рецензируемых).

Автор награжден дипломом I степени в номинации за лучшую научно-исследовательскую работу: «Цикл научно-исследовательских статей по общей теме «Исследование и разработка системы комплексной оценки эффективности технических средств и технологий бурения глубоких разведочных скважин».

ПУБЛИКАЦИИ

Основные положения диссертационной работы изложены в 14 (четырнадцать) публикациях, 2 (две) из которых – в изданиях, рекомендуемых ВАК.

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИИ

Исследования явились продолжением, развитием и дополнением работ, начатых сотрудниками кафедры механики РГГРУ (Б.М. Ребриком, В.Н. Калиничевым, Н.В. Смирновым, А.П. Полежаевым, А.П. Назаровым, С.Ю. Некозом и др.) и были начаты автором во время обучения в аспирантуре.

Диссертационная работа состоит из оглавления, введения, шести глав, выводов и рекомендаций, списка литературы, включающего 95 наименований. Диссертация содержит 105 страниц машинописного текста, в том числе 21 рисунок и 15 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении диссертации обоснована актуальность работы, приведена география и объем проведенных исследований.

В первой главе проведен анализ существующих методов оценки эффективности технических средств и технологий бурения скважин, поставлена цель, обоснованы и сформулированы задачи исследований.

Во второй главе представлены предпосылки комплексной оценки эффективности технологий бурения глубоких разведочных скважин, введены

термины «объект» и «элемент» эффективности процесса бурения, приведен их перечень и подразделение.

В третьей главе рассмотрены теоретические основы оценки уровня качества бурения глубоких разведочных скважин, разработаны методики оценки уровня качества бурения для таких параметров, как точность попадания забоя в заданную зону, угол встречи забоя скважины с выдержанным по падению и простирацию пластом полезного ископаемого и степень соответствия трассы скважины проектной, предложена методика прогнозирования и контроля ожидаемого качества бурения скважин.

Четвертая глава посвящена опытно-производственным исследованиям оценки показателя эффективности с привлечением производительности – объем бурения за сутки.

В пятой главе рассмотрена технико-технологическая оценка бурения глубоких скважин, представлены баланс времени при бурении скважин, зависимости влияния глубины скважины, осевой нагрузки и частоты вращения бурового снаряда на скорость бурения, дана приближенная оценка механического критерия технической эффективности.

В шестой главе посвящена возможной оценки технико-экономической эффективности результатов исследований, произведены оценка качества бурения, оценка показателя эффективности по расходу топлива, предложен один из возможных вариантов оценки отдельных элементов достигнутого качества разведочного бурения с помощью экономического показателя – величины убытка, даны численные примеры расчетов.

В заключении работы сформулированы наиболее важные выводы и дан ряд практических рекомендаций.

В процессе работы автору оказывали бескорыстную помощь и поддержку ценными советами и замечаниями: Д.Н. Башкатов, Б.М. Ребрик, А.Г. Калинин, В.Н. Калиничев, 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.

Считаю своим долгом выразить признательность научному руководителю диссертации профессору Б.М. Ребрику, а также профессорам Д.Н. Башкатову, А.Г. Калинин, Р.А. Ганджумяну и В.Н. Калиничеву, сделавшим ряд ценных замечаний по работе. Автор благодарит сотрудников кафедры бурения скважин и кафедры общей физики и механики, оказавших помощь при подготовке диссертации к защите.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

На основании проведенных исследований в диссертации выносятся следующие защищаемые положения.

Первое защищаемое положение

Использование введенной терминологии и предложенного перечня объектов и элементов эффективности позволяет обоснованно подходить к выбору «элементов эффективности» при оценке эффективности «объекта эффективности».

Как было упомянуто ранее, особую актуальность приобретает вопрос разработки достаточно простых, сравнительно надежных и, главное, объективных методов оценки эффективности, существующих технических средств и технологий в их совокупности. Однако задача осложняется тем обстоятельством, что общепринятого взгляда на само понятие «эффективность» не существует.

Прежде всего, попытаемся разобраться и определить само понятие «эффективность». Следует отдавать себе полный отчет в том, что строго научно определить «эффективность», достаточно емкое и фундаментальное понятие, столь же затруднительно как, скажем, определить в теоретической механике, что такое «удар». Одно из возможных определений эффективности может звучать так: эффективность любого процесса – это степень удовлетворения данным процессом первоначально поставленных перед ним задач. Чем это «удовлетворение» ближе к поставленному, тем процесс эффективнее.

Нельзя говорить «лучше» или «хуже» безотносительно ни к чему. Обязательно нужно иметь в виду, что сопоставляется. Так вот, в бурении – множество доступных для сопоставления и противопоставляемых друг другу изделий. Эти изделия (или технологии) условимся называть объектами эффективности. К ним можно отнести все, относящееся к бурению. Например, создан и изготовлен новый буровой станок. Его необходимо по каким-то качествам сопоставить со старым, используемым на данный момент. Буровой станок с полным основанием может быть отнесен к понятию «объект эффективности». Любой другой компонент бурения: технический, технологический, инфраструктурный может быть также рассмотрен как объект эффективности. Следовательно, под **объектом эффективности** мы будем понимать любой компонент, включенный в осуществление процесса бурения скважин и влияющий на эффективность всего процесса.

Таблица 1

Пример перечня объектов и элементов эффективности бурового процесса

Элементы эффективности	Объекты эффективности												
	Способ бурения скважин	Породоразрушающий инструмент	Бурильные трубы и их соединения	Обсадные трубы и их соединения	Забойные механизмы	Буровые вышки и мачты	Буровые насосы	Компрессоры	Буровые станки и установки	Буровой комплекс в целом	Бурение отдельно взятой скважины	Бурение комплекса (группы) скважин	Бурение скважин в отдельно взятом регионе
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Технические элементы													
Производительность	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+
Техническая эффективность	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-
Надежность	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
Безопасность	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-
Элементы качества													
Выход керна	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-
Качество керна для кернометрических исследований	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-
Степень сохранения заданных пространственных параметров скважины	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-
Отклонение забоя от заданной сферы	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-
Точность оценки глубины скважины	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
Степень сохранения заданных размеров скважины по поперечному сечению	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
Экономические элементы													
Стоимость 1 м проходки	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
Стоимость одной скважины	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
Стоимость изготовления изделия	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-

Тот же буровой станок можно оценить по многочисленным параметрам: производительности, надежности, эргономичности, дизайну, габаритным

размерам, удобству обслуживания, ремонтпригодности, стоимости изготовления и т.д. Весь этот перечень с полным основанием можно отнести к элементам эффективности. Для каждого из них можно разработать свою шкалу эффективности, наконец, установить уровень значимости для каждого элемента и на этом основании определить частный комплексный критерий эффективности. Таким образом, под элементом эффективности будем понимать какой-то параметр (фактор) эффективности, влияющий на общую оценку эксплуатационных качеств объекта эффективности в целом.

Задача же подразделения, как объектов, так и элементов эффективности процесса бурения скважин ставится самой практикой буровых работ.

На данный момент существовали лишь разрозненные указания на те или иные критерии, их особенности и области применения, и отсутствовали даже косвенные указания, к каким частям или составляющим процесса бурения они относятся или приложены и, главное, какую особенность данного составляющего они характеризуют. То есть, предложенный перечень оказался имеющим частный характер и относился к подразделению только существующих критериев эффективности.

Необходима приемлемая для всех база, которая позволила бы в дальнейшем вести плодотворную работу по совершенствованию как самой системы расчета и использования комплексных критериев эффективности, так и определения и установления области применения каждого частного критерия, характеризующего ту или иную сторону технологии и технических средств, используемых в бурении.

В табл. 1 приведен пример перечня объектов и элементов эффективности бурового процесса. И если в предыдущих подобного рода разработках авторы ограничивались лишь бурением неглубоких, главным образом, инженерно-геологических скважин, то в предложенном перечне фигурируют и глубокие скважины и даже целые кусты скважин. Естественно, в процессе развития и совершенствования буровых работ этот перечень будет претерпевать существенные уточнения, дополнения и конкретизацию.

Второе защищаемое положение

Для оценки показателя технической эффективности бурения скважин возможно использовать такие показатели как расход топлива при бурении и один из укрупненных показателей производительности бурения – объем бурения за сутки.

Под технической эффективностью понимается фактор производства буровых работ, учитывающий производительность бурового оборудования в совокупности с затратами энергии. Техническая эффективность отражает степень

совершенства только технической стороны процесса бурения. Она является важнейшей составляющей при оценке общего технического уровня.

Для оценки показателя технической эффективности предлагаем использовать удельный интегральный механический критерий эффективности – q_1 . Критерий q_1 является наиболее объективным и достаточно мощным показателем технической эффективности процесса бурения скважины, учитывающий производительность бурового оборудования в совокупности с затратами энергии.

Удельный критерий технической эффективности рассчитывается по формуле:

$$q_1 = W \cdot t \cdot \frac{(l_6)^2}{(l)^2} = N \cdot t^2 \cdot \frac{(l_6)^2}{(l)^2}, \quad (1)$$

где W – затраченная на проходку интервала l скважины энергия, t – время бурения интервала, l_6 – базовый интервал бурения, равный 1 м.

Поскольку затраченная на бурение энергия может быть отождествлена с затратами топлива объемом V , тогда, учитывая, что $W = V \cdot K$, где K – переводной коэффициент, поделим последнее выражение для q_1 на K , как на постоянный множитель, одинаковый для всех случаев, и получим расчетное выражение для $(q_1)_T$ – удельного механического критерия эффективности через объем потребленного топлива:

$$(q_1)_T = V \cdot t \cdot \frac{(l_6)^2}{(l)^2}, \quad (2)$$

В качестве меры затрат энергии при бурении использованы затраты топлива, что без сложных преобразований дает возможность вычислять критерий $(q_1)_T$ в л.ч.

Проанализируем зависимости критерия $(q_1)_T$ от глубины скважины и механической скорости бурения.

На рис. 1 показана зависимость критерия $(q_1)_T$ от глубины скважины. Из графика следует, что с возрастанием глубины процесс бурения «перестраивается» таким образом, что становится все более совершенным и примерно с глубины 145 м достигает своего предела. До этой глубины процесс бурения осуществляется явно неэффективно и требует рационализации.

На рис. 2 показан график взаимосвязи механической скорости бурения и критерия $(q_1)_T$. Из графика следует, что большим значениям механической скорости соответствует меньшие значения критерия $(q_1)_T$.

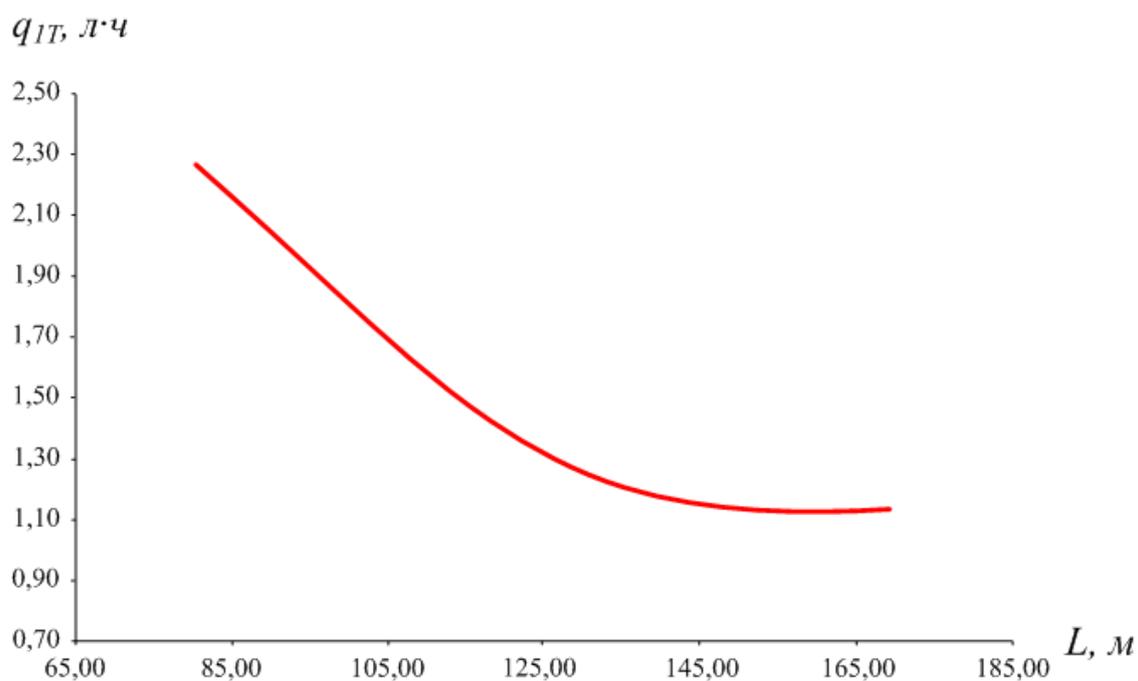


Рис. 1. Зависимость критерия $(q_1)_T$ от глубины скважины

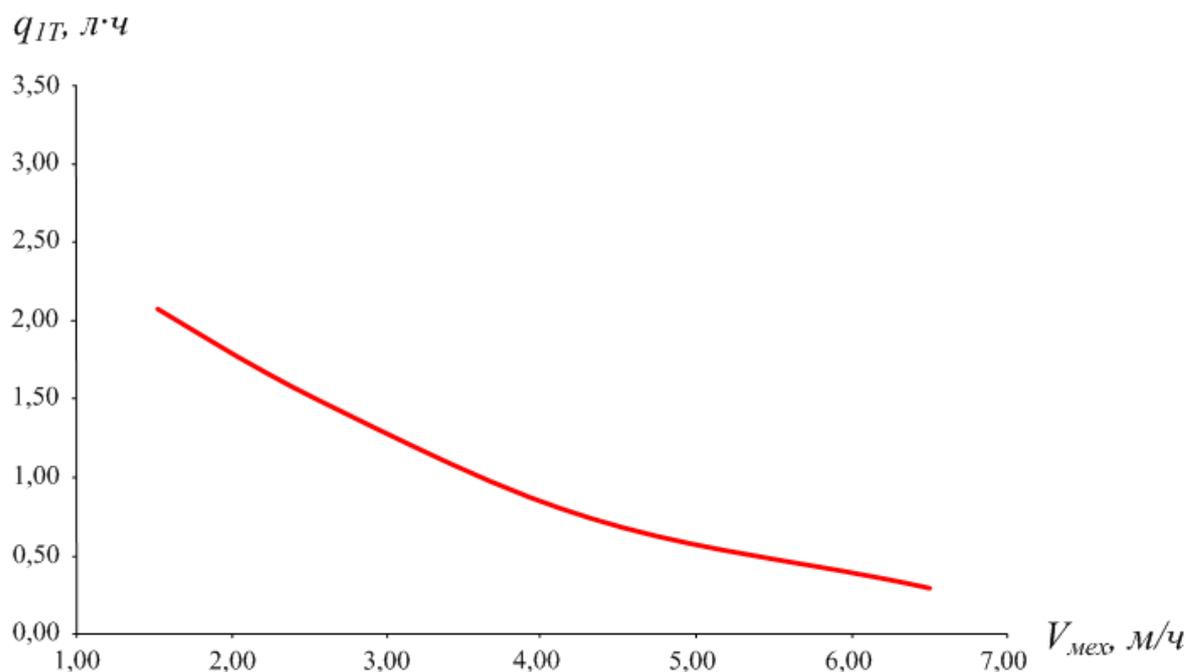


Рис. 2. Взаимосвязь механической скорости бурения и критерия $(q_1)_T$

Отсюда можно сделать вывод: процесс бурения становится более эффективным, когда проходка осуществляется с большими механическими скоростями. Иными словами, в данном случае стремление к достижению большей механической скорости одновременно будет приводить к рационализации бурового процесса. Следует заметить, что увеличение механической скорости можно осуществить за счет больших затрат энергии. Однако в нашем случае

наблюдается ситуация, когда увеличение одного показателя приводит к уменьшению другого, т.е. к достижению большего положительного эффекта. Подобное в практике бурения реализуется далеко не всегда.

Следует отметить, что используя (1) можно рассчитать удельный механический критерий эффективности q_1 также для скважины, энергоснабжение которой осуществляется централизованно от государственной сети, привлекая при этом для расчетов данные по затратам электроэнергии, например, с установленного счетчика электроэнергии.

Приведенные зависимости построены на основании данных полученных при бурении гидрогеологической скважины летом 2007 г. в пос. Становое Липецкой области.

В 1992-93 годах в районе Норильского рудного узла была пробурена разведочная скважина глубиной 2504 м. В ходе проходки вели замеры глубины скважины, проходки за сутки и др. Все замеренные и рассчитанные данные были сведены в сводную таблицу. Всего было обработано 237 замеров. В последующем данные таблицы использовали для построения графиков и зависимостей.

Казалось бы, некоторая обобщенность и укрупненность измеряемых параметров (например, проходки за сутки), не давала особых надежд на получение значимых научных результатов и выводов. Однако, более углубленный и кропотливый анализ полученного материала полностью опроверг все сомнения.

Критерий технической эффективности рассчитывается по формуле (1), но поскольку во всех случаях время бурения интервала составляло 1 сутки, а для последующего анализа достаточно было оперировать относительными величинами q_1 , последний рассчитывался по упрощенной формуле (3), а постоянный множитель просто отбрасывался:

$$q_1 = N \cdot \frac{(l_6)^2}{(l)^2}, \quad (3)$$

Рассмотрев 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 $\Pi < 10$ м/сутки процесс бурения становится малоэффективным. И этот результат получен на основе укрупненных показателей бурения. Эмпирическая функция, описывающая этот результат, имеет вид:

$$q_1 = \frac{2250}{\Pi - 1,125}, \quad (4)$$

Таким образом, если бурение скважины, аналогичной пробуренной, осуществляется с производительностью менее 10 м/сутки, то такой процесс

бурения протекает наименее эффективно, т.е. с наибольшими затратами энергии и с наибольшим временем.

Бурение скважины было завершено в августе 1993 года, а изучение и анализ материала выполняется спустя 15 лет, по причине того, что появилась возможность вновь осмыслить полученный по скважине ценнейший материал с учетом исследований проводимых в рамках настоящей диссертационной работы.

Третье защищаемое положение

При оценке уровня качества бурения на твердые полезные ископаемые следует учитывать такие параметры как точность попадания забоя в заданную зону, угол встречи забоя скважины с выдержанным по падению и простиранию пластом полезного ископаемого и степень соответствия трассы скважины простиранию пласта.

При оценке уровня качества бурения скважин необходимо учитывать широкий набор различных самостоятельных элементов (комплекс элементов качества).

Так как при бурении все скважины «отклоняются» от первоначально заданного (проектного) направления, а количественно оценить отклонение, при существующем уровне знаний, не представляется возможным, то возникает необходимость разработки методов определения уровня качества для оценки конкретной величины фактического отклонения забоя или ствола для каждой скважины от ее проектной траектории.

Следует отдельно выделить параметры, представляющие первостепенный интерес, – точность попадания забоя в заданную область (например, в «купол» продуктивного горизонта, при разведке соляных месторождений, соляной купол – форма залегания каменной соли в земной коре, или же при разведке месторождений коренного золота), угол встречи забоя скважины с выдержанным по падению и простиранию пластом полезного ископаемого или другими слоями горных пород (например, для оценки мощности продуктивной толщи) и степень соответствия фактической трассы скважины проектной (например, бурение скважин при подземном выщелачивании полезных ископаемых, бурение по пластам при разработке метано-угольных месторождений, бурение по пластам из горных выработок в современном процессе добычи угля). Последний параметр необходим, прежде всего, при бурении горизонтальных и наклонных скважин, которые бурят с целью продольного вскрытия продуктивной толщи. Расположение горизонтального или наклонного участка скважины должно соответствовать форме той части пласта, где предполагается бурение данного участка. Другими словами, горизонтальный участок скважины должен

располагаться вдоль продуктивной части пласта и по возможности не выходить за его границы.

Определять частный уровень качества рассматриваемых выше элементов предлагается по определенным методикам по 5-балльной безразмерной шкале.

Оценивать точность попадания забоя в заданную область нами предлагается по «сферической модели» (рис. 3, а), где центр сфер и есть центр проектной (заданной) области. Радиус малой сферы (r), внутрь которой или на ее границу следует «попасть» забоем скважины, будет соответствовать оценке «пять» ($Y_\rho = 5$). Радиус большой сферы (R), попадание на границу которой еще допустимо, соответствует $Y_\rho = 1$.

Данную модель можно применять, например, при оценке качества попадания забоя скважины в «купол» продуктивного горизонта, при разведке соляных месторождений (соляной купол – форма залегания каменной соли в земной коре), или же при разведке месторождений коренного золота. Также, предлагаемая модель количественной оценки качества бурения применима и при бурении скважин на жидкие и газообразные полезные ископаемые.

Уравнение для оценки уровня качества бурения по точности попадания забоя в заданную область:

$$Y_\rho = 5 - \frac{4}{(R - r)} \cdot (\rho - r), \quad (5)$$

где ρ – переменная величина:

$$r \leq \rho \leq R. \quad (6)$$

Линейная зависимость $Y_\rho(\rho)$ приведена на рис. 4, а.

Для определения уровня качества Y_ρ возможно использование и квадратичной зависимости:

$$Y_\rho = 5 - \frac{4}{(R^2 - r^2)} \cdot (\rho^2 - r^2). \quad (7)$$

Модель для оценки уровня качества представлена на рис. 3, б. Квадратичная зависимость $Y_\rho(\rho^2)$ приведена на рис. 4, б.

Аналогичным образом, по «модели конусов» (рис. 5), предлагается оценивать угол встречи забоя скважины с пластом, где ось конусов есть заданный угол встречи. Угол (γ_1) между осью и образующей малого конуса, внутри которого или по его границе должна располагаться «линия» встречи скважины с пластом, будет соответствовать оценке $Y_\gamma = 5$. Угол (Y) между осью и образующей большого конуса, попадание на границу которого является еще допустимым, соответствует «единице» $Y_\gamma = 1$.

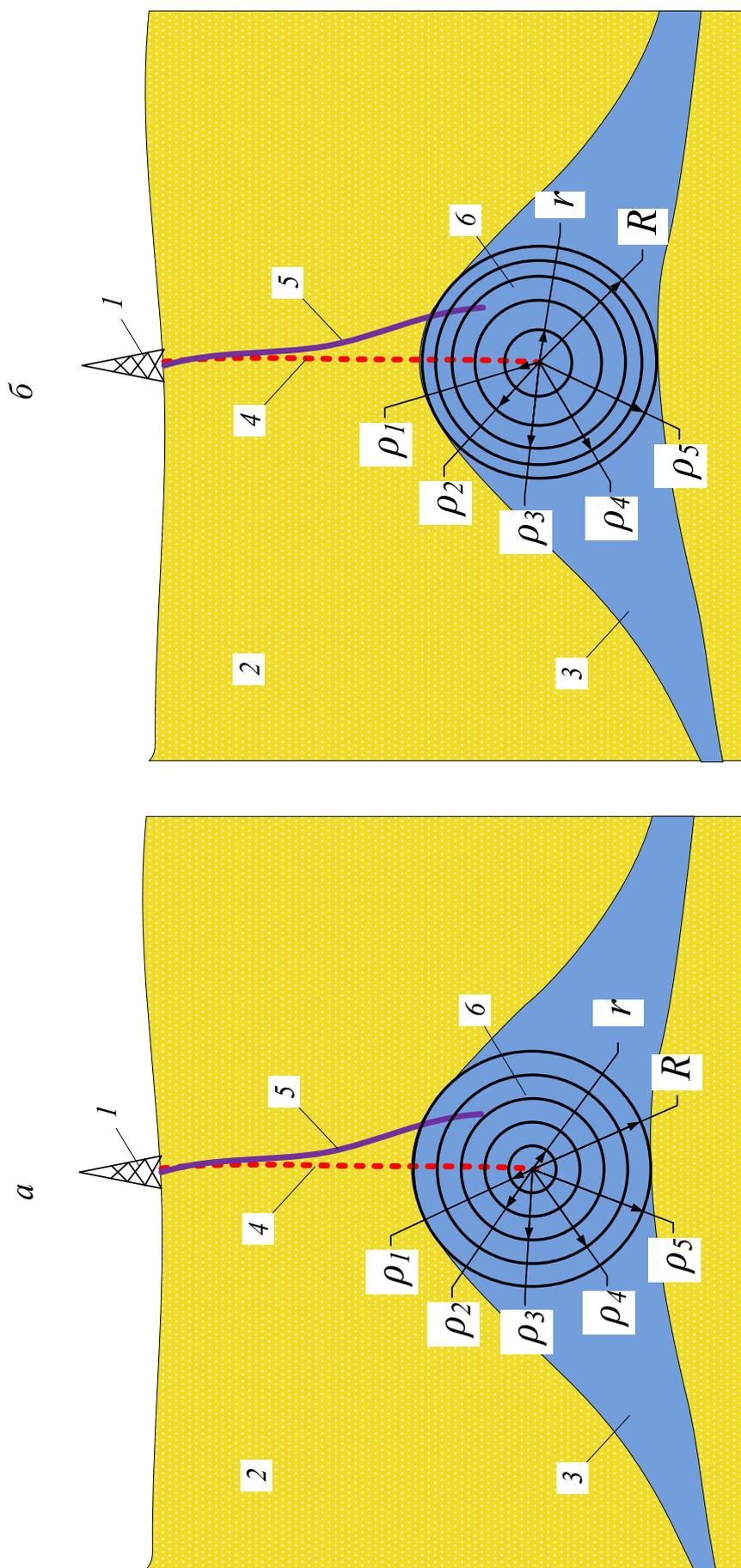


Рис. 3. Приближенная модель для оценки уровня качества по точности попадания забоя в заданную область: *a* – при линейной зависимости $Y_p(\rho)$, *б* – при квадратичной зависимости $Y_p(\rho^2)$; 1 – буровая вышка, 2 – массив горных пород, 3 – пласт полезного ископаемого, 4 – проектная трасса скважины, 5 – фактическая трасса скважины, 6 – заданная зона попадания.

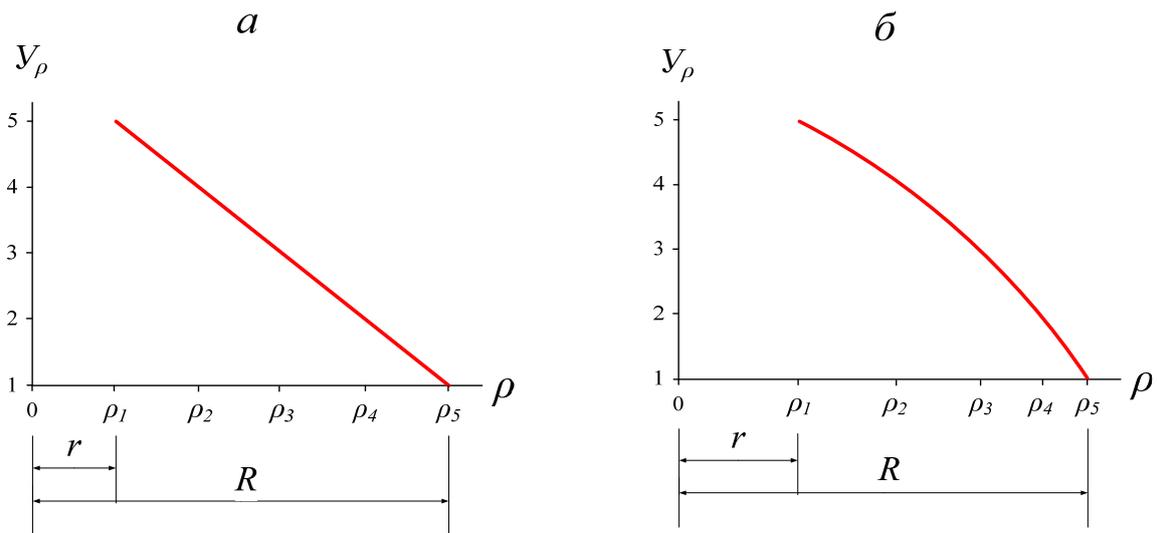


Рис. 4. Линейная (а) и квадратичная (б) зависимости $Y_\rho(\rho)$.

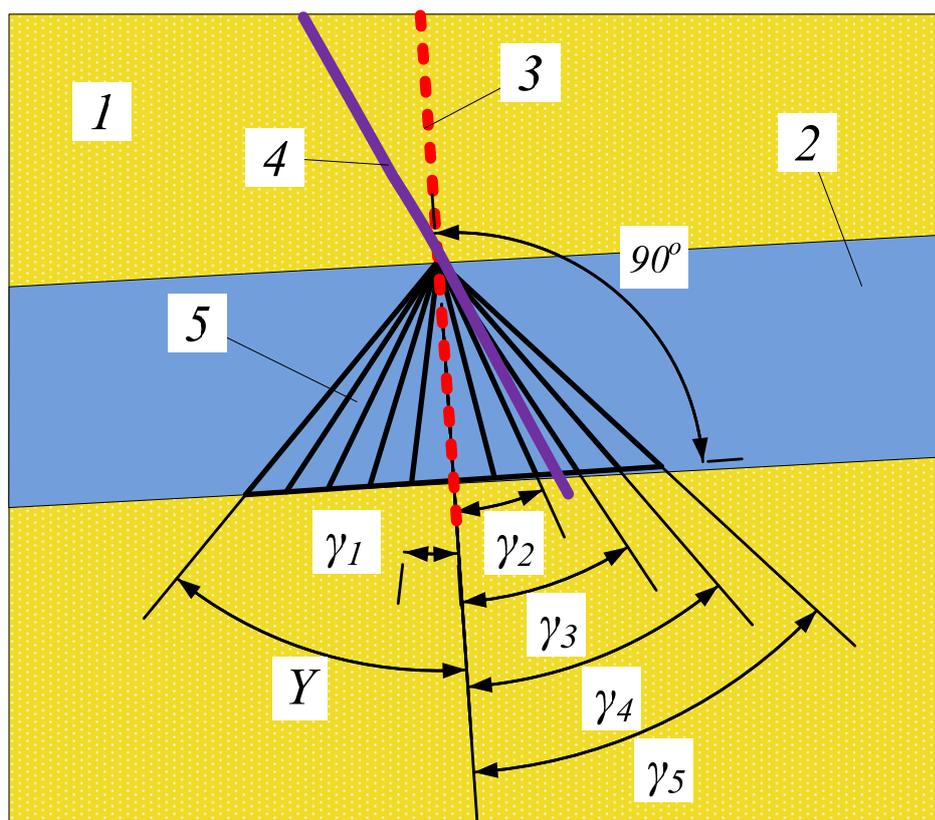


Рис. 5. Приближенная модель для оценки уровня качества по углу встречи забоя скважины с пластом при линейной зависимости $Y_\gamma(\gamma)$; 1 – массив горных пород, 2 – пласт полезного ископаемого, 3 – проектная трасса скважины, 4 – фактическая трасса скважины, 5 – заданная зона попадания.

Уравнение для оценки уровня качества бурения по углу встречи забоя скважины с пластом полезного ископаемого:

$$Y_\gamma = 5 - \frac{4}{(Y - \gamma_1)} \cdot (\gamma - \gamma_1), \quad (8)$$

где γ – переменная величина:

$$\gamma_1 \leq \gamma \leq Y. \quad (9)$$

Остальные функциональные и графические зависимости аналогичны рассмотренному ранее (выше) уровню Y_ρ .

Данную модель можно использовать, например, для оценки качества бурения скважины с целью определения мощности продуктивной толщи.

Задав «границы» (R и r ; Y и γ_1), можно определить уровень качества бурения скважины по точности попадания забоя в заданную область и углу встречи забоя скважины с пластом. В настоящее время действуют два метода определения допустимых отклонений забоев скважин от проектного положения: метод, разработанный Всероссийским научно-исследовательским институтом буровой техники (ВНИИБТ), по которому основным показателем при установлении допустимых отклонений является назначение скважины, и метод, разработанный совместно Государственным научно-исследовательским проектным институтом (ГНИПИ) «Гипроморнефтегаз» и Азербайджанским институтом нефти и химии, для случаев бурения кустов наклонно-направленных скважин в морских условиях.

Степень соответствия фактической трассы скважины проектной предлагается оценивать следующим образом (впервые сформулировано А.Г. Калининым). На горизонтальном (или наклонном) участке скважины, расположенном вдоль продуктивной части пласта (рис. 6, а, б), выделяется ряд сечений. Число сечений определяется в первую очередь технологическими требованиями и протяженностью горизонтальной или наклонной части скважины. Оно также зависит от числа проводимых измерений пространственного положения забоя и характера трассы скважины. Отклонение ствола скважины, рассматриваемого по выделенным сечениям, от проектной величины предлагается оценивать также по 5-балльной шкале, используя следующий подход.

Центр окружностей есть центр проектной (заданной) зоны проводки скважины (рис. 6, в). Радиус малой окружности (r), отклонение до границы которой является «идеальным» уровнем, будет соответствовать оценке $Y_\rho = 5$.

Радиус большой окружности (R), отклонение до границы которой еще допустимо (также используется термин «круг допуска») соответствует $Y_\rho = 1$.

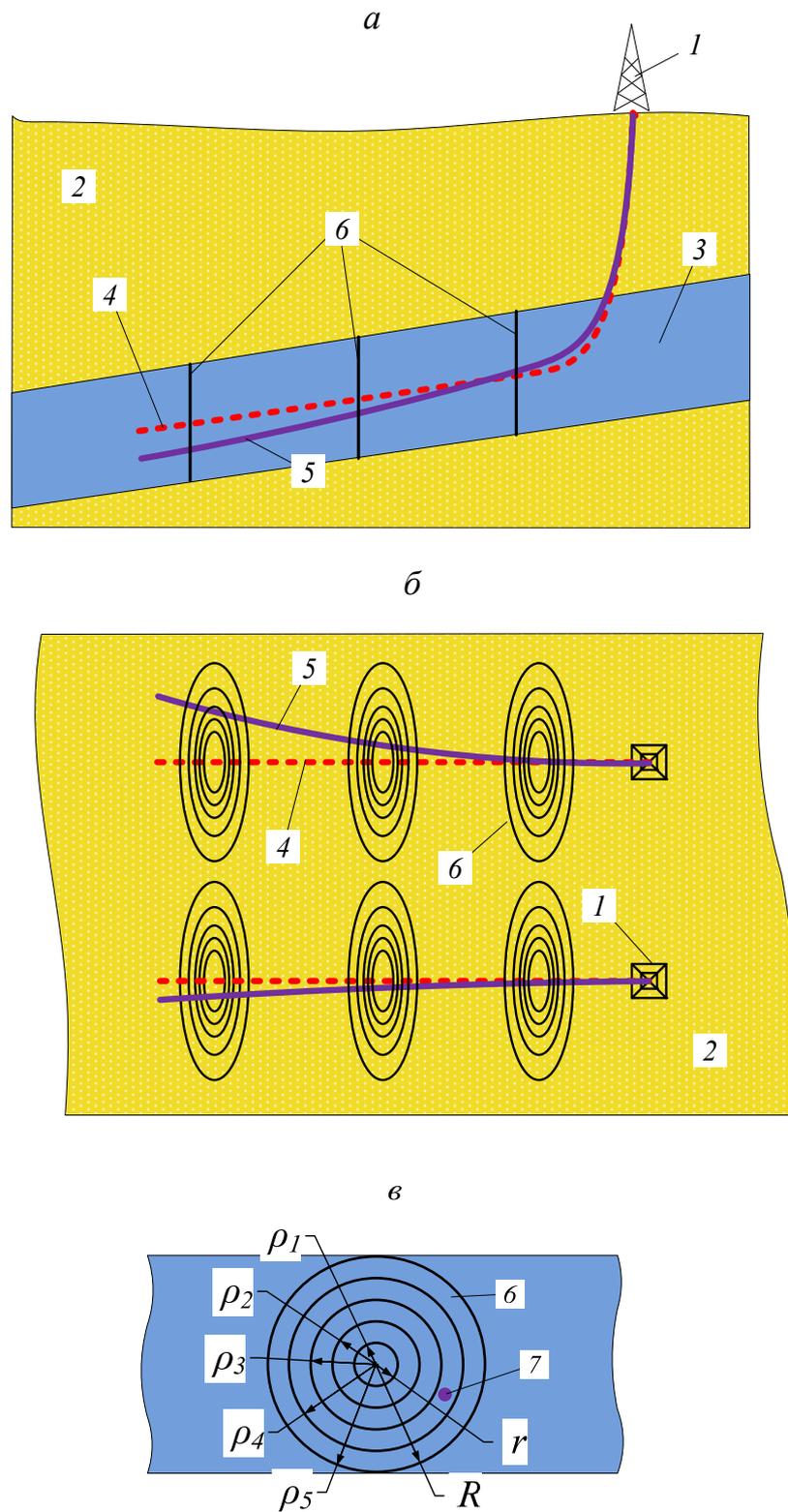


Рис. 6. Приближенная модель для оценки степени соответствия трассы скважины простиранию пласта при линейной зависимости $Y_p(\rho)$: а, б – общий вид модели, б – рассматриваемое сечение; 1 – буровая вышка, 2 – массив горных пород, 3 – пласт полезного ископаемого, 4 – проектная трасса скважины, 5 – фактическая трасса скважины, б – заданная зона попадания (рассматриваемое сечение), 7 – проекция скважины на плоскость (сечение).

Уравнение для оценки степени соответствия трассы скважины простиранию пласта:

$$y_{\rho} = 5 - \frac{4}{(R - r)} \cdot (\rho - r), \quad (10)$$

где ρ – переменная величина:

$$r \leq \rho \leq R. \quad (11)$$

Граничные радиусы сфер, окружностей и допустимые углы встречи определяются в соответствии с требованиями, которые обычно регламентируются нормативно-методическими документами. Если требования отсутствуют, специалисты могут установить их на основе собственного опыта или литературных источников. Например, допустимая величина отклонения от проектной траектории для разведочных скважин зависит от стадии разведочных работ, категории запасов и принятых параметров разведочной сети. Так, допустимое отклонение забоя скважины от области подсечения при разведке полезных ископаемых на категории C_1 , C_2 и B_2 может быть принято соответственно 40, 30 и 20% от заданных параметров разведочной сети. Значение отклонения в каждом конкретном случае устанавливает геологическая служба.

При определении уровня качества можно исходить из линейной или квадратичной зависимости между рассматриваемым параметром (например, величиной отклонения угла встречи скважины с пластом от проектного) и безразмерным уровнем его оценки. Иными словами, чем больше «отклонение», тем меньше его безразмерная оценка. Следует отметить, что возможно использование и более сложных зависимостей.

Чем ближе уровень качества к 5, тем качество бурового процесса выше.

Поскольку техника и технология бурения глубоких скважин на твердые полезные ископаемые и скважин на жидкие и газообразные примерно одинаковы, то можно применять предлагаемые методики и для оценки качества бурения последних.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Решение теоретических, экспериментальных, методических и опытно-производственных задач, в результате проведенных исследований, и анализ опытно-производственного материала позволяют сформулировать наиболее важные выводы и дать ряд практических рекомендаций:

1. В отечественную литературу по бурению введены термины «объект» и «элемент» эффективности и даны их однозначные определения.

2. Предложен перечень объектов и элементов эффективности процесса бурения скважин. Предложенный перечень позволяет обоснованно подходить к выбору элементов эффективности для оценки уровня эффективности объектов.

3. Разработаны методики оценки уровня качества бурения для таких элементов эффективности, как точность попадания забоя в заданную точку, угол встречи забоя скважины с выдержанным по падению и простиранию пластом полезного ископаемого и степень соответствия трассы скважины простиранию пласта. Для реального объекта получаемые по данным методикам количественные показатели позволяют судить о степени соответствия реальной трассы скважины проектной.

4. В качестве меры затрат энергии при бурении использованы затраты топлива. Показана возможность использования расхода топлива при бурении для оценки показателя технической эффективности.

5. Обобщенные и укрупненные показатели бурения, например, такие, как объем бурения за сутки, могут быть использованы для изучения процесса бурения, оценки его технической эффективности и рационализации.

6. Эффективность процесса бурения, определяемая критерием q_1 позволяет оценить возможные пределы эффективного использования комплексов КССК-76 по глубине скважины и особенно по производительности. Бурить скважины с производительностью менее 10 м/сутки нерационально.

7. Создана приближенная методика оценки комплексного критерия эффективности бурения отдельно взятой скважины.

8. Разработан подход, основанный на методах математической статистики, который дает возможность «оценивать» опытные данные (случайные величины), не подчиняющиеся нормальному закону распределения, путем преобразования их к распределению в 0,5 степени или к логнормальному распределению.

9. Предложенные методики можно использовать при расчете комплексного критерия эффективности бурения скважины.

10. Перед началом бурения скважин необходимо всесторонне оценить все возможности для рациональной организации процесса проходки, с целью исключить случаи неоправданных простоев и неэффективного использования бурового оборудования.

11. Увеличение механической скорости бурения автоматически приводит к снижению удельного механического критерия технической эффективности процесса проходки скважин, поэтому необходимо использовать такие режимные параметры, которые однозначно приводили бы к увеличению механической скорости.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Жаров А.С., Калинин В.Н., Ребрик Б.М. Оценка уровня качества бурения глубоких разведочных скважин по точности попадания в заданную зону // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2010. – № 1. – С. 64-69.
2. Самбург А.Е., Жаров А.С., Ребрик Б.М. Опыт бурения гидрогеологической скважины. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2009. – № 1. – С. 80-82.
3. 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.
4. Жаров А.С. Влияние глубины скважины, осевой нагрузки и давления промывочной жидкости на скорость роторного бурения. Материалы VI международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию Российской академии естественных наук «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых». Москва, РГГРУ им. Серго Орджоникидзе 6-9 апреля 2010 г. / [Научные редакторы О.С. Брюховецкий, Б.М. Ребрик]. – М., 2010. – С. 83.
5. Жаров А.С. Оценка уровня качества бурения глубоких разведочных скважин по точности попадания в заданную зону. Материалы VI международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию Российской академии естественных наук «Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых». Москва, РГГРУ им. Серго Орджоникидзе 6-9 апреля 2010 г. / [Научные редакторы О.С. Брюховецкий, Б.М. Ребрик]. – М., 2010. – С. 81-82.
6. Жаров А.С., Калинин В.Н., Ребрик Б.М. Оценка уровня качества бурения скважин по точности попадания в заданную точку и по углу встречи с пластом. Новые идеи в науках о земле: Доклады IX Международной научно-практической конференции. Москва, РГГРУ им. Серго Орджоникидзе 14-17 апреля 2009 г. – М. – 2009. – Том 2. – С. 271-272.
7. Жаров А.С., Калинин В.Н., Ребрик Б.М., Склянов В.И. Оценка уровня качества бурения глубоких скважин на нефть, газ и воду. Новые идеи в науках о земле: Доклады IX Международной научно-практической конференции. Москва, РГГРУ им. Серго Орджоникидзе 14-17 апреля 2009 г. – М. – 2009. – Том 2. – С. 269-270.
8. Жаров А.С., Ребрик Б.М. Классификация объектов и элементов эффективности процесса бурения // Разведка и охрана недр. 2008, № 3. – С. 58-60.
9. Жаров А.С., Ребрик Б.М. Классификация объектов и элементов эффективности процесса бурения. Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленного комплексов города Москвы:

Материалы научно-практической конференции. Москва, РГГРУ им. Серго Орджоникидзе 15-17 апреля 2008 г. / [Ответственный редактор В.В. Пендин]. – М.: КДУ, 2008. – С. 269-270.

10. Жаров А.С., Ребрик Б.М. Классификация объектов и элементов эффективности процесса бурения. Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые. Вып. 28: межвузовский научный тематический сборник / редкол.: О.В. Ошкордин (ответственный редактор) и др.; Урал. Гос. Горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. Горного университета, 2009. 98 с. – С. 25-32.

11. Жаров А.С., Ребрик Б.М. Приближенная методика оценки комплексного критерия эффективности бурения скважины. Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые. Вып. 28: межвузовский научный тематический сборник / редкол.: О.В. Ошкордин (ответственный редактор) и др.; Урал. Гос. Горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. Горного университета, 2009. 98 с. – С. 10-24.

12. 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.

13. Самбург А.Е., Жаров А.С. Использование критерия q_1 (техническая эффективность) с целью изучения процесса бурения гидрогеологической скважины. Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленного комплексов города Москвы: Материалы научно-практической конференции. Москва, РГГРУ им. Серго Орджоникидзе 15-17 апреля 2008 г. / [Ответственный редактор В.В. Пендин]. – М.: КДУ, 2008. – С. 273-274.

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.