

На правах рукописи
УДК 622.24



Грибанов Михаил Валентинович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИК И
ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ
БУРЕНИЯ СКВАЖИН**

Специальность 25.00.15 – Технология бурения и освоения скважин

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ухта 2012

Работа выполнена на кафедре Бурения Ухтинского государственного технического университета.

Научный руководитель: – кандидат технических наук, доцент
Логачёв Юрий Леонидович

Официальные оппоненты: – доктор технических наук, с.н.с.
Близнюков Владимир Юрьевич

– кандидат технических наук
Краснов Сергей Алексеевич

Ведущее предприятие: – ООО «Газпром-бурение»

Защита 16 марта 2012 г. в 10⁰⁰ часов, на заседании диссертационного совета Д 212.291.01 при Ухтинском государственном техническом университете, по адресу: 169300, г. Ухта, ул. Первомайская 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ухтинского государственного технического университета.

Автореферат разослан «15» февраля 2012 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Н.М. Уляшева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

На современном этапе развития технологии бурения скважин на нефтяных и газовых месторождениях приоритетное значение приобретает проблема использования резерва, заложенного в существующей методико-математической основе и программном обеспечении режимных параметров процессе углубления ствола.

В связи с этим развитие и внедрение в производство методик оптимизации, а также постоянное совершенствование имеющихся программных комплексов, средств и методов обработки больших массивов информации для поиска оптимальных параметров режима бурения является **актуальной научно-технической задачей**.

Цель диссертационной работы

Повышение эффективности процесса бурения глубоких скважин посредством совершенствования и реализации методик и программных средств оптимизации параметров режима бурения скважин на примере месторождений Тимано-Печорской провинции.

Основные задачи исследований

1. Анализ промыслового опыта по отработке трёхшарошечных долот с использованием методов математической статистики.
2. Промысловые исследования диаграмм бурения (ДБ) с целью совершенствования режимов бурения, применяемых на месторождениях ООО «Компания Полярное Сияние».
3. Создание единой базы данных по буримости горных пород по группе близлежащих месторождений.
4. Создание методики критериальной оценки режимов бурения с учётом возможных простоев буровой установки через приведённую рейсовую скорость.
5. Создание методики оценки эффективности режимов бурения через критерий компромисса, позволяющего учитывать эффективность применения «щадящих» режимов бурения.
6. Совершенствование стратегии и алгоритма моделирования режимов бурения посредством разработки принципиальной модели САПР бурения с учётом динамики работы долота на забое.

Методы исследований

Поставленные автором задачи решались с помощью комплекса исследований, включающих: анализ и обобщение российских и иностранных источни-

ков информации по вопросу оптимизации параметров режима бурения; проведение промысловых экспериментов для различных условий с целью адаптации имеющихся оптимизационных методик и поиску новых. Массивы полученной информации обобщались, анализировались и обрабатывались методами математической статистики.

Научная новизна

1. На основе обработки экспресс методом диаграмм бурения для месторождений и площадей «Компании Полярное Сияние» определена база данных по оценке буримости горных пород.
2. Предложен критерий компромисса, позволяющий оптимизировать режим бурения по результатам программного моделирования углубления ствола скважины.
3. Установлено, что учет непроизводительного времени и возможных простоев целесообразно производить по приведенной рейсовой скорости с целью обоснования щадящих режимов бурения.
4. Установлено существенное влияние ранее не учитываемой динамики работы шарошечного долота на забое на достоверность результатов моделирования его отработки по существующей математической модели на основе диаграммы бурения Бингхэма.
5. Разработана автоматизированная система управления углублением ствола скважины на базе математической модели бурения шарошечными долотами и информации со станций геолого-технологических исследований.

Основные защищаемые положения

1. База данных по оценке буримости горных пород, полученная на основе обработки диаграмм бурения, позволяет проектировать и управлять углублением скважины.
2. Критерий компромисса HVp позволяет оптимизировать конкурирующие режимы бурения.
3. Учет непроизводительного времени и возможных простоев целесообразно производить по приведенной рейсовой скорости, что позволяет поддерживать щадящие режимы бурения в зимних условиях.
4. Модернизированный алгоритм программы оптимизации режимов бурения учитывает динамические процессы на забое скважины (частота вращения долота, нагрузка на долото).
5. Структурная схема автоматизированной системы управления (АСУ) бурения и алгоритм управления процессом углубления в условиях слежения и управления основными параметрами режима бурения для достижения оптимальных технико-экономических показателей (ТЭП) строительства скважины.

Практическую ценность имеют:

1. Базы буримости по месторождениям ООО «Компании Полярное Сияние», которые позволяют на качественно новом уровне обеспечивать проектирование и сопровождение строительства скважин с применением компьютеризированных программ и современных методик оптимизации режимов бурения.
2. Определенные в результате анализа промысловой информации и проведенных тестовых экспериментов, оптимизированные варианты режимов бурения на месторождениях ООО «Компании Полярное Сияние».
3. Базы буримости, полученные по приведенному угловому коэффициенту, позволяют детализировать и уточнять интервалы геологических разностей и стратиграфических подразделений в комплексе со стандартными геофизическими методами интерпретации электрометрических измерений в скважине.
4. Критерий компромисса для оценки оптимальности результатов промышленного бурения и моделирования вариантов отработки шарошечных долот с применением компьютерных программ.
5. Методика учета непроизводительных затрат времени по приведенной рейсовой скорости, которая позволяет корректировать выбор оптимальной стратегии углубления в комплексе с критерием компромисса.
6. Усовершенствованный алгоритм моделирования отработки шарошечных долот, учитывающий динамику бурильной колонны, позволяет повысить эффективность применения на практике дополнительные дорогостоящие блоки телесистем, регистрирующие забойную нагрузку и частоту вращения долота.
7. Предложенная принципиальная схема АСУ бурения обеспечит улучшение условий труда на современных буровых установках, повысит ТЭП бурения и качество проектирования и сопровождения при строительстве нефтяных и газовых скважин.

Апробация результатов исследований

По тематике исследований опубликовано 10 научных статей, 4 из которых опубликованы в журналах ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертационная работа и её отдельные разделы доложены, обсуждены и одобрены на: Конкурсе молодёжных разработок среди молодых специалистов ООО «Буровая компания «Евразия - Пермь» (г. Полазна, апрель 2005 г.); Научно-технической конференции Архангельского государственного технического университета «Проблемы освоения нефтегазовых месторождений Европейского Севера России» (г. Архангельск, февраль 2007 г.); VIII, IX, X международных молодёжных научных конференциях «Севергеоэкотех-2007/2008/2009» (г. Ухта, март 2007 г./2008 г./2009 г.); Ежегодной научно-практической конференции «Математическое моделирование и компьютерные технологии в разработ-

ке месторождений» (г. Уфа, апрель 2009 г.); XI международной молодёжной научной конференции «Севергеоэкотех-2010» (г. Ухта, март 2010 г.), а также на научных семинарах на заседании кафедр бурения Ухтинского государственного технического университета УГТУ и Северного Арктического Федерального университета.

Объём и структура работы

Диссертационная работа изложена на 116 страницах машинописного текста, содержит 22 рисунка и 15 таблиц. Состоит из введения, 5 разделов, заключения и приложений. Список использованной литературы включает 122 наименования.

Обосновать цели и задачи исследований автору помогли работы отечественных и зарубежных ученых: М.Г. Абрамсона, Ю.Ф. Алексеева, Р.А. Бадалова, Б.В. Байдюка, Г.Д. Бревдо, А.И. Булатова, В.Ф. Буслаева, В.Ю. Близнюков, М.Т. Гусмана, А.М. Гусмана, Ф.И. Железнякова, Р.А. Ионнесяна, С.В. Каменских, А.К. Козодоя, Н.А. Колесникова, Е.Г. Леонова, Ю.Л. Логачева, П.Ф. Осипова, А.А. Погарского, А.Н. Попова, Ю.Ф. Потапова, В.В. Симонова, Ю.В. Садыхова, А.И. Спивака, Е.Т. Струговца, В.С. Федорова, М.А. Фингерита, В.К. Хегая, Л.А. Шрейнера, Е.К. Юнина, Д. Аллена, М. Бингхэма, Х. Вудса, Д. Галона, Р. Каннингхэма, Н. Лингена и других. Достаточно большое влияние на развитие технологии углубления скважин на Севере Европейской части России оказали Р.Г. Ахмадеев, В.Ф. Буслаев, И.Ю. Быков, С.М. Вышенский, Ю.М. Гержберг, В.А. Зюзев, В.Т. Лукьянов, П.Ф. Осипов, Ю.Ф. Рыбаков, Г.Ф. Скрябин, Н.М. Уляшева, В.М. Юдин и другие исследователи.

Автор особо благодарен своему первому научному руководителю профессору кафедры бурения УГТУ, доктору технических наук П.Ф.Осипову, за тот интерес к исследовательской работе, что он смог пробудить своей энергией и преданностью любимому делу.

Диссертационная работа завершена под руководством заведующего кафедрой бурения УГТУ, кандидата технических наук Ю.Л. Логачева, которому автор выражает глубокую признательность за постоянную поддержку и ценные консультации, а в особенности - за идеи, нашедшие отражения в данной работе.

Неоценимую помощь в проведении экспериментальных работ, сборе и обработке информации, а также обсуждении полученных результатов оказали сотрудники отдела бурения и ремонта скважин ООО «Компания Полярное Сияние» А.М. Гурецкий, В.К. Куранов и С.И. Сикиринова.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, дана общая характеристика работы, сформулирована цель и задачи исследований, научная новизна, защищаемые положения и практическая ценность.

В первой главе проведён анализ существующих методик совершенствования и оптимизации режимов бурения. Описан опыт оперативного управления углублением скважины и различные факторы, влияющие на него. Определены цели и задачи исследований.

Во второй главе проделан анализ режимов бурения применяемых на практике, и выявлены наилучшие долота и параметры режимов бурения на основе обработки методами математической статистики массива из отработки свыше 420 долот. Также на основании методики разделения разреза на пачки равной буримости и полученных в промысловых условиях диаграмм бурения (ДБ) создана единая база буримости пород по группе близлежащих месторождений ООО «Компания Полярное Сияние». Рассмотрен вариант оперативного исследования фракционного состава шлама с целью установления корреляционной связи между его размером и качеством очистки забоя скважины.

В третьей главе рассмотрены методики оптимизации режимов бурения и оперативной оптимизации параметров бурения на основе использования автоматизированной системы управления (АСУ) процесса углубления скважины. Также рассмотрена методика определения фактической частоты вращения долота на забое в роторных компоновках и в компоновках с винтовым забойным двигателем.

В четвёртой главе дан анализ существующего программного обеспечения для оперативного управления режимами бурения и приведены решения по совершенствованию существующих методик.

В пятой главе представлен регламент на углубление скважины, с учётом всех методик и программных средств, представленных в диссертационной работе. Приведён расчёт экономической эффективности использования предложенного регламента.

Основные выводы по диссертационной работе изложены в последнем разделе.

В приложениях приведены виды экспериментальных зависимостей и результаты их обработки, протоколы заседаний НТС, где обсуждалось внедрение результатов работы.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Защищаемое положение № 1. *База данных по оценке буримости горных пород, полученная на основе обработки диаграмм бурения, позволяет проектировать и управлять углублением скважины.*

На лицензионной территории ООО «Компания Полярное Сияние» широкое применение нашла методика оценки горных пород по данным механического каротажа. Она разработана на основе оригинальных методик, предложенных П.Ф. Осиповым и В.Н. Задиреем, и позволяет без простоя процесса бурения получить важнейшую промысловую информацию – данные о буримости

пород с привязкой к местному геологическому разрезу, что является определяющим условием оптимизации режимов бурения.

Всё это позволило создать базу данных (БД) о буримости горной породы в забойных условиях, как для одиночной скважины, так и месторождения или региона, где проводятся буровые работы. На примере бурения скважины № 3 Восточно-Колвинского месторождения рассмотрен комплекс промыслово-практических мероприятий для сбора информации и формирования БД по буримости горных пород, а именно:

Этап 1. Предварительная разбивка разреза скважины на пачки равной буримости с необходимым уровнем детализации и привязкой их к локальным стратиграфическим горизонтам.

На основе вышеупомянутых методик получено расчленение разреза на пачки равной буримости. Информативность разреза существенно повышается, если выделенные интервалы равной буримости будут охарактеризованы усредненными параметрами диаграммы бурения.

В табл. 1. показан пример результатов обработки данных механического каротажа, полученных при бурении на Восточно-Колвинском месторождении [1] на основе углового приведенного коэффициента $K_{пр}$.

Полученные данные являются количественным описанием буримости горной породы в разрезе представленной скважины. Методика позволяет управлять уровнем детализации расчленения разреза, с помощью предварительно выбранного относительного отклонения ε (в данном случае $\varepsilon = 0,8$). Данные позволяют выполнять моделирование процесса бурения при помощи компьютерных программ, проводить экспертные оценки изменчивости буримости пород на месторождении (регионе).

Таблица 1. Фрагмент разделения геологического разреза на интервалы равной буримости

Интервал бурения, м		Мощность пачки, м	Параметры ДБ			
от	до		g_o	K_s	K_v	$n_{кр}$
1229	1238	9	0,14	1,32	3,04	38
1239	1295	56	0,11	2,19	5,04	38
1296	1307	11	0,12	1,66	3,82	38
1308	1378	70	0,1	2,67	6,15	38
1379	1422	43	0,12	1,81	4,17	38

Полученное сводное расчленение разреза на пачки равной буримости, привязываются к стратиграфическим горизонтам региона (табл. 2).

Таблица 2. Фрагмент привязки интервалов равной буримости к стратиграфии Восточно-Колвинского месторождения

Месторождение	Возраст	Отдел	Кровля	Подошва	K_s	K_v	G_o	$N_{кр}$
Восточно-Колвинское	Триасовая	Верхний	936	1228	4,49	10,32	0,08	38
			1229	1238	1,32	3,04	0,14	38
		Средний	1239	1295	2,19	5,04	0,11	38
			1296	1307	1,66	3,82	0,12	38
			1308	1378	2,67	6,15	0,1	38
			1379	1422	1,81	4,17	0,12	38
			1423	1432	2,64	6,07	0,1	38

Этап 2. Проведение тест – бурения в реальных скважинных условиях, то есть осуществление бурения методом «выработки забоя» с одновременным фиксированием изменений удельной нагрузки на долото во времени станциями геолого-технологических исследований.

За время строительства скважины № 3 Восточно-Колвинского месторождения проведён 31 эксперимент «выработки забоя», по каждому из них были получены и построены ДБ, одна из них показана на рисунке 1.

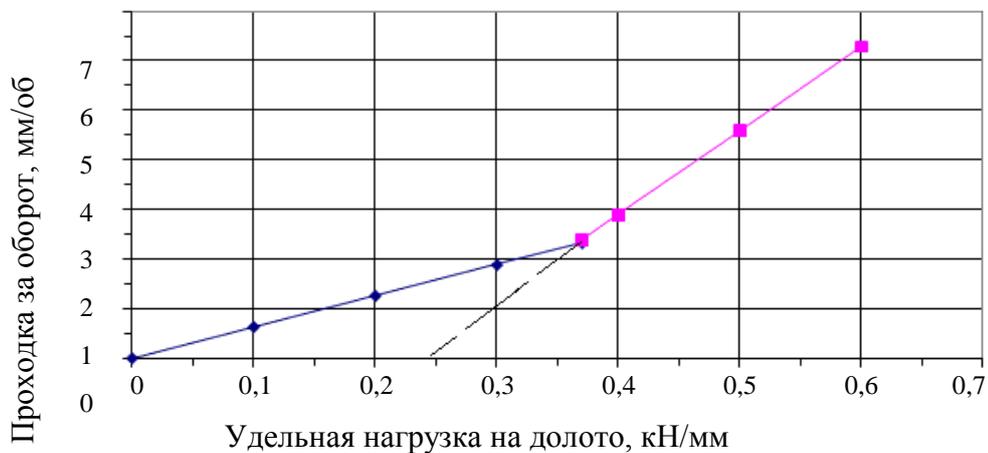


Рисунок 1. Диаграмма бурения, полученная на глубине 1512 метров

Следует отметить, что проведение опытного бурения методом «выработки забоя» занимает по времени от 2 до 12 минут в зависимости от прочности пород и глубины скважины. Сам промысловый эксперимент заключается в создании максимальной нагрузки на долото g_{max} , фиксации верхнего конца бурильной колонны и прекращении подачи инструмента. С нагрузки g_{max} до момента, когда нагрузка на долото достигнет g_{min} , долото, благодаря упругой деформации бурильной колонны, проходит некоторое расстояние, т.е. осуществиться «выработка забоя». С помощью датчиков СГТИ фиксируется процесс

изменения удельной нагрузки на долото во времени - зависимость $g(t)$. На рисунке 2 показан пример конкретного вида функции $g(t)$, полученной при опытном бурении скважины №3 Восточно-Колвинского месторождения на глубине 1208 метров.

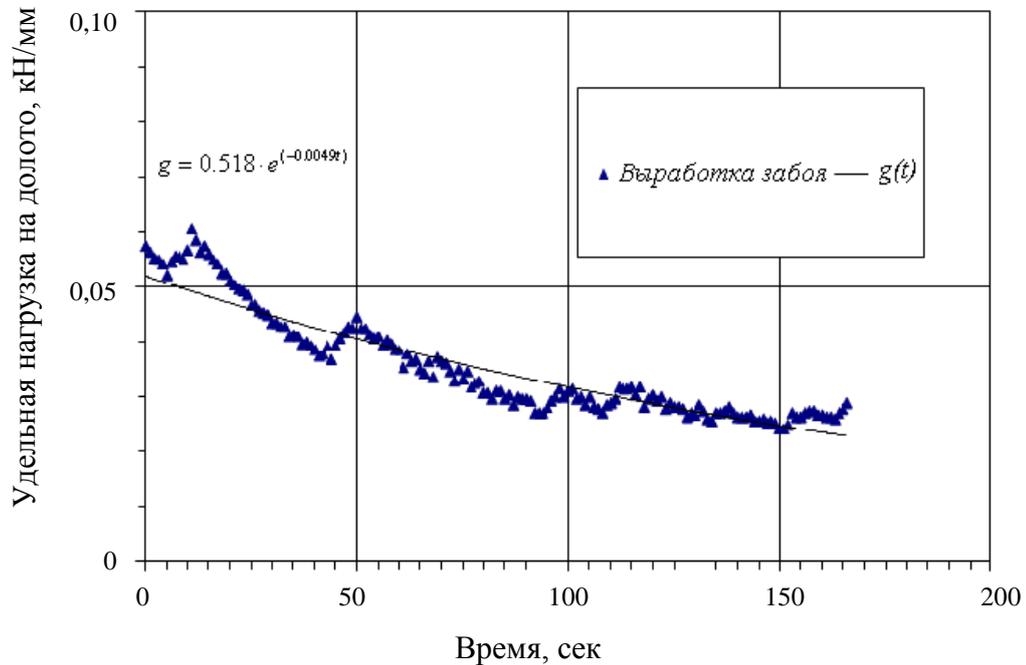


Рисунок 2. Зависимость $g(t)$, полученная методом «выработки забоя»

Вид ДБ зависит не только от свойств разрушаемой породы, а также от ряда технологических факторов, таких как: конструкция долота, степень его отработки, дифференциального давления и режимов промывки, и поэтому такие ДБ пока ещё не пригодны для хранения в качестве конечной информации о буримости пород данной скважины. В работах П.Ф. Осипова доказано, что любую ДБ можно преобразовать в предельное состояние. Известно, что при скорости вращения долота меньше $n_{кр}$ линии на ДБ занимают верхнее положение, а угловые коэффициенты перестают зависеть от скорости вращения долота, то есть ДБ становится предельной в отношении скорости вращения долота. Если же диаграмма была получена при бурении (в тех же скважинных условиях) долотом типа М, то она также становится предельной по отношению к другим типам вооружения, такая диаграмма называется М – диаграммой.

Этап 3. Оперативная обработка получаемых СГТИ данных механического каротажа в процессе бурения с целью получения базовой информации о буримости породы.

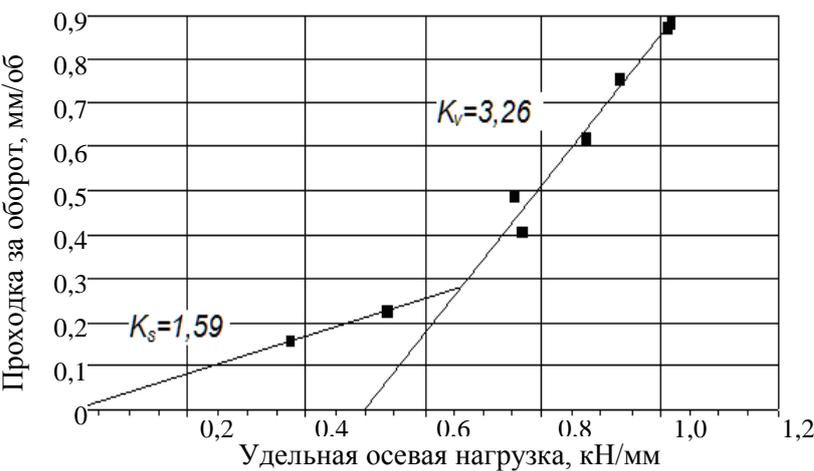
Только после того, как ДБ будет преобразована к нулевому дифференциальному давлению (M_0 - ДБ) она становится истинно предельной и заносится в базу данных по буримости породы.

Для упрощения процедуры был разработан алгоритм пересчёта Д – ДБ (начальная диаграмма, полученная при бурении, определенным типом долота)

к M_0 – ДБ, который является частью программного комплекса построения базы данных о буримости пород. В таблице 3 представлен финальный вариант обработки эксперимента, методом «выработки забоя», проведенным на скважине № 3 Восточно-Колвинского месторождения на глубине 1208 метров. Здесь видно, что обработанные данные описываются линиями поверхностного разрушения (ЛПР) и объемного разрушения (ЛОР). Ниже представлены исходные параметры Д – ДБ и пересчитанные предельные значения M_0 – ДБ.

В промысловых условиях проведение «выработки забоя», получение и обработка исходной информации занимает считанные минуты, что позволяет оперативно корректировать (заменять) существенно отличающуюся прогнозируемую ДБ (на основе мехкаротажа) от фактической.

Таблица 3. Обработанные данные опытного бурения

Данные описываются линией ЛПР и ЛОР: Угловые коэффициенты $K_s=1,59$ и $K_v=3,26$	Параметры Д-ДБ:	Параметры Mo-ДБ:
	$K_s = 1,59$ $K_v = 3,26$ $g_0 = 0,15$ $N = 98$	$K_s = 3,34$ $K_v = 10,03$ $g_0 = 0,10$ $N_{кр} = 36$

Этап 4. Использование специального программного обеспечения СГТИ и соблюдение регламента по заполнению (подготовке, дополнению и уточнению) базы данных по буримости пород для одиночной скважины, месторождения или региона проведения буровых работ.

По вышеизложенной методике были «обработаны» четыре близлежащих месторождения, которые представлены 6 скважинами – двумя одиночными (разведочные) и четырьмя эксплуатационными скважинами по две на каждом кусту. Для удобства работы базы данных по буримости с данными о месторождениях, их стратиграфии и приведенными диаграммами были сведены в отдельные таблицы.

Предложенная методика удобна при анализе буримости породы, как для одного месторождения, так и сравнительной «привязке» близлежащих (например, одиночных разведочных) скважин и месторождений.

В буровой практике впервые ведутся попытки создания базы данных о

буримости целого региона. В ближайшем будущем – это позволит оперативно и своевременно оптимизировать режимы бурения скважин не только на этапе их проектирования, но и оперативно управлять углублением скважины на основе методов математического моделирования бурения.

Защищаемое положение № 2. *Критерий компромисса HV_p позволяет оптимизировать конкурирующие режимы бурения*

Для оценки эффективности режимов бурения предлагается методика оценки сопоставляемых результатов применения разных режимов отработки долот по критерию компромисса HV_p . Наиболее эффективное его применение достигается в случае моделирования отработки долот с использованием вычислительной техники.

Смысл критерия состоит в сопоставлении всех вариантов режимов бурения с одним из них – с максимальной рейсовой скоростью, для этого:

1. Определяется максимальная рейсовая скорость из всех полученных вариантов $V_{p\max}$, проходка при этом h_p и время механического бурения t_{δ} .

2. Определяется разница между проходками в альтернативных вариантах долблений h_i и по максимальной рейсовой скорости h_p :

$$\Delta h_1 = h_i - h_{\delta} \quad (1)$$

3. Определяется выигрыш в проходке при сопоставлении i -го режима и режима с максимальной рейсовой скоростью:

$$\Delta h_2 = (V_{p\max} - V_{pi}) \times (t_{\delta} - t_{\delta i}) \quad (2)$$

где $t_{\delta} = \frac{h_p}{V_{p\max}} - t_{СПО}$, а $t_{\delta i} = \frac{h_i}{V_{pi}} - t_{\delta i}$, (3)

Из формул (2) и (3) получаем следующее выражение:

$$\Delta h_2 = (V_{p\max} - V_{pi}) \times \left(\frac{h_i}{V_{pi}} - \frac{h_p}{V_{p\max}} \right) \quad (4)$$

4. Критерий HV_p определяется как разница между выражениями (1) и (4):

$$HV_p = (h_i - h_p) - (V_{\delta\max} - V_{pi}) \times \left(\frac{h_i}{V_{pi}} - \frac{h_p}{V_{p\max}} \right) \quad (5)$$

В таблицу 5 внесены результаты долблений по пяти скважинам, которые имеют одинаковую конструкцию и сходные геологические условия. По фактическим данным сопоставлены ТЭП, и в том числе критерий компромисса HV_p .

Таблица 5 Фактические данные по ТЭП (время бурения, критерий компромисса HVR , рейсовая скорость и проходка на долото) по скважинам со схожими геологическими условиями

Скважина	Критерий	Номер рейса											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
35 Центрально-Хорейверская	t время бурения, час	54	82,8	31,3	124	97,5	58,5	76,6	75,5	30,8	75,6	82	17,6
36 Центрально-Хорейверская		102,3	91,7	229	92,6	47,8	39,2	152	114	51	43,6	60	133
Ардалинское месторождение куст С скважина № 8		130,5	42,3	71,3	153	118	61,8	31,2	104	108,8	83	69,5	83,6
Восточно-Калвинская № 3		74,4	94,5	152	109	36,3	103	39,9	52,8	98,75	49,3	58,5	90,6
Западно-Сихорейская № 70		111,6	168	36,6	133	123	63,8	35,8	105	60,2	79	104,8	54,4
35 Центрально-Хорейверская	Критерий HVR м	-345,8	-198	0	0	0	-143	-152	-153	-101	0	34,33	-61
36 Центрально-Хорейверская		0	-116	-659	-365	-123	-123	-145	0	-74	-130	-12,4	-94
Ардалинское месторождение куст С скважина № 8		-37,92	-240	-280,6	-57,2	-20,6	-148	-195,1	0	0	-44,6	-2,45	0
Восточно-Калвинская № 3		-234,9	0	-57	-373,4	-125,5	0	-205,2	-140	-47,1	-119,7	0	-71,38
Западно-Сихорейская № 70		-2,073	81,1	-307	-392	-115	-151,7	-83,3	-1,07	-111	-37	17	-95,1
35 Центрально-Хорейверская	Vp Рейсовая скорость, м/час	3,7	3,65	8,67	5	2,51	1,86	1,68	1,13	0,71	3,21	2,45	0,34
36 Центрально-Хорейверская		6,8	3,82	3,11	1,61	1,38	1,3	2,01	1,91	1,06	0,92	2,47	1,32
Ардалинское месторождение куст С скважина № 8		5,35	3,01	3,03	3,89	1,99	1,47	1,48	2,73	2,17	2,46	2,33	2,52
Восточно-Калвинская № 3		5,82	4,96	4,63	1,83	1,38	2,89	1,73	1,8	1,88	1,69	2,74	1,61
Западно-Сихорейская № 70		6,25	3,78	0,25	1,92	1,31	1,32	0,14	2,69	1,68	2,63	2,01	1,67
35 Центрально-Хорейверская	H проходка на долото, м	200	229	271	620	245	109	129	85	22	243	201	6
36 Центрально-Хорейверская		695	350	712	149	66	51	306	218	54	40	148	176
Ардалинское месторождение куст С скважина № 8		698	127	216	595	235	91	46	283	236	204	162	211
Восточно-Калвинская № 3		433	469	702	199	50	297	69	95	186	83	160	146
Западно-Сихорейская № 70		698	637	9	256	160	84	5	282	101	208	211	91

	Выделено долбление с HVR_{max}
	Выделено долбление с Vp_{max}
	Выделено долбление с H_{max}

Максимальные ТЭП и критерии выделены разным цветом

Пример фактических ТЭП строительства скважины № 70-Западно-Сихорейского месторождения показан в таблице 6.

Таблица 6 Анализ оптимальных режимов бурения с учётом критерия компромисса по скважине № 70 Западно-Сихорейского месторождения

Номер рейса	Производитель и тип долота	Критерий			Определяющий критерий оптимальности режима бурения
		Максимальная рейсовая скорость $V_{p \max}$, М/час	Проходка на долото h , м	Критерий компромисса HV_p	
1	Hughes MX – 1 IADC 117	6,25	698	-2,07	$V_{p \max}$
2	REED EMS11GC IADC 115	3,78	637	81,06	$HV_{p \max}$
3	REED EMS11GC IADC 115	0,25	9	-307,08	$V_{p \max}$
4	REED EMS11GC IADC 115	1,92	256	-391,68	$V_{p \max}$
5	REED EMS11GC IADC 115	1,31	160	-115,17	$V_{p \max}$
6	REED TP51KPR IADC 517	1,32	84	-151,66	$V_{p \max}$
7	REED TP51KPR IADC 517	0,14	5	-83,27	$V_{p \max}$
8	Hughes MX – 30 IADC 537	2,69	282	-1,07	$V_{p \max}$
9	Hughes MX – 30 IADC 537	1,68	101	-111,10	$V_{p \max}$
10	Hughes GX – 30 IADC 537	2,63	208	-36,98	$V_{p \max}$
11	Hughes GX – 30 IADC 537	2,01	211	17,59	$HV_{p \max}$
12	Hughes GX – 30 IADC 537	1,67	91	-95,15	$V_{p \max}$

Анализ показал, что при положительном значении критерия компромисса HV_p предпочтительнее остановиться на щадящем режиме углубления скважины, при отрицательных значениях - лучшим остаётся режим с максимальной рейсовой скоростью.

Стремление к оптимизации режима бурения по максимальной рейсовой скорости обычно приводит к возрастанию числа рейсов и дополнительным нагрузкам на талевую систему. Промысловый опыт доказывает, что при этом нарастают простои, связанные с ремонтом оборудования, растёт вероятность возникновения осложнений при бурении, зависящих от частоты рейсов бурильного инструмента в скважине. Конечно же, подобный выбор ведёт к дополнительным затратам времени на ликвидацию осложнений, увеличению потребления электроэнергии, ГСМ и материалов.

Защищаемое положение № 3 *Учет непроизводительного времени и возможных простоев целесообразно производить по приведенной рейсовой скорости, что позволяет поддерживать щадящие режимы бурения в зимних условиях.*

Как уже было отмечено выше, оптимизация режимов бурения по максимальной рейсовой скорости ведёт к форсированным режимам бурения, которые влекут за собой осложнения при бурении и дополнительные простои, связанные с ремонтом оборудования. Здесь также необходимо обратить внимание на влияние природно-климатических условий района, где проводятся буровые работы. Так,

при проведении исследований по влиянию климатических условий по строительству нефтяных и газовых скважин, особенно в суровых условиях Крайнего Севера, в работе С.В. Каменского, было установлено, что в зимний период, по сравнению с летним, увеличиваются:

- среднее время на подъем и спуск одной свечи в 1,4 раза
- время выполнения вспомогательных работ в среднем на скважину в 2,2 раза, в том числе при углублении скважины в 1,7 раза;
- время ремонтных работ в среднем на скважину в 1,9 раза; в том числе при углублении скважины в 1,6 раза;

Возникновение простоев в работе бурового оборудования, увеличение времени выполнения спуско-подъемных операций (СПО), вспомогательных и ремонтных работ зимой обусловлено действием природно-климатических факторов Крайнего Севера. Это связано с присутствием низких температур воздуха до -40°C , сильных ветров, со скоростью до 20 м/с и т.д. Это также обусловлено необходимостью выполнения ряда технологически необходимых операций, («продавка» ведущей трубы и манифольда перед подъемом и после спуска инструмента, а также в процессе наращивания).

Таким образом, природно-климатические факторы Крайнего Севера и сезонность оказывают значительное влияние на темпы строительства скважин, поэтому они должны хотя бы косвенно учитываться при планировании и проведении оптимизации режима бурения.

Для этого предлагается при планировании режима бурения учитывать возможные среднестатистические простои, которые можно назвать «гарантированными». Если влияние простоев таково, что нивелируется эффект максимальной рейсовой скорости, то следует отказываться от форсированных режимов бурения и отдавать предпочтение щадящим режимам. Экономия времени в итоге будет от сокращения простоев, которые при щадящем режиме бурения, как правило, ниже, и в этом случае режим становится конкурентным и даже может превосходить по эффективности форсированный.

Для учета влияния простоев на конечные показатели режима бурения, предлагается методика оценки приведенной рейсовой скорости через суточную проходку:

$$H_{\text{сум}} = V_p \times 24, \text{ м} \quad (6)$$

Если непроизводительные затраты $t_{np} > 0$, то суточная проходка окажется меньше и выражение (6) преобразуется к следующему:

$$H_{\text{сум}} = V_p \times (24 - t_{np}), \text{ м} \quad (7)$$

Таким образом, приведенная рейсовая скорость определяется:

$$V_p' = \frac{H'_{\text{сум}}}{24} = V_p \times \left(1 - \frac{t_{np}}{24}\right) \quad (8)$$

На рисунке 3 показано влияние нарастающих простоев бурового станка на приведённые рейсовую и усреднённую по 5 скважинам рейсовые скорости. Дополнительно учтено значение критерия компромисса, который помогает оценить эффективность щадящего режима бурения. Становится, очевидно, что через 6 часов простоя, усреднёнными показателями, достигаемые при ведении буровых работ в

зимний период и представленные форсированным режимом бурения соответствующим максимальной рейсовой скорости ($V_p = 5$ м/час), уже не конкурируют с режимом, соответствующим максимуму критерия компромисса HV_p . При этом приведенное усреднённое значение рейсовой скорости сравнивается уже через полчаса простоя с рейсовой скоростью при выборе варианта углубления по критерию компромисса. Напрашивается вопрос о целесообразности постоянного использования форсированных режимов бурения, если шадящие режимы с повышенной проходкой оправдывают себя через достаточно короткий промежуток времени, т.к. при их реализации простои существенно ниже.

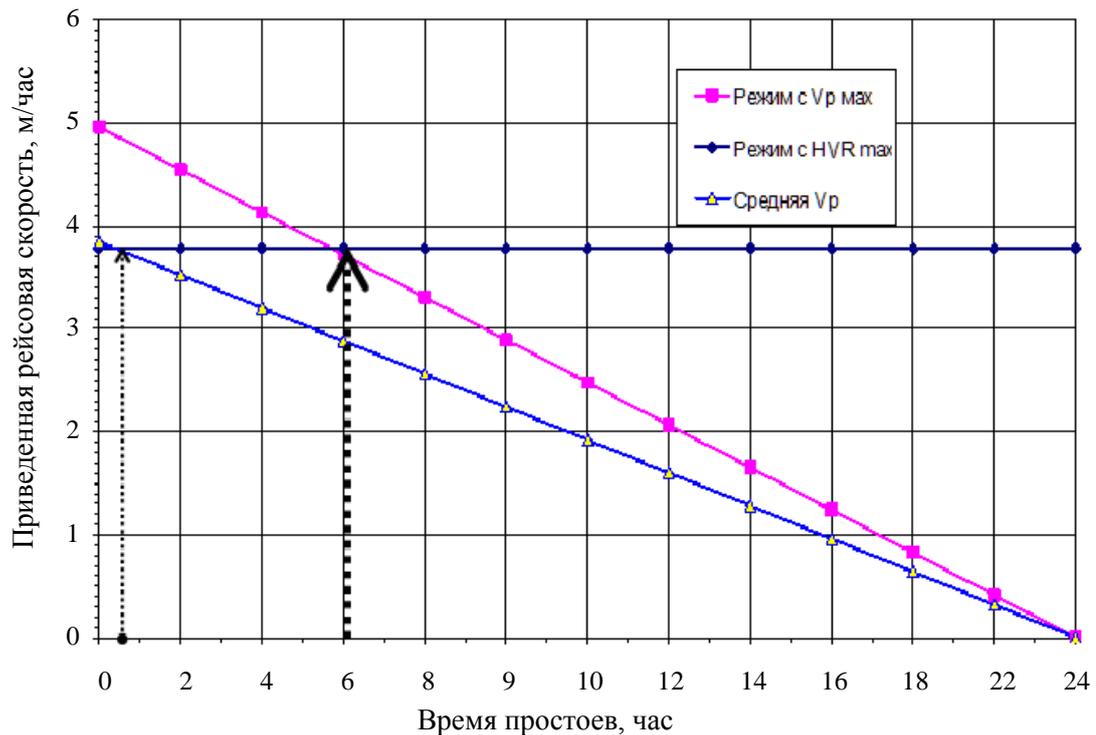


Рисунок 3. Анализ влияния простоев скважины на приведённую рейсовую скорость.

Таким образом, критерий компромисса HV_p в комплексе с методикой оценки простоев по приведённой рейсовой скорости позволяет косвенно учитывать не только непроизводительные затраты времени, но и интенсивность и тяжесть труда при проводимых технологических операциях, потери времени на осложнения и простои при бурении, которые возникают вследствие увеличения числа СПО и энерго- и ресурсозатраты, приводя к их сокращению.

При проектировании, сопровождении и анализе режимов бурения необходимо учитывать так называемые «гарантированные» среднестатистические простои через приведённую рейсовую скорость. Это позволит эффективнее прогнозировать ТЭП долблений, принимать решение о целесообразности применения форсированных режимов бурения. Выполнение этих рекомендаций позволит снизить нагрузку на буровую бригаду и буровое оборудование без снижения усреднённых ТЭП.

Защищаемое положение № 4 Модернизированный алгоритм программы оптимизации режимов бурения учитывает динамические процессы на забое скважины (частота вращения долота, нагрузка на долото).

При наличии постоянно поступающих в процессе углубления скважины данных по механическому каротажу с датчиков станции ГТИ предлагается непрерывная их обработка с целью определения динамики приведённого углового коэффициента K_{np} . Это позволит менее точно, по сравнению с опытным бурением (эксперимент «выработка забоя»), но, тем не менее, весьма эффективно оценить буримость породы в текущем интервале скважины.

K_{np} определяется по формуле:

$$K_{np} = \delta / g, \quad (9)$$

где δ – проходка долота за один оборот, мм;

g – удельная нагрузка на долото, кН/мм.

Коэффициент $K_{ЛПР}$ вычисляется по одной из точек, местоположение которой на ДБ заранее не известно (рис. 4). Если при изменении удельной нагрузки на долото g_1, g_2, g_3 приведенный коэффициент не изменяется, то это означает работу долота в режиме поверхностного разрушения (линия ЛПР) и тогда $K_{ЛПР} = K_s$. Если же наблюдается изменение приведенного коэффициента, то в этом случае необходимо оценивать угловой коэффициент K_v . Решение системы из двух линейных уравнений $\delta = K_v(g - g_0)$, составленных для двух произвольных удельных нагрузок (желательно значительно отличающихся по величине), позволит найти параметры линии объемного разрушения (ЛОР) - g_0 и K_v .

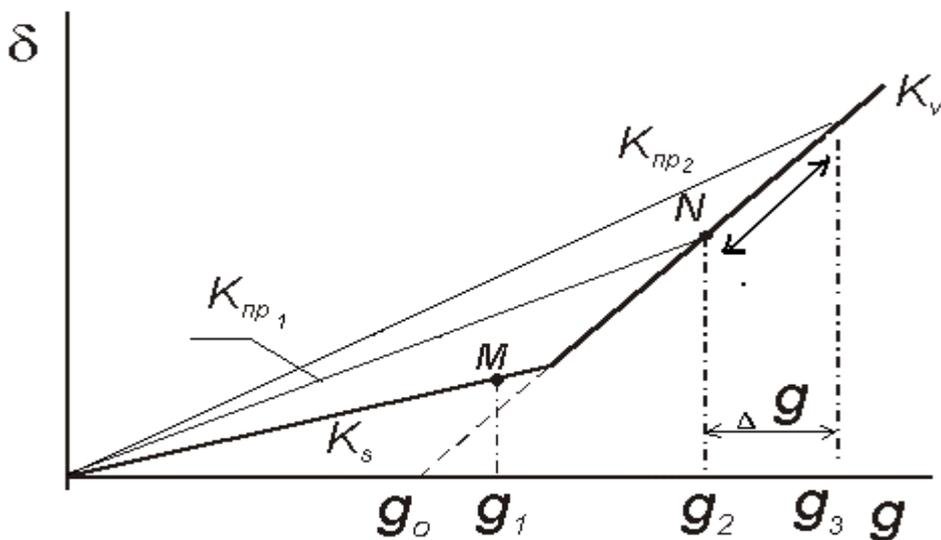


Рисунок 4. Диаграмма бурения и её параметры

Таким образом, расчет параметров ДБ заключается в синхронизации и обработке двух потоков данных: изменения нагрузки на долото и результатов определения приведенного углового коэффициента.

На рисунке 5 показано, как изменяется параметр $K_{ЛПР}$ по стволу скважины при бурении под промежуточную колонну 300 – 800 м. Оценивая визуально данные можно выделить пачки равной буримости 300 – 320, 320 – 360, 360 – 420, 420 – 470, 470 – 500, 500 – 540, 540 – 670, 670 – 740. Также в интервалах 360 -

420, 750 - 800 м четко прослеживается, что имеет место нестабильность $K_{ДР}$, т.е. видны амплитудные отклонения.

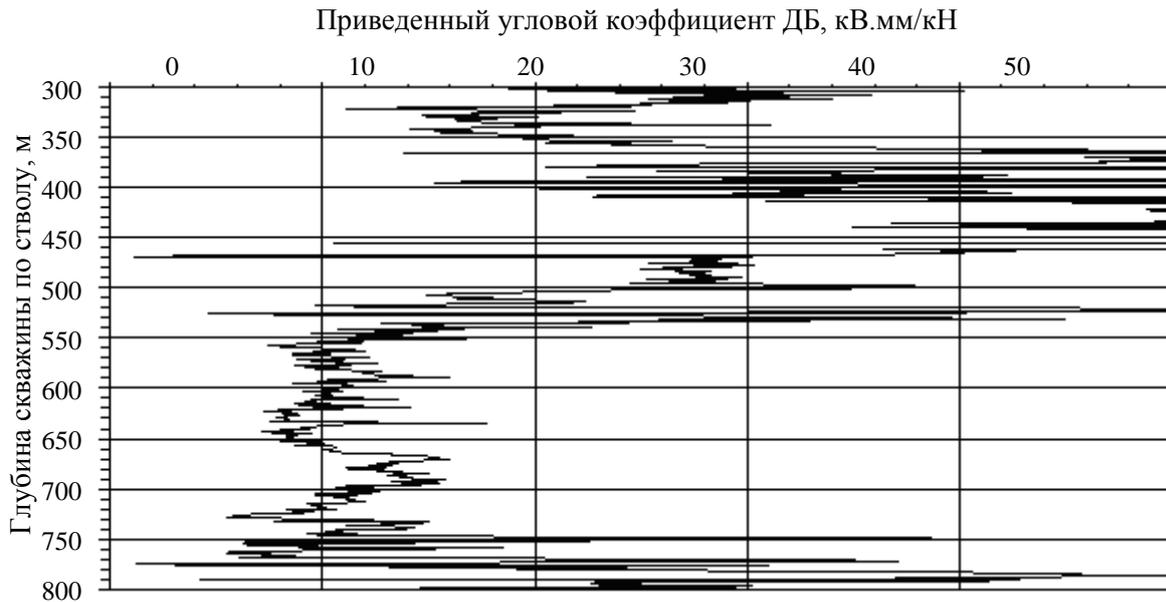


Рисунок 5. Изменение приведённого углового коэффициента диаграммы бурения (ДБ) в интервале бурения 300 – 800 м (скв. 23-Ошкотынская).

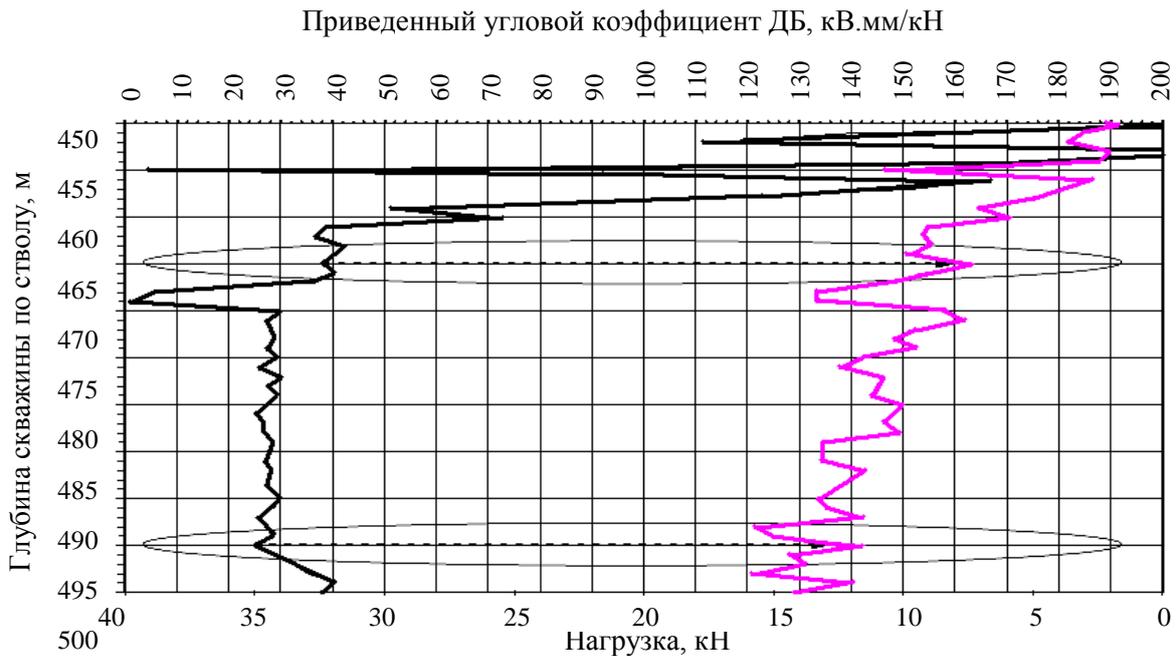


Рисунок 6. Фрагмент укрупнённой ДБ изменения приведённого углового коэффициента в интервале бурения 450 – 500 м (скв. 23-Ошкотынская)

На рисунке 6 показан случай асинхронности (разный знак) в функциях $K_{ДР}$ и g при проведении синхронизации в процессе обработки непрерывно поступающих данных с СГТИ. По нашему определению в этом случае на забое частота долота существенно отличается от исходной на устье, т.е. трехшарошечное долото притормаживается-разгоняется на забое. Эти процессы (эффект “Stick-Slip”) хорошо освещены в работах Е.К. Юнина, диссертации Е.Ю. Турьгина и связаны с крутильными автоколебаниями бурильной колонны.

Защищаемое положение № 5 *Разработана автоматизированная система управления углублением ствола скважины на базе математической модели бурения шарошечными долотами и информации со станций геолого-технологических исследований.*

Как уже было отмечено выше, сколько бы методик и различных оптимизационных зависимостей не было предложено учёными и инженерными работниками, сложно говорить о значительном повышении производительности труда, эффективности, скорости и качестве принимаемых решений без внедрения современных программных комплексов - автоматических систем управления (АСУ) производственным процессом.

В настоящее время повышение скорости проходки происходит в основном за счёт применения более совершенных долот с более существенным моторесурсом и агрессивным вооружением, но этот процесс тоже не бесконечен. Революционный период в трехшарошечном долотостроении затормозился на определённом уровне, вследствие определённых ограничений и консерватизма проектировщиков и заводов-изготовителей. Таким образом, прирост механической скорости, может быть достигнут только за счёт оптимизационных программ на базе высокопроизводительной гаммы долот.

На сегодняшний день технологический процесс бурения контролируется станциями геолого-технического исследования скважин. Это позволяет собирать информацию обо всех изменяемых параметрах углубления скважины в данный момент времени и накапливать эту информацию на компьютерных носителях и только через какое-то время эти ценнейшие данные обобщать, формировать отчёты по пробуренному интервалу. Более важно было бы, чтобы информация, поступающая на датчики СГТИ, являлась входной для последующего моделирования процесса углубления. Это позволяло бы оперативно управлять параметрами, максимально точно просчитывая последующий этап углубления и находить оптимизированный вариант режима бурения. При наличии исполнительных механизмов и применении АСУ бурения, даже процедура установки нового сочетания параметров режима может производиться автоматически.

Вариантов АСУ может быть несколько, автором данной диссертационной работы рассмотрен один из них. Так на рисунке 7 показан алгоритм работы АСУ бурения. Процесс начинается со сбора информации с 18 датчиков СГТИ (ежегодно их число может увеличиваться и зависит от поставленных задач Заказчиком буровых проектов). Поступающие данные обрабатываются, перекодируются и переводятся в доступный для анализа формат на СГТИ. Параллельно с обработкой и анализом поступающей информации ведётся формирование БД буримости горной породы по вновь пробуренным интервалам, а также рассматривается анализ предполагаемых резонансных колебаний. В случае попадания бурильного инструмента в область интенсивных продольных колебаний или при его прогнозировании на ближайшем интервале, подается сигнал, и предлагается принять оператору вариант решения в ситуации.

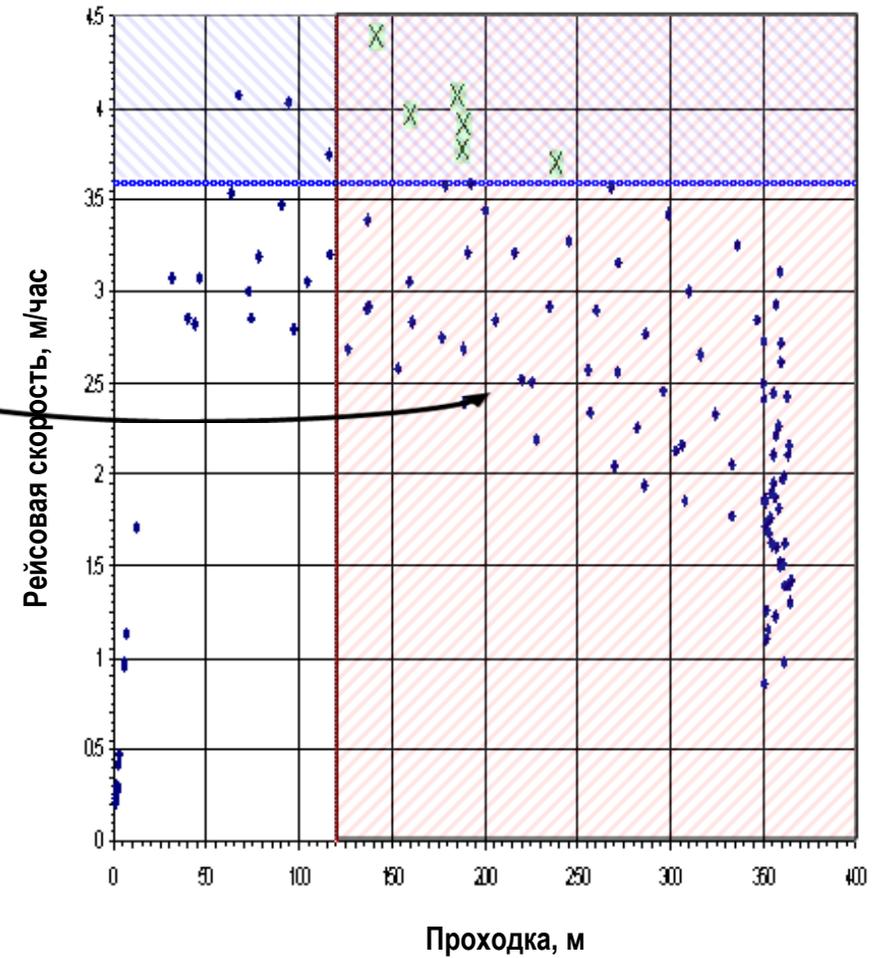
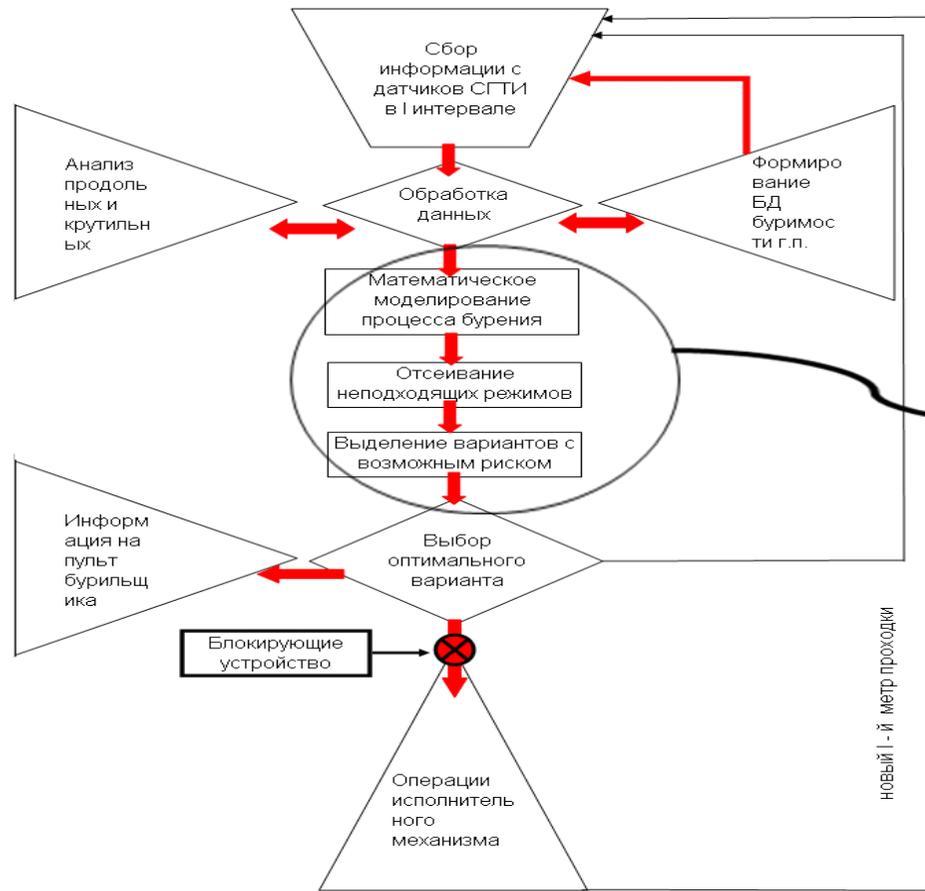


Рисунок 7. Краткий алгоритм применения АСУ бурения

Информация передаётся на компьютер инженера – технолога, где также проводится её анализ и сравнение с полученными данными с соседних скважин. На этом этапе проводится экспертный анализ по выявлению наиболее оптимального режима бурения на бурящейся скважине с учетом информации по близлежащим скважинам.

Следующим важным этапом алгоритма является расчёт и выбор оптимального варианта бурения посредством математического моделирования. Имея в своём распоряжении достаточное количество данных, полученных при бурении предыдущего интервала, математическая модель, реализованная в программных средствах (одной из них является ПО «Режим») обрабатывая этот массив, позволяет найти оптимальные режимы бурения в пределах диапазона технических и технологических ограничений. Также спрогнозировать самые удачные режимы на ближайшие метры проходки. Самое наилучшее на текущий момент значение режима бурения поступает на информационный монитор бурильщика и носит рекомендательный характер. Это позволяет своевременно вносить коррективы в режим бурения в ручном режиме.

Предлагаемая АСУ бурения также может работать в автоматическом режиме. Для этого на каждый привод бурового оборудования, участвующего в процессе углубления скважины (буровая лебёдка, буровые насосы и стол ротора) устанавливаются исполнительные механизмы (например РПДЭ для создания заданной нагрузки на долото). Каждый исполнительный механизм подбирается исходя из параметров привода – мощности, количества оборотов вала и др. Важным условием является наличие цепи аварийной остановки (блокирующего устройства). В случае создания предаварийной или аварийной ситуации, вся система может быть отключена, в том числе дистанционно в автоматическом и/или ручном режиме. При нормальной работе, АСУ бурения управляет исполнительными механизмами в автоматическом режиме при углублении на заданном интервале.

Для более детального рассмотрения вопроса на рисунке 8 представлена схема АСУ бурения. На первом этапе происходит сбор данных с 18 датчиков, установленных на буровой установке при проектных параметрах режима бурения. Далее вся информация поступает на станцию ГТИ, где происходит её фиксирование, обработка, накопление и первичный анализ в подпрограммах-модулях: модуль сбора информации, обработки информации Мо-ДБ и модуль прогнозирования резонанса. На небольшом интервале углубления оценивается текущая ДБ и ее параметры, выполняется перебор вариантов углубления по программе моделирования бурения трехшарошечным долотом. Оценивается оптимизированный режим бурения, и в случае его отличия от применяемого, подаются управляющие команды на исполнительные механизмы по установке новых параметров. Таким образом постоянное слежение за ДБ позволит быстро скорректировать автоматически параметры режима бурения в случае смены буримости, а также при изменении характеристик обрабатываемого долота.

Усовершенствованный алгоритм моделирования работы шарошечного долота, учитывает частоту вращения и нагрузку на долото непосредственно на забое. Для этого, в идеальном случае над долотом устанавливаются соответствующие датчики, которые передают фактическую информацию на поверхность, либо в алгоритм моделирования включается модуль расчета динамики крутильных колебаний бурильной колонны и его результаты передаются в качестве исходных параметров частоты вращения и нагрузки на долото.

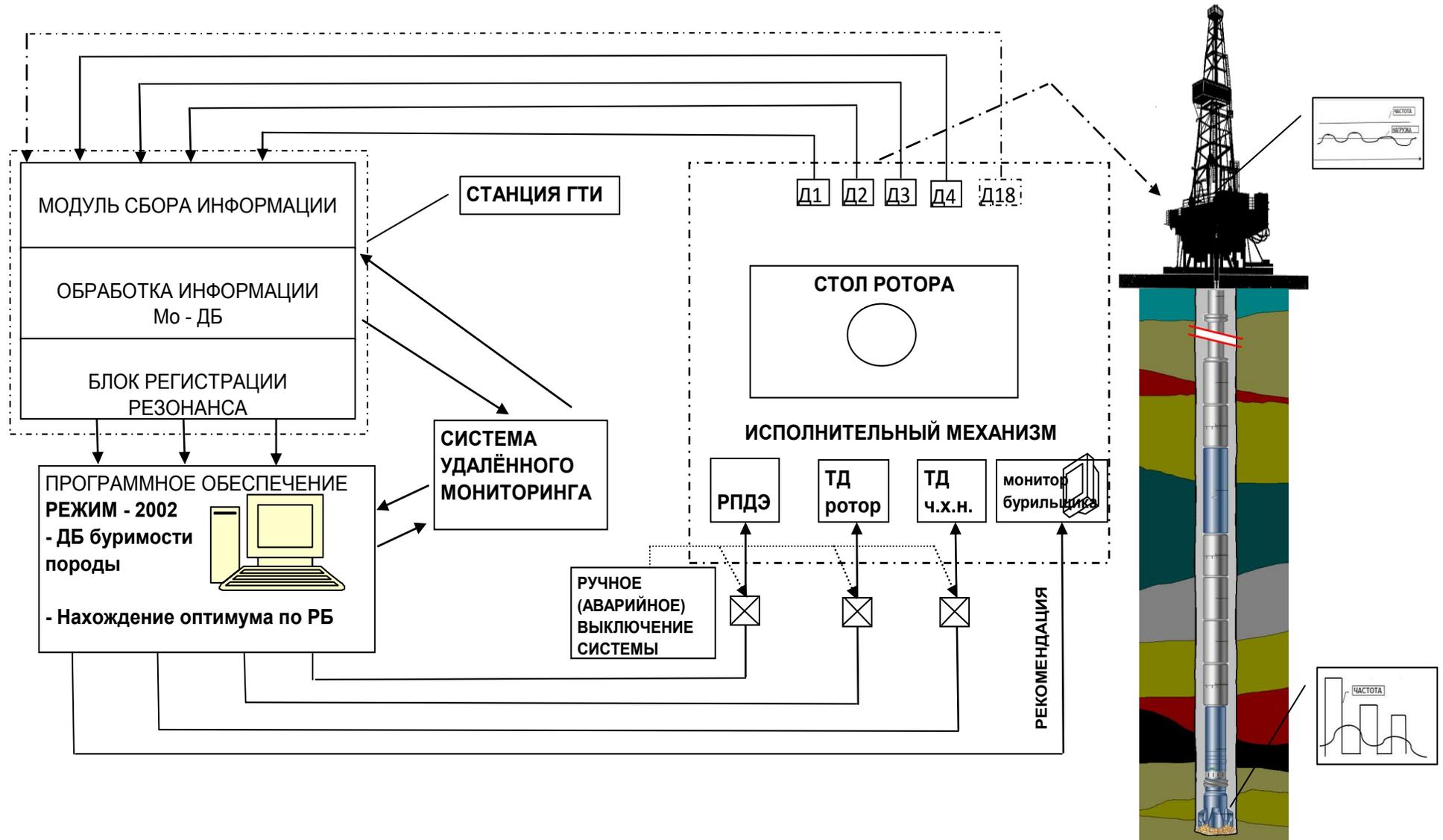


Рисунок 8. Схема применения АСУ бурения.

Для осуществления контроля в реальном времени в процессе бурения скважины, предложенный вариант АСУ бурения может быть включен в систему удалённого мониторинга, детально представленную в диссертационной работе С.А. Красновым.

Исполнительные механизмы в настоящее время существуют, но их необходимо связать с АСУ. К ним относятся - регулятор подачи долота (РПД), устройства, позволяющие регулировать число оборотов ротора и число ходов поршня бурового насоса (турботрансформаторы, электрические частотные преобразователи и др.). На монитор бурильщика выводятся все оптимальные данные бурения. Они носят информационно-рекомендательный характер, что позволяет давать экспертную оценку в реальном времени.

Приведённый вариант АСУ бурения на основании достоверной и постоянно обновляющейся информации, получаемой при углублении скважины, позволяет прогнозировать и реализовывать наиболее оптимальные режимы бурения. Наличие исполнительных механизмов реализует в автоматическом режиме плавное регулирование оптимальных параметров, что невозможно осуществить в ручном режиме. Всё это позволит значительно улучшить ТЭП бурения и удешевить процесс бурения скважины.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Методами математической статистики из большого массива (более 420 штук) отработанных долот импортного производства собрана и систематизирована промысловая база данных.
2. На четырех месторождениях сформирована и систематизирована база данных буримости горных пород в одинаковых горно-геологических и технических условиях, что позволяет детализировать и уточнять определение интервалов геологических разностей и стратиграфических подразделений в комплексе со стандартными геофизическими методами.
3. Доказано, что использование критерия компромисса HVp позволяет оценить эффективность более щадящих режимов углубления скважины.
4. Доказано, что приведённая рейсовая скорость позволяет учитывать непроизводительные затраты времени из-за возможных простоев буровой установки для обоснования щадящего режима бурения в зимних условиях.
5. Установлено, что можно определять на СГТИ эффект “Stick-Slip”, когда возникает асинхронности функций приведенного коэффициента и удельной нагрузки, и прогнозировать опасность поломки колонны.
6. Предложена принципиальная схема АСУ (автоматическая система управления) бурения и алгоритм ее работы.
7. Экономический эффект использования предложенных и внедрённых автором методик бурения скважины на Ардалинском и группе спутниковых месторождений Ненецкого автономного округа составил более 2,8 млн.руб.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В
СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Грибанов М.В. Предпосылки к оптимизации режимов бурения на Ардалинском месторождении и близлежащих спутниковых площадях /М.В. Грибанов // Материалы VIII международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех-2007»: (21–23 марта 2007 г., Ухта): В 3 ч.; Ч. 2. – Ухта: УГТУ, 2008. – С. 7–10.
2. Грибанов М.В. Совершенствование режимов бурения на Ардалинском, Ошкотынском, Восточно-Колвинском месторождениях / М.В. Грибанов// НТЖ Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М.: ВНИИЭНГ, 2007 г., - №5. – с. 2 - 5.
3. Грибанов М.В. Внедрение методики расчленения разреза на пачки равной буримости с целью совершенствования режимов эксплуатационного бурения / М.В. Грибанов, П.П. Тиранов// Проблемы освоения нефтегазовых месторождений Европейского Севера России: сб. науч. тр. - Архангельск: Архангельский государственный техн. ун-т, 2007. – Вып.2. – 112 с – с. 39 – 43.
4. Грибанов М.В. Создание базы данных по буримости горной породы для эффективного планировании оптимального режима бурения / М.В. Грибанов// Материалы IX международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех-2008» : (19–21 марта 2008 г., Ухта): В 3 ч.; Ч.2. – Ухта: УГТУ, 2008. – С. 40–43.
5. Грибанов М.В. Перспективы создания единой базы данных по буримости пород по группе месторождений с целью проектирования и оптимизации режимов бурения / М.В. Грибанов, Ю.Л. Логачёв// НТЖ Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М.: ВНИИЭНГ, 2009 г., - №1. – с. 15 – 18.
6. Грибанов М.В. Оперативное изучение литологического разреза скважин по средствам получения коэффициента приведения в процессе бурения / М.В. Грибанов// Материалы X международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех-2009»:(18–20 марта 2009 г., Ухта): В 4 ч.; Ч.4. – Ухта: УГТУ, 2009. – С. 9–13.
7. Грибанов М.В. Совершенствование математической модели бурения при оперативном управлении процессом углубления скважины / М.В. Грибанов// II-я Ежегодная научно-практическая конференция «Математическое моделирование и компьютерные технологии в разработке месторождений» (г. Уфа, 15–17 апреля 2009 г.) – Уфа, 2009. – с. 20.

8. Грибанов М.В. Целесообразность использования математической модели бурения при оптимизационных мероприятиях углубления скважин и эффективность использования автоматизированной системы при оперативном управлении бурением / М.В. Грибанов// Материалы XI международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех-2010»:(17–19 марта 2010 г., Ухта): В 5 ч.; Ч. IV. – Ухта: УГТУ, 2010. – С. 26–29.
9. Грибанов М.В. Методика учёта критерия компромисса при выборе оптимального режима бурения и изучение влияния простоев на текущую рейсовую скорость / М.В. Грибанов, Ю.Л. Логачёв // НТЖ Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М.: ВНИИЭНГ, 2010 г., - №7. – с. 21 –25.
10. Грибанов М.В. Методика оптимизации режимов бурения на основе использования автоматизированной системы управления (АСУ) процессом углубления скважины / М.В. Грибанов// НТЖ Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М.: ВНИИЭНГ, 2011 г., - №8. – с. 26 –30.

Соискатель



М. В. Грибанов