

На правах рукописи



Лахтионов Сергей Владимирович

**РАЗРАБОТКА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ
ПРОМЫВКИ СКВАЖИН С УЧЁТОМ ВЛИЯНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ НА РЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ
БУРОВЫХ РАСТВОРОВ**

Специальность 25.00.15 – «Технология бурения и освоения скважин»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

Ухта – 2008

Работа выполнена на кафедре бурения Ухтинского государственного
технического университета

Научный руководитель:

кандидат технических наук, профессор

Уляшёва Надежда Михайловна

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

Близнюков Владимир Юрьевич

кандидат технических наук

Злотников Георгий Павлович

Ведущая организация: филиал ООО «ВНИИгаз»-«СеверНИПИгаз»

Защита диссертации состоится «24» октября 2008 г. в 10-00 на заседании диссертационного совета Д 212.291.01 при Ухтинском государственном техническом университете по адресу: г. Ухта, Республика Коми, Первомайская, 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ухтинского государственного технического университета по адресу: г. Ухта, Республика Коми, Первомайская, 13.

Автореферат размещён на сайте университета www.ugtu.net

Автореферат разослан «23» сентября 2008 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

диссертационного совета, к.т.н.



Н.М. Уляшёва

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Известно, что буровой раствор является одним из важнейших элементов при строительстве скважин, основной задачей которого остаётся очистка забоя и удаление из скважины частиц выбуренной породы. Важную роль при выполнении этой задачи играют реологические свойства. Их поддержание и оптимизация необходимы для: прогнозирования давлений, возникающих в циркуляционной системе скважины при бурении и проведении других технологических операций, оптимизации гидравлических программ с целью увеличения технико-экономических показателей бурения, а так же подсчёта и минимизации затрат энергии на промывку скважин.

Особенно это становится актуально в связи с непрерывным ростом глубин бурения и, как следствие, температур и давлений, которые, оказывают существенное влияние на реологическое поведение буровых промывочных жидкостей. К сожалению, в настоящее время вопрос температурного влияния на реологические свойства промывочной жидкости рассматривается только для высокотемпературных скважин, бурение которых предусматривает, либо применение специальных растворов на водной основе либо использование растворов на нефтяной или синтетической основе.

Между тем практикой бурения установлено, что большое число переменных факторов, в том числе температура, влияющих на реологические параметры буровых растворов, делает их прогнозирование крайне сложной задачей. В этой связи проведение обширных исследований и накопление статистических данных по изменению реологического поведения конкретных систем и рецептур буровых растворов приобретает крайне важное значение.

Известно так же, что большинство современных методик расчёта потерь давления не учитывают температурного влияния на реологические параметры буровых растворов, между тем, даже небольшое изменение температуры может существенно повлиять на величину давлений в циркуляционной системе скважины. Как правило, эти методики завышают фактические

давления, возникающие при промывке. Уточнение методик расчёта потерь давления с учётом температурного фактора позволит на стадии проектирования реализовать полезную мощность насосов на долоте (гидромониторный эффект) или забойном двигателе, что в свою очередь позволит увеличить технико-экономические показатели бурения. Кроме того, увеличение доли строительства скважин сложного пространственного профиля, т.е. сильно искривленных и горизонтальных скважин с большим отходом от вертикали, предъявляет жесткие требования к качеству очистки ствола от выбуренной породы, а значит и прогнозированию реологических свойств систем непосредственно в условиях скважины.

Цель работы

Разработка гидравлической программы промывки с учётом температурного воздействия на реологическое поведение буровых растворов, обеспечивающей повышение эффективности строительства скважин.

Основные задачи исследования

1. Исследование влияния водорастворимых акрилатов и полисахаридов на реологическое поведение малоглинистых и безглинистых буровых промывочных жидкостей при нормальных и повышенных температурах.
2. Определение степени изменения реологических констант малоглинистых и безглинистых буровых растворов под действием температуры.
3. Уточнение методики определения потерь давления в циркуляционной системе скважины с учётом температурного влияния на реологические параметры буровых растворов и разработка компьютерной программы с целью её реализации.
4. Промысловая оценка методики и компьютерной программы расчёта потерь давления в циркуляционной системе скважины.

Научная новизна

1. Установлены температурные границы изменения реологического поведения водорастворимых полисахаридов и акрилатов, и обработанных ими буровых растворов, которые не зависят от содержания бентонитового струк-

турообразователя и составляют 40°C для стабилизированных глинистых растворов и 50°C для малоглинистых и безглинистых систем.

2. Установлено, что обработка хлоридом калия в концентрации до 3% (масс.) существенно изменяет характер реологического поведения водных растворов полимеров, и величину показателя нелинейности и показателя консистентности в диапазоне температуры от 20 до 90°C. При этом показатель нелинейности возрастает в порядке увеличения температуры в 2,25-1,7 и 0,9 раза, а показатель консистентности снижается в 24-16 и 2,75-1,5 раза для акрилатов и эфиров целлюлозы соответственно.

3. Уточнение существующей методики для расчёта потерь давления в циркуляционной системе скважины путём ввода функции зависимости реологических параметров бурового раствора от температуры позволяет снизить уровень погрешности в 2-3 раза, а так же повысить надёжность оптимизации гидромониторной промывки.

4. Определена минимальная глубина эффективного использования предложенной методики и компьютерной программы, при промывке скважин малоглинистыми, безглинистыми и стабилизированными глинистыми растворами, содержащих в своём составе акрилаты и полисахариды.

Основные защищаемые положения

1. Результаты реометрии полимерных реагентов и буровых растворов на их основе в температурном режиме 20-90°C.

2. Методика расчёта потерь давления с учётом температурного фактора и компьютерная программа для её реализации.

3. Результаты сравнительных исследований действующей и предложенной методики, а так же сравнение с фактическими данными.

Практическая значимость

1. Реализована методика подсчёта потерь давления в циркуляционной системе скважины, позволяющая прогнозировать давление на насосах с учётом температурного изменения реологических параметров буровых промывочных жидкостей.

2. Установлена степень изменения реологических параметров буровых растворов в реальных условиях бурения скважин в Тимано-Печорской нефтегазодобывающей провинции (ТПНГП), что обеспечит прогнозирование изменений давления и механической скорости бурения.

3. Разработана компьютерная программа «Rheotherm-Hydro», позволяющая с достаточно высокой степенью точности определять потери давления в циркуляционной системе скважины.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы докладывались на VIII международной молодёжной научной конференции «Севергеоэкотех 2007»-г. Ухта 2007 г.; научно-технической конференции молодых специалистов ООО «РН-Северная нефть» г.Усинск 2007 г.; VII всероссийской конференции молодых учёных, специалистов и студентов по проблемам газовой промышленности России-г. Москва 2007 г.; научно-технической конференции преподавателей и сотрудников. В рамках IV Северного социально-экологического конгресса «Северное измерение глобальных проблем: первые итоги Международного полярного года» г. Ухта 2008 г.

Публикации

По теме диссертации опубликованы 6 печатных работ, в том числе 2 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Объём и структура работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Изложена на 151 листе машинописного текста, содержит 71 рисунок, 30 таблиц и библиографию из 110 наименований.

Неоценимую помощь при выполнении диссертационной работы оказали д.т.н. П.Ф. Осипов, к.т.н. Ю.Л. Логачёв, д.т.н. В.Ф. Буслаев, к.т.н. Н.М. Уляшёва. Так же, автор считает своим долгом выразить признательность всем сотрудникам кафедры бурения УГТУ, и коллективу ЗАО «ЭкоАрктика», С.Н. Гаджиеву и Т.Н. Грековой в частности.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана краткая характеристика и обосновывается актуальность диссертационной работы.

В первой главе приводится анализ опыта и результатов реологических исследований, различных по составу буровых промывочных жидкостей в условиях изменяющихся температур, как на раннем, так и на современном этапе развития. Рассматриваются преимущества и недостатки различных реологических моделей, а так же методы обработки экспериментальных данных, полученных с помощью ротационных вискозиметров. Сформулированы цели и задачи исследования.

Изучению реологического поведения буровых растворов под воздействием температуры посвящены работы как отечественных, А.М. Аванесовой, В.Д. Бакланова, А.И. Булатова, М.П. Воларовича, Г.Г. Габузова, Л.Д. Гурджиняна, Г.Я. Дедусенко, Б.И. Есьмана, В.И. Исаева, Э.Г. Кистера, В.В. Крецула, В.И. Крылова, Е. Г. Леонова, М.И. Липкеса, М.Р. Мавлютова, А.А. Мадатова, А.С. Стрекова, В.Д. Толстого, К.А. Царевича, Р.И. Шищенко, К.Ф. Шуть, Е.А. Яишниковой, так и зарубежных учёных М.Р. Аниса, Баннермана, К.Г. Гроде, Девиса, Келлиа, Н. Маковея, Уейнтрайта, К.Х. Хиллера и других.

Анализ работ показал, что изучению влияния температуры на реологические параметры посвящено достаточно много теоретических и экспериментальных исследований, однако, из-за сложностей внутренних процессов в промывочных агентах отсутствуют закономерности, позволяющие прогнозировать изменение этих показателей в условиях скважины. Даже весьма умеренные температуры и незначительные различия в химическом и компонентном составе могут оказывать значительное влияние на реологические свойства систем. Вследствие большого числа переменных факторов, предсказать их поведение при повышенных температурах очень сложно, поэтому для получения надёжной информации необходимо исследовать каждый буровой раствор в отдельности. Так же следует отметить, малое количество экспериментальных данных по исследованию современных малоглинистых и безглини-

стых буровых растворов. Разработка составов буровых растворов и управление их свойствами осуществляется без учёта температурных изменений в скважине, что зачастую приводит к авариям и осложнениям ствола скважины, снижению качества вскрытия продуктивных пластов. Одной из проблем, которая требует особого внимания, проблема выбора реологической модели. Правильно выбранная модель существенно повышает точность гидравлических расчётов

Таким образом, на современном этапе развития, методик определения реологических моделей и их констант, и как следствие расчётов потерь давления, исследователи идут по пути непрерывного уточнения, что в свою очередь требует применения различных компьютерных программ.

Во второй главе приводятся исследования реологического поведения буровых промывочных жидкостей, наиболее широко применяющихся при бурении скважин в ТПНГП.

Для выбора реологической модели были проведены предварительные исследования с использованием моделей Гершеля-Балкли и Оствальда-де-Ваале. Анализ результатов показал, что с достаточно высокой степенью точности изменение реологического поведения малоглинистых и безглинистых систем описывает реологическая модель Оствальда-де-Ваале, что позволяет так же, в качестве базовой, использовать известную методику расчёта потерь давления в циркуляционной системе скважины.

Исследования проводились с использованием ротационных вискозиметров фирмы OFITE model 800 и 900. В интервале температур от 20 до 90°C, и диапазоне скоростей сдвига от 1,7 до 1022 с⁻¹. Выбор диапазона температуры обусловлен фактическими температурами в эксплуатационных скважинах, на большинстве площадей ТПНГП. Для построения реологических кривых использовались от 8 до 12 опытных точек. Достоверность аппроксимации R^2 , изменялась в пределах от 0,89 до 1. Аппроксимация опытных точек производилась при помощи пакета программ Microsoft Office/Excel.

Очевидно, что выявление основных закономерностей изменения реологических параметров буровых растворов не возможно без чёткого понимания физико-химических процессов происходящих в растворах в результате добавления того или иного компонента. Широкий ассортимент различных реагентов и материалов для буровых растворов и совместное использование нескольких компонентов кратно усложняет определение каких-либо закономерностей, особенно при изменяющихся термобарических условиях бурящейся скважины. Тем не менее, проведение исследований в данной области позволяют сделать определённые выводы и установить основные тенденции.

В первой части главы представлены исследования изменения реологического поведения полимерных компонентов буровых растворов. Для исследования были выбраны реагенты, применяемые для регулирования технологических свойств растворов, при бурении скважин в ТПНПП: частично гидролизированный полиакриламид *Poly-Plus RD*; высоковязкая модификация полианионной целлюлозы *Polypac R*; биополимер *Duovis*.

Исследования влияния температуры на реологические параметры растворов, проводились для каждого реагента в три этапа. Первый этап включал установление основных закономерностей реологического поведения водного раствора реагента. Второй этап заключался в исследовании изменения реологического поведения раствора реагента при добавлении электролита (в качестве электролита добавлялась соль хлорида калия, как основной тип ингибитора гидратации глин при бурении в данном регионе). На третьем этапе изучалось влияние добавления в пресный раствор полимера глинистого структурообразователя (бентонита). Рецептуры приведены в табл. 1.

В результате исследования (рис. 1 и 2) установлено, что для реагента *Poly-Plus RD* характер изменения реологических параметров, а именно показателей нелинейности и консистентности обусловлен свойствами углерод-углеродной связи в макромолекуле полимера, которая при увеличении температуры крайне незначительно изменяет свои свойства. Вследствие чего для систем на основе полиакрилатов наблюдается стабильность показателя нели-

нейности с одновременным снижением показателя консистентности обусловленным, прежде всего, уменьшением вязкости дисперсионной среды и снижением сил внутреннего трения.

Таблица 1.

Рецептуры исследуемых систем

№ п/п	Наименование компонента	КС1, %	Бентонит, %
1	Poly-Plus RD концентрация 0,3 %	-	-
2		3	-
3		-	0,5
4	Polypac R концентрация 0,4 %	-	-
5		3	-
6		-	0,5
7	Duovis концентрация 0,4%	-	-
8		3	-
9		-	0,5

Исключение составляют, системы обработанные электролитом, так как увеличение минерализации приводит к гидрофобизации поверхности макромолекул полимера и дегидратации. Эти процессы вызывают глобулизацию макромолекул, что объясняет снижение показателя n и динамику изменений показателя K с увеличением температуры.

Добавление в базовый раствор суспензии бентонита приводит к снижению общей вязкости системы. Происходит увеличение показателя нелинейности и уменьшение показателя консистентности. Это связано с процессом флокуляции частиц бентонита, которые связываются между собой молекулярными пачками и нитями полимера, и образуют сетчатую структуру. Характер изменения реологических параметров в процессе нагрева в целом сходен с поведением базового раствора в силу выше описанных причин.

Аналогичным образом были проведены исследования систем на основе реагентов полисахаридной группы *Polypac R* и *Duovis*. При этом установлено, что изменения реологических параметров, для данных реагентов обусловлены свойствами гликозидной связи в макромолекуле. Под воздействием температуры происходит уменьшение её прочности, и как следствие увеличение подвижности звеньев цепи. При этом необходимо отметить, что био-

полимерный реагент более стоек к воздействию электролита, в силу того, что макромолекула содержит в своём составе ионы металлов.

Таким образом, в результате проведённых исследований установлены характер изменения реологических параметров для водорастворимых полисахаридов и акрилатов, что позволяет, в дальнейшем, прогнозировать изменение реологических свойств буровых растворов обработанных данными реагентами, и их поведение в условиях различных температур.

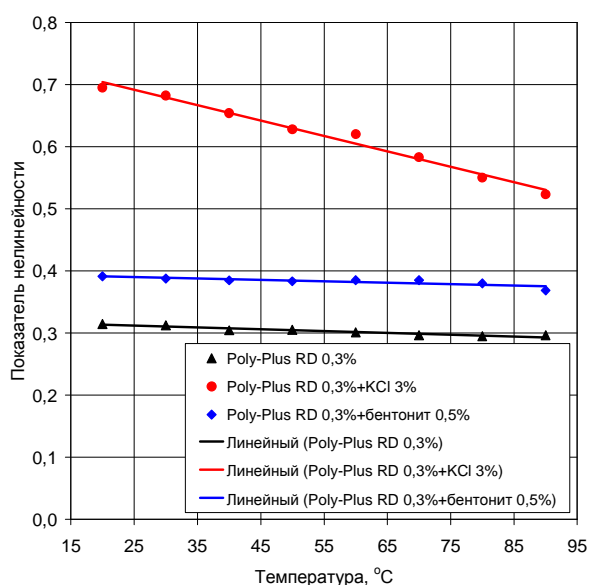


Рис.1. Зависимость показателя нелинейности для систем на основе реагента Poly-Plus RD от температуры

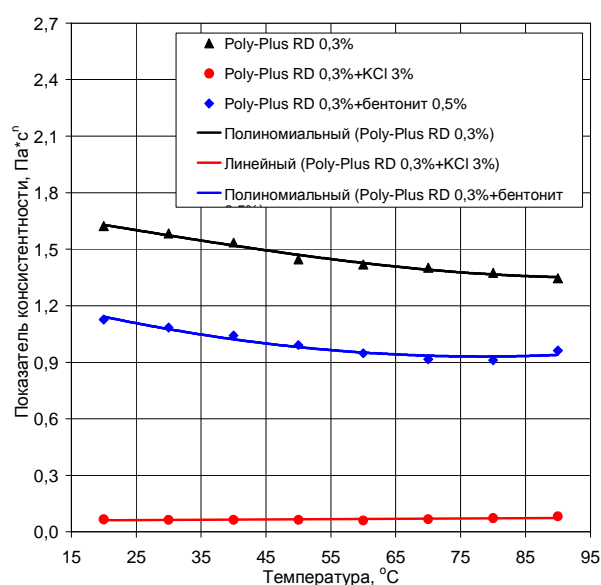


Рис.2. Зависимость показателя консистенции для систем на основе реагента Poly-Plus RD от температуры

Вторая часть главы посвящена исследованию реологического поведения наиболее широко применяемых при бурении скважин систем буровых растворов в условиях изменяющихся температур.

На первом этапе исследовались чистые и стабилизированные глинистые суспензии. На основании проведённых исследований можно утверждать следующее (рис. 3-6).

Реологическое поведение чистых глинистых суспензий соответствует реологической модели Шведова-Бингама, а стабилизированных глинистых суспензий в большей степени соответствует модели Оствальда-де-Ваале. При этом у систем стабилизированных реагентами на основе полисахаридов, реологические параметры в большей степени подвержены температурному

влиянию, а при стабилизации акриловыми полимерами свойства системы более стабильны, а значит предпочтительней с точки зрения обеспечения необходимых технологических свойств. Полученные изменения реологических констант характерны для буровых растворов стабилизированных полисахаридами и полиакрилатами и содержащих более 3 % коллоидной фазы.

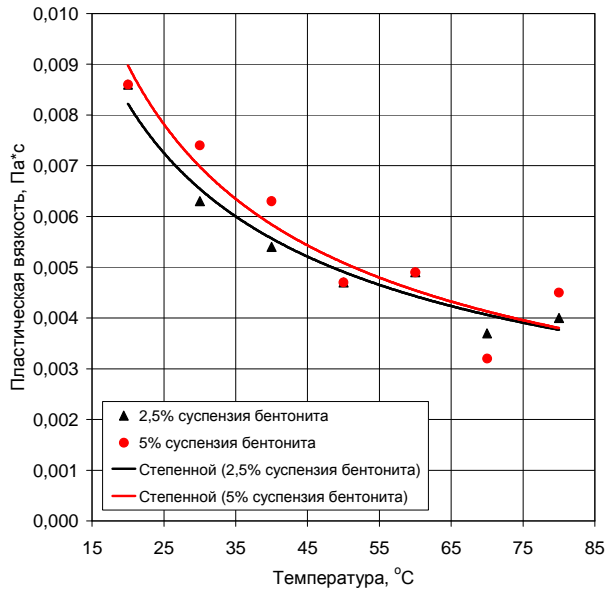


Рис.3. Зависимость пластической вязкости глинистых суспензий от температуры

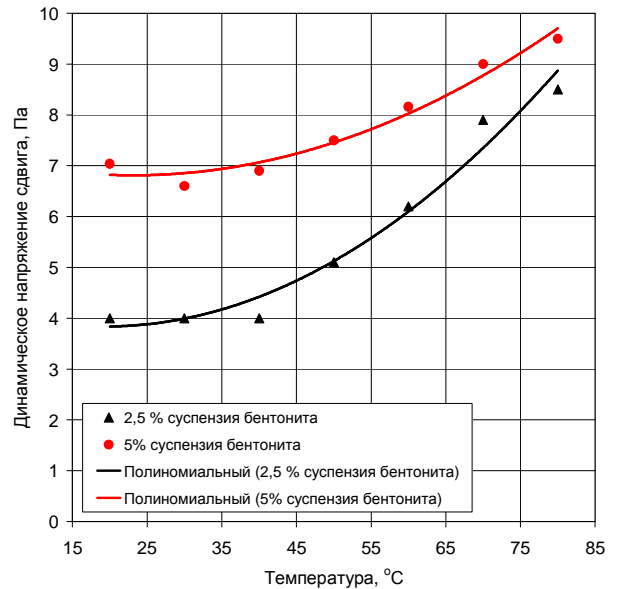


Рис.4. Зависимость динамического напряжения сдвига глинистых суспензий от температуры

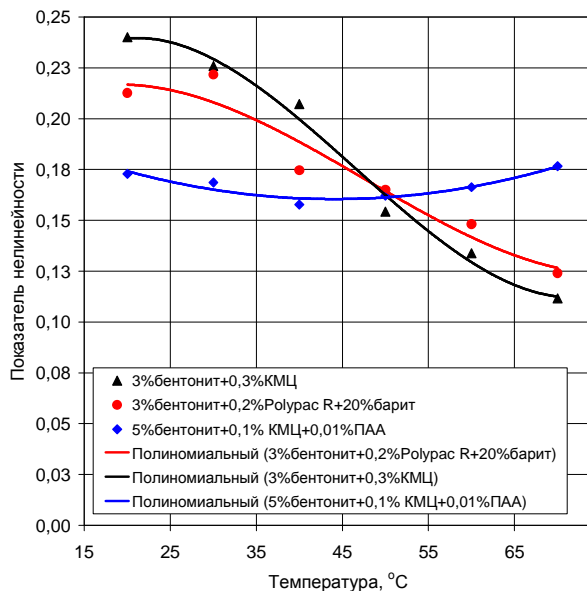


Рис.5. Зависимость показателя нелинейности стабилизированных глинистых суспензий от температуры

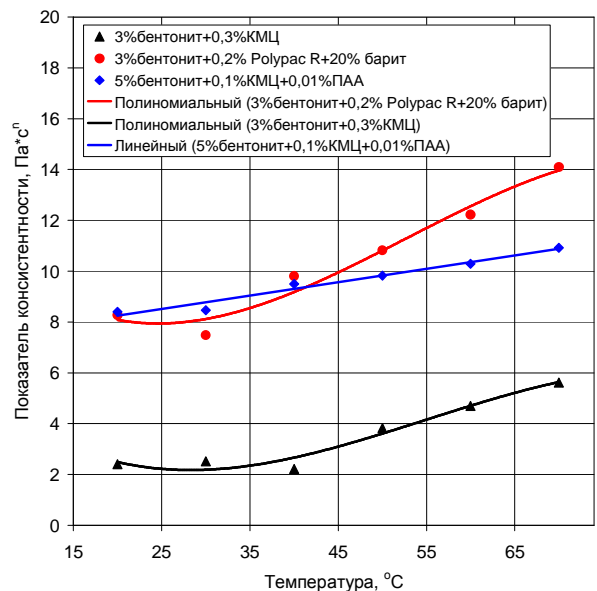


Рис.6. Зависимость показателя консистенции стабилизированных глинистых суспензий от температуры

На втором этапе исследовалось поведение различных по составу не-диспергирующих систем на основе реагента *Poly-Plus RD* (табл. 2), применяющихся для разбуривания отложений высококоллоидных и активных глин

Триаса и Перми. Оценено влияние уровня минерализации и содержания твёрдой фазы в условиях повышенных температур.

Анализ результатов проведённых исследований (рис. 7-8) показал, что с увеличением температуры для всех образцов характерно следующее изменение реологических параметров: относительная стабильность показателя нелинейности и показателя консистентности в диапазоне температуры до 50°C. При дальнейшем увеличении температуры происходит существенное увеличение показателя n и снижение показателя K .

Таблица 2.

Компонентный состав недиспергирующих буровых растворов

№ образца	Компонентный состав, %						
	Бентонит	Poly-Plus RD	SP-101	Thermpac UL	Duovis	KCl	Барит/ мраморная крошка
1	0,5	0,2	0,2	0,1	-	-	-/-
2	0,5	0,2	0,2	0,1	0,15	4	-/-
3	1,5	0,3	0,3	0,15	0,2	4	-/-
4	1,5	0,3	0,3	0,15	0,2	4	10/-
5	1,5	0,3	0,3	0,15	0,2	4	-/10
6	1,5	0,3	0,3	0,15	0,2	8	-/-
7	1,5	0,3	0,3	0,15	0,2	12	-/-

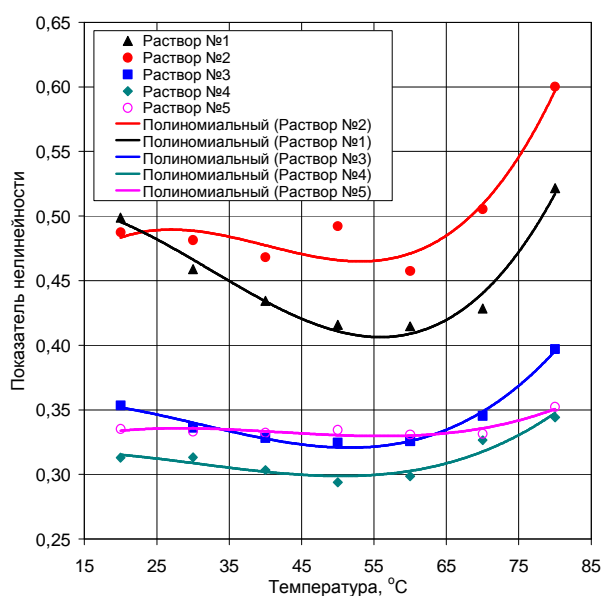


Рис.7. Зависимость показателя нелинейности недиспергирующих систем при обработке различными реагентами от температуры

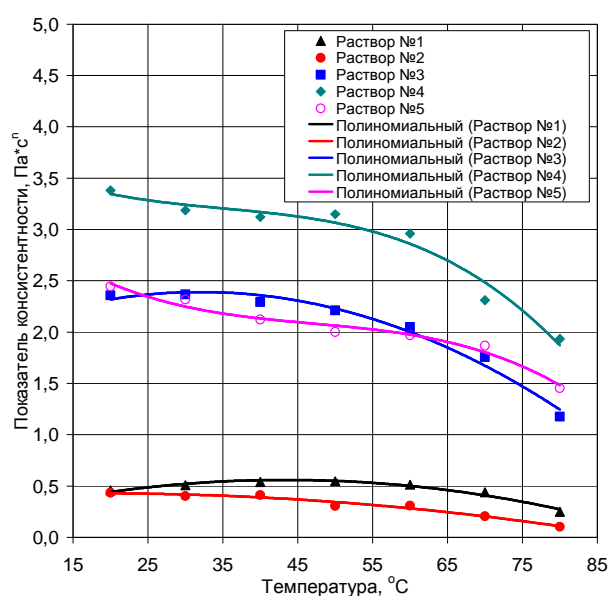


Рис.8. Зависимость показателя консистентности недиспергирующих систем при обработке различными реагентами от температуры

Добавление инертной твёрдой фазы положительно сказывается на температурной стабильности обоих реологических параметров. В то время как

увеличение минерализации раствора существенно уменьшает степень неньютоновского поведения (псевдопластичности) и приводит к снижению технологических свойств системы.

Таким образом, можно утверждать, что исследуемая система раствора стабильна в широком диапазоне минерализации и умеренных температур.

Так же, для сравнения с предыдущей системой проведены исследования недиспергирующего раствора на основе полиакриламида и сульфата алюминия. Для данной системы, при увеличении температуры, характерно линейное снижение показателя n и увеличение показателя K , что обусловлено взаимодействием акрилового полимера и КМЦ с сульфатом алюминия, приводящая к образованию комплексов, в результате чего образуется пространственная структурная сетка.

Для разбуривания карбонатных и литифицированных глинистых отложений, в ТПНГП, как правило, используют пресные или минерализованные малоглинистые буровые растворы следующего состава (табл. 4).

Таблица 4.

Компонентный состав малоглинистых буровых растворов

№ образца	Компонентный состав, %				
	Бентонит	Duovis	Polypac R	KCl	Мраморная крошка
1	2	0,2	0,4	-	-
2	2	0,2	0,4	5	-
3	2	0,2	0,4	10	-
4	2	0,2	0,4	15	-
5	2	0,2	0,4	10	5
6	2	0,2	0,4	10	10
7	2	0,2	0,4	10	15

На первом этапе исследования оценивалось влияние степени минерализации, а на втором содержание инертной твёрдой фазы в условиях изменяющихся температур. В результате анализа полученных зависимостей, установлено, что первичное увеличение минерализации оказывает наиболее значительное влияние на реологические параметры системы. Дальнейшее увеличение содержания хлорида калия вызывает лишь незначительное снижение показателя n . Эти явления следует связать с процессами гидрофобизации и

дегидратации макромолекул полимерных компонентов и сжатия гидратного слоя глинистых частиц, вследствие увеличения минерализации. Показатель консистенции для всех исследуемых рецептур, с повышением температуры снижается. При этом характер снижения различен.

Увеличение содержания твёрдой фазы не оказывает существенного влияния на реологические параметры системы. Тем не менее, следует отметить увеличение обоих параметров при вводе мраморной крошки.

Дополнительно проведены исследования влияния сухого бентонитового порошка (имитация глинистого шлама) на реологическое поведение данного типа раствора. В результате полученных данных установлено что, добавление сухого бентонитового порошка, снижает неньютоновские свойства жидкости, вследствие того, что ведёт себя подобно инертной твёрдой фазе. При этом нагревание системы не приводит к явному изменению реологических констант, которое могло наблюдаться в том случае, если бы глинопорошок начал активно диспергировать, в результате температурной пептизации. Таким образом, раствор проявляет достаточно высокие ингибирующие свойства во всём интервале рабочих температур.

Повышенные требования к качественному вскрытию продуктивных отложений привели к тому, что в современной практике бурения для первичного вскрытия пластов применяются буровые растворы, позволяющие оказывать минимальное воздействие на коллекторские свойства пласта. В этой связи проведены исследования реологического поведения системы Фло-Про и системы на основе полианионной целлюлозы и биополимера (табл. 6).

В результате исследования безглинистых систем установлено (рис. 9-10), что по мере увеличения температуры происходит, незначительное увеличение показателя нелинейности и существенное снижение показателя консистенции. Изменение параметров в целом, не приводит к критическим потерям технологических свойств, что позволяет обеспечить довольно качественный транспорт шлама, даже в наклонном и горизонтальном стволе.

Таким образом, на основании проведённых исследований установлены основные тенденции изменения реологических параметров для систем буровых растворов, применяемых при бурении скважин в ТПНГП.

Таблица 6.

Компонентный состав безглинистых систем

№ образца	Компонентный состав, %				
	1	Duovis	Polypac R	Polypac UL	KCl
	0,25	0,35	0,35	6,5	
2	Flo-Vis Plus	Flo-Trol	MgO	KCl	Мраморная крошка
	0,4	1,6	0,2	6,5	9,0

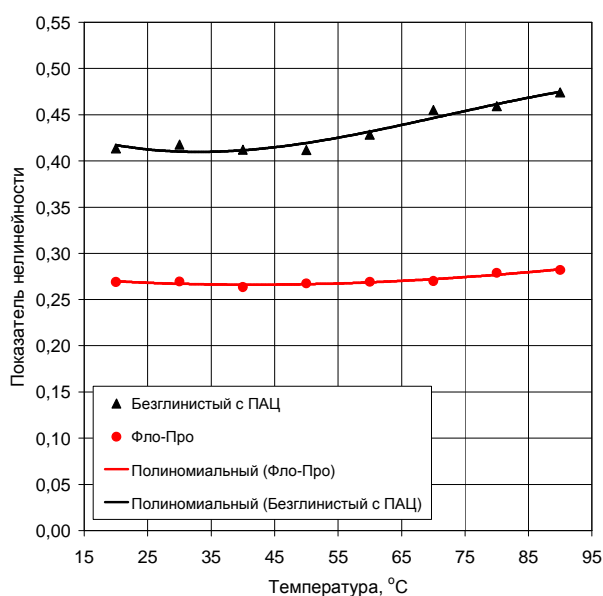


Рис.9. Зависимость показателя нелинейности безглинистых систем от температуры

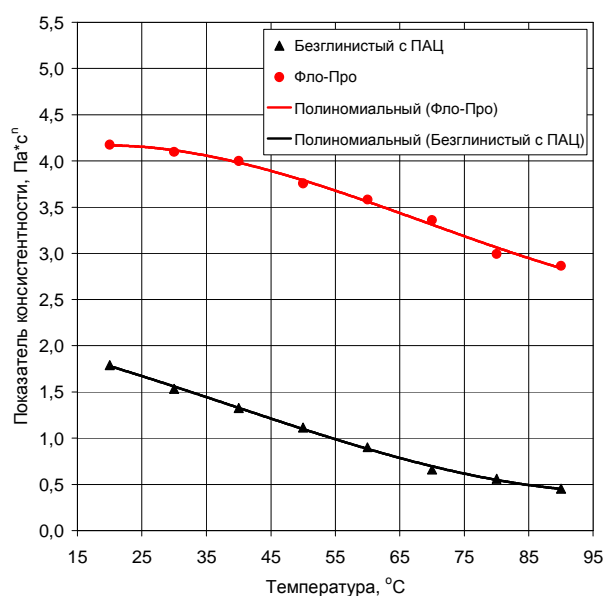


Рис.10. Зависимость показателя консистенции безглинистых систем от температуры

В третьей главе приводится анализ геотермических условий бурения скважин в ТПНГП. Рассматриваются различные методики определения температуры циркулирующего бурового раствора, и изложен алгоритм скорректированного расчёта потерь давления в циркуляционной системе скважины с учётом влияния температуры на реологические параметры буровых растворов, а так же описана реализованная на его основе компьютерная программа

Известно, что геологический разрез ТПНГП сложен терригенными и карбонатными породами, мощностью до 7 км. Основные месторождения залегают на глубинах от 50 до 4000 м, в условиях пластовых температур от 7

до 90°C. Из вышесказанного следует, что выбранный нами для исследований интервал температур полностью соответствует фактическим температурам на большинстве месторождений данного региона.

Очевидно, что наиболее важной задачей для разработки методики расчёта гидравлических сопротивлений в циркуляционной системе скважины, с учётом температурного изменения реологических свойств буровых растворов, является определение температуры циркулирующего раствора по стволу скважины. Температура раствора зависит от таких факторов как, глубина, диаметры скважины, обсадных и бурильных труб, геотермический градиент, расход бурового раствора, типа породоразрушающего инструмента, а так же различных теплофизических свойств.

Для расчёта температура бурового раствора по стволу скважины большинство исследователей выделяют следующие методы: аналитический, эмпирический и графический. Однако в силу большого числа неопределённостей получить универсальные уравнения крайне сложно.

К наиболее простым и показывающим достаточно точные результаты методам расчёта относятся графические методы. Например, экспресс-метод предложенный Ю.М. Просёлковым. В основе метода лежит ряд предпосылок, которые тезисно представлены ниже. Распределение температуры с глубиной в кольцевом и трубном пространстве в процессе промывки забоя описывается уравнениями кривых линий. Максимум термограммы, характеризующей температуру бурового раствора в кольцевом пространстве, соответствует $2/3$ глубины скважины. На основе промысловых исследований установлено, что на этой глубине кривая, характеризующая температуру в кольцевом пространстве, пересекает геотерму. Поэтому кривые динамической температуры в бурящейся скважине можно представить в виде отрезков прямых для трубного и кольцевого пространства, а так же пересекающей их линией геотермического градиента (рис. 11). Определив уравнения прямых, можно определить температуру раствора в любой точке циркуляционной системы скважины.

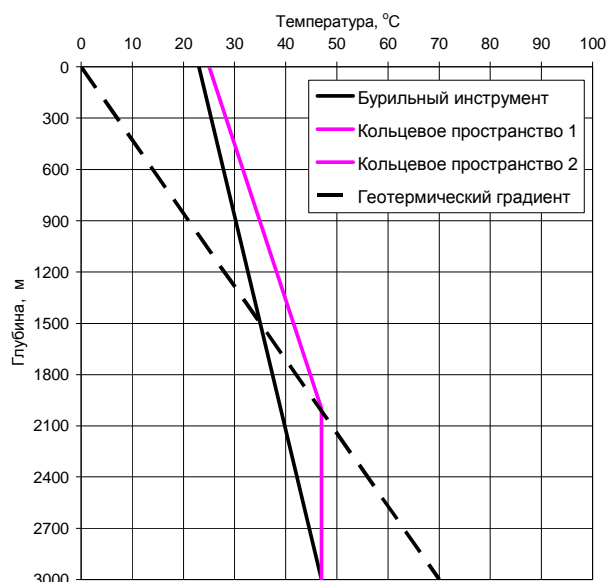


Рис. 11. Распределение температуры циркулирующего бурового раствора в условной скважине

Таким образом, усовершенствованный расчёт потерь давления с учётом изменения реологических параметров под действием температуры сводится к следующему:

1. Для заданных горно-геологических условий выбирается рецептура бурового раствора, обеспечивающая необходимые технологические свойства;
2. В лабораторных условиях производится комплекс необходимых реометрических исследований приготовленного раствора при ожидаемых по геологическому разрезу температурах;
3. Аппроксимацией устанавливается реологическая модель исследуемого бурового раствора;
4. Строятся зависимости реологических параметров от температуры, которые позволяют определить их значение при конкретной температуре;
5. С помощью экспресс метода определяются уравнения изменения температуры циркулирующего раствора;
6. Полученные в п. 4 и 5 уравнения используются в выражениях для определения скорости и критического расхода циркулирующего бурового раствора, а так же перепада давления.

Необходимо отметить, что данный алгоритм и реализованная на его основе компьютерная программа позволяют проводить расчёты для опера-

тивного управления и оптимизации режима промывки, непосредственно на бурящихся скважинах.

Для реализации предложенного алгоритма совместно с Ю.Л. Логачёвым и С.В. Яковлевым была разработана программа «Rheotherm-Hydro» для подсчёта потерь давления, возникающих в циркуляционной системе скважины. Гидравлические расчёты основаны на «традиционных» двухпараметрических реологических моделях, а именно Шведова-Бингама и Оствльда-де-Ваале. Как показали исследования, приведённые во второй главе, буровые промывочные жидкости, применяемые при строительстве скважин в ТПНГП, вполне удовлетворительно описываются этими реологическими моделями.

Четвёртая глава посвящена промысловой оценке влияния температурного фактора на давления, возникающие в циркуляционной системе скважины при промывке и сравнительному анализу действующей и предлагаемой методик расчёта потерь давления.

Для определения применимости разработанной программы были проведены исследования реальных буровых растворов, используемых при бурении глубоких скважин на Леккерском, Баяндыском и Пашшорском месторождениях, в интервалах бурения под эксплуатационную колонну на глубинах свыше 3500 м. На всех скважинах применялся хлоркалийевый малоглинистый раствор различной степени минерализации и плотности. Гидравлические расчёты производились при помощи программы «Rheotherm-Hydro». Пример, данных полученных в результате расчётов, приведен в таблице 7.

На основе анализа полученных в результате расчётов данных можно сделать следующие выводы:

1. Погрешность при расчёте по скорректированному алгоритму по сравнению с фактическими значениями находится в пределах 11 %, при том, как для стандартного расчёта она может достигать 28 % и выше.

2. Рассчитанные по скорректированной методике давления на 7,5-14 % меньше рассчитанных по стандартной методике. Таким образом, при подготовке гидравлической программы необходимо учитывать этот резерв, и пре-

дусмотреть его реализацию на долоте или забойном двигателе, или увеличении расхода промывочной жидкости для обеспечения более эффективного транспорта шлама.

3. Основное снижение давления наблюдается в кольцевом пространстве скважины, что положительно сказывается на величине дифференциального давления. Это в свою очередь улучшает условия работы породоразрушающего инструмента. Т.е. при оптимизации гидромониторной промывки с использованием критерия J , расчёт следует вести с учётом снижения дифференциального давления. При этом эффективность гидромониторной промывки, на стадии проектирования можно увеличить в 3 и более раз.

4. Применительно к условиям ТПНГП при геотермическом градиенте $1,9-2,2 \cdot 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}/100\text{м}$ учитывать влияние температурного фактора следует при температурах в скважине более 40°C для стабилизированных глинистых растворов, и свыше 50°C для малоглинистых и безглинистых систем, т.е. при глубинах скважин 2000 и 2500 м соответственно.

На основании полученных в результате промысловых исследований данных, установлено влияние температурного фактора на механическую скорость проходки, что объясняется снижением величины дифференциального давления. Известно, что величина дифференциального давления оказывает определяющее влияние на технико-экономические показатели бурения (ТЭП). Практикой бурения установлено, что снижение величины дифференциального давления с 7 до 3,5 МПа способствует увеличению механической скорости бурения на 60-70 %. Кроме того, дифференциальное давление оказывает существенное влияние на эффективность гидромониторной промывки. А исследования в этой области показывают, что критическая величина дифференциального давления для получения эффекта при использовании долот с гидромониторными насадками, составляет 3 МПа. Таким образом, можно утверждать, что поддержание величины дифференциального давления в пределах до 3 МПа будет способствовать увеличению ТЭП бурения. Кроме того, не следует забывать о том, что низкое значение дифференциального

давления важно не только при бурении, но и для обеспечения качественного вскрытия продуктивного пласта, его быстрого освоения и вовлечения в разработку, так как $P_{диф}$ напрямую влияет на величину «скин-фактора».

Таблица 7.

Расчётные значения давлений и относительные погрешности

<i>Скважина №2 Баяндыского месторождения глубина 3695м</i>			
Параметр	Стандартная методика	Методика с учётом температуры	Δ %
Потери давления в инструменте, МПа	9,84	8,95	8,97
Потери давления в кольце, МПа	2,57	1,63	36,36
Суммарные потери давления, МПа	12,86	11,04	14,03
Плотность бурового раствора, г/см ³	1,14		
Расход, л/с	24,5		
Фактическое давление на насосах, МПа	10,5		
Расхождение с фактом, %	22,4	5,1	-
Эквивалентная плотность, г/см ³	1,21	1,18	2,48
Дифференциальное давление, МПа	3,6	2,66	25,95
Критерий J	-15,38	-11,13	38,18
Оптимизированный J	-	-2,1	-

Между тем, согласно «Правилам нефтяной и газовой промышленности» от 2003 г. статическая репрессия на глубинах свыше 1200 м, не должна превышать значений 3 МПа. Фактические расчёты, показывают, что, в неосложнённых условиях бурения в ТПНГП, статическая репрессия, на глубинах от 2500 м, будет составлять не менее 1,3-1,5 МПа. А при бурении в неустойчивых отложениях, или в условиях аномально-высоких пластовых давлений (АВПД) репрессия будет максимально приближена к допустимому пределу. Таким образом, основной составляющей величины дифференциального давления на глубинах свыше 2500 м, как правило, является статическая репрессия. Несмотря на то, что основным методом увеличения ТЭП является снижение величины статической репрессии, вторым путём снижения дифференциального давления, является снижение гидравлических потерь в кольцевом пространстве скважины. Данную проблему можно решить рядом технологи-

ческих мероприятий, но основным фактором, влияющим на потери давления, остаются реологические свойства бурового раствора. Исследования изложенные в первой части главы показали, что на глубинах более 2500 м, наблюдается эффект снижения гидравлических потерь в кольце в результате температурного разжижения бурового раствора и снижения реологических параметров исследуемых систем. Основываясь на этих данных можно утверждать, что фактическая величина механической скорости, фиксируемая в процессе бурения, обусловлена не только выбранным режимом, но и снижением дифференциального давления вследствие описанных выше причин.

Данный эффект обусловлен тем, что режим течения в кольцевом пространстве скважины относится преимущественно к ламинарной области. Кроме того, температура циркулирующего бурового раствора в затрубном пространстве, значительно выше, нежели в бурильном инструменте, и влияние температурного фактора на реологические параметры раствора проявляется более сильно. Таким образом, фактические давления в кольце, ниже рассчитанных по стандартной методике на 20-35 %. Уменьшение гидравлических потерь, снижает дифференциальное давление на 13-25 %, в зависимости от величины статической репрессии. Степень увеличения скорости проходки при прочих равных условиях, за счёт температурного фактора, при глубинах скважин свыше 3500 м составляет от 11 до 22 %. Следует отметить, что данный эффект наблюдается, в основном, при использовании малоглинистых и безглинистых систем.

Подводя итог, очевидно что наибольший эффект даёт применение систем буровых растворов, реологические параметры которых (применительно к модели Оствальда-де-Ваале это индексы консистентности и нелинейности) с увеличением температуры снижаются. Что приводит к уменьшению величины гидравлических сопротивлений и улучшению качества очистки ствола скважины вследствие структурного режима течения в кольцевом пространстве. Этим требованиям наиболее полно отвечают безглинистые системы на основе биополимерного реагента и крахмала. Так же следует помнить, что

скорость восходящего потока в кольцевом пространстве скважины должна обеспечивать удовлетворительный транспорт шлама. А оптимизация режима промывки должна идти по пути комплексного решения, с учётом всех составляющих позволяющих увеличить ТЭП, без потери необходимых технологических свойств промывочной жидкости.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Экспериментально установлены зависимости реологических параметров от температуры для основных полимерных компонентов буровых промывочных жидкостей, и определены температурные границы изменения реологии водорастворимых полисахаридов и частично-гидролизованого полиаклиламида.

2. Оценена степень влияния температуры на буровые растворы, наиболее широко применяемых для бурения скважины в ТПНГП, в условиях изменяющихся температур и компонентного состава.

3. Усовершенствована методика нахождения потерь давления в циркуляционной системе скважины, учитывающая температурное изменение реологических параметров буровых растворов.

4. Разработана компьютерная программа для проведения, скорректированного гидравлического расчёта и оценена её применимость для расчёта потерь давления в промысловых условиях.

5. Определены оптимальные границы глубин использования скорректированного расчёта для условий ТПНГП.

6. На основании промысловых и аналитических исследований установлено, что применение предложенной методики и реализованной на её основе компьютерной программы, позволяет реализовать полезную мощность насосов на долоте или забойном двигателе.

7. Повышена надёжность оптимизации гидромониторной промывки скважины с учётом изменения дифференциального давления, из-за снижения потерь давления в кольцевом пространстве скважины в результате изменения реологических параметров жидкости под воздействием температуры.

Публикации по теме диссертации

1. **Осипов, П.Ф.** Универсальная реологическая модель для буровых промысловых жидкостей [Текст] / П.Ф. Осипов, Р.В. Бурдуковский, С.В. Лахтионов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, № 4, 2007. – с. 35–38.
2. **Лахтионов, С.В.** Влияние температуры на реологическое поведение буровых промысловых жидкостей [Текст] / С.В. Лахтионов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, № 6, 2007. – с.25–28.
3. **Лахтионов, С.В.** Исследования влияния температуры на реологическое поведение буровых промысловых жидкостей на основе модели Хавена-Осипова. [Текст] / С.В. Лахтионов // VII всероссийская конференция молодых учёных специалистов и студентов по проблемам газовой промышленности России. «Новые технологии в газовой промышленности» 2007, 17–19 сентября 2007 г.: Материалы конференции. – М: .РГУНГ им. Губкина, – 2007 г. – с. 19.
4. **Лахтионов, С.В.** Исследования влияния температуры на реологические параметры буровых промысловых жидкостей [Текст] / С.В. Лахтионов //VIII Международная молодежная научная конференция «Севергеоэко-тех-2007», 2007, 21-23 марта 2007г.: Материалы конференции, часть II, – Ухта.: УГТУ, – 2007 г. с. 18–23.
5. **Лахтионов, С.В.** Результаты исследований малоглинистых и безглинистых систем [Текст]/С.В. Лахтионов//Научно-техническая конференция преподавателей и сотрудников. В рамках IV Северного социально-экологического конгресса «Северное измерение глобальных проблем: первые итоги Международного полярного года», 2008, 15-18 апреля 2008 г.: Материалы конференции, часть I,–Ухта.:УГТУ, – 2008 г. с. 128.
6. **Лахтионов, С.В.** Результаты температурных исследований малоглинистых и безглинистых систем [Текст]/С.В. Лахтионов// Геология, бурение, разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений: М.: ЗАО Локус станди, 2008. – с. 41–45.