

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ

Институт проблем моделирования в энергетике

На правах рукописи

Политучий Александр Иванович

**Исследование и разработка математических моделей для создания
средств информатизации и компьютеризации принятия решений
в производственных процессах при строительстве нефтяных
и газовых скважин.**

Специальность 05.13.02 Математическое моделирование в научных
исследованиях.

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук.

Киев 1995 г.



00761461 (P)

Дисертацією является рукопис

Работа выполнена в Институте проблем моделирования в энергетике
Национальной Академии наук Украины

Научный руководитель -

кандидат технических наук

МОХОР В.В.

Официальные оппоненты-

доктор технических наук

проф. СТАСЮК А.И.

кандидат технических наук

ТРУШ А.И.

Ведущее предприятие-

НПП "ПОИСК"

Минмашпрома Украины

Защита состоится 23 ноября 1995 г. в ____ часов на заседании
специализированного Совета Д 01.91.01 по присуждению ученых степеней
Института проблем моделирования в энергетике Национальной Академии
наук Украины, г. Киев, ул. Генерала Наумова, 15

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
проблем моделирования в энергетике Национальной Академии наук
Украины

Автореферат разослан 14 окт 1995 г.

Ученый секретарь специализированного

Совета к.т.н. ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

Семагина Э.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность проблемы. В процессе развития и становления нефтегазодобывающей отрасли постоянно существовали и существуют проблемы связанные с принятием оптимальных решений по технологии и организации работ. Наиболее капиталоемким производственным процессом является процесс строительства нефтяных и газовых скважин, особенностью которого является отсутствие прямого доступа к технологическому процессу породоразрушения в период углубления скважины. Кроме того, многообразие геологических условий бурения, высокие пластовые давления (свыше 100 МПа) и температура (свыше 100°C), разнообразие горных пород по прочности, абразивности, плотности, нефтегазонасыщенности, пространственному расположению, тектоническим условиям и т.п. создали необходимость разработки широкого спектра породоразрушающего инструмента, разнообразных способов породоразрушения, разнообразию технологий проводки скважин.

Многочисленность объективных и субъективных факторов, связанных с условиями бурения, проектированием, управлением технологическими и производственными процессами создало предпосылки для формирования "информационных барьеров", обусловленных большим объемом информации с одной стороны и недостаточностью, с точки зрения информативности, с другой стороны, которые преодолеваются, в основном, экспертными оценками и принятием решений на различных уровнях управления.

С появлением современных технологий обработки информации и методов моделирования представилась возможность пересмотра концепций, методов и средств, применяемых для управления сложным производственным процессом. Последние достижения науки и техники, прежде всего, в области электроники, новых материалов и технологий позволяют исследователям глубже проникнуть в область физических и социальных процессов в плане их моделирования, понимания и управления. Однако известные работы по моделированию в нефтегазразведочной отрасли отдают предпочтение решению чисто геологических задач, связанных с пространственным

положением залежей, моделированию геологических процессов во времени, миграционных процессов флюидов и т.д. Математические модели, описывающие производственные и технологические процессы при строительстве скважин, исчисляются единицами, а их адекватность остается предметом исследований и дискуссий.

Цель работы состоит в разработке компьютерно-ориентированных методов и средств для поиска решений, оптимизированных по определенным критериям, при строительстве нефтяных и газовых скважин на различных этапах и уровнях управления на основе математического моделирования производственных и технологических процессов с использованием программно-аппаратных технических средств.

Метод исследования. При разработке модели функционирования нефтегазоразведочного предприятия использована теория моделирования с выделением максимально-возможного количества факторов, влияющих на конечные показатели. При построении математической модели производственного процесса с целью исследования влияния факторов на основные показатели бурения использована теория и методы статистики. В создании автоматизированной системы поиска оптимальных или квазиоптимальных технологических и организационных решений при строительстве нефтяных и газовых скважин использованы теория кодирования и численные методы. В процессе разработки модели взаимодействия породоразрушающего инструмента с горной породой с целью исследования поведения критерия энергоемкости процесса и его минимизации использована теория эксперимента и теория функций. При создании программно-аппаратного комплекса контроля режимно-технологических параметров и управления технологическим процессом в режиме реального времени использована теория цифровой обработки сигналов.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

-предложена концептуальная модель функционирования нефтегазоразведочного предприятия состоящая в том, что определен перечень входных параметров, а также промежуточных и конечных

показателей, позволяющая установить их функционально-качественные связи и определить структуру информационного обеспечения статистической модели;

-предложен подход к исследованию процессов поиска и принятия решений в бурении состоящий в том, что технологический или производственный процесс представляется в виде детерминированной или статистической модели в зависимости от уровня принятия решений, изменением входных параметров которых прогнозируются конечные показатели или выдаются управляющие воздействия на объект управления;

-разработана статистическая модель в виде поливариантного технологического графа, которая позволяет дать количественную оценку качественных связей концептуальной модели в виде коэффициентов уравнений регрессии ;

-разработан математический критерий определения сопоставимых геолого-технических условий бурения, как интегральный показатель геологических и технологических параметров, позволяющий формировать статистическую совокупность наиболее подобных объектов исследования ;

-разработаны детерминированные модели процесса породоразрушения, представляющие собой дифференциальные уравнения и позволяющие управлять технологическим процессом в режиме реального времени;

-на основе детерминированных моделей разработан способ определения износа породоразрушающего инструмента, позволяющий оптимально использовать его ресурс, а также предотвращать аварийное завершение его отработки в скважине .

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные программно-технические средства поиска и принятия технологических и организационных решений в бурении позволяют:

-осуществлять перспективное планирование буровых работ на заданный период;

-на этапе проектирования осуществлять анализ показателей различных технологических вариантов проводки скважин с целью поиска оптимальных проектных решений;

-осуществлять поиск и принимать технологические и организационные решения при управлении производственным процессом строительства скважин;

-осуществлять поиск оптимального сочетания режимно-технологических параметров процесса породоразрушения и осуществлять им управление в режиме реального времени;

Результаты работы внедрены на вычислительных центрах и буровых государственных геологических предприятий "Черниговнефтегазгеология", "Полтавнефтегазгеология", Госкомгеологии Украины, а также ГП "Укрбургаз" и в Ахтырском УБР Госкомнефтегаза Украины.

Апробация работы: Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на:

- III Всесоюзной конференции "Системный подход в геологии" (Москва, 1986);

- XI Конференции молодых ученых, аспирантов и соискателей ВИЭМСа (Москва, 1986 г.);

- Всесоюзной конференции "Механика горных пород" (Грозный, 1988);

- Международной конференции "Механика горных пород при бурении" (Грозный, 1991 г.);

-Межгосударственной конференции "Перспективы функционирования предприятий топливно-энергетического комплекса в новых условиях Национально-государственного устройства" (Агой, 1992)

-Научном семинаре отдела разрядно-аналогового моделирования, Киев, ИПМЭ, 1994 г.

-Международной конференции "Безопасность информации в компьютерных сетях" Гурзуф 1995 г.

По теме диссертации опубликовано десять печатных работ, в том числе получено одно авторское свидетельство СССР. В работах 3,4,5,6,8,9,10 автору принадлежит:

- способ определения ресурса породоразрушающего инструмента по статистическим данным и его связь с динамической вязкостью горных пород;

- установление корреляционной связи между энергоемкостью и разуплотненностью пород;

-математическая модель, структурная схема и алгоритмы функционирования программно-аппаратного комплекса контроля и оптимизации технологического процесса;

- способ измерения крутящего момента стола ротора;

-статистическая модель, способы кодирования информации, алгоритмы контроля и обработки данных в автоматизированной системе " БУРЕНИЕ".

Объем и структура диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав и выводов, изложенных на 151 странице машинописного текста, содержит 21 рисунок, 22 таблицы. Список литературы включает 68 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируется цель, определяется перечень задач, которые необходимо решить для достижения поставленной цели.

Первая глава, посвящена обзору литературы в данной области исследований, проведению анализа существующих моделей использующихся при поиске и принятии технологических и организационных решений на различных уровнях и этапах управления при строительстве нефтяных и газовых скважин, производственный процесс которого подвержен влиянию множества объективных и субъективных факторов.

Производственный процесс рассматривается как сложная социально-экономическая система с множеством факторов, влияющих на промежуточные и конечные показатели.

При принятии решений на этапах планирования, проектирования и управления используются, преимущественно, экспертные оценки, реже детерминированные и статистические модели. В результате принятых решений конечные показатели производственного процесса зачастую не удовлетворяют экономическим требованиям. При составлении плановых заданий по бурению используются удельные нормативы или результаты работы предприятий за три последних года, а также другие методы. Анализ результатов показывает существенное отличие плановых и фактических показателей (рис.1), что свидетельствует о несовершенности системы планирования и проектирования и о

необходимости поиска и реализации принципиально новых концепций, методов и средств. Так, например, из проанализированных 28413 рейсов только в 2978 фактически использованные типоразмеры породоразрушающего инструмента, в 12341 - типы инструмента, в 12955 - способы бурения соответствуют проектным (соответственно 10,5%, 43%, 46%).

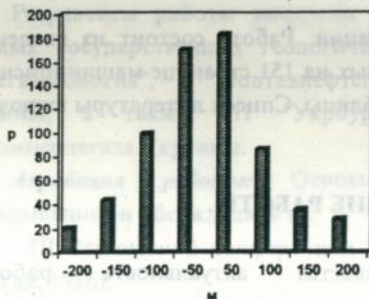


Рис.1 Гистограмма отклонений проходки на сооружение скважин, что и лежит в основе данной работы. Экономически наиболее выгодным считается математическое моделирование, так как позволяет при относительно небольших материальных затратах получать модели высокой адекватности.

Основным объектом управления при строительстве скважин является буровая установка, с помощью которой осуществляются технологические процессы, которые, с точки зрения информативности, являются малоинформативными. Особенностью процесса породоразрушения является то, что к нему существенно ограничен доступ и непосредственное оснащение инструмента контрольно-измерительной аппаратурой практически невозможно из-за механических условий в зоне контакта с разбуриваемой породой. Контроль и регистрация режимно-технологических параметров осуществляется косвенно с существенными погрешностями. В связи с этим представляется целесообразным разработать математические модели, описывающие технологические процессы, которые на сегодняшний день практически отсутствуют, но их техническая реализация и работа в режиме реального времени могли бы повысить показатели бурения.

Капиталоемкость производственного процесса, связанная с использованием сложного, дорогостоящего оборудования, материально-энергетических и трудовых затрат, обуславливает необходимость моделирования как в целом, так и отдельных его составляющих с целью минимизации затрат

Основные результаты исследований, которые получены в первой главе, состоят в том, что дана количественная и качественная оценка несовершенству существующей системы принятия технологических и организационных решений при бурении нефтяных и газовых скважин на различных этапах и уровнях управления.

Предложено разработать концепции, методы и средства для поиска оптимальных или квазиоптимальных решений на основе математического моделирования технологических и производственных процессов, определить критерии оптимизации.

Вторая глава посвящена разработке концептуальной модели функционирования нефтегазоразведочного производства. При разработке модели предпринята попытка систематизировать и формализовать максимально возможное количество факторов, влияющих на промежуточные и конечный показатели строительства скважин.

Концептуальная модель сформирована как функциональная схема и состоящая из четырех предметных областей, которые могут быть как автономными объектами моделирования, исследования и управления, так и объединенными в целостную систему в зависимости от уровня принимаемых решений. Такими составными частями являются:

1-я часть - геолого-технические условия бурения, которые связаны с глубиной залегания интересующих пластов, что определяет их температуру и давление, их петрофизические свойства, нефтегазоводонасыщенность, и т.д. Эти параметры постоянные, как правило, неуправляемые, и являются исходными для выбора техники и технологии бурения, неизвестными в большинстве случаев из-за неизученности, моделируемые и прогнозируемые с некоторой степенью вероятности и представляющими интерес для дальнейших исследований;

2-я часть - процесс углубления скважины, связанный с проведением основных и вспомогательных работ, наиболее капиталоемкий, характерен большим разнообразием технологических приемов, является малоинформативным. В нем выделены основные параметры, которые систематизированы по уровню влияния на механическую и рейсовую скорости бурения. Определены качественные связи между параметрами и показателями, которые подлежат количественной оценке с помощью статистической модели.

Предложен промежуточный показатель - скорость проводки скважины, который, по мнению автора, более адекватно характеризует технологический процесс;

3-я часть - процесс крепления скважин, крепь которого является сложной горно-технической конструкцией со специфическим силовым взаимодействием и представляющим интерес для дальнейших исследований;

4-я часть - производственно-техническое обеспечение, связанное с подготовкой производства, обеспечением необходимыми материалами, оборудованием, выполнением вспомогательных работ;

В соответствии с вышеупомянутой моделью разработана структура автоматизированной информационной системы "БУРЕНИЕ", предназначенной для сбора и обработки на ПЭВМ проектных и фактических данных по технике и технологии бурения скважин, планированию, организации ведения буровых работ, расчета основных фактических технико-экономических показателей проводки скважин, их анализа и принятия решения на различных уровнях управления с целью повышения эффективности строительства нефтяных и газовых скважин.

В основу разработки системы положены концепции интегрированной обработки данных с использованием универсальной системы управления базами данных (СУБД). Архитектура системы включает в себя организационное, техническое, математическое и программное обеспечение и по своему функциональному назначению состоит из двух основных частей: банка данных (в составе нескольких баз данных) и пакета прикладных программ по обработке данных.

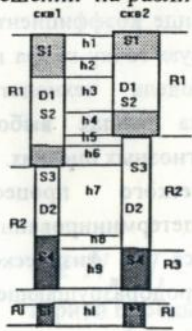
Основу информационного обеспечения составляют три базы данных, содержащие вышеперечисленную, а также нормативно-справочную информацию.

Второй частью системы является пакет прикладных программ по обработке данных глубокого бурения. При этом рассчитывается баланс времени в бурении, основные показатели - механическая, рейсовая, техническая и коммерческая скорости, проходка, проходка на долбление и др. с разбивкой по скважинам, площадям, экспедициям и объединениям в целом, по интервалам и способам бурения, типам, размерам и типоразмерам долот.

Разработаны методы кодирования входной информации с учетом специфики ее формирования и прохождения, а также

алгоритмы ее контроля. В результате разработки структур баз данных, методов кодирования и контроля входных данных создано информационное обеспечение, позволяющее моделировать технологические процессы с целью их исследования, а также поиска путей снижения стоимости буровых работ.

Третья глава посвящена разработке математических моделей производственных и технологических процессов при бурении скважин с целью поиска оптимальных технологических и организационных решений на различных уровнях и этапах управления.



Предложен способ определения аналогичных геолого-технических условий бурения, где скважины (рис.2), как объекты управления, характеризуются перечнем параметров в состав которых входит глубина залегания (h_i) и возраст (S_i) разбуриваемых пород, диаметры бурения (D_i), гидростатическое давление при бурении (R_i). Критерий определяет-ся путем выделения множества зон, т.е. глубин

Рис.2. Схема изменения одного из перечисленных параметров, определения общих зон т.е. зон стратиграфия которых совпадает и общего объема выбуренной породы ($G^{об}$) для двух рассматриваемых скважин, вычисления объема выбуренной породы первой и второй скважиной (G_1, G_2) с учетом плотности промывочной жидкости и предложенный как коэффициент подобия двух скважин:

$$k_n = \frac{G^{об}}{G_1 + G_2}$$

В главе приводится пример упорядочения скважин по критерию k_n , предложен метод определения степени изученности разреза бурением на основании упорядочения коэффициента подобия статистического ряда скважин по отношению к рассматриваемой.

Разработана статистическая модель технологической поливариантности бурения, суть которой заключается в первоначальном априорном разделении множества возможных технологических приемов, используемых инструментов и режимно-технологических параметров в иерархической последовательности по уровню их значимости относительно скоростных и стоимостных

показателей технологического процесса. В последующем, при формировании модели, с помощью факторного анализа уточняется вышеупомянутый уровень значимости и модель соответственно упорядочивается. Статистические данные ранжируются по убыванию коэффициента подобия скважин. Последовательным объединением статистических выборок по объектам формируется совокупность, с учетом ее представительности, при этом, в узловых точках графа формируется выборка, характеризующая данный технологический вариант бурения.

Поливариантные регрессионные модели в виде коэффициентов уравнений помещаются в соответствующую узловую точку графа и в совокупности составляют статистическую модель технологии проводки скважины, которая используется на этапах выбора оптимальных проектных решений, а также при прогнозных оценках.

С целью исследования технологического процесса породоразрушения разработаны две детерминированные математические модели. Модели основываются на физическом понимании энергетического взаимодействия породоразрушающего инструмента с объектом разрушения.

Входными параметрами первой модели являются энергоемкость процесса бурения (\mathcal{E}), энергоемкость горных пород (\mathcal{E}_n), коэффициент полезного действия долота (k) и степень износа долота (I).

При роторном бурении энергоемкость породы определяется по механической мощности, реализуемой на забое (N_3) отнесенной к произведению площади сечения скважины на механическую скорость бурения (V_6).

$$\mathcal{E}_n = N_3 \frac{4}{\pi D^2 V_6} \quad (1)$$

Выразив мощность через частоту вращения (n) и момент вращения, а последний через горизонтальную составляющую нагрузки (G) и диаметр породоразрушающего инструмента (D), получим энергоемкость процесса механического бурения, которая зависит от свойств горной породы, поэтому, необходимо контролировать скорость и вычислять энергоемкость процесса согласно соотношению:

$$\mathcal{E} = \frac{8Gn}{3DV_6} \quad (2)$$

Процесс перераспределения подведенной мощности к забою скважины может быть описан следующей системой уравнений:

$$N_3 = N_n + N_i$$

$$N_n = N_3 k (1 - I)$$

$$N_i = \frac{dI}{dt} M_i$$

$$N_n = \frac{\pi D^2}{4} V_6 \mathcal{E}_n$$

(3)

где: N_n, N_i - соответственно мощность, затраченная на разрушение горной породы и на разрушение долота, кВт;

M_i - энергоресурс долота, Дж.

Первое уравнение выражает закон сохранения энергии. Полная подведенная к забою механическая мощность \rightarrow расходуется на разрушение горной породы и на износ долота.

Второе уравнение описывает влияние износа долота на процесс подвода мощности к горной породе. При этом в уравнении используется коэффициент k , величина которого зависит от используемого типоразмера долота.

Третья формула системы уравнений характеризует динамическую зависимость величины износа от времени работы долота на забое и мощности, поглощенной самим долотом.

Четвертое соотношение связывает мощность разрушения породы с результатом т.е. скоростью бурения, которая зависит от физико-механических свойств разбуриваемой породы (\mathcal{E}_n).

После преобразований (3) получим дифференциальное уравнение в операторной форме:

$$M_i I p = N_3 (1 - k + k I) \quad (4)$$

Тогда (4) относительно меры износа долота будет иметь вид:

$$I = \frac{1-k}{k} \left(e^{\frac{k}{M_1} \int_0^t N_3 dt} - 1 \right) \quad (5)$$

Интеграл в формуле (5) представляет собой полную энергию, подведенную к долоту за время бурения t :

$$A = \int_0^t N_3 dt \quad (6)$$

которая расходуется на разрушение породы и долота, а математическая модель (5) позволяет определить износ последнего.

Измерение динамики износа породоразрушающего инструмента непосредственно в процессе бурения позволяет определить его энергоресурс. Энергоресурс долота интегрально характеризует стойкость последнего на забое скважины. Эталонное значение энергоресурса определяется в стендовых условиях отработки при разбуривании цементных пробок с заданными прочностными параметрами.

Вторая детерминированная модель учитывает динамику бурильной колонны и ее влияние на процесс породоразрушения. В случае единичного акта разрушения горной породы в режиме "выбурка", т.е. когда осевая нагрузка изменяется от \max до \min при условии отсутствия подачи инструмента и частота вращения - постоянная, внедрение резца в породу в общем случае равно:

$$\frac{dh}{dF} = k_n - kh \quad (7)$$

при $dh/dF = 0$ имеем $h = h_m$; $k = k_n / h_m$

где: k_n - коэффициент прочности породы;

F - нагрузка на долото;

h_0, h, h_m - начальная, текущая и максимальная величина внедрения зуба долота в породу;

После интегрирования (7) имеем математическую модель разрушения породы вдавливанием:

$$h(F) = h_m \left(1 - e^{-\frac{k_n}{h_m} F} \right) \quad (8)$$

Предел прочности породы равен:

$$E_n = \frac{dF}{dS_p} = const \quad (9)$$

где S_p - площадь разрушения;

Для случая, когда зуб имеет форму конуса с углом β математическая модель разрушения имеет вид:

$$F(h) = G - k_1 \left(1 - \frac{h^2}{h_m^2}\right) \quad \text{где} \quad k_1 = \frac{E_n \pi \times h_m^2 \sin \beta / 2}{\cos^2 \beta / 2} \quad (10)$$

а с учетом динамики колонны:

$$\begin{cases} F'_{(t)} = F_0 e^{-\frac{k_r m_0 g \omega}{4 \pi \sigma L} t} \\ F''_{(t)} = F_0 [1 - (1 - e^{-\frac{k_r m_0 g \omega}{4 \pi \sigma L} t})^{1/2}] \end{cases} \quad (11)$$

где: m_0 - масса одного метра колонны;

L - длина колонны в горизонтальном положении;

$\varphi, \dot{\varphi} = \omega$ - угол и частота вращения бурильной колонны;

Решения системы (11) для описания процесса породоразрушения являются неполными, так как не учитывают фактора распределения энергии между разрушением породы и долота, поэтому для получения модели "колонна-долото-порода" составляется функция:

$$S = \Pi_{(q)} + \mathcal{E}_{(q)} - K_{(q)} - A_{p(q)} - A_{I(q)} \quad (12)$$

где q - обобщенная координата;

$\Pi_{(q)}$ - потенциальная энергия нагруженного долота;

$\mathcal{E}_{(q)}$ - подведенная энергия к вращающейся колонне;

$K_{(q)}$ - кинетическая энергия системы при выбурке;

$A_{p(q)}$ - работа разрушения породы на забое;

$A_{I(q)}$ - работа износа долота;

В качестве обобщенной координаты принимается величина внедрения зуба долота в породу: $\{h = q, \dot{h} = \dot{q}\}$, тогда, выразив координаты состояния через обобщенную координату и приравняв к нулю, определяются слагаемые уравнения (12)

Для определения $A_{p(q)}$ и $A_{I(q)}$ используется модель (3), связывающей эти две величины системой уравнений:

$$\begin{cases} \alpha(q) = A_{p(q)} + A_{I(q)} \\ A_{p(q)} = \mu \mathcal{E}_0 (1 - \Gamma) \\ I = AA_{I(q)} \end{cases} \quad (13)$$

$$2c_0 L \left(y_{c_0} - \frac{q}{R_0} \right) = BA_{p(q)}$$

где: y_{p_0} ; y_{c_0} - координаты нулевого сечения колонны в горизонтальном положении;

Дифференцируя слагаемые уравнения (12) искомое уравнение имеет вид:

$$2\ddot{q}q + \dot{q}^2 + \frac{2(\Pi_0 + P_1)}{K_0} q - \frac{(I_0 + P_0 - \mathcal{E}_0)}{K_0} = 0 \quad (14)$$

которое отражает динамику внедрения резца в породу во времени ($h(t)$) с учетом режима бурения (F, ω), механических свойств породы (k_n), глубины скважины (L), механических характеристик колонны (c_0), коэффициента полезного действия (μ) и износа породоразрушающего инструмента (Γ).

где:

$$\Pi_0 = \frac{E_0 2c_0^2 L}{R_0^2}; K_0 = \frac{2c_0^2 L^2 m_0}{R_0^3};$$

$$\mathcal{E}_0 = \frac{\mathcal{E}'_0 t}{R_0}; I_0 = \dot{\mathcal{E}}_0 + \frac{2c_0 L}{BR_0}; I_1 = \frac{2c_0 L y_{c_0}}{B};$$

$$P_0 = \mu \mathcal{E}_0 + \frac{2\mu c_0 L \mathcal{E}_0 A I_{c_0}}{B};$$

$$P_1 = \mu A \mathcal{E}_0^2 + \frac{2\mu c_0 L \mathcal{E}_0 A}{BR_0};$$

Решением уравнения (14) является функция

$$F(t) = F_0 e^{\frac{\alpha}{k_0}(k_0 - q)t} e^{-\frac{\alpha^2}{4\gamma}t^2 + \frac{c_1}{2\gamma}t} = \frac{1}{k_n} q(t) = h(t) \frac{1}{k_n}; \quad (15)$$

где:

$$\alpha = \frac{2(\Pi_0 + P_1)}{R_0}; \quad \gamma = \frac{I_0 + P_0 - \mathcal{E}_0}{R_0}; \quad c_1 = \frac{R_0 h_0 V_0}{\gamma c_0 L};$$

V_0 - начальное значение механической скорости бурения;

α - угол отклонения скважины от вертикали;

Зная $q(t)$ возникает возможность оптимизации процесса породоразрушения путем минимизации его энергоемкости

$$\{K_3\} = K_k \frac{F(t) \cdot \omega(t)}{V(t)} \rightarrow \min \quad (16)$$

На основании приведенных моделей в режиме реального времени осуществляется поиск оптимальной нагрузки (*Fonm*) при которой затрачивается минимальное количество энергии на единицу объема выбуренной породы для данной частоты вращения. Изменение частоты вращения породоразрушающего инструмента и повтор поиска *Fonm* предоставляют возможность пользователю найти оптимальное сочетание основных двух параметров режима бурения-нагрузки и частоты вращения.

Основные результаты, полученные в третьей главе, состоят в следующем:

- усовершенствован энергетический подход к вопросу породоразрушения, который предоставляет возможность на качественно новом уровне моделировать технологический процесс с целью его оптимизации;

- разработан и апробирован критерий определения меры сходства объектов (скважин) для формирования выборки данных с целью построения статистической модели;

- разработана статистическая модель в виде поливариантного технологического графа в узловых точках которого находятся коэффициенты уравнений регрессии зависимости показателей от влияющих факторов, или наиболее вероятные значения показателей бурения;

- предложен метод прогнозирования показателей, а также возможность выбора оптимального или квазиоптимального технологического решения на основе статистической модели.

-разработана математическая модель технологического процесса породоразрушения с целью минимизации критерия энергоемкости и определения меры износа породоразрушающего инструмента.

Четвертая глава посвящена разработке технических требований к системе оптимального управления режимом породоразрушения при бурении скважин, которая предназначена для контроля и визуализации основных режимно-технологических параметров и показателей процесса бурения, поиска и определения оптимального сочетания нагрузки на долото и частоты его вращения по найденному значению критерия оптимизации, контроля за изменением последнего и выдачи рекомендаций бурильщику по ведению технологического процесса.

Впервые разработаны технические требования к подобной системе. В состав системы должны входить:

- блок обработки информации (БОИ);
- блок управления и отображения информации (БУОИ);
- первичные датчики (ПД);
- блок питания (БП);

Система должна обеспечивать:

- 1) ввод кода типоразмера породоразрушающего инструмента;
- 2) ввод и выполнение команд;
- 3) измерение, вычисление и индикацию параметров процесса бурения представленных в табл.1.

4) работу в режиме поиска оптимальных значений параметров бурения, в котором осуществляется:

- контроль выполнения начальных условий (отсутствие подачи инструмента, наличие циркуляции раствора, вращения породоразрушающего инструмента, замера коэффициента жесткости бурильной колонны);

- определение и запоминание оптимальных значений частоты вращения и осевой нагрузки на долото по минимальному значению критерия оптимизации;

5) по команде оператора обеспечивать индикацию на БУОИ параметров в соответствии с табл.1 и сброс значения параметра проходы;

б). выдачу сообщения, "не выполнение условий" в случае несоблюдения бурильщиком рекомендуемых режимно-технологических параметров;

Таблица 1

№ индикатора	Количество значащих цифр	Первый параметр	Размерность	Второй параметр*	Размерность
1	3	Вес на крюке	Н	Удлинение колонны	м/Н
2	3	Нагрузка на долото	Н	Рекомендуемая нагрузка	Н
3	3	Частота вращения ротора	об/мин	Рекомендуемая частота	об/мин
4	3	Давление на выкиде насоса	Па	Энергоёмкость бурения	дж / м ³
5	3	Скорость бурения	м/час	Степень износа долота	%
6	4	Проходка	м	Рекомендуемая энергоёмкость	дж / м ³

* выводится на индикатор при нажатии кнопки "Запрос параметров".

7) возможность изменения параметров, характеризующих буровое оборудование и породоразрушающий инструмент с использованием специальных технических и программных средств (программаторов).

Блок обработки информации должен обеспечивать непрерывный прием электрических аналоговых сигналов с датчиков веса на крюке и давления на выкиде насосов, а также импульсных сигналов с датчика подачи инструмента, частоты вращения ротора и состояния тормоза лебедки и производить их обработку. Кроме того, определены требования к функциональным блокам системы, требования конструктивные, условия эксплуатации, транспортировки, хранения, маркировки и т.д.

Разработаны алгоритмы, обеспечивающие сглаживание пульсации в каналах веса и давления, а также алгоритмы измерения удельного удлинения бурильной колонны. Предложена структурная

схема программно-аппаратного комплекса, разработано техническое задание для выполнения работ по проектированию системы.

Выводы. В результате проведенных исследований определено, что для поиска и принятия оптимальных или квазиоптимальных технологических и организационных решений на различных этапах и уровнях управления производственным процессом строительства нефтяных и газовых скважин наиболее приемлемыми являются методы математического моделирования с предоставлением пользователю возможности многовариантных оперативных просчетов с использованием диалоговых, программных и технических средств.

В результате исследований и разработок:

1. *Предложена концептуальная модель* функционирования основного производства при строительстве нефтяных и газовых скважин.

2. *Разработана статистическая модель*, которая основывается на использовании математической статистики и современных технологий обработки информации. Основной задачей модели является поиск оптимальных технологических и организационных решений с целью минимизации затрат на строительство скважин, а также определения наиболее вероятных результатов бурения при заданных ограничениях.

3. *Определен перечень входной информации*, который систематизирован и формализован с точки зрения машинной обработки для структуризации баз данных, разработаны методы и средства кодирования, ввода, контроля, хранения, защиты и поиска информации с учетом специфики ее формирования и прохождения.

4. В результате разработки структур баз данных, методов кодирования и контроля входных данных *создано информационное обеспечение*, позволяющее моделировать технологические процессы с целью их исследования, а также осуществлять поиск путей снижения стоимости буровых работ.

5. *Разработан критерий подобия скважин*, который позволяет осуществлять выборку статистических данных, характеризующих наиболее подобные объекты исследования, проводить анализ показателей в сопоставимых геолого-технических условиях, а также построить по ним самообучающуюся статистическую модель, с помощью которой можно прогнозировать показатели принятого

технологического решения или решить обратную задачу - по заданным ограничениям или условиям найти технологический вариант.

6. *Разработаны математические модели* процесса породоразрушения, в которых для каждой отдельной операции регулирования и отработки оперативных данных *разработаны целевые алгоритмы*, работа которых взаимосвязана с технологическим процессом бурения. Математические модели используются для поиска оптимального режима бурения по критерию энергоемкости и технически это связано с включением в состав бурового оборудования программируемого процессорного устройства, формирующего команды направления поиска, логического обобщения и выдачи рекомендаций оператору (бурильщику).

7. *Предложена структурная схема системы оптимального управления* режимом породоразрушения при бурении скважин, которая предназначена для контроля и визуализации основных режимно-технологических параметров и показателей процесса бурения, поиска и определения оптимального сочетания нагрузки на долото и частоты его вращения по найденному значению критерия оптимизации, а также контроля за изменением последнего и выдачи рекомендаций бурильщику по ведению технологического процесса. Разработаны технические требования к системе.

Результаты внедрения:

На основании проведенных работ были созданы автоматизированная система (АИС) "Бурение" и программно - аппаратный комплекс контроля и оптимизации технологического процесса.

Автоматизированная информационная система включает в себя:

- информационное обеспечение;
- математическое обеспечение;
- программное обеспечение;
- техническое обеспечение;
- организационное обеспечение.

На момент представления данной работы АИС "Бурение" передана и находится в эксплуатации на вычислительных центрах государственных геологических предприятий "Полтавнефтегазгеология" и "Черниговнефтегазгеология" Государственного комитета по геологии и использованию недр Украины, а также

"Укрбургаз" Госкомнефтегазпрома Украины, о чем свидетельствуют акты внедрения.

Вторым приложением разработок является программно-технический комплекс контроля и оптимизации процесса бурения (система "КОРУНД"). Система представляет собой набор первичных преобразователей, блока питания, процессорного блока и блока индикации, которая находится в эксплуатации в ДПП "Черниговнефтегазгеология" и Ахтырском управлении буровых работ Госкомнефтегазпрома Украины о чем также свидетельствуют акты внедрения.

По материалам диссертации имеются следующие публикации:

1. Политучий А.И. Методы кодирования и контроля данных. Автоматизация и телемеханизация нефтяной промышленности N 9, 1983.

2. Политучий А.И. Автоматизированная информационная система в глубоком бурении. Автоматизация и телемеханизация в нефтяной промышленности. Э.И. N 7. 1984.

3. Політучий О.І., Голєв А.О. Математична модель взаємодії породоруйнівного інструменту і гірської породи. Мінеральні ресурси України, № 2 Київ 1995.

4. А.С. СССР N 1540372. Способ контроля износа породоразрушающего инструмента. Голєв А.А., Политучий А.И. Бюл. № 4 1990 г.

5. Политучий А.И. Автоматизированная информационная система "Бурение" XI конференция молодых ученых, аспирантов и соискателей. Тезисы докладов ВИЭМС, 1986.

6. Скакалина Е.В. Политучий А.И. Системный подход при решении задач целевого планирования. III Всесоюзная конференция "Системный подход в геологии" Тезисы докладов. М. 1986 г.

7. Голєв А.А., Пашова Н.Г., Политучий А.И. О перспективности энергетического подхода в механике горных пород. Всесоюзная конференция "Механика горных пород." Тезисы докладов. Грозный, 1988.

8. Политучий А.И., Голєв А.А. Оптимизация процесса породоразрушения. Международная конференция. Механика горных пород при бурении. Тезисы докладов. Грозный, 1991.

9. Овсий А.В. Червоний Ю.Н. Политучий А.И. Автоматизированная информационная система по вводу и обработке данных суточного рапорта бурового мастера. XVII конференция молодых ученых и специалистов УкрНИГРИ. Полтава 1991 г.

10. Политучий А.И., Давыденко А.Н., Полозюк А.Л. Способ измерения крутящего момента стола ротора. Межгосударственные конференции. Механика горных пород при бурении. Тезисы докладов. Грозный, 1992.

Polytuchiy A.I. Research and elaboration of the mathematical models for creation of informatization and computerization means of decision making at industrial processes while constructing wells for oil and gas.

Dissertation for competition for the Scientific Degree of Candidate of technical sciences in speciality 05.13.02 "Mathematical modelling in scientific researches" The Institute of Simulation Problems in Power of National Academy of Science of Ukraine. Kyiv, 1995.

Methods and means (as mathematical models, algorithms, programming and technical means) are maintained. They are to model production and technological processes in construction of oil and gas wells in order to optimise and quasi-optimise different stages and levels of management.

Key words: mathematical modeling, drilling, well, optimization.

Політучий О.І. Дослідження та розробка математичних моделей для створення засобів інформатизації та комп'ютеризації прийняття рішень у виробничих процесах при будівництві нафтових і газових свердловин.

Дисертація на здобуття вченого ступеню кандидата технічних наук з спеціальності 05.13.02 "Математичне моделювання в наукових дослідженнях". Інститут проблем моделювання в енергетиці Національної Академії наук України, Київ, 1995.

Захищаються методи та засоби (у вигляді математичних моделей, алгоритмів, програмних та технічних засобів), які призначені для моделювання виробничих та технологічних процесів при будівництві нафтових і газових свердловин з метою пошуку та прийняття оптимальних або квазіоптимальних рішень на різних етапах та рівнях управління.

Ключові слова: Математичне моделювання, буріння, свердловина, оптимізація.

Подписано к печати: 21.09.1995 г. Формат 60x84/16

Бумага офсетная. Усл.печ. листов-1.0. Тираж 100

ОНТИПЛР Научно-исследовательского института
технологии бурения. 314002 Полтава, ул. Фрунзе 149.