

ВЕРВЕКИН АНДРЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

**УПРАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ОТРАБОТКОЙ
ВИНТОВЫХ ЗАБОЙНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
ПРИ БУРЕНИИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН**

Специальность 25.00.15 – Технология бурения и освоения скважин

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Научный руководитель: **Плотников Валерий Матвеевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Нефтегазовые технологии» горно - нефтяного факультета ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Официальный оппонент: **Балденко Дмитрий Федорович**, доктор технических наук, главный научный сотрудник ОАО НПО «Буровая техника»

Фуфачев Олег Игоревич, кандидат технических наук, главный конструктор ЗАО «Гидробурсервис»

Ведущая организация - ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»

Защита состоится "24" апреля 2015 г. в 12-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.291.01 при Ухтинском государственном техническом университете по адресу: 169300, г. Ухта, Республика Коми, ул. Первомайская, 13.

С авторефератом и диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», а также на сайте вуза по адресу www.ugtu.net в разделе «Диссертации».

Автореферат разослан «__» _____ 2015 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, профессор

Н.М. Уляшева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Технология бурения - это трудоемкий процесс строительства скважины, который требует от персонала постоянного контроля за режимом бурения, но главное не столько сам контроль, сколько правильность выбора контролируемого параметра.

Рост коммерческой скорости бурения скважин напрямую зависит от эффективности применения технологий, а повышение механической скорости проходки рассматривается, как базовый источник сокращения затрат на бурение. Для повышения механической скорости проходки необходимо совершенствовать существующие технологии бурения.

Актуальность темы диссертации обосновывается тем, что существующая нормативная технология управления процессом бурения (по А.И. Булатову) основана на контроле одного из параметров режима бурения - поддержание осевой нагрузки на долото с помощью различных устройств подачи долота. Данный, традиционный способ берет свое начало от роторного бурения (по Д.Ф. Балденко). К примеру, тормоз электро-порошковый, регулятор подачи долота электрический и др. предназначены для поддержания веса на крюке и плавной подачи бурильной колонны по мере углубления скважины при бурении для поддержания заданного значения осевой нагрузки на долото (по А.И. Булатову). Такой режим, индикатором которого выступает осевая нагрузка, не способен обеспечить эффективность отработки винтового забойного двигателя, поэтому, еще вначале восьмидесятых прошлого столетия во ВНИИБТ и его Пермском филиале авторским коллективом ученых: Балденко Д.Ф., Бикчурин Т.Н., Вадецкий Ю.В., Гусман М.Т., Каплун В.А. и др., а несколько позже и Молодило В.И., были предложены иные способы контроля режима работы винтовых забойных двигателей, которые были признаны изобретениями, и базировались на контроле давления (P). Однако по настоящее время данные способы не включены в нормативную документацию и носят только рекомендательный характер. Применение базовой автоматизированной технологии управления отработкой винтовых забойных двигателей, индикатором которой выступает осевая нагрузка на долото, не эффективно при бурении наклонно-направленных и горизонтальных скважин с частым чередованием горных пород с разными физико-

механическими свойствами, вследствие оперирования косвенным значением осевой нагрузки. В связи с этим существуют резервы к повышению коммерческих скоростей строительства скважины, а работы, направленные на повышение эффективной отработки винтовых забойных двигателей, являются актуальными.

Цель работы. Обеспечение эффективной отработки винтовых забойных двигателей при бурении нефтяных и газовых скважин.

Задачи исследования:

1. Анализ существующих подходов по управлению режимами отработки винтовых забойных двигателей и определение направления усовершенствования технологии бурения забойными двигателями.

2. Исследование эксплуатационных особенностей применения винтовых забойных двигателей.

3. Разработка автоматизированной системы управления отработкой винтовых забойных двигателей, которая включает модернизированный РПД ИМ2440М и алгоритм по его управлению, и промысловые испытания технологии управления режимами бурения с использованием параметра эффективного дифференциального перепада давления.

4. Разработка технологии повышения механической скорости проходки при применении винтовых забойных двигателей.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является бурение скважин, предметом - технико-технологические решения, направленные на повышение эффективности бурения нефтяных и газовых скважин с применением винтовых забойных двигателей.

Научная новизна.

1. Установлено, что основным индикатором устойчивой работы винтовых забойных двигателей является дифференциальный перепад давления ($P_{диф}$), применение которого в качестве управляющего параметра обеспечит повышение эффективности их отработки.

2. Предложен коэффициент эффективности подведения гидравлической мощности к забою ($K_{ЭГМ}$), который может использоваться для оценки эффективности затрат мощности на разрушение горной породы. При этом на основании проведенных

исследований установлено максимальное значение коэффициента, составляющее 30 %.

Практическая значимость диссертационного исследования.

Разработанная технология и оборудование позволяет оперативно корректировать проектные решения и обеспечивать (доводить) заданную нагрузку на долоте для скважин сложного пространственного профиля.

Предложенная в работе схема подключения, алгоритм работы и рабочие настройки регулятора подачи долота реализованы при бурении скважины №272, куст №3, Ильичевского месторождения, объект ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь». Практический результат применения технологии показал увеличение механической скорости в 2,41 раза, (на 141%) по сравнению с базовой механической скоростью.

На основании разработанной совместно с ООО НПП «БУРИНТЕХ» программы отработки долот по величине дифференциального перепада давления $R_{диф}$ пробурен интервал под техническую колонну скважины №115, куст №37 Губкинского месторождения, объект ГФ ООО «РН-Бурение», Ямало-Ненецкий автономный округ. Практический результат применения технологии поддержания эффективного $R_{диф}$ на винтовом забойном двигателе показал увеличение механической скорости бурения по сравнению с плановой на 30%, что позволяет рекомендовать проектным организациям внесение параметра $R_{диф}$ в раздел углубления скважины, а также сервисным компаниям по сопровождению режимов бурения (долотный сервис и сервис винтовых забойных двигателей).

Методология и методы исследования. Научно-методическую базу исследования составили научные труды отечественных и зарубежных авторов в области технологии строительства скважин, автоматизации процесса бурения, гидравлических характеристик и особенностей отработки ВЗД, проектировании режимов бурения, техники и технологии процесса разрушения горной породы. Работы проводились с использованием серийных ВЗД при бурении нефтяных и газовых скважин в горных породах, отличающихся физико-механическими свойствами; экспериментального прибора (РПД ИМ2440М) с учетом параметров, влияющих на эффективное разрушение горной породы и обеспечивающих изучение особенностей технологии отработки винтовых забойных двигателей.

Положения, выносимые на защиту:

1. Дифференциальный перепад давления $P_{диф}$, который является разностью между давлениями на стояке при рабочем P и холостым $P_{х.х.}$ режимах забойного двигателя, является индикатором обеспечивающим эффективное управление и устойчивую работу винтового забойного двигателя при углублении скважины.

2. Предложенный коэффициент эффективности подведения гидравлической мощности к забою $K_{эзм}$, и модернизированная формула КПД (по Г.А. Кулябину), позволяет учесть влияние на процесс углубления скважины, таких факторов как применяемое оборудование, параметр режима бурения, горно-геологические условия.

3. Разработанный алгоритм функционирования регулятора подачи долота и определённые рабочие настройки (на примере Ильичевского месторождения) обеспечивают эффективную технологию применения и управления отработки винтовых забойных двигателей.

Степень достоверности результатов. Достоверность научных результатов подтверждена промысловыми испытаниями, статистическими методами обработки экспериментальных данных, теоретическими положениями и результатами, полученными другими авторами по рассмотренной тематике.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на заседании кафедры "Нефтегазовые технологии" горно-нефтяного факультета Пермского национального исследовательского политехнического университета (г. Пермь 2014 г.), V Всероссийской конференции «Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых» (г. Пермь 2012 г.), VI Всероссийской конференции «Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых» (г. Пермь 2013 г.), на заседании ведущих специалистов технологического отдела по бурению и службы главного конструктора ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент» (г. Пермь 2014 г.), VII Всероссийской конференции «Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых» (г. Пермь 2014 г.), Всероссийском конкурсе «Новая идея» (г. Москва 2014 г.), на заседании Ученого совета ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» (г. Москва 2014 г.).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 10 печатных работах, из которых 6 научных статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 3 материалов научных конференций. Из 10 печатных работ 7 статей в журналах из списка РИНЦ (Российского индекса научного цитирования).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов и результатов, списка литературы из 60 наименований, приложений. Работа изложена на 131 странице, в том числе приложения - 22 страницы. Диссертация содержит 36 рисунков и 19 таблиц.

Автор выражает благодарность А.М. Гусману, Ю.А. Коротаеву, Н.И. Крысину, В.И. Молодило, за большую помощь в обсуждении, анализе и реализации анализов работы. Особую признательность автор выражает своему научному руководителю В.М. Плотникову.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы и задачи исследования, обозначены направления и пути решения затронутых проблем, конкретизирована научная новизна, отмечена практическая значимость исследований.

В первой главе представлен анализ существующих подходов по управлению режимами обработки винтовых забойных двигателей и определены направления усовершенствования технологии бурения забойными двигателями.

Значительный вклад в конструирование, исследование рабочих процессов винтовых забойных двигателей и оптимизации режима бурения с их использованием внесли отечественные ученые: Д.Ф. Балденко, Ф.Д. Балденко, Т.Н. Бичкурин, М.Г. Бобров, Ю.В. Вадецкий, М.Т. Гусман, А.М. Гусман, Ю.А. Коротаев, А.М. Кочнев, В.А. Каплун, С.С. Никомаров и др., а также зарубежные специалисты W. Clark, J. Forrest, M. Garrison, W. Gerber, T. Hudson, V. Tiraspolsky, W. Tcshirky, R. Yurgens, K. Wenzel и др. В результате были сформированы и предложены методы управления технологией обработки винтовых забойных двигателей при бурении нефтяных и газовых скважин.

В настоящее время известно множество различных автоматизированных технологий управления обработкой винтовых забойных двигателей. Основным методом автоматизированного управления является использование устройств,

регулирующих подачу долота. Все известные устройства подачи разделяются на четыре основные группы (по А.И. Булатову):

1. Автоматы подачи, работающие в зависимости от выделяемой на бурение мощности.
2. Автоматы подачи, работающие в зависимости от натяжения талевого каната.
3. Регуляторы подачи, осуществляющие равномерную подачу инструмента.
4. Стабилизаторы веса, осуществляющие подачу инструмента при постоянстве заданной осевой нагрузке на долото.

Существует ряд конструкций устройств подачи долота. Например, электрический регулятор подачи обеспечивает: поддержание заданного значения осевой нагрузки на долото и поддержание постоянной скорости подъема или подачи бурильной колонны. Параметры (к примеру, скорость) задаются с пульта управления. Для плавной подачи бурильной колонны по мере углубления скважины применяются также тормозные системы буровых лебедок.

Наряду с указанными методами управления параметрами режима бурения, известны запатентованные способы и системы:

1. Система автоматического процесса бурения, содержащая датчики механической скорости, осевой нагрузки.
2. Способ, при котором осуществляют построение модели процесса бурения.
3. Способ бурения на основе механической удельной энергии.
4. Способ автоматизации подачи долота. При этом используется устройство с проточными отверстиями, которое устанавливается над долотом.
5. Автоматизация процесса бурения осуществляется с помощью регулятора подачи бурового инструмента. При использовании регулятора контролируется давление в манифольдной линии.
6. Способ регулирования процесса бурения, основанный на задании режима бурения, времени прогнозирования момента подъема долота и др.

Существующие и перечисленные технологии управления гидравлической мощностью требуют определенного подхода, в зависимости от условий бурения, и удовлетворяют требованиям по нагрузке на долото или по заложенной механической скорости. При этом не учитывают особенностей технологии отработки винтовых

забойных двигателей - поддержание постоянного выбранного дифференциального перепада давления ($P_{диф}$), путем изменения осевой нагрузки. Под дифференциальным перепадом давления на винтовом забойном двигателе подразумевается разность между давлениями на стояке при рабочем (P) и холостом ($P_{х.х.}$) режимах винтового забойного двигателя (по Балденко Д.Ф.). Наиболее доступной и простой технологией управления отработкой винтового забойного двигателя является технология контроля режима работы двигателя в забойных условиях по пункту 5. Данная технология учитывает влияние гидравлического канала на энергетику винтового забойного двигателя. Недостатком остальных указанных способов является осуществление множества измерений. По Д.Ф. Балденко, мониторинг $P_{диф}$ в процессе бурения является существенным фактором повышения эффективности работы винтового забойного двигателя в процессе бурения.

В работе приводятся определения и существующие регламентные требования по соблюдению режимов бурения. Так, например (по В.С. Федорову), под режимом бурения понимают определенное сочетание факторов, влияющие на показатели бурения. Эти факторы называются параметрами режима бурения. К числу важнейших параметров относят в первую очередь осевую нагрузку. В технической документации также регламентируется осевая нагрузка. Например, в ведомственных строительных нормах 39-86 от 01.01.1987 г.

На основании технологической документации базируется и регламентная технология управления отработкой винтовых забойных двигателей, среди которых можно отметить – электро-порошковый тормоз, электрический регулятор подачи долота. За базовую основу технологии управления отработкой винтового забойного двигателя, в работе взята распространенная регламентная автоматизированная технология, индикатором которой выступает осевая нагрузка на долото, управление ведется с помощью вышеназванного тормоза. Выбор аргументирован доступностью к изучению процесса управления технологией и его широким применением. Важным критерием является системный подход к технологии управления отработкой двигателя. В связи с этим особое внимание в диссертации уделено решению задач, возникающих при бурении скважин винтовыми забойными двигателями с применением существующей технологий и предлагаемой автоматизированной

системой управления их отработкой, которая основана на эффективном управлении гидравлической мощности, подведенной к долоту.

В связи с вопросами регламентной отработки винтовых забойных двигателей и буровых долот в работе приводятся проблемы технологических сервисов. Выделены некоторые проблемы несогласованности соблюдения регламентных требований по управлению параметрами режима бурения.

Для оценки важности инструктивных требований по эксплуатации винтовых забойных двигателей, приводится характерный пример не эффективности процесса бурения интервала под эксплуатационную колонну, с применением регулятора подачи долота по нагрузке в условиях Западной Сибири (Рисунок 1).

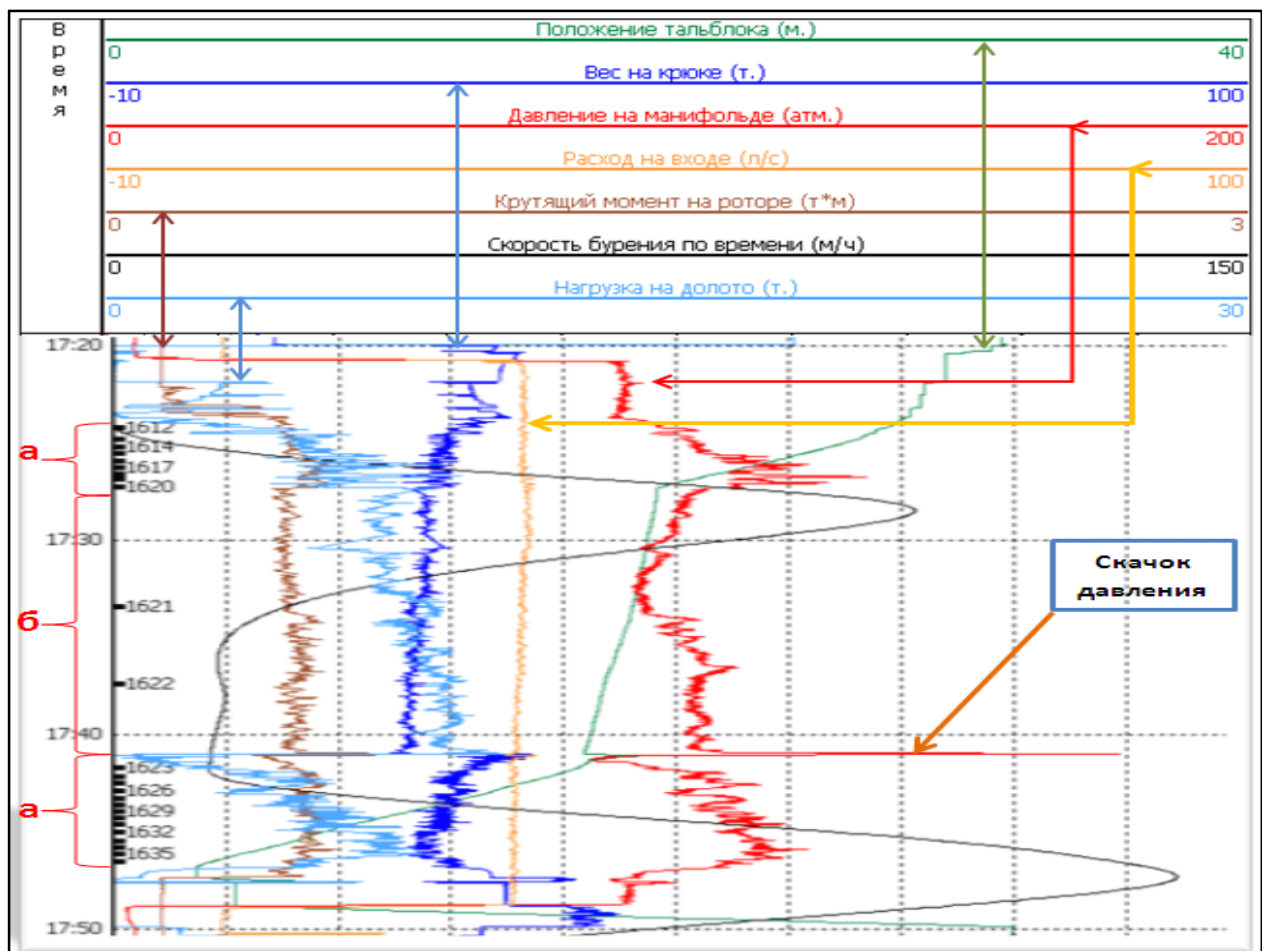


Рисунок 1. Характерный пример процесса бурения интервала под эксплуатационную колонну с применением винтового забойного двигателя

При бурении использовался забойный двигатель ДГР-172 при соблюдении следующих режимов бурения: в интервале «а» (породы I группы твердости по Л.А.

Шрейнеру) осевая нагрузка составляла от 1 до 9 т, давление холостого хода - 9 МПа, $R_{диф}$ – до 4 МПа.; в интервале «б» (породы II группы твердости по Л.А. Шрейнеру), осевая нагрузка составляла от 7,5 до 9,5 т, давление холостого хода - 9 МПа, $R_{диф}$ – от 0,5 до 2 МПа. Применяемые режимы бурения не эффективны и не соответствуют требованию отработки винтовых забойных двигателей, а именно: при бурении поддерживать выбранный эффективный $R_{диф}$. В связи с этим в случае применения электро-порошкового тормоза необходимо выполнить корректировку: в интервале «а», по осевой нагрузке до 6 - 7 т. и $R_{диф}$ – 2,5 МПа; в интервале «б»; по осевой нагрузке до 10 т. и $R_{диф}$ – 2 - 2,5 МПа. На рис.1 в конце бурения интервала «б», наблюдается резкий скачок давления в нагнетательной линии и скачок момента на роторе, это четкий признак заклинки долота, а не двигателя. Такие примеры в бурении встречаются нередко. В рассмотренном случае регулятор по нагрузке, приходилось бы корректировать 2-3 раза, при этом каждый раз подбирать оптимальную нагрузку. Похожие проблемы имеются при использовании устройств по поддержанию заданной скорости подачи инструмента.

Вторая глава работы посвящена изучению характерных особенностей эксплуатации и влиянию энергетических характеристик винтовых забойных двигателей на скорость бурения.

Для выбора эффективной технологии отработки двигателя необходимо выделить характерные типы и методы их эксплуатации. Винтовые забойные двигатели классифицируются по 20 признакам (по Д.Ф. Балденко, Ф.Д. Балденко, А.Н. Гноевых): назначению, наружному диаметру, частоте вращения выходного вала, кратности действия рабочих органов, кинематике рабочих органов и др. В работе рассматриваются обычные ($n = 80 - 200$ об/мин) и быстроходные ($n > 200$ об/мин) двигатели. Каждый тип характеризуется определенной технологией отработки и разной реакцией на создание осевой нагрузки.

В работе приводится пример отработки в Западной Сибири быстроходных и обычных винтовых забойных двигателей. При бурении применялся высокооборотный двигатель ДГР-172.5/6 совместно с PDC долотом. Интервал бурения (Рисунок 2) представлен «мягкими» породами 4 категории (по Л.А. Шрейнеру). При этом осевая нагрузка составляла от 3 до 10 т, давление холостого хода - 9,6 МПа, рабочее

давление изменялось от 10,6 до 14,5 МПа, расход рабочей жидкости – 34 л/с, обороты верхнего силового привода от 30 до 64 об/мин., плановая скорость -70 м/ч, фактическая 75 м/ч. За 45 минут бурения, отмечено 4 скачка давления до 25 МПа.

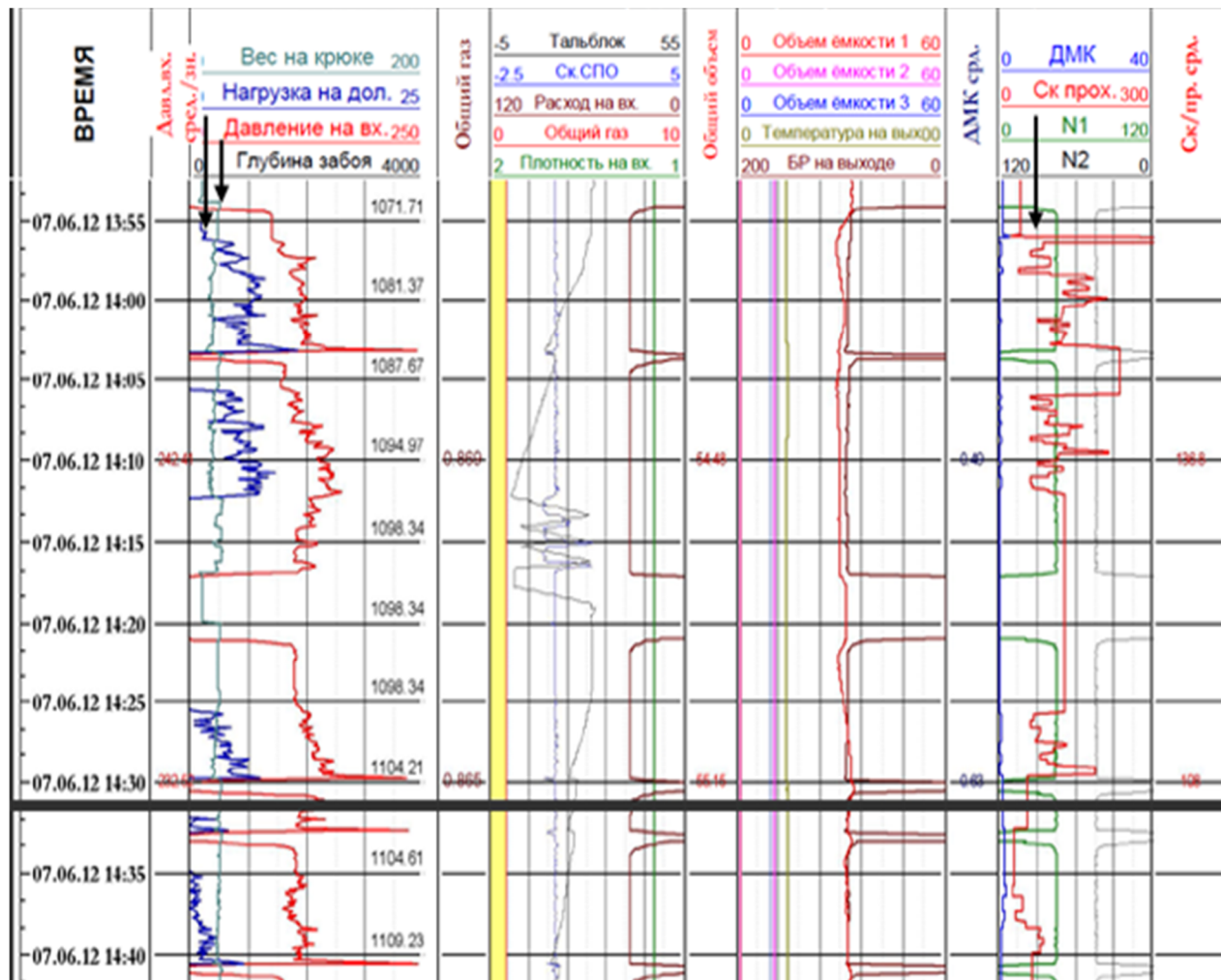


Рисунок 2 - Диаграмма бурения интервала 1071,7-1109,2 м

Скачки связаны с резким повышением осевой нагрузки, что свидетельствует об остановке двигателя. Например, при бурении интервала 1071,7 – 1104 м осевая нагрузка подбиралась ступенчато от 1 до 9 т. Первый скачок связан именно с резким увеличением осевой нагрузки до 12 т. Второй скачок давления связан со сменой пород по физико-механическим свойствам. Изменение физико-механических свойств пород привело к тормозному режиму уже при 8 т. В этом случае увеличивать нагрузку до 8 т не было необходимости, т.к. дифференциальный перепад давления обеспечивал плановую механическую скорость бурения.

В интервале 1104,3 – 1109,2 м отмечается снижение механической скорости проходки на фоне чередования пород по физико-механическим свойствам и подряд 2 скачка давления. После первого скачка давления (1104,3 – 1104,6 м) нагрузка при бурении уменьшается с 3 т до 1 - 1,5 т. При этом $P_{диф}$ составляет 1,5 МПа. Затем нагрузка вновь увеличивается до 3 т. Дифференциальный перепад при этом изменился на 0,4 МПа. Далее бурильщик резко разгружает инструмент до 6,5 т. За этим следует второй скачок давления на глубине 1109,2 м.

Момент силы на выходном валу в режиме максимальной мощности для ДГР-172.5/6 составляет 7,3 - 10,1 кН·м при расходе промывочной жидкости 19-38 л/с. Изменение физико-механических свойства горных пород в интервале 1071 - 1109 м привело к тормозному моменту на ВЗД при расходе 34 л/с при прежней величине осевой нагрузки. Эффективное бурение при данных условиях обеспечивается в поддержании постоянной величины дифференциального перепада давления ($P_{диф} = 1,0 \div 1,5$ МПа). По аналогии с приведенным примером, в работе рассматривается сравнения характера реакции на осевую нагрузку обычных и быстроходных винтовых забойных двигателей. При этом было подтверждено утверждение - характер реакции винтового двигателя на создание осевой нагрузки у быстроходных выше, чем у обычных. Это обусловлено меньшим моментом силы. Однако повышенные обороты выходного вала дают возможность раскрыть потенциал быстроходных винтовых забойных двигателей при отработке совместно с шарошечными и долотами PDC.

В результате промысловых испытаний технологии были опробованы технологические основы теории эффективной отработки винтовых забойных двигателей. Автором уделяется большое внимание влиянию $P_{диф}$ на механическую скорость проходки V_m , энергетических характеристик винтовых забойных двигателей на рейсовую скорость бурения V_p . По диаграммам геолого-технологических исследований приводятся технологические анализы интервалов бурения скважин. По результатам исследования сделан вывод - энергетические характеристики обычных и быстроходных винтовых забойных двигателей влияют на рейсовую скорость за счет увеличения механической скорости проходки. Последняя, неотделимо связана с величиной подводимой гидравлической мощности к винтовому забойному

двигателю. Влияние субъективного фактора на V_p проходки напрямую зависит от применения эффективной технологии управления отработкой винтового забойного двигателя.

В работе рассматриваются вопросы потребления долотом гидравлической мощности. Также рассматривается связь между физико-механическими свойствами горной породы и контролируемым параметром – $R_{диф}$. Приводятся примеры анализа диаграмм геолого-технологических исследований, бурения интервалов на месторождениях Оренбургской области. Приводятся примеры определения фактического крутящего момента на долоте. Также рассмотрены примеры выбора оптимальных режимов бурения для конкретных условий и выбора эффективной технологии бурения скважин.

В главе рассмотрено применение существующей автоматизированной технологии отработки винтовых забойных двигателей с применением тормоза электро-порошкового, на примерах бурения скважин в Пермском крае. Приведен технологический анализ диаграмм геолого-технологических исследований. Показаны примеры бурения в породах с разными физико-механическими свойствами с применением и без применения электро-порошкового тормоза.

Для оценки эффективности применения электро-порошкового тормоза при отработке винтового забойного двигателя, в работе приводится технологический анализ трех интервалов бурения скважины, представленных карбонатными породами различной твердости, по определению эффективности применения базовой технологии к конкретным условиям бурения по диаграмме геолого-технологических исследований (Рисунок 3). В интервале 1475 - 1486,9 м выбран один режим бурения: электро-порошковый тормоз установлен на поддержание осевой нагрузки 17 – 18 т. Интервал 1 (твердая порода) дифференциальный перепад давления составляет 1,0 – 1,7 МПа. В интервале 2 наблюдается изменение породы по физико-механическим свойствам, об этом свидетельствует изменение давления до 1,0 – 2,3 МПа. При этом постепенный рост механической скорости и дифференциального перепада давления происходит только до определенного момента, а именно: до смены твердости горной породы. Корректировка в работу тормоза не вносится, и в результате механическая

скорость падает. В интервале 3 – дифференциальное давление соответствует давлению холостого хода ($P_{диф3} = P_{х.х.}$)

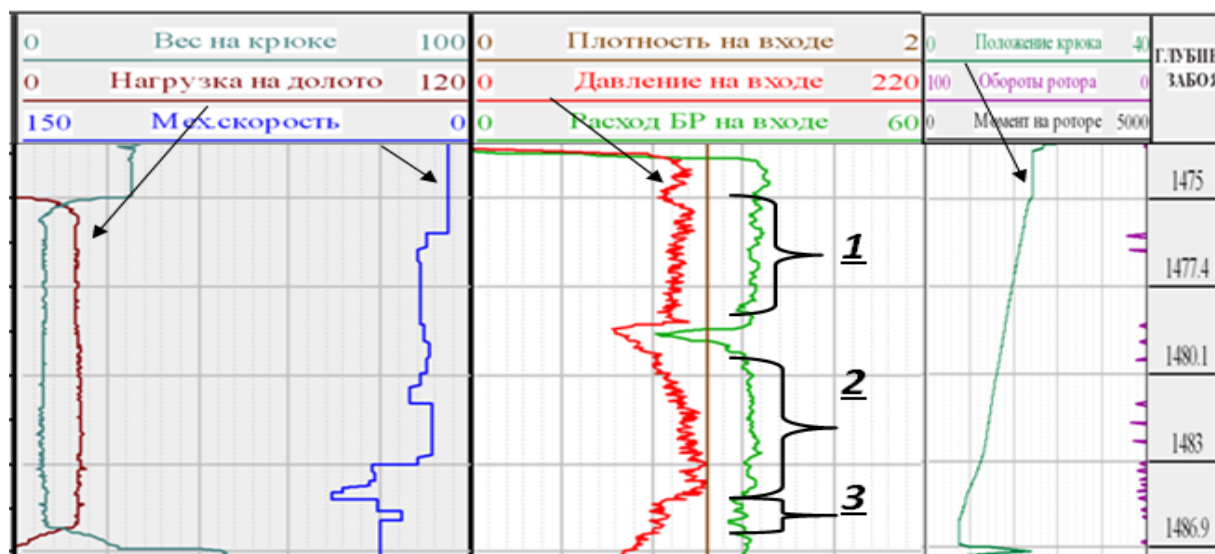


Рисунок 3. Пример бурения электро-порошкового тормозом в перемежающихся по физико-механическим свойствам породах

Анализ представленных выше результатов бурения показал, что применение электро-порошкового тормоза в перемежающихся по физико-механическим свойствам породах требует постоянного контроля и корректировки режимов бурения.

Таким образом, эффективная технология бурения опирается на постоянное поддержание необходимой гидравлической мощности. В условиях бурения пород с разными физико-механическими свойствами, индикатором к дозированию гидравлической мощности служит винтовой забойный двигатель. В рассмотренном примере применение технологии электро-порошкового тормоза не учитывает базовых основ отработки винтовых забойных двигателей.

В работе уделяется внимание влиянию субъективного фактора на темп углубления скважин. Показана технология управления винтовым забойным двигателем, на основе мониторинга $P_{диф}$ в процессе бурения, в том числе присутствие субъективного фактора при управлении режимами бурения.

Третья глава диссертации посвящена разработке автоматизированной технологии управления отработкой винтовых забойных двигателей. Индикаторами и главными

параметрами управления технологии выбраны – $P_{диф}$ и темп изменения давления в нагнетательной линии. В данном направлении при совместном участии автора, ООО «ВНИИБТ-БИ», ООО НПП «ИНТРОМАГ» были проведены работы по улучшению регулятора подачи инструмента (Патент № 2013531, МПК E21B44/00 Заявл. 15.07.1991) и созданию нового образца РПД ИМ2440М:

В процессе исследований разработана схема подключения регулятора ИМ2440М №13 к шкафу управления тормоза электро-порошкового 45У. Схема подключения регулятора не влияет на штатную работу тормоза. Исполнительный механизм такой же, как у тормоза электро-порошкового – буровая лебедка. Индикаторный сигнал поступает в блок управления РПД с датчика давления установленного на стояке. Работа регулятора подачи инструмента показана на упрощенной схеме (Рисунок 4).

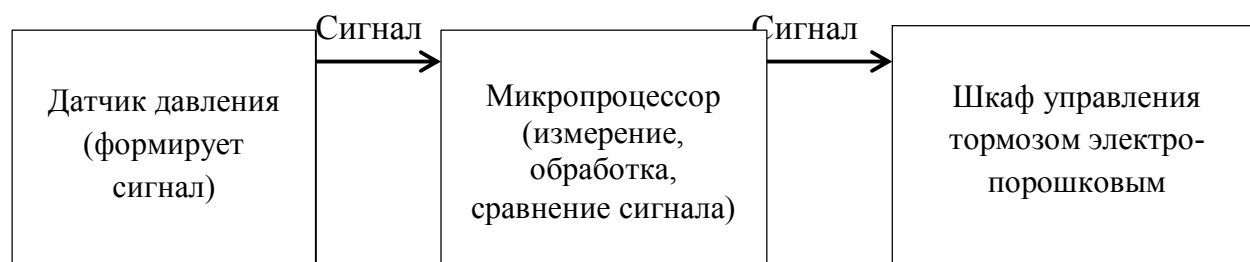


Рисунок 4. Упрощенная схема работа регулятора подачи инструмента ИМ2440М

Основу регулятора подачи долота ИМ2440М составляет микропроцессор, который измеряет сигнал от токового датчика давления. Микропроцессор вычисляет по сигналу датчика величину текущего давления, сравнивает его с заданным давлением, и вырабатывает сигнал, регулирующий давление.

Разработаны рабочие настройки и алгоритм работы регулятора подачи долота ИМ2440М, а также реализованы следующие возможности: во время бурения режимы с заданным интервалом записываются в архивную память ИМ2440М; при выходе давления за заданные пределы выставляется максимальный ток тормоза; предусмотрено аппаратное включение максимального тормоза при отказе ИМ2440М.

В алгоритме работы и аппаратной части РПД ИМ2440М реализованы следующие технологические особенности - возможность корректировки: постоянной времени усреднения мгновенных значений давления; значения рабочего давления; величины

воздействия, постоянной времени, на исполнительный механизм; отклика РПД на темп изменения давления в нагнетательной линии.

В РПД разработан и предусмотрен вариант управления и контроля автоматизированной технологией дистанционно в любой удаленной точке через GSM модем.

Промысловые испытания автоматизированной технологии обработки винтовых забойных двигателей проведены на Ильичевском месторождении (наклонно направленная скважина №276, куст №3). Работы проводились на основании разработанной автором программы промысловых испытаний регулятора подачи долота ИМ2440М (Рисунок 5). Испытание технологии проводилось в карбонатных породах средней твердости при бурении интервала участка набора зенитного угла. При бурении применялось шарошечное долото диаметром 215,9 мм, код IADC – 637. В состав КНБК (долото 215,9R50P + калибратор 215,9 + ДР1-198.6/7 угол перекоса 1°15'+ переводник + остальное) входил калибратор с износом до 214 мм. **Бурение РПД проводилось в безаварийном режиме.** По полученным диаграммам геолого-технологических исследований, в результате проведения испытаний, проведен технологический анализ и показана эффективность автоматизированной технологии управления обработкой винтового забойного двигателя.



Рисунок 7. Общий вид узла управления регулятором подачи долота ИМ2440М

Операции по определению оптимальных рабочих настроек алгоритма РПД и подбор

оптимальных режимов бурения, выполнялись опытным путем в 4 интервалах (1320,6 - 1321 м; 1322,5 - 1328,3 м; 1331,1 - 1334,8 м). Наиболее показательный интервал представлен на рис. 6, характеризующий эффективную технологию управления отработкой винтового забойного двигателя. Показано бурение двумя технологиями: 1 технология с применением тормоза электро-порошкового; 2 – автоматизированная технология управления отработкой винтового забойного двигателя с применением ИМ2440М:

1. Интервал 1 - 1328,3 м – 1331,1 м пробурен с применением традиционной технологии. При этом средняя механическая скорость составила 12,73 м/ч. Режим бурения устойчивый, нагрузка подается плавно, дифференциальный перепад давления равен 0,9 - 1,1 МПа при осевой нагрузке - 25 - 26 т. Режимы бурения подобраны в соответствии с регламентирующими документами на строительство скважины. Однако в данной ситуации они не оптимальны (не учитывают частичного зависания КНБК).

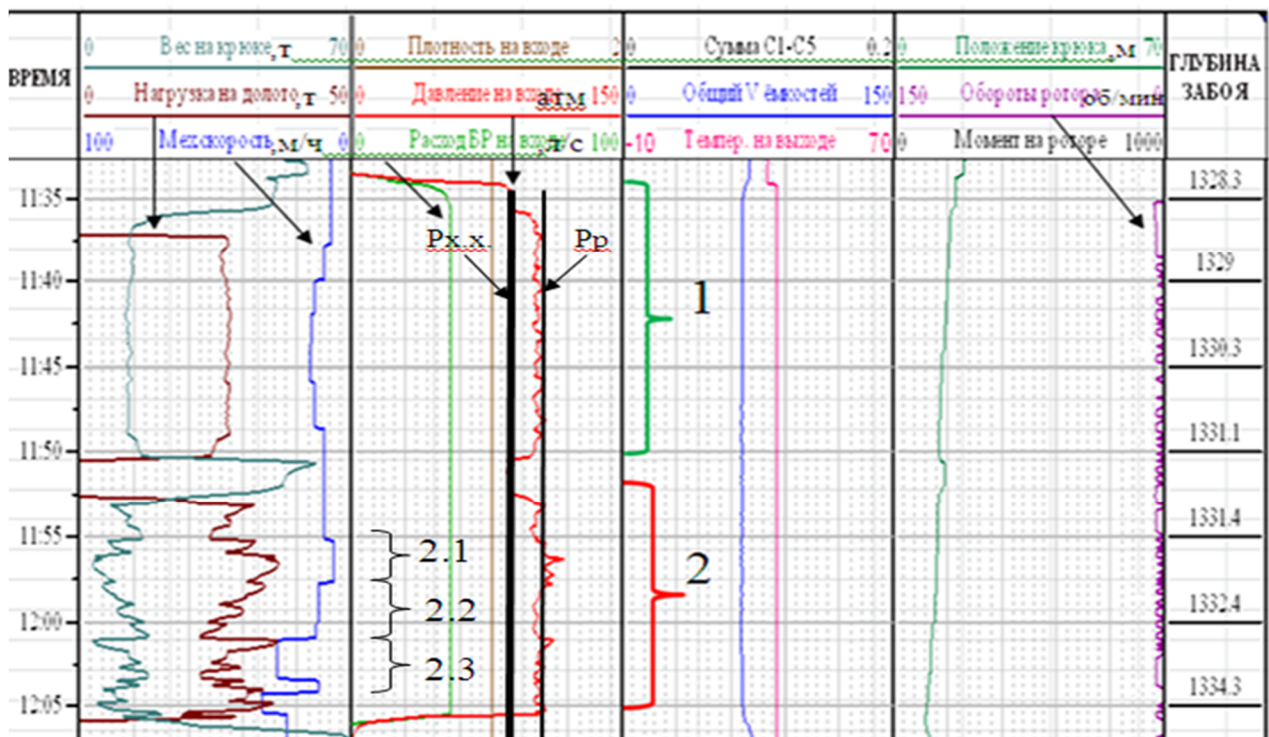


Рисунок 6. Примеры бурения интервалов эксплуатационной колонны с применением 1 – тормоз электро-порошковый, 2 – регулятор подачи долота ИМ2440М

2. Интервал 2 - 1331,1 м – 1334,3 м пробурен с применением автоматизированной технологии управления отработкой винтового забойного двигателя. Механическая скорость составила в среднем 14,55 м/ч. при осевой нагрузке в среднем 33 т. Чередование физико-механических свойств горных пород в интервале 1 менее заметно (только по механической скорости), чем в интервале 2. При опробовании новой технологии в интервале 2, выделяются участки 2.1, 2.2, 2.3, пробуренные с учетом корректировок режима бурения регулятора. В результате применения технологии эффективной отработки винтового двигателя механическая скорость повышается с 12 м/ч до 29 м/ч. Увеличение скорости обусловлено сменой геологической обстановки. При применении электро-порошкового тормоза изменение забойной ситуации не заметно, вследствие оперирования косвенным показателем – осевой нагрузкой на долото.

Четвертая глава диссертации посвящена определению резервов предложенной технологии и рекомендации технологии управления эффективной отработкой винтовых забойных двигателей к дальнейшему применению. Первые шаги, в данном направлении были сделаны автором (соблюдение технологии на месторождении) совместно с ООО «ВНИИБТ-БИ», ООО НПП «БУРИНТЕХ» при оказании сервисных услуг по сопровождению винтовых забойных двигателей и буровых долот в ГФ ООО «РН-Бурение» в 2013 г. В программу отработки долот (раздел режимы бурения) был внесен дифференциальный перепад давления. Данная программа утверждена Главным технологом ГФ ООО «РН-Бурение». При непосредственном участии автора в 2013 году были проведены работы на скважине №115, куст №37 Губкинского месторождения и скважина №8001, куст №8, Харампурской площади. В работе приводятся технологический анализ результатов управления отработкой винтовых забойных двигателей по регламентной технологии. При этом в интервале от 63 м до 1262 м обрабатывался забойный двигатель ДГР-240.3/4 совместно с долотом PDC. В результате испытаний получено увеличение механической скорости (34,67 м/ч) по сравнению с плановой (26,4 м/ч) на 30%

Расчеты коэффициента передачи мощности на забой, способам и технологии бурения, расчету мощностей, расходуемых на забое, выполнены с использованием методики Г.А. Кулябина. Методы расчета мощности, расходуемой на забое

скважины, и ее составляющих дают возможность анализировать работу оборудования и эффективность углубления скважин при выбранной технике и технологии бурения. Приводится расчет гидравлической мощности, крутящего момента на долоте, дифференциального перепада давления и известные формулы расчета КПД. При этом Г.А. Кулябин предлагает оценивать КПД, характеризующий способ углубления скважины, $\eta_{сп}$ с учетом мощности, расходуемой на разрушение пород, от величины которой зависит темп углубления скважины:

$$\eta_{сп} = \frac{N_{пр} + N_{г}}{N_{об}} \quad (1)$$

где $N_{пр}$ - мощность затрачиваемая на разрушение пород, кВт; $N_{об}$ – общие затраты мощности, кВт; $N_{г}$ – затраты мощности не связанные с работой зуба, кВт.

На основании проведенных исследований технологии управления эффективной отработкой винтовых забойных двигателей в процессе бурения, автор предлагает оценивать коэффициент полезного действия с учетом подведения эффективной мощности к забою. Для этого предлагается ввести коэффициент эффективности подведения гидравлической мощности к забою (необходимой для эффективного разрушения горной породы) $K_{эзм}$ (%). Под коэффициентом $K_{эзм}$ понимается повышающий процент величины полезной гидравлической мощности, расходуемой на разрушение горной породы, который позволяет учесть влияние таких факторов, как применяемое оборудование, параметры режима бурения, горно-геологические условия.

С учетом предложенного коэффициента КПД определяется следующим выражением:

$$\eta_{сп} = \frac{N_{пр} + N_{г}}{N_{об}} k_{эзм} \quad (2)$$

Применение регламентной технологии коэффициент эффективности подведения гидравлической мощности к забою $K_{эзм}$ составляет 30 %.

Предлагаемая технология в рассмотренных интервалах бурения на Ильичевском месторождении позволила увеличить механическую скорость 2,41 раза (на 141% по сравнению с базовой, с учетом изменения геологии). Анализ бурения секции

скважины №115, куст №37 Губкинского месторождения, объект ГФ ООО «РН-Бурение» показал, что значение коэффициента составляет 30%.

Таким образом, в рамках проведенных исследований установлено, что применение методики управления эффективной отработкой винтовых забойных двигателей может позволить увеличить коэффициент полезного действия до 30% .

С применением предложенного расчета (2) можно успешно решать задачу выбора эффективного способа бурения или подбора винтового забойного двигателя на стадии проектирования строительства скважины и вносить коррективы после проводки небольшого количества скважин.

Экономический эффект от применения технологии управления отработкой винтовых забойных двигателей имеет значительный потенциал в увеличении коммерческой скорости бурения скважин, сокращении временных и стоимостных затрат на бурение и др.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Выполнен анализ существующих подходов по управлению режимами отработки винтовых забойных двигателей. Определены направления усовершенствования технологии бурения забойными двигателями, которые включают эксплуатацию оборудования по эффективному дифференциальному перепаду давления на винтовом забойном двигателе, адаптацию технологии отработки винтовых забойных двигателей к различным условиям бурения, возможности оперативного управления технологией отработки винтовых забойных двигателей.

2. Проведены исследования эксплуатационных особенностей применения винтовых забойных двигателей. В результате исследований установлено:

- характер реакции винтового двигателя на создание осевой нагрузки у быстроходных винтовых двигателей выше, чем у обычных, вследствие меньшего момента силы, при этом повышенные обороты выходного вала дают возможность раскрыть потенциал быстроходных винтовых забойных двигателей при применении технологии эффективного управления режимами работы винтового двигателя;

- энергетические характеристики обычных и быстроходных винтовых забойных двигателей влияют на рейсовую скорость за счет скорости разрушения горных пород ,

которая связана с величиной подводимой гидравлической мощности к винтовому забойному двигателю;

- влияние субъективного фактора на рейсовую скорость проходки напрямую зависит от применения эффективной технологии управления отработкой винтового забойного двигателя.

3. Разработана автоматизированная система управления отработкой винтовых забойных двигателей, включающая модернизированный РПД ИМ2440М, схему подключения регулятора к шкафу управления электро-порошковым тормозом, алгоритм функционирования регулятора подачи долота и определённые рабочие настройки (на примере Ильичевского месторождения). Автоматизированная система обеспечивает эффективную технологию применения и управления режимами отработки винтовых забойных двигателей с использованием параметра эффективного дифференциального перепада давления.

4. Разработана технология повышения механической скорости проходки при применении винтовых забойных двигателей. Технология обеспечивает эксплуатацию оборудования по эффективному дифференциальному перепаду давления на винтовом забойном двигателе, адаптацию технологии отработки винтовых забойных двигателей к различным условиям бурения, возможности оперативного управления технологией. Опробование технологии, в интервалах применения, на Губкинском месторождении показало увеличение механической скорости бурения по сравнению с плановой на 30%, на Ильичевском месторождении скорость увеличена на 141%.

5. На основании положительных промысловых испытаний технологии отработки забойных двигателей, рекомендовано оценивать КПД, характеризующий способ углубления скважины, с учетом введенного коэффициента эффективности подведения гидравлической мощности к забою $K_{эзм}$ (%). Определен предел изменения коэффициента эффективности подведения гидравлической мощности к забою $K_{эзм}$, который составляет 30%.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в следующих работах

а) В журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Вerveкин, А.В. О повышении эффективности бурения нефтяных и газовых скважин гидравлическими забойными двигателями/ А. В. Вerveкин, В. М. Плотников, В. И. Молодило//НТЖ Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2013. – № 1. – С. 16-19

2. Вerveкин, А.В. Влияние энергетической характеристики винтовых забойных двигателей на рейсовую скорость бурения/ А. В. Вerveкин, В. М. Плотников//НТЖ Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море.–2013.–№ 4. – С. 10-12

3. Вerveкин, А.В. Управление подводимой гидравлической энергией при разрушении горных пород в процессе бурения/ А. В. Вerveкин, В. М. Плотников, В. И. Молодило //Нефтяное хозяйство. – №4. – 2013 – С. 32-34

4. Вerveкин, А.В. Субъективный фактор и эксплуатационные особенности турбобуров при бурении нефтяных и газовых скважин/ А. В. Вerveкин, В. М. Плотников, В. И. Молодило //Нефтепромысловое дело. – 2013. – № 9. – С. 66-69

5. Вerveкин, А.В. Управление технологическим процессом эксплуатации винтовых забойных двигателей при строительстве нефтяных и газовых скважин/ А. В. Вerveкин, В. М. Плотников, В. И. Молодило //Нефтяное хозяйство. – №2. – 2014 – С. 106-108

6. Вerveкин, А.В. Управление технологическим процессом отработки винтовых забойных двигателей при бурении нефтяных и газовых скважин/ А. В. Вerveкин, В. М. Плотников//Нефтяное хозяйство. – №6. – 2014 – С. 26-27

б) Другие издания

7. Вerveкин, А.В. Реакция высокооборотных винтовых забойных двигателей на создание осевой нагрузки//Тезисы докладов V Всероссийской конференции. г. Пермь. ПНИПУ. Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2012. – С. 52.

8. Вerveкин, А.В. К вопросу автоматизации процесса бурения нефтяных и газовых скважин винтовыми забойными двигателями. //Тезисы докладов VI Всероссийской

конференции, г. Пермь: ПНИПУ. Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2013. – С. 23.

9. Вервекин, А.В. К вопросу автоматизации процесса бурения нефтяных и газовых скважин винтовыми забойными двигателями//Вестник ПНИПУ. – №10. – 2014. – С. 49-65.

10. Вервекин, А.В. Управление режимом работы винтовых забойных двигателей при бурении нефтяных и газовых скважин. //Материалы VII Всероссийской конференции, г. Пермь: ПНИПУ. Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2014. – С. 99.