

БАТРАК АЛЕКСАНДР ФЕДОРОВИЧ

**МЕТОДЫ ВЫРАБОТКИ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ ПРИ БУРЕНИИ В УСЛОВИЯХ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

25.00.14 – «Технология и техника геологоразведочных работ»

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Уральской государственной горно-геологической академии

**Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
С.Г. Фролов**

**Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор
Н.И. Николаев
кандидат технических наук, доцент
Е.Б. Годунов**

Ведущая организация – ОАО «Уралцветметразведка»

**Защита диссертации состоится «_26_» декабря___ 2002 г. в _10-00.
на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 в Томском
политехническом университете по адресу: 634034, г. Томск, пр.Ленина, 30**

**С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского
политехнического университета.**

Автореферат разослан «_25» __ноября__ 2002 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

В.Д. Евсеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Методы выработки технико-технологических решений при проектировании и производстве буровых работ всегда были и остаются ключевым вопросом технологии бурения. Этому посвящена фактически вся отраслевая инструктивная, нормативная и справочная литература. Однако с появлением компьютерных методов анализа или, как принято сейчас говорить, информационных технологий появились качественно новые возможности оценки, сопоставления и выбора способов и средств бурения для различных геолого-технических условий производства работ.

На примере других областей науки, техники и производства практикой установлены огромные возможности вычислительной техники по моделированию и сопоставлению самых сложных процессов и явлений. Однако в бурении по существу технологической проблематики таких примеров неоправданно мало.

Использование компьютера при решении проектных и управленческих технологических задач в бурении требует решения ряда теоретических проблем, связанных с выявлением и формализацией системных технологических взаимосвязей.

Прогноз последствий того или иного решения по выбору инструмента, оборудования, режимов бурения и т.д. требует глубокой теоретической проработки.

И в теоретическом, и в практическом плане актуальность работы связана с решением насущных задач компьютеризации технологии бурения.

Цель работы. Целью работы является создание методической базы и программно-алгоритмического обеспечения, позволяющего осуществлять прогноз хода технологического процесса бурения в различных геолого-технических условиях при использовании определенного набора способов и средств.

Сопоставление вариантов решений с учетом возможных последствий их реализации по всему комплексу оценочных параметров (производительность углубки, выход керна, удержание трассы скважины в заданных пределах, обеспечение кондиций околоствольного пространства, в том числе соблюдение экологических нормативов и др.) позволит минимизировать риск технологического брака.

Практическая цель работы – повышение реальной управляемости процесса бурения.

Идея работы заключается в том, что производственный опыт может быть путем применения специальных процедур переведен в компьютерную форму, позволяющую исследовать и воспроизводить его в аналитических целях с использованием методов синтеза различных комбинаций факторов, технологических явлений и характеристик.

Основные задачи исследований. Выполнение поставленной цели достигается:

1. Проведением анализа существующих теорий и методик прогноза для различных производственных процессов и систем.
2. Разработкой методики формализации нестрогих технологических данных (интуитивных, неточных, неполных технологических представлений) и методики формирования баз исходных данных, фиксирующих производственный и научный опыт.
3. Технологической интерпретацией основной теоремы Байеса и разработкой общего аналитического выражения для расчета вероятности развития геолого-технических осложнений, аварий, отклонений от нормального течения технологического процесса в различных условиях при использовании различных средств бурения.
4. Разработкой частных методик и компьютерных программ для условий бурения на уголь и для решения отдельных задач направленного бурения.
5. Разработкой программно-алгоритмического обеспечения, позволяющего выполнять решение технологических задач в соответствии с условиями работ.
6. Разработкой методики расчета вероятностей технологических рисков в разведочном бурении.

Методика исследований. Поставленные задачи решались путем сбора и анализа производственных данных, выполнения опытного бурения и сравнения

расчетных данных с результатами практических работ. Теоретические исследования базировались на теории принятия решений, основах системного анализа и его приложения к технологической практике разведочного бурения.

Научная новизна. Предложен новый метод формализации нестрогой (интуитивной, неточной, неполной) технологической информации и формирования компьютерных баз исходных данных, фиксирующих производственный и научный опыт. Разработана теоретическая основа, практическая методика и компьютерные программы прогноза последствий и оценки технико-технологических решений. Впервые разработана методика расчета взаимовлияния геолого-технических факторов и элементов средств бурения на итоговый технологический результат и оценка сравнительной эффективности технологических цепей средств бурения.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Исходные технологические данные, составляющие производственный и научный опыт бурения, могут быть с необходимой и достаточной полнотой формализованы и подготовлены к использованию в компьютерных вычислениях с помощью типовых моделей устойчивых распределений вероятности.

2. Прогноз последствий технико-технологических решений в бурении (вероятность развития геолого-технических осложнений, возникновения буровых аварий, технологического брака или недостаточной производительности) может осуществляться расчетным путем на основе теории байесовского вывода, если известны или предполагаются с некоторой степенью достоверности: вероятность проявления активных геолого-технических факторов; параметры технической эффективности способов и средств бурения; характер влияния активных геолого-технических факторов на результативность средств бурения.

3. Относительная технологическая совместимость средств бурения (элементов оборудования, операций, материалов и реагентов) определяется мерой возрастания технологических рисков, соответствующих тем или иным сочетаниям элементов, определяемых расчетным путем по байесовской методике.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций. Все выводы и рекомендации данной работы построены на практическом материале, на обобщении и анализе обширного производственного опыта, накопленного и систематизированного автором на протяжении почти двадцати лет. Все предложенные методики и компьютерные программы легко проверяемы и могут корректироваться и уточняться с появлением новых данных или уточнением старых.

Практическая ценность работы заключается в создании методики, позволяющей использовать имеющийся производственный и научный опыт путем его компьютерного анализа и синтеза с целью повышения общей управляемости процесса бурения, минимизации технологических рисков и предотвращения геолого-технических осложнений, аварий и аномальных ситуаций в процессе бурения. Практическая значимость работы по замыслу позволяет уменьшить неоправданные затраты, сосредоточить имеющийся потенциал на решении действительных технологических задач и проблем.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на III Международной научной конференции «Новое в геологии» (Москва, МГГА, 2001г.), на V Международном симпозиуме «Бурение скважин в осложненных условиях» (Санкт-Петербург, СПбГИ (ТУ), 2001г.), на Межрегиональной научно-практической конференции «100-лет со дня рождения профессора Б.И. Воздвиженского» (Екатеринбург, УГГГА, 1999г.), на научном семинаре кафедры технологии и техники разведки УГГГА (Екатеринбург, 2002г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в семи научных статьях и одном учебно-методическом пособии. Подготовлена к печати научная монография.

Внедрение результатов. Результаты исследований в виде методик и производственной инструкции для технологического персонала внедрены в ОАО «Интагео». Отдельные методики, изложенные в диссертации, вошли в учебно-

методическое пособие «Технологические расчеты в бурении», которое используется при обучении студентов на кафедре технологии и техники разведки МПИ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 74 наименования, изложена на 220 страницах машинописного текста, содержит 29 рисунков и 28 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность и раскрывается основная цель работы.

В первой главе анализируются научные публикации в российской и мировой специальной литературе, посвященные общей и частным теориям принятия решений, теории байесовского вывода, теоретическим, методическим и практическим разработкам в области разведочного бурения, специализированным по проблемам управления процессом бурения.

Во второй главе выполнены теоретические исследования, посвященные технологической интерпретации теории Байеса с учетом системной организации процесса бурения, системных взаимосвязей между геолого-техническими условиями бурения и характеристиками средств бурения. Здесь же обоснована методика формализации технологического опыта и формирования баз исходных данных.

В третьей главе рассмотрена методика формирования баз исходных данных на примере опыта разведки месторождений каменного угля.

В четвертой главе изложена методика выбора технологических решений при выполнении задач направленного бурения.

В пятой главе теоретически обоснована и раскрыта в методическом плане компьютерная программа оценки совместимости элементов бурового комплекса.

В заключении приведены обобщающие выводы и рекомендации.

Автор считает своим долгом выразить благодарность научному руководителю диссертационной работы профессору кафедры ТТР МПИ, кандидату технических наук С.Г. Фролову, доктору технических наук, профессору О.В. Ошкордину, и всем сотрудникам кафедры технологии и техники разведки МПИ УГГГА, работникам ОАО «Интагео», принимавшим участие во внедрении разработок и оказавшим помощь в оформлении диссертации.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

(Обоснование защищаемых положений)

Фундаментом всех разработок и исследований данной диссертации явилась система научного технологического знания в области разведочного бурения, сформированная трудами выдающихся российских ученых Б.И. Воздвиженского, С.А. Волкова, Ф.А. Шамшева, М.И. Куличихина и многих представителей научных школ Москвы, Санкт-Петербурга, Томска и Екатеринбурга. Непосредственно в теорию и методику выработки технико-технологических решений при бурении разведочных скважин заметный вклад внесли Е.А. Козловский, С.С. Сулакшин, Б.М. Ребрик, В.М. Питерский, М.С. Комаров, Д.Н. Башкатов, Б.Б. Кудряшов, А.Х. Мирзаджанзаде, А.З. Левицкий, О.В. Ошкордин, В.В. Кривошеев, П.С. Чубик и другие.

1. Исходные технологические данные, составляющие производственный и научный опыт бурения, могут быть с необходимой и достаточной полнотой формализованы и подготовлены к использованию в компьютерных вычислениях с помощью типовых моделей устойчивых распределений вероятности.

Технологический опыт геологоразведочного бурения является основой проектирования и производства буровых работ: выбора бурового оборудования и инструмента, технологических схем, операций, материалов и реагентов.

Однако предпочтение в выборе того или иного варианта технико-технологических решений на практике до сих пор можно отнести к правилам «бурового искусства», поскольку в значительной мере опирается на интуитивные представления и базируется на нечетких, приблизительных опытных данных и суждениях. Других данных, как правило, на производстве нет. Но и эти данные (данные опыта) могут быть достаточными для выработки и обоснования технико-технологических решений при полном и глубоком их анализе.

Первое, необходимо выделить главные системные взаимосвязи в характеристиках условий бурения и соответствующих им характеристиках средств бурения. Для этого необходимо разделить весь набор исходных данных по уровням организации: схема такого разделения представлена на рис. 1.



Рис.1. Схема системной организации бурового комплекса

Главное в данном анализе заключается в том, чтоб отделить «сферы ответственности» бурового инструмента (осуществление физических процессов на забое и в стволе скважины) от «сферы ответственности» функциональных блоков и агрегатов. Итог данного анализа – оценка вероятностных (ожидаемых) технических возможностей инструмента, функциональных блоков средств бурения и буровых агрегатов (установок) при использовании в различных геолого-технических условиях. Кроме прямых характеристик технологических возможностей систем бурения на уровне инструмента, функциональных блоков (буровых снарядов) и установок в число исходных данных, обобщающих производственный и научный опыт бурения, входят так же и характеристики объектов.

В итоге предварительного анализа и подготовки исходных данных представления «технолога» о том, что может быть, что может быть вероятнее всего, что мало вероятно, а что исключено или почти исключено, выражаются в конкретных формальных символах (знаковых системах), удобных для компьютерных комбинаций и вычислений в соответствии с некоторым смысловым алгоритмом.

В качестве инструмента такого преобразования нестрогих (интуитивных) технологических данных производственного и научного опыта предложены типовые модели устойчивых распределений вероятности. Они не тождественны статистическим моделям выявления технологических закономерностей, поскольку не служат воспроизведению и выявлению всех особенностей работы средств бурения в определенных условиях на основе применения строгих процедур математической статистики. Строгие статистические модели малоприменимы в бурении: не может удовлетворить технолога среднестатистический результат, когда среднестатистическая (не существующая в реальности) скважина попадает в проектную точку, а реальные скважины обходят ее. Роль и назначение типовых моделей в другом. Зафиксировать факт представлений любого качества: экспертных, мнимых или статистически доказанных – о преобладании одних активных геолого-технических факторов в данном горнорудном районе (участке, провинции – в зависимости от масштабов исследования) над другими, о превосходстве технических характеристик одних средств бурения над другими в общем и в конкретных условиях.

Формально типовые модели представляют собой графики кривых, огибающих вершины гистограмм частот проявления активных геолого-технических факторов в

данном разрезе (на участке работ, в регионе), характерных явлений, сопровождающих процесс бурения (геолого-технических осложнений, аварий, технологического брака различного вида и т.д.) и характеристик возможностей средств бурения (рис.2).

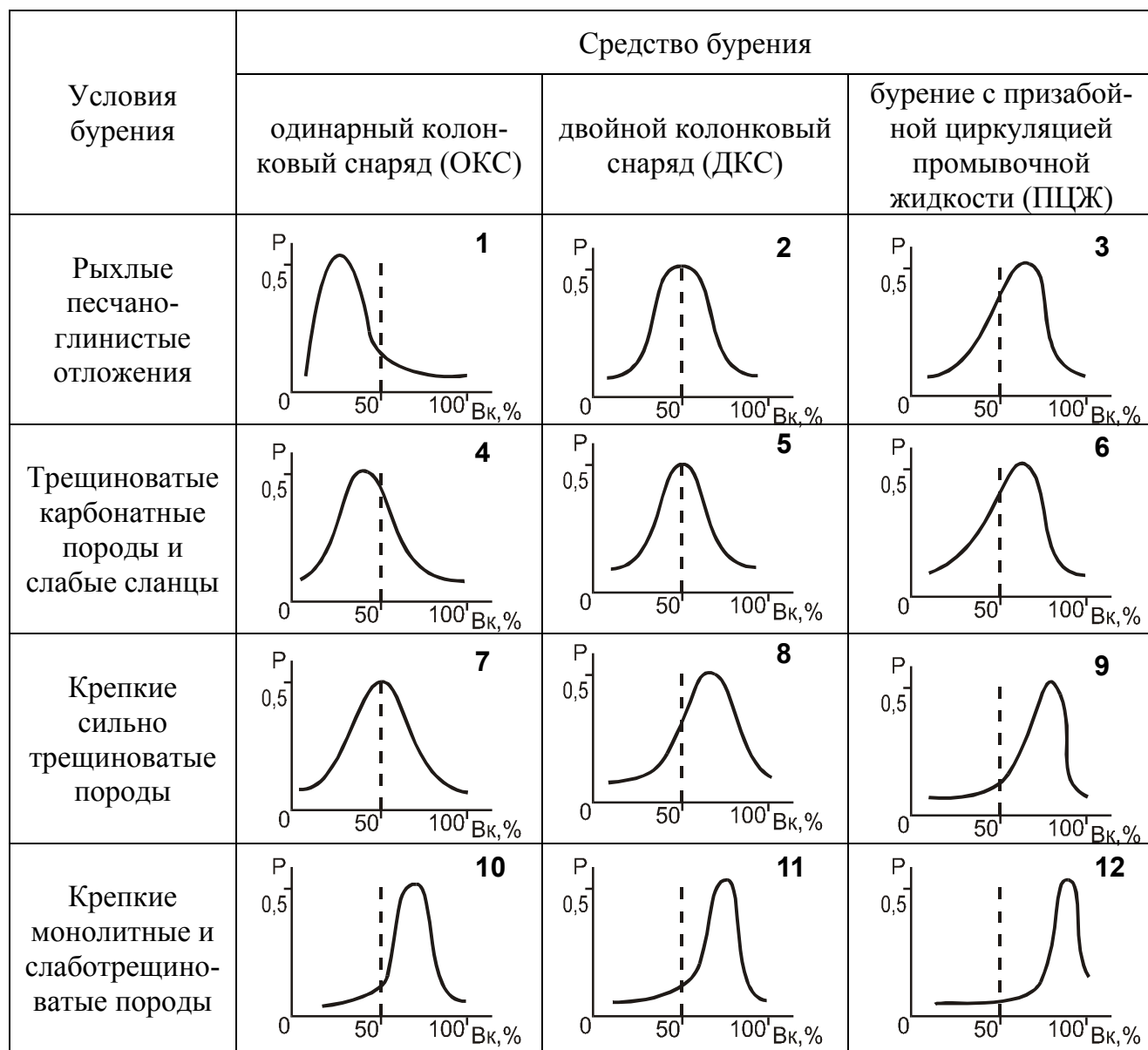


Рис.2. Типовые модели устойчивых распределений вероятности выхода керна при бурении в разных геолого-технических условиях и при использовании различных средств бурения

Кривые, являющиеся типовыми моделями устойчивых распределений вероятности, представляют собой самый первичный материал производственного или исследовательского технологического опыта.

Первые процедуры байесовского вывода, выполняемые над этим материалом заключаются в следующем:

а. Определяется функция распределения вероятностей или кумулятивная вероятность (рис.3), фиксирующая факт опыта, что «вероятность получения показателя (появления геолого-технического фактора, явления или возможностей средств бурения) не ниже данного предела».

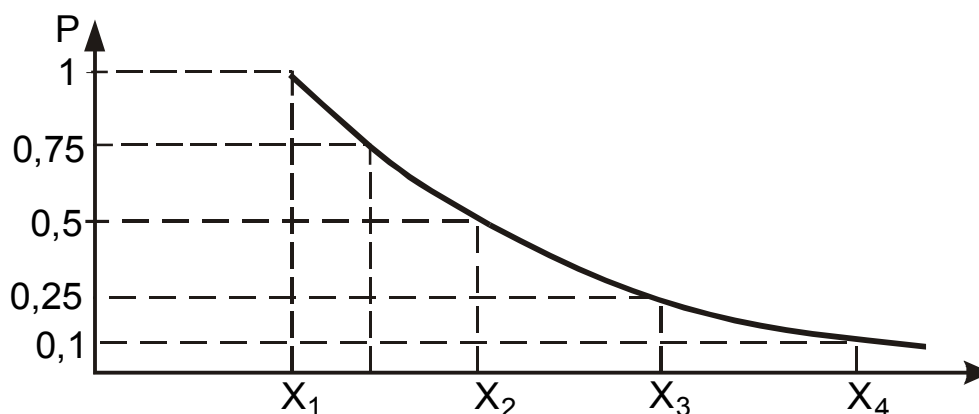


Рис.3. График функции распределения вероятностей поглощения высоковязкого глинистого раствора при бурении в закарстованных карбонатных толщах (Дегтярский горнорудный район, Средний Урал): x_1 – все состояния (поглощения от слабого до катастрофического); x_2 – от слабого до полного; x_3 – от слабого до среднего; x_4 – до уровня слабых

б. Оценивается плотность вероятности, определяющая достоверность или саму возможность прогноза при наличии тех данных, которыми располагает «технолог».

В памяти компьютера графики могут фиксироваться в виде базы цифровых данных, связанных через матрицы логических отношений.

Если воспользоваться языком теории множеств, то математическую основу (модель) выбора решений на уровне инструмента можно представить прямоугольной матрицей M_u вида:

$$M_u = \begin{matrix} & & y_1 & y_2 & \dots & y_n \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{matrix} & \left| \right. & & \{ P_i \} & & \left. \right| , \end{matrix} \quad (1)$$

где: $y_1 \dots y_n$ – конструктивные или технические параметры инструмента; $x_1 \dots x_n$ – параметры условий бурения; $\{P_i\}$ – рабочие характеристики инструмента.

Как вспомогательная часть базы исходных данных назначение элементов бурового комплекса может быть выражено прямоугольной матрицей:

$$M_{(i,j)}^P = \begin{matrix} & i_1, \dots, i_n & j_1, \dots, j_n \\ y_1 & \left| \begin{matrix} r_{i_1} & \dots & r_{i_n} & r_{j_1} & \dots & r_{j_n} \end{matrix} \right. \\ \dots & \left| \begin{matrix} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix} \right. \\ y_n & \left| \begin{matrix} r_{i_1} & \dots & r_{i_n} & r_{j_1} & \dots & r_{j_n} \end{matrix} \right. \end{matrix}, \quad (2)$$

здесь r_i - логические отношения, наличие – отсутствие влияния элементов на решение технологических задач: наличие основной (i) и побочных (j) целевых функций.

2. Прогноз последствий технико-технологических решений в бурении (вероятность развития геолого-технических осложнений, возникновения буровых аварий, технологического брака или недостаточной производительности) может осуществляться расчетным путем на основе теории байесовского вывода, если известны или предполагаются с некоторой степенью достоверности: вероятность проявления активных геолого-технических факторов; параметры технической эффективности способов и средств бурения; характер влияния активных геолого-технических факторов на результативность средств бурения.

Базовая теорема Байеса, положенная в основу расчета последствий технико-технологических решений, по сути сводится к следующему: если условия неоднозначны (в нашем случае возможно наличие или отсутствие определенных активных геолого-технических факторов), а сочетание этих условий с другими техническими условиями (в нашем случае применение средств бурения в конкретных условиях) так же неоднозначно, то имеется формула для расчета так называемой условной субъективной вероятности того, что результат всех неоднозначных (неясных) реализаций будет определен с некоторой вероятностью.

Формула выглядит следующим образом:

$$P_{(i,j/x_1, \dots, x_n)} = \frac{P_{(x_1, \dots, x_n)} P_{(x_1, \dots, x_n / i, j)}}{P_{(i, j)}}, \quad (3)$$

где: $P_{(i,j/x_1, \dots, x_n)}$ - реальная техническая эффективность элемента бурового комплекса в отношении частных технологических задач основных (i) и побочных для данного

элемента (j) при возможном проявлении в ходе работ активных признаков условий (x_1, \dots, x_n) - вероятность достижения цели в реальных условиях; $P_{(x_1, \dots, x_n)}$ - вероятность проявления в ходе работ тех или иных значимых (активных) признаков условий; $P_{(i,j)}$ - безусловная (абстрактная) техническая эффективность данного элемента бурового комплекса – вероятность решения основных (i) и побочных (j) задач во всем диапазоне возможных изменений условий; $P_{(x_1, \dots, x_n/i,j)}$ - геологически обусловленная эффективность – вероятность решения основных (i) и побочных (j) задач при 100%-й вероятности возникновения условий x_1, \dots, x_n .

Следует отметить, что термин «вероятность» в данном контексте использован в обыденном смысле, не соответствует строго трактовкам ни одной из теорий вероятности – в данном случае это обобщенная характеристика меры возможности неоднозначного события.

3. Относительная технологическая совместимость средств бурения (элементов оборудования, операций, материалов и реагентов) определяется мерой возрастания технологических рисков, соответствующих тем или иным сочетаниям элементов, определяемых расчетным путем по байесовской методике.

В традиционных моделях частные технологические задачи рассматриваются как функции нескольких переменных. Широко известны многочисленные модели, выражающие значения механической и рейсовой скорости, величины выхода керна от параметров режима бурения и конструктивных параметров инструмента, зависимости условий устойчивости стенок скважины от параметров промывочной жидкости и скорости спускоподъемных операций и многие другие.

Однако такие модели в принципе не позволяют оценить влияние отдельных технологических решений на смежные технологические задачи.

Предлагается другой подход.

Каждое отдельное технологическое решение (элемент средств бурения) предлагается рассматривать как целенаправленное действие по отношению к конкретной технологической задаче и имеющее побочный эффект в отношении смежных задач. В этом случае при некоторых условиях появляется возможность количественно (или полуколичественно) оценить совместимость технологических

решений и в конечном счете рассчитать наилучший их набор с учетом параметров риска (нормируются мерой ответственности работ) и эффективности.

Выделим эти условия.

Во-первых, можно оценить совместимость только тех решений, последствия реализации которых предсказуемы хотя бы приблизительно. Решения с непредсказуемыми последствиями, с неизвестным характером основного или побочного результата в расчетах применяться не могут – их совместимость исходно неизвестна. Однако такие решения на практике не являются преобладающими или значительно распространенными.

Во вторых, каждому технологическому решению необходимо придать конечное множество характеристик основного и побочных эффектов (в показателях вероятности или риска)

$$x_i \in \left\{ P_{X_i}, \sum_i^n \Delta P_{X_i} \right\}, \quad (4)$$

где P_{X_i} - вероятность получения необходимого основного эффекта при использовании технического решения, $\sum_i^n \Delta P_{X_i}$ – сумма побочных эффектов от технических решений;

В третьих, вероятность решения каждой отдельной технологической задачи с учетом основного и побочных эффектов всех элементов средств бурения не может превышать 1,0 (100%) – это налагает ограничения на размеры и соотношение экспертных оценок влияния отдельных решений на совокупный результат.

Проблему совместимости решений можно формально представить как проблему многокритериальной оптимизации, но в данном случае интерес представляет не формальная, а содержательная технологическая сторона вопроса.

Любое технико-технологическое решение может быть оценено двумя параметрами:

- мерой риска (величиной обратной вероятности достижения цели);
- ценой (совокупными затратами на реализацию технико-технологических решений).

Перемножение показателя риска и цены даст нам интегральный показатель – ожидаемую действительную оценку (ОДО) частного технико-технологического решения отдельной технологической задачи.

Очевидно, что ОДО решения должна сопоставляться с мерой выгоды от достижения цели. Решение можно считать рациональным лишь в том случае, если его ОДО меньше суммарной выгоды от достижения цели: разница в этом случае представляет собой прямой ожидаемый эффект.

В качестве частной цели (отдельной технологической задачи) может рассматриваться обеспечение нормативного выхода керна, увеличение рейсовой скорости бурения, уменьшение расхода материалов и тому подобное. Однако имеется ряд проблем, неразрешимых без применения специальных методов системного анализа.

Любое технико-технологическое решение, имея свою частную цель или несколько частных целей, может оказывать положительное или отрицательное влияние на решение других отдельных технологических задач. Побочный эффект технико-технологического решения точно так же может быть оценен вероятностью (мерой риска) и ценой приобретений или потерь. Очевидно, что совокупные потери должны быть меньше совокупных приобретений. Выразим это условие следующей обобщенной формулой:

$$\sum_{i,j}^n L(djW_i^n)P(W_i^n) < \sum_{i,j}^m L(djW_i^m)P(W_i^m), \quad (5)$$

где $L(djW_i^n)$ - функция потерь от принятия технико-технологического решения dj ; $L(djW_i^m)$ - совокупные приобретения от принятия технико-технологических решений dj ; $P(W_i^n)$ - вероятность потерь от принятия решений; $P(W_i^m)$ - вероятность приобретений от принятия решений; dj – возможные технико-технологические решения.

Характеристики отдельных технологических задач и технико-технологических решений можно выразить следующим образом:

1. $P(X_i)$ – вероятность реализации технологической задачи от принятия технико-технологического решения
2. R – суммарный показатель риска, зависящий от вероятности и совокупности затрат на реализацию технологической задачи

$$R = \sum_{i,j}^n q(Y_j)P(X_i), \quad (6)$$

где $q(Y_j)$ – совокупность затрат на реализацию технологической задачи.

Комплекс технологических задач решается набором средств, применение каждого из которых можно рассматривать как целенаправленное технологическое действие (решение). К их числу относятся:

- породоразрушающий инструмент определенного типоразмера,
- колонковый набор определенной конструкции,
- тип колонны бурильных труб,
- очистной агент определенного вида и его рецептуры,
- схема циркуляции очистного агента,
- параметры режима бурения,
- продолжительность (величина) рейсовой углубки,
- специальные целенаправленные действия, приемы и компоновки низа колонны бурильных труб.

Процесс бурения скважин, особенно в сложных условиях, неизбежно подвержен многим рискам в силу неполной изученности геологических объектов на стадии их разведки. Риск и его оценка предполагают возможность совершения неблагоприятного события (буровой аварии, технологического брака или получение в итоге отрицательных экономических результатов работ) с той или иной вероятностью.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Формализация производственного технологического опыта бурения, как условие использования опытных данных в компьютерных вычислениях, не может базироваться исключительно на методах классической математической статистики, т.к. в технологии признается лишь реальный конкретный результат, а не его среднестатистический физически не существующий аналог.
2. Технологически адаптированные модельные аналоги статистических форм выражения устойчивых взаимосвязей – типовые модели устойчивых

распределений вероятности могут и должны использоваться в качестве знаковых смысловых операционных систем, максимально воспроизводящих ценную информацию, содержащуюся в интуитивных, приближительных, источных данных производственного и научного технологического опыта.

3. Теория байесовского вывода на основе вычисления субъективных вероятностей – на основе анализа поля нестрогих суждений – на сегодняшний день является наиболее полной и соответствующей предмету бурения технологической проблематике методологической основой для решения практических задач бурения.
4. Совместимость отдельных элементов средств бурения в различных условиях и при решении различных задач не может далее (при наличии информационных технологий) оставаться предметом интуитивного «бурового искусства» – на сегодняшний день имеются достаточные программные продукты, позволяющие определять строгие показатели совместимости отдельных цепей технологических средств бурения на расчетной основе.
5. Разработана компьютерная программа «Расчет технологической совместимости элементов средств бурения», которая позволяет помимо этого решать широкий круг технико-технологических задач по выбору и обоснованию различных средств бурения.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. О принципах классификации угольных месторождений по сложности их kernового опробования//Известия УГГГА. Сер.: Геология и геофизика. – 2001. – вып.13. – с.181–185 (соавторы Ошкордин О.В., Ковальчук Д.А)
2. Технологические расчеты в бурении: Учебно-методическое пособие к аудиторному практикуму по профилирующим дисциплинам для студентов специальности 080700 – «Технология и техника разведки МПИ». – Екатеринбург: УГГГА, 2001. – 47с. (соавторы Ошкордин О.В., Саламатов М.А. и др.).

3. Оценка технологических рисков в бурении на основе байесовского подхода//Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые. Вып.24. Межвуз. науч. темат. сборник. – Екатеринбург: УГГГА, 2001. – с.24–26 (соавторы Ошкордин О.В., Ковальчук Д.А. и др.).
4. Влияние марковости на выбор управляющих решений при бурении скважин//Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые. Вып.24. Межвуз. науч. темат. сборник. – Екатеринбург: УГГГА, 2001. – с.27–30 (соавтор Фролов С.Г.).