

На правах рукописи



**ПЕТЕНЁВ ПАВЕЛ ГЕННАДЬЕВИЧ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМПОНОВКИ БУРИЛЬНОЙ  
КОЛОННЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН**

Специальность 25.00.14 – Технология и техника геологоразведочных работ

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

Томск – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет» на кафедре технологии и техники разведки месторождений полезных ископаемых.

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор,  
**Нескоромных Вячеслав Васильевич**

**Официальные оппоненты:**

**Борисов Константин Иванович**, доктор технических наук, доцент, Общество с ограниченной ответственностью «Томская энергосервисная компания», генеральный директор

**Ковалев Артем Владимирович**, кандидат технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ, г. Томск), старший преподаватель кафедры бурения скважин

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (СПГУ, г. Санкт-Петербург)

Защита диссертации состоится «09» ноября 2016 г. в 16. час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30 (корпус 20, ауд. 504).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск, ул. Белинского, 55) и на сайте: <http://portal.tpu.council/914/worklist>.

Автореферат разослан «\_\_» сентября 2016 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета,  
К. Г.-М. Н.



Жорняк Л.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность.

В настоящий момент большинство геологоразведочных скважин в России и мире бурится с применением комплексов ССК алмазным породоразрушающим инструментом.

Известно, что при бурении геологоразведочных скважин вращательным способом, колонна бурильных труб служит проводником для передачи энергии на забой. Количество энергии, дошедшей до забоя в виде величины осевой нагрузки и крутящего момента, зависит от множества факторов, важнейшими из которых является сила трения скольжения между колонной и стенками скважины, а также усилие прижатия деформированной компоновки к стенкам скважины. При высоких значениях коэффициента трения между колонной и стенкой скважины колонна, деформируясь, ведет себя нестабильно: возможно возбуждение поперечных и крутильных колебаний, неэффективных видов движения таких, как обратная прецессия. Все это оказывает значительное влияние на механическую скорость бурения, искривление скважины, проходку за рейс, выход керна, затраты мощности на вращение колонны, вибрацию, износ снаряда.

Согласно экспериментальным данным, полученным в МГРИ под руководством Г.А. Воробьевым при выполнении исследований на стенде, наиболее устойчивым видом движения статически сбалансированных колонн при высокой частоте вращения является обратная прецессия, вид движения колонны, с которым связаны негативные влияния на показатели бурения.

Поэтому актуальность приобретают разработки, направленные на повышение эффективности буровых работ, связанные с работой колонны, и состоят в подборе значений параметров системы «колонна – скважина», которые бы снижали вероятность возникновения обратной прецессии и ориентированного изгиба колонны, приводящего к перекосу торца породоразрушающего инструмента на забое.

Рост эффективности работы колонны с устранением отмеченных параметров связан с реализацией вращения компоновки по типу  $\Phi_1^*$ .

Реализация типа вращения  $\Phi_1$  может достигаться следующими основными методами:

- Применением высокосбалансированных бурильных колонн с высокой степенью точности выполнения соосности резьбового соединения при определенных условиях эксплуатации (ограниченных осевых нагрузках и частотах вращения колонн, малых значениях радиального зазора и коэффициента трения скольжения между колонной и стенкой скважины и др.);
- Применением специальных компоновок, реализующих при бурении режим вращения  $\Phi_1$  как колонны, так и породоразрушающего инструмента за счет особенностей своей конструкции.

Таким образом, одним из направлений повышения эффективности работы колонны является разработка технических средств, используемых в составе буровой компоновки для реализации ее вращения по типу  $\Phi_1$  в забойной зоне и наиболее нагруженной части буровой компоновки.

\* Согласно классификации видов движения колонн приведенной в работе В.Н. Алексева «Исследования устойчивости движения бурильной колонны на стенде». – Методика и техника разведки. Л.: ОНТИ ВИТР, 1979, №131, с. 43–46.:  $\Phi_1$  – вращение колонны вокруг своей оси и вокруг оси скважины;  $\Phi_2$  – вращение колонны только вокруг собственной оси;  $\Phi_3$  – вращение колонны вокруг собственной оси с качением по ее стенкам.

Первый из упомянутых методов на сегодняшний день достаточно изучен, реализован и широко распространен. В это же время, технические средства, способные обеспечивать стабильный вид вращения колонны, повышение эффективности геологоразведочного бурения в сложных горно-геологических условиях при высокочастотном алмазном бурении в системах типа ССК отсутствуют, что является актуальной проблемой.

**Целью диссертационной работы** является систематизация, расширение и углубление знаний в области повышения эффективности работы буровых компоновок путем применения труб со смещенным центром тяжести поперечного сечения (КСМ) и коронок с эксцентриситетом торца матрицы (КИТ).

**Идея работы** заключается в применении специальных труб со смещенным центром тяжести поперечного сечения и установкой их в сжатой части бурильной колонны с оптимальным шагом для обеспечения движения колонны вокруг оси скважины, а так же алмазных коронок с эксцентриситетом торца матрицы для исключения режима вращения с ориентированным перекосом их торца.

**Основные задачи исследований:**

- обзор и анализ современного представления о работе бурильной колонны, существующих в связи с этим проблемах, опытом применения компоновок со смещенным центром тяжести поперечного сечения;
- анализ современных технических средств по управлению траекторией скважин;
- разработка методики определения оптимального размещения труб со смещенным центром тяжести поперечного сечения в интервале сжатого участка бурильной колонны;
- обоснование принципиальных конструкций труб со смещенным центром тяжести поперечного сечения, исходя из конкретных технико-технологических параметров бурения;
- производственные испытания бурильных труб со смещенным центром тяжести поперечного сечения в составе сжатой части буровой компоновки;
- разработка эффективных конструкций коронок с эксцентриситетом торца матрицы;
- лабораторные исследования и производственные испытания коронок с эксцентриситетом торца матрицы.

**Методы решения поставленных задач.** Работа выполнена в соответствии с общепринятыми методами теоретических и экспериментальных исследований. Исследования механизма работы буровой коронки КИТ с измененной формой торца производились на буровом стенде. Обработка экспериментальных исследований проводилась с помощью методов математической статистики. Проведены производственные испытания опытных образцов труб КСМ и макетов коронок КИТ на золоторудном месторождении «Попутнинское» для изучения работы бурового снаряда с оптимально размещенными КСМ в сжатой зоне, а также оценки влияния буровой коронки КИТ на интенсивность искривления скважин.

**Личный вклад автора** состоит в обзоре и анализе литературных источников по тематике работы бурильной колонны и современных технических средств по управлению траекторией скважин; в разработке методики определения оптимального размещения труб КСМ в интервале сжатого участка бурильной колонны; в обосновании конструкций труб КСМ; в проведении стендовых испытаний коронок КИТ; в

проведении производственных испытаний макетов коронок КИТ и опытных образцов труб КСМ.

#### **Научная новизна:**

- разработана методика создания буровых компоновок с применением специальных труб с эксцентриситетом центра масс поперечного сечения (КСМ) и установкой их в сжатой, наиболее деформированной части бурильной колонны с определенным интервалом в точках, соответствующих местам деформации колонн с образованием гребня полуволны деформации;

- предложено теоретическое обоснование конструкций КСМ для применения в алмазном бурении с применением комплексов ССК. Разработаны новые конструкции соответствующих КСМ для основных типоразмеров труб комплексов ССК как отечественного, так и импортного производства с малыми значениями эксцентриситета (0,5 – 1,0 мм) для бурильных колонн, предназначенных для алмазного бурения на высоких частотах вращения (более 500 мин<sup>-1</sup>);

- выяснен механизм работы алмазной коронки с эксцентриситетом торца матрицы (КИТ), который заключается в перемещении коронки вокруг оси скважины в направлении вращения с прижатием боковой поверхности матрицы и корпуса коронки к стенке скважины в диапазоне центрального угла, включающего широкие промывочные каналы, при этом установлено, что точка прилегания коронки к стенке скважины смещается в направлении вращения коронки по мере повышения ее частоты вращения; на основании установленного механизма работы алмазной коронки созданы конструкции новых алмазных коронок, соответствующие оптимальным условиям работы;

- установлено, что для сохранения ресурса коронок с эксцентриситетом торца матрицы (КИТ) необходимым условием является обеспечение равенства гидравлических сопротивлений в промывочных каналах и наличие дополнительной защиты боковой поверхности коронки в диапазоне центрального угла, ограничивающего прилегание коронки к стенке скважины.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждена результатами теоретических и экспериментальных исследований, достаточной сходимостью расчетных величин с фактическими данными, воспроизводимостью результатов, а также результатами натурных наблюдений.

#### **Практическая значимость работы:**

1. Разработан и внедрен буровой инструмент для стабилизации направления траектории скважины.

2. Разработана научно обоснованная методика оптимального размещения КСМ в интервале сжатого участка буровой колонны.

3. Разработаны конструкции коронок для снижения интенсивности естественного искривления скважин.

4. Спроектирована и внедрена конструкция компоновки бурильной колонны для снаряда ССК, обеспечивающая повышение технико-экономических показателей бурения геологоразведочных скважин.

**Реализация результатов работы.** Разработанная автором методика оптимального размещения КСМ в интервале сжатого участка буровой колонны, а также разработанный им буровой инструмент был успешно внедрен на предприятии ООО «Прикладная геология» (г. Красноярск), что подтверждено соответствующими актами.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы неоднократно представлялись в докладах на XVII–XX Международных научных

симпозиумах имени академика М.А. Усова студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоении недр» (Томск, ТПУ, 2013–2016); на Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив свободный – 2015» (Красноярск, 2015); на молодежном форуме «Мингео Сибири 2014–2015» (Красноярск, 2014–2015); на Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «МОЛОДЁЖЬ И НАУКА» (Красноярск, 2014); на Российской Нефтегазовой Технической конференции The Society of Petroleum Engineers «Региональный конкурс студенческих работ – Россия и Каспийский регион» (Москва, 2015); на «Всероссийской конференции-конкурсе студентов выпускного курса» (Санкт-Петербург, 2015–2016).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 17 печатных работ, в том числе 3 из перечня рекомендованных ВАК РФ и 5 патентов РФ.

**Объем и структура работы.** Работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы из 111 наименований; содержит 179 страниц машинописного текста, 70 рисунков, 26 таблиц и 1 приложение.

Автор выражает признательность и благодарность научному руководителю Нескоромных Вячеславу Васильевичу, а также сотрудникам ООО «Прикладная геология» и кафедры ТиТР МПИ института горного дела, геологии и геотехнологии СФУ.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** приводится общая характеристика работы, обосновывается ее актуальность, определяется цель, идея, задачи, излагаются защищаемые положения, научная новизна и практическая значимость.

**В первой главе** дан обзор современного представления об условиях работы бурильной колонны и буровой коронки в скважине, анализ опыта теоретических исследований механики движения бурильной колонны и буровой коронки. Произведен анализ стендовых исследований механики бурильных колонн и буровых коронок при вращательном бурении. Описаны наиболее значимые производственные испытания колонн со смещенной массой поперечного сечения, описаны их конструкции.

**Во второй главе** изложена методика экспериментальных исследований. Приводится методика исследования работы буровой коронки с эксцентриситетом торца матрицы на стенде. Также описана методика проведения производственных испытаний бурильных труб с эксцентриситетом центра масс в составе буровой компоновки. Описана методика проведения натуральных испытаний коронки с эксцентриситетом торца матрицы.

**В третьей главе** производится теоретическое исследование особенностей работы алмазной коронки для бурения в твердых анизотропных горных породах. Теоретическое обоснование величин снимаемых лысок и величин эксцентриситета, обоснование методики размещения труб КСМ в сжатом участке колонны. Теоретические предпосылки усовершенствования торца коронки с целью сохранения эксцентриситета режущей части торца при сохранении гидравлического равновесия истечения жидкости в ее торце.

**В четвертой главе** изложены результаты стендовых и производственных испытаний макетов коронок КИТ и опытных образцов труб КСМ.

**В пятой главе** представлена разработка и совершенствование алмазных буровых коронок с целью снижения интенсивности естественного искривления скважин исходя

из теории работы коронки КИТ, а так же данных, полученных при стендовых и производственных испытаниях.

В шестой главе проведен расчет экономической эффективности от внедрения разработанных технических средств, для повышения эффективности работы бурильной колонны и стабилизации направления скважин.

## ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

**1. Повышение эффективности работы бурильных колонн достигается за счет явления динамической стабилизации, которое наиболее полно проявляется в случае размещения специальных труб со смещенным центром тяжести поперечного сечения в сжатой, наиболее деформированной части бурильной колонны с определенным интервалом в точках, соответствующих местам деформации колонн с образованием гребня полуволны деформации, при этом величина эксцентриситета труб определяется типом бурильной колонны и параметрами режима бурения.**

Наибольший вклад в исследование движения бурильных колонн внесли исследования на стендах. Наиболее значимые стендовые исследования проведены в 1970–1990 гг. в КазИМС (Ф.А. Бобылев, И.Н. Страбыкин и др.), в ВИТР (В.Н. Алексеев), в МГРИ (Б.И. Воздвиженский К.А. Боголюбский, В.П. Зиненко, Г.К. Аладинская, Г.А. Воробьев, Б.А. Новожилов и др.). В ИрГТУ выполнена разработка теории и технических средств КСМ для бурения с целью стабилизации направления скважины с внедрением разработанных средств в ПГО «Сосновгеология» (В.В. Нескоромных), ПГО «Иркутскгеология» (Н. А. Буглов).

Как отмечено авторами основных работ, в частности В.В. Нескоромных, для обеспечения наиболее стабильного и энергоэффективного вида движения колонны  $\Phi_1$  при минимальном эксцентриситете центра масс, требуется соблюдение следующих условий:

- высокие частоты вращения при бурении;
- минимальное значение коэффициента трения между компоновкой, колонной и стенкой скважины;
- использование бурильного инструмента, позволяющего бурить при пониженных осевых нагрузках и минимальных радиальных зазорах между колонной и стенками скважины, что позволяет минимизировать деформированность колонны.

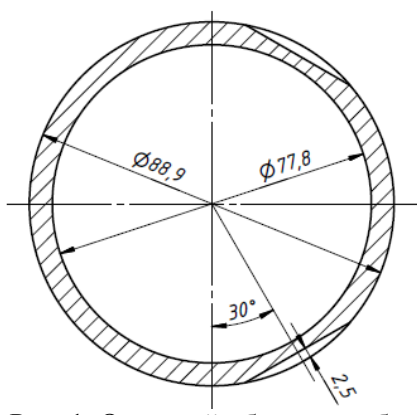


Рис. 1. Опытный образец трубы КСМ типоразмера НQ

Соответственно, стабильность движения вида  $\Phi_1$  повышается с ростом эксцентриситета центра масс, веса отдельной КСМ и числа отдельных КСМ, распределенных вдоль сжатого участка бурильной колонны с некоторым шагом.

Для того, чтобы определить при каких значениях эксцентриситета  $e$  и толщины срезаемой лыски (рис. 1) трубы приобретут при работе характер вращения по типу  $\Phi_1$ , следует рассчитать минимально допустимые значения эксцентриситета  $e$  для разных типоразмеров труб и режимных параметрах бурения по методике В.В. Нескоромных (формула 1).

Расчеты дают значения эксцентриситета, достаточного для реализации вида движения  $\Phi_1$

компоновки, располагаемой в сжатом участке бурильной колонны.

$$e \geq \frac{1}{q_k \cdot (\sin a_c - \cos a_c \cdot \mu)} \times$$

$$\left\{ \frac{q_B f_B l_B}{l_k} \sum_n^{i=2} (\cos a_i \cdot \mu - \sin a_i) + \frac{4,9 P_{oc} \mu g}{l_k \omega^2} \left( \frac{f_k}{l_k} \cdot \cos a_c + \frac{f_B}{l_B} \cdot \sum_n^{i=2} \cos a_i \right) \right\} - f_k \quad (1)$$

где  $q_k$  – весовая характеристика труб КСМ, даН/м;  $q_B$  – весовая характеристика бурильных труб колонны, даН/м;  $a_c$  – угол проворота компоновки;  $a_i$  – угол поворота участка колонны под действием центробежной силы;  $f_k$  и  $f_B$  – прогиб компоновки и бурильных труб, м;  $l_k$  – длина компоновки, м;  $l_B$  – длина полуволны бурильных труб, м;  $\omega$  – частота вращения, мин<sup>-1</sup>;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $\mu$  – коэффициент трения колонны о стенки скважины;  $P_{oc}$  – осевая нагрузка, даН.

Минимально допустимые значения эксцентриситета  $e$  для реализации компоновкой КСМ типа движения  $\Phi_1$  для разных типоразмеров труб при рекомендуемых параметрах нагрузки представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Минимально необходимые значения эксцентриситета для реализации вращения компоновки по типу  $\Phi_1$  в зависимости от частоты вращения при рекомендуемой осевой нагрузке**

Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Значения эксцентриситета $e$ для размеров труб, мм			
	BQ	NQ	HQ	PQ
400	1,61	1,67	1,51	1,72
600	1,46	1,43	1,30	1,51
800	1,30	1,11	1,12	1,31
1000	1,21	1,0	0,96	1,16

Данная зависимость показывает, что минимальное значение эксцентриситета  $e$  для обеспечения движения бурильной колонны по типу  $\Phi_1$  должно быть равным или большим значений, представленных в данной таблице. При этом величина снимаемой лыски не должна быть больше половины толщины стенки трубы для сохранения ее прочностных характеристик. Например, для снаряда HQ при частоте вращения равной 600 об/мин. величина эксцентриситета  $e$  должна быть  $\geq 1,3$  мм. Исходя из этого, по табл. 2 подбирается величина срезаемых лысок.

Расчет длины участка бурильной колонны непосредственно «вовлекаемого» трубой КСМ в режим движения  $\Phi_1$ , можно найти по составленному нами энергетическому уравнению сил и моментов сил (рис. 2):

$$F_{ц}^B + \sum_n^{i=1} F_{кн}^B + \sum_n^{i=1} F_{кв}^B = \left( F_{ц}^H + \sum_n^{i=1} F_{кн}^H + \sum_n^{i=1} F_{кв}^H + P_k + \sum_n^{i=1} P_{\sigma} \right) \mu, \quad (2)$$



где  $F_{кн}^B, F_{кв}^B, F_{кн}^П, F_{кв}^П$  – составляющие центробежной силы, действующей на нижний (расположенный под КСМ) и верхний (расположенный над КСМ) участки буровой колонны, соответственно возмущающая и прижатия, даН.

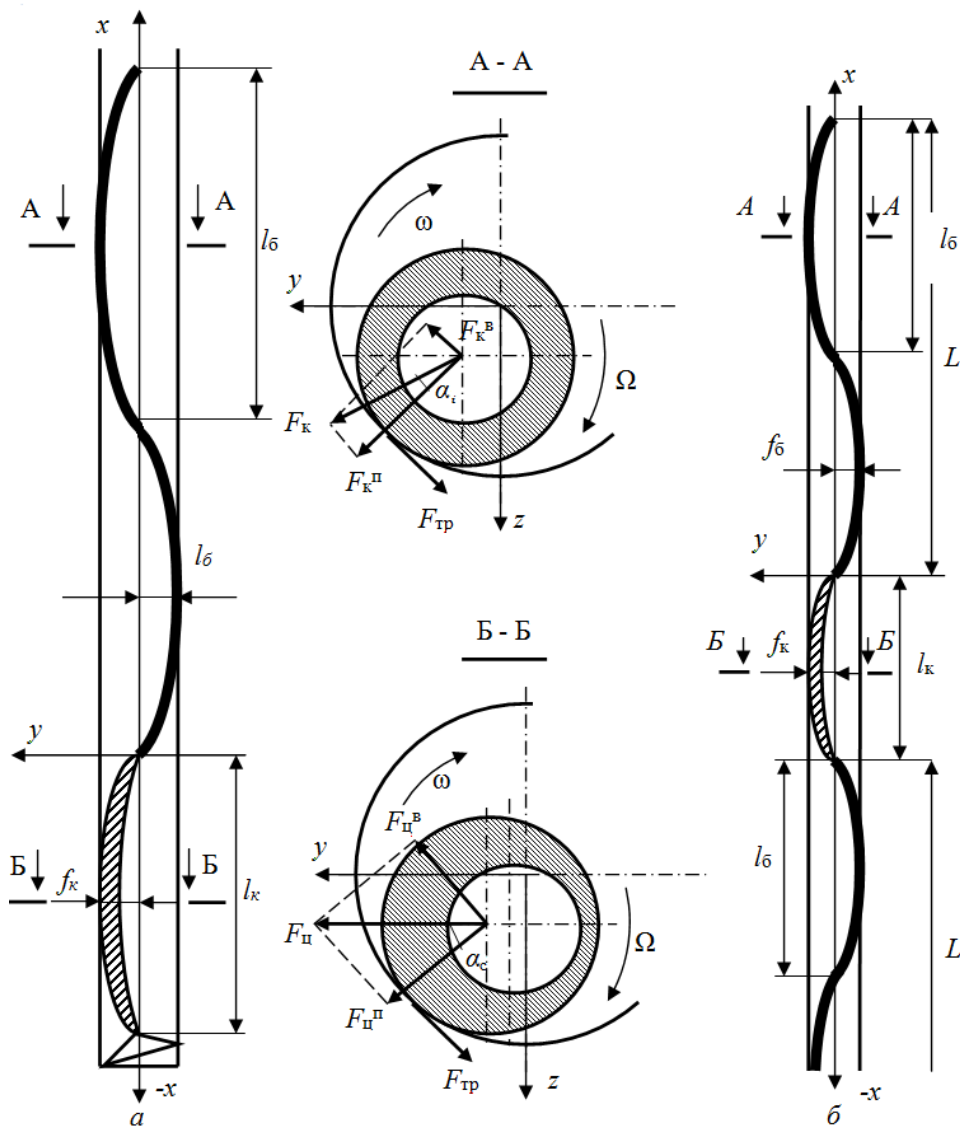


Рис. 2. Схемы для определения эксцентриситета центра масс буровой компоновки: а – над буровым инструментом; б – в составе буровой колонны

Таблица 2

**Значения величин эксцентриситетов буровых труб в зависимости от толщины срезаемой лыски и их типоразмера**

Толщина срезаемой лыски с трубы, мм	Величина эксцентриситета $e$ для буровых труб, мм.			
	BQ	NQ	HQ	PQ
	Толщина стенки трубы 4,8 мм		Толщина стенки трубы 5,6 мм	
1,0	0,35	0,40	0,37	0,42
1,5	0,70	0,73	0,69	0,78
2,0	1,05	1,15	1,09	1,22
2,5	1,50	1,63	1,66	1,85
2,8			1,86	2,08

В формуле 2 есть смысл объединить работы сил  $F_{\text{кн}}^{\text{в}}$  и  $F_{\text{кв}}^{\text{в}}$  с учетом числа полувольт  $N$ , вовлеченных в режим вращения  $\Phi_1$ . В этом случае уравнение будет выглядеть иначе (формула 3):

$$F_{\text{н}}^{\text{в}} + \sum_{2n}^{i=1} F_{\text{б}}^{\text{в}} = \left( F_{\text{н}}^{\text{п}} + \sum_{2n}^{i=1} F_{\text{б}}^{\text{п}} + P_{\text{к}} + \sum_n^{i=2} P_{\text{б}} \right) \mu, \quad (3)$$

где  $F_{\text{б}}^{\text{в}}, F_{\text{б}}^{\text{п}}$  – составляющие центробежной силы, действующей на нижний и верхний участки бурильной колонны, соответственно возмущающая и прижатия, даН.

С учетом входящих в данную зависимость выражений путем преобразования можно получить квадратное уравнение следующего вида:

$$AL_{\text{б}}^2 + BL_{\text{б}} - L_{\text{б}} = 0. \quad (4)$$

Решение данного уравнения (формула 4) позволяет рассчитать длину вовлекаемого в режим  $\Phi_1$  участка бурильной колонны  $L_{\text{б}}=2L$  (рис. 2, б):

$$L_{\text{уб}} = \frac{B + \sqrt{B^2 + 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}, \quad (5)$$

где  $A = \frac{f_{\text{б}} \cdot q_{\text{б}} \cdot \omega^2}{2 \cdot g} \cdot (\sin a_{\text{мп}} - \cos a_{\text{мп}} \cdot \mu),$

$$B = \frac{(e + f_{\text{к}}) \cdot q_{\text{к}} \cdot \omega^2 \cdot l_{\text{к}}}{2 \cdot g} \cdot (\sin a_{\text{КСМ}} - \cos a_{\text{КСМ}} \cdot \mu) - 2,46 \cdot P_{\text{ос}} \cdot \frac{f_{\text{к}}}{l_{\text{к}}} \cdot \cos a_{\text{КСМ}} \cdot \mu,$$

$$C = 2,46 \cdot P_{\text{ос}} \cdot f_{\text{б}} \cdot \cos a_{\text{мп}} \cdot \mu,$$

при этом принято  $f_{\text{б}}, f_{\text{к}}$  – прогиб бурильных труб и труб КСМ, м;  $q_{\text{б}}$  – весовая характеристика бурильных труб колонны, даН/м;  $q_{\text{к}}$  – весовая характеристика труб КСМ, даН/м;  $\omega$  – частота вращения;  $e$  – величина эксцентриситета поперечного сечения КСМ, м;  $l_{\text{б}}$  – длина полувольты бурильных труб, м;  $l_{\text{к}}$  – длина трубы КСМ;  $\alpha_{\text{тр}}, \alpha_{\text{КСМ}}$  – угол проворота стандартной трубы и трубы КСМ под действием сил трения;  $\mu$  – коэффициент трения.

Исходя из расчетов, определены длины «вовлекаемых» участков колонны в режим движения  $\Phi_1$  в зависимости от типоразмера труб, при различной частоте вращения снаряда, каждой из которых соответствует угол проворота  $\alpha_{\text{с}}$  труб КСМ (табл. 3).

Таблица 3

**Зависимость длины вовлекаемого участка колонны от частоты вращения и соответствующему ей углу проворота КСМ ( $\alpha_{\text{с}}$ ) при рекомендуемой нагрузке, минимально допустимом эксцентриситете и коэффициенте трения  $\mu$  равного - 0,2**

Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	ВQ	NQ	HQ	PQ
	Длина «вовлекаемого» участка бурильных труб, м			
1000 ( $\alpha_{\text{с}} = 70^\circ$ )	8,11	7,46	7,22	7,25
800 ( $\alpha_{\text{с}} = 65^\circ$ )	8,50	7,82	7,60	7,60
600 ( $\alpha_{\text{с}} = 55^\circ$ )	9,91	9,28	8,81	8,80
400 ( $\alpha_{\text{с}} = 45^\circ$ )	11,59	10,93	10,29	10,25

Величина  $L$  (рис. 2, б) будет являться половиной значений, представленных в табл. 3 т.к. «вовлекаемый» участок бурильной колонны в режим движения  $\Phi_1$  будет распределяться между бурильными трубами, расположенными до, и после трубы КСМ.

Трубы КСМ, таким образом, следует располагать в составе сжатой части бурильной колонны на расстоянии, при котором не будет происходить взаимного влияния отдельных участков «вовлеченных» трубами КСМ в режим движения  $\Phi_1$  по причине возможной разнонаправленности смещенных масс поперечного сечения КСМ. В случае пересечения «вовлекаемых» зон нужно стремиться к равнонаправленному эксцентриситету каждой из труб КСМ, что, конечно, затрудняет процесс их изготовления и установки в составе колонны бурильных труб.

Опытные образцы бурильных труб КСМ изготавливались из стандартных труб НQ. Смещение центра тяжести поперечного сечения обеспечивалось путем удаления двух лысок вдоль корпуса трубы, расположенными своими осями друг относительно друга под углом в  $120^\circ$  с образованием плоских продольных участков наружной поверхности трубы (рис. 1). Глубина снимаемых лысок составила 2,5 мм. Лыски снимались с отступом от резьб на расстоянии 125 мм и не снимались в центре трубы на расстоянии длины участка 250 мм с целью максимального сохранения устойчивости КСМ при бурении. Смещение центра тяжести поперечного сечения в данном случае составило 1,66 мм.

Всего было изготовлено 3 трубы с эксцентриситетом центра масс для размещения в колонне (рис. 3).

Объем производственных испытаний опытных образцов составил более 750 метров и показал рост механической скорости бурения на 10–20%, уменьшение затрат мощности на вращение бурильных труб на 10%, значительное снижение уровня вибрации, а так же снижение интенсивности естественного искривления скважины. Причем величина естественного искривления по зенитному углу при использовании КСМ в составе сжатой части бурильной колонны снизилась в 2,9 раза (рис. 4).

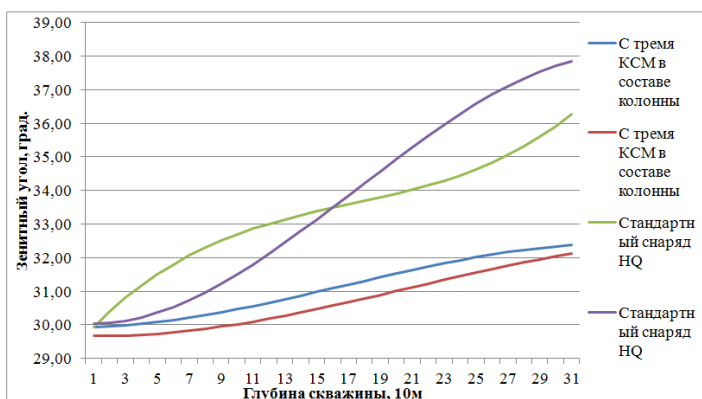


Рис. 4. Результаты инклинометрии по зенитному углу на типовых скважинах месторождения «Попутнинское» (расстояние между профилями скважин 50 м)

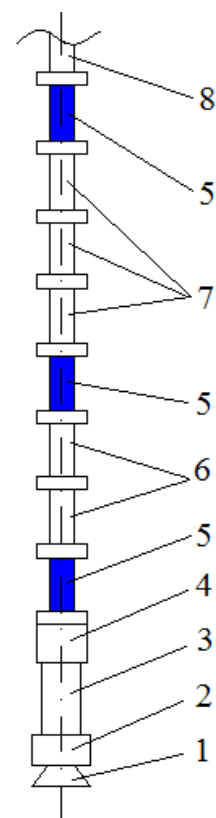


Рис. 3. Схема расположения КСМ в колонне:  
 1 – коронка;  
 2 – расширитель;  
 3 – колонковая труба НQ;  
 4 – центратор;  
 5 – КСМ;  
 6 – две стандартные трубы НQ;  
 7 – три стандартные трубы НQ;  
 8 – стандартная буровая колонна

Таким образом, компоновки КСМ повышают эффективность работы бурильной колонны посредством изменения характера ее вращения.

Подтверждена возможность изготовления компоновок КСМ с достаточным эксцентриситетом центра масс для основных типоразмеров колонн используемых при геологоразведочных работах с использованием комплексов ССК.

Методика определения достаточной величины

эксцентриситета для реализации вращения КСМ по типу  $\Phi_1$ , шага установки КСМ в составе бурильной колонны, позволяют, исходя из конкретных технико-технологических параметров, определить нужную конструкцию и места установки компонентов КСМ.

Для реализации вышеизложенной методики предложены новые конструкции труб КСМ, для повышения эффективности работы бурильной колонны, защищенные патентом №129141 и заявкой на патент № 2016102131.

**2. Механизм работы алмазной коронки с эксцентриситетом торца матрицы (КИТ) заключается в перемещении коронки вокруг оси скважины в направлении заданного вращения с прижатием боковой поверхности матрицы и корпуса коронки к стенке скважины в диапазоне центрального угла, включающего широкие промывочные каналы, при этом точка прилегания коронки к стенке скважины смещается в направлении вращения коронки по мере повышения частоты вращения коронки.**

Вопросом снижения интенсивности естественного искривления скважин при применении коронок со специальной геометрией торца матрицы занимались многие исследователи, среди них: В.В. Кривошеев, Ю.Л. Боярко, В.В. Нескоромных, В.Д. Рязанов, Д.Н. Ларионов, Н.Л. Николаев, Е.Л. Лиманов, А.И. Уржумов, В.Н. Барабошкин, А.П. Кичигин, Ф.В. Крониковский, С.Н. Куцоконь, В.Е. Копылов, Г.В. Суслов, Н.А. Буглов, А.В. Карпиков, П.С. Пушмин и др.

Коронка с измененной формой торца (КИТ) работает следующим образом.

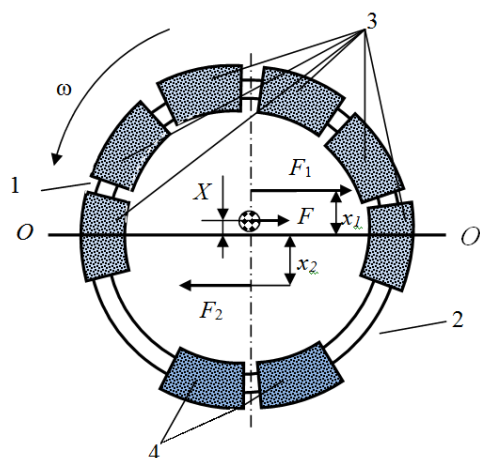


Рис. 5. Схема торца опытной коронки с распределением усилий резания-скалывания породы:  $X, x_1, x_2$  – расстояния от центральной оси  $O-O$  до центров тяжести торца матрицы и половинок торца матрицы;  $F, F_1, F_2$  – усилия резания-скалывания породы: результирующее и соответственно для частей торца матрицы по обе стороны от центральной оси  $O-O$

При бурении, когда алмазная коронка воспринимает действие осевого усилия, алмазы секторов матрицы 3 и 4 (рис. 5) внедряются в горную породу. Поскольку в матрице имеется два широких промывочных паза 2, расположенных с одной стороны от торца матрицы, то торец матрицы имеет смещенный центр тяжести, что приводит к более значительному нагружению при действии осевого усилия на коронку секторов 4, в сравнении с секторами 3. При этом сектора 4 исключают перекося коронки до тех пор, пока эти сектора не получают опережающего в сравнении с секторами 3 износа. Именно с этой целью сектора 4 следует изготавливать более твердыми. Наличие же эксцентриситета торца матрицы обеспечивает то, что при вращении коронки в процессе бурения будет задаваться обращение коронки вокруг оси скважины, исключаться режим работы с ориентированным перекося коронки, при котором может происходить максимальное искривление ствола скважины.

Ориентированный перекося торца коронки, вызванный изгибом колонкового снаряда и действием дестабилизирующих сил и моментов сил, исключается при бурении предлагаемой коронкой следующим образом.

Торец коронки (рис. 5) можно разделить на две части вдоль осевой линии  $O-O$ . Одна половина торца оснащена узкими стандартными промывочными пазами 1, которыми разделены сектора 3. Поскольку алмазы в секторах 3 распределены равномерно, то при бурении, когда на коронку оказывает действие осевое усилие и коронка вращается слева-направо, равнодействующая  $F_1$  единичных сил резания-скалывания породы этой частью торца можно поместить в виде вектора в центре тяжести половины кольца матрицы. Равнодействующая сил резания-скалывания породы на второй половине торца коронки  $F_2$  также может быть направлена из центра тяжести этой половины торца. При этом очевидно, что  $F_1 > F_2$ , поскольку за счет наличия двух широких промывочных каналов 2 число алмазных резцов на этой половине торца коронки существенно меньше, чем на противоположной половине торца. В результате разность усилий резания приведет к появлению равнодействующей  $F = F_1 - F_2$ . Усилие  $F$  на схеме (рис. 5) будет располагаться в центре тяжести торца коронки и ориентировано в сторону большей силы –  $F_1$ . Центр тяжести торца коронки при вращении инструмента при бурении становится мгновенным центром вращения, что задает некоторые особенности динамики бурового инструмента, существенно влияющие на процесс формирования ствола скважины: вследствие прижатия коронки к стенке скважины возможны фрезерование стенки и керна и соответственно локальный износ самой коронки.

Усилие резания-скалывания породы всеми резцами коронки при бурении можно определить по методике В.В. Нескоромных:

$$F_p = \mu_k P_{oc}, \quad (6)$$

$$\text{где } \mu_k = \frac{\pi(h + 0,25\sqrt{dh})^2 n_p \sigma_{ск}}{2tg\gamma_{ск} P_{oc}} + f,$$

при этом принято  $\mu_k$  – коэффициент сопротивления породы разрушению алмазными резцами;  $h$  – глубина внедрения в породу алмазного резца, м;  $d$  – диаметр алмазного резца, м;  $n_p$  – число активно работающих резцов;  $\sigma_{ск}$  – предел прочности на скалывание породы, Па;  $\gamma_{ск}$  – угол скалывания породы перед передней гранью резца, град;  $P_{oc}$  – осевая нагрузка, даН;  $f$  – коэффициент трения резцов коронки о забой.

Таким образом, усилие  $F$ , вызванное дисбалансом торца опытной коронки при условии равномерного распределения алмазных резцов во всех секторах матрицы с учетом геометрических размеров торца, может определяться зависимостью:

$$F = \frac{\pi(h + 0,25\sqrt{dh})^2 \sigma_{ск} S_T}{2tg\gamma_{ск} P_{oc}} \left( \frac{n_6}{S_6} - \frac{n_M}{S_M} \right) + f \frac{P_{oc}}{S_T} (S_6 - S_M), \quad (7)$$

где  $S_T$  – общая площадь торца алмазной коронки, м<sup>2</sup>;  $S_6$  – площадь алмазосодержащих секторов 3 на половине торца коронки с узкими промывочными пазами 1 (рис. 5), м<sup>2</sup>;  $S_M$  – площадь алмазосодержащих секторов 4 на половине торца коронки с широкими промывочными пазами 2 (рис. 5), м<sup>2</sup>;  $n_6, n_M$  – число алмазных резцов на половинах торцевых частей матрицы, разделенных линией  $O-O$  без широких промывочных каналов и с широкими промывочными каналами соответственно (рис. 5).

Коэффициент сопротивления  $\mu_k$  зависит от интенсивности разрушения горной породы, которая характеризуется при бурении углублением за один оборот. При углублении, равном нулю, когда разрушения практически не происходит, а режущие элементы перемещаются по поверхности забоя, не внедряясь в породу, коэффициент сопротивления снижается до минимума и становится равным коэффициенту трения  $f$ .

Наличие силы  $F$  приводит к тому, что коронка при бурении будет стремиться прижиматься к стенке скважины боковой стороной корпуса и матрицей по направлению действия этой силы. В результате коронка даже под влиянием дестабилизирующих её вращение сил и моментов сил, вызванных неравномерным разрушением анизотропной горной породы, будет стремиться вращаться вокруг оси скважины, сохраняя контакт со стенкой скважины своей боковой поверхностью матрицы.

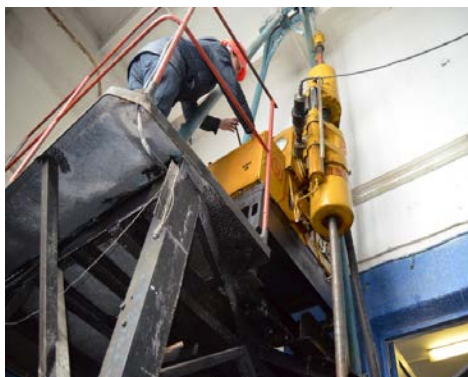


Рис. 6. Экспериментальный стенд на базе станка СКБ-4

Величина усилия  $F$  для определенной модели алмазной коронки будет зависеть от ширины промывочных каналов 2. По мере увеличения их ширины  $B$  данное усилие будет возрастать. В этом случае будет расти и способность коронки к нейтрализации дестабилизирующих ее работу сил и моментов сил в анизотропной горной породе, вызванных неравномерным разрушением последней.

Для изучения особенностей механизма работы макета коронки, было проведено экспериментальное бурение на буровом стенде (рис. 6), оснащённом буровым станком СКБ-4 и

соответствующей аппаратурой, которое подтвердило теоретический анализ характера вращения коронки КИТ.

С целью уточнения механизма работы алмазной коронки типа КИТ проведены наблюдения износа боковой наружной поверхности коронки. В данном случае ставилась задача определить место контакта боковой поверхности и матрицы коронки со стенкой скважины и перемещение точки контакта при изменении параметров режима бурения. Для решения поставленной задачи на корпусе коронки были сделаны 8 наплавок методом сварки. Пятно контакта буровой коронки со стенкой скважины можно выявить по максимальному значению износа наплавки (рис. 7).

Анализ результатов экспериментов показал, что место контакта матрицы и корпуса коронки КИТ со стенкой скважины наблюдается со стороны удаленных секторов матрицы. При этом, если при минимальных значениях осевого усилия и частоты вращения точка прилегания коронки совпадает с наплавкой (контрольная точка) № 1, то по мере повышения частоты вращения и осевого усилия точка контакта перемещается по направлению вращения коронки от наплавки № 1 к наплавке № 8 и далее к наплавкам № 7 и № 6 (см. рис. 8).

Обработка данных эксперимента по изучению влияния параметров режима бурения на перемещение точки контакта осуществлена с использованием полного факторного эксперимента. В качестве отклика принят угол смещения пятна контакта  $\Delta$ . За начало отсчета угла  $\Delta$  принято положение наплавки №2, которое совпадает с краем первого по направлению вращения широкого промывочного канала. Влияющими на угол  $\Delta$  факторами остались действующие в условиях эксперимента осевая нагрузка  $P_{ос}$  и частота

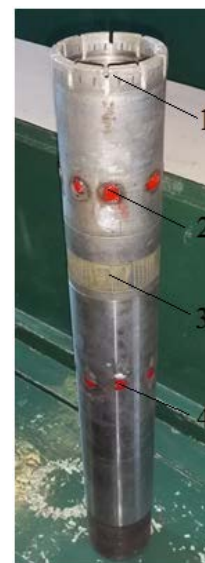


Рис. 7. Компоновка для опытного бурения:  
1 – коронка;  
2 – наплавки для исследования места прижатия коронки к стенке скважины;  
3 – расширитель;  
4 – наплавки



вращения  $\omega$ . В результате обработки данных получена модель зависимости угла смещения контакта матрицы и корпуса коронки от параметров режима бурения, имеющая следующий вид:

$$\Delta = 81,5 + 13,5 P_{oc} + 28,5 \omega - 3,5 P_{oc} \omega \quad (8)$$

где  $P_{oc}$  – осевая нагрузка, даН,  $\omega$  – частота вращения,  $\text{мин}^{-1}$  – значения параметров режима бурения (факторов) в закодированном выражении (-1 – для минимальных, +1 – для максимальных значений параметров факторов –  $P_{oc}$  и  $\omega$ , в установленных планом эксперимента значениях).

Эмпирическая модель (8) указывает, что влияние частоты вращения на смещение пятна контакта более чем в два раза значительнее в сравнении с влиянием осевого усилия. При этом полученный результат полностью соответствует данным о влиянии параметров режима бурения на изнашивание керна и указывает, прежде всего, на повышение дисбаланса сил сопротивления резанию-скалыванию породы резцами буровой коронки КИТ, что приводит к повышению силы прижатия матрицы и корпуса коронки к стенке скважины и на проворот

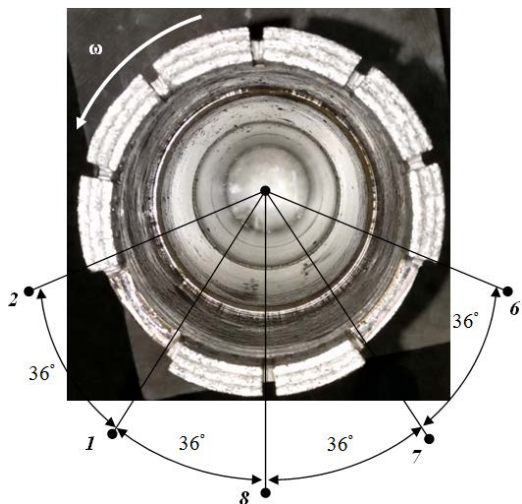


Рис. 8. Торцевая часть макета коронки КИТ: 1, 2, 6, 7, 8 – номера наплавки на корпусе коронки, получившие максимальный износ в процессе эксперимента;  $\omega$  – направление вращения коронки при бурении

коронки под действием меняющихся внешних сил резания-скалывания породы и прижатия к стенке скважины.

**3. Для снижения интенсивности естественного искривления скважин, буримых в анизотропных перемежающихся горных породах, эффективно использование коронок с эксцентриситетом торца матрицы (КИТ) при условии устранения их перекоса, возникающего вследствие эксцентриситета торца матрицы и обеспечения условий для равенства гидравлических сопротивлений в промывочных каналах, что позволяет повысить их эффективный ресурс.**

Прототипом разработанных коронок была принята алмазная коронка, защищенная а.с. №1637402, содержащая цилиндрический корпус с резьбой и матрицу, насыщенную объемными и подрезными алмазами, разделенную на сектора промывочными пазми, причем один промывочный паз выполнен увеличенной ширины в сравнении с остальными, что обеспечивает наличие эксцентриситета торца матрицы. В коронке для компоновки бурового снаряда в соответствии с а.с. № 2078193 для сохранения ресурса коронки предложено увеличить насыщенность алмазами примыкающих к широкому пазу секторов матрицы на 25%.

Автором предложена конструкция, учитывающая основные недостатки прототипа, прежде всего возникающий вследствие эксцентриситета торца матрицы перекося коронки на забое.

Целью производственных испытаний было исследование особенностей износа коронки данной конструкции с целью ее дальнейшего усовершенствования, а также оценка влияния буровой коронки КИТ на основные показатели бурения и интенсивность естественного искривления скважин.

Производственные испытания макетов коронок КИТ производились на участке буровых работ золоторудного месторождения «Попутнинское» на производственно-технической базе ООО «Прикладная геология». Испытания производились в Мотыгинском районе Красноярского края на установке колонкового бурения УКБ-5П.

Коронки КИТ изготавливались из стандартных алмазных импрегнированных коронок типа HERO 7AA и FORDIA XTREME HWL TX69 с высотой матрицы 9 мм и Ø 96 мм, путем удаления двух алмазосодержащих секторов с образованием двух больших промывочных каналов (рис. 9). Наличие двух больших промывочных каналов обеспечивает появление эксцентриситета торца матрицы, что является необходимым условием для предотвращения перекоса торца коронки и бурения в режиме ориентированного изгиба.

Данными макетами было пробурено более 50 метров скважин. Бурение производилось на типовой скважине на глубине 256–310 м.



Рис. 9. Макет коронки с эксцентриситетом торца матрицы (КИТ):  
1 – алмазосодержащие сектора; 2 – малый промывочный паз; 3 – место удаленных алмазосодержащих секторов с образованием больших промывочных каналов

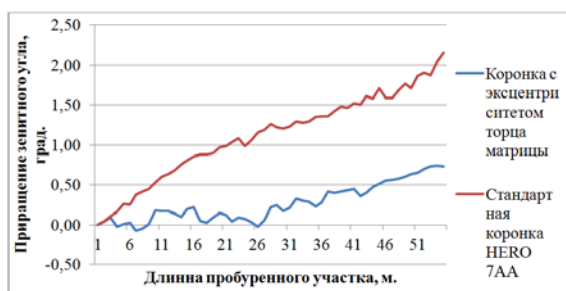


Рис. 10. График сравнения интенсивности приращения зенитного угла скважины, при бурении коронкой со стандартным торцом и коронкой с эксцентриситетом торца матрицы

параметрах режима бурения. В первую очередь это связано с нарушением гидравлического сопротивления истечению бурового раствора через промывочные каналы и скорости его протекания, причиной чего стало появление в матрице коронки больших промывочных каналов. Появление больших промывочных каналов приводит к резкому уменьшению количества промывочной жидкости, проходящей через малые промывочные каналы.

Давление промывочной жидкости при прохождении промывочных каналов коронки КИТ в общем виде, пренебрегая потерей давления между соединениями бурильных труб и их стенками, можно выразить через известную формулу гидростатического давления:

$$P_3^{BX} = P_H + \rho gH - \Delta P, \quad (9)$$

где  $P_3^{BX}$  – давление на забое на входе в промывочный канал;  $P_H$  – давление начальное (создаваемое буровым насосом);  $\rho$  – плотность промывочной жидкости;  $H$  – высота столба жидкости;  $\Delta P$  – перепад давления при прохождении промывочных каналов коронки (в сравнении с давлением в стандартной коронке).



Значение  $\Delta P$  для стандартных коронок, и коронок КИТ можно выразить через известную формулу расхода промывочной жидкости:

$$Q = \mu f \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}, \quad (10)$$

отсюда 
$$\Delta P_{ст,изм} = \frac{\left(\frac{Q}{\mu f_{ст,изм}}\right)^2 \times \rho}{2}, \quad (11)$$

где  $\Delta P_{ст}$  – перепад давления в стандартной коронке;  $\Delta P_{изм}$  – перепад давления в коронке КИТ;  $\mu$  – коэффициент расхода равный в наших условиях 0,82;  $f$  – суммы площади промывочных каналов (для стандартных коронок и коронок КИТ);  $\rho$  – плотность промывочной жидкости,  $Q$  – расход промывочной жидкости.

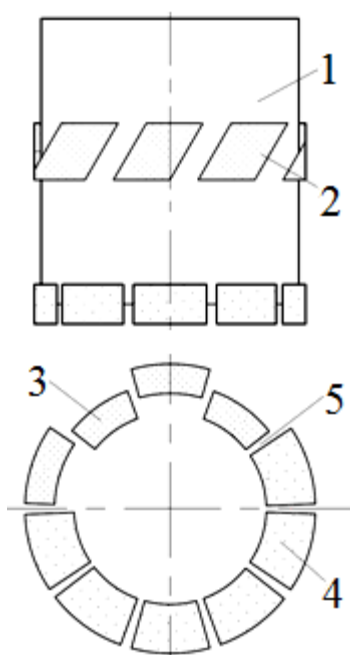


Рис. 11. Конструкция коронки КИТ:

- 1 – корпус; 2 – опорно-центрирующий пояс;
- 3 – малые алмазосодержащие сектора; 4 – стандартные алмазосодержащие сектора;
- 5 – промывочные каналы

Из формулы 7 следует, что перепад давления с увеличением общей площади промывочных каналов резко возрастает при наличии больших промывочных каналов. Также из формулы 6 выяснено, что объем промывочной жидкости при прохождении через малые каналы в макетах коронок КИТ уменьшается на 41,5 %. В результате охлаждения внутренних граней алмазосодержащих секторов, прилегающих к малым промывочным каналам, резко уменьшается, что приводит к повышению их температуры и преждевременному износу.

Таким образом, для сохранения ресурса коронок КИТ необходимо сохранение равенства гидравлических сопротивлений при истечении бурового раствора через промывочные каналы путем изготовления коронок КИТ с промывочными каналами равной площади (рис. 11).

Поскольку при бурении данная коронка (рис. 11) активно прижимается и фрезерует стенку скважины, во избежание износа коронки и снижения фрезерующей способности, ее следует оснащать опорно-центрирующим пояском 2 на корпусе коронки.

Основываясь на результатах производственных испытаний была подготовлена и передана техническая документация для изготовления опытной партии буровых коронок КИТ различной конструкции, разработанных с учетом результатов экспериментальных работ и

испытаний на предприятии АО «Терекалмаз» по заказу ООО «Прикладная геология» для проведения нового этапа испытания опытных коронок с целью дальнейшего их использования.

Учитывая результаты стендовых и производственных испытаний, предложены новые конструкции коронок КИТ, защищенные патентами: № 148333, 160827, 161061.

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработаны технические средства для снижения интенсивности естественного искривления скважин и методика расчета оптимального размещения КСМ в сжатом участке колонны с целью повышения эффективности работы буровой компоновки.

Основные выводы, научные и практические результаты диссертационного исследования заключаются в следующем:

1. Компоновки КСМ, размещенные в соответствии с разработанной методикой оптимального размещения КСМ в составе сжатого участка бурильной колонны в зависимости от ее параметров и режимов бурения, являются надежным средством повышения эффективности работы колонны путем придания ее деформированной части режима движения  $\Phi_1$ .

2. Разработаны конструктивные параметры компоновок КСМ для высокочастотного бурения комплексами ССК для реализации движения колонны по типу  $\Phi_1$  при различных режимных параметрах бурения.

3. Спроектированы технические средства для повышения эксцентриситета отдельной КСМ с целью ее эффективного применения как средства упорядочивающего вращения колонны при низкочастотном бурении и высоком значении радиального зазора.

4. Получена формула для определения длины участка колонны, вовлекаемого компоновкой КСМ в режим движения  $\Phi_1$ , что позволяет определить количество и места установки труб КСМ в зависимости от конструктивных параметров компоновки и режимов бурения.

5. Во избежание преждевременного износа и снижения фрезерующей способности коронку КИТ следует оснащать элементами опорно-центрирующего пояса на корпусе коронки, а так же усиливать и боковые наружные поверхности секторов матрицы. Алмазосодержащие секторы должны иметь повышенную концентрацию защищающих от износа пластин из сверхтвердого материала в соотношении  $F_6/F_M$ , а остальные элементы опорно-центрирующего пояса и боковые наружные поверхности матрицы в соотношении  $F_M/F_6$ , где  $F_6$  – площадь алмазосодержащих секторов на половине торца коронки с узкими промывочными каналами, а  $F_M$  – площадь алмазосодержащих секторов на половине торца коронки с широкими промывочными каналами.

6. При проектировании и производстве коронок КИТ необходимо учитывать важность сохранения равенства гидравлических сопротивлений истечению промывочного раствора через промывочные каналы для сохранения ее ресурса, а также оснащать коронку КИТ центрирующим пояском для реализации бокового фрезерования керна и стенки скважины.

7. Матрицу половины торца коронки с меньшей площадью алмазосодержащих секторов следует изготавливать с более высокой твердостью, чем твердость матрицы секторов на половине с большей площадью алмазосодержащих секторов. Причем твердость матрицы этих секторов определяется соотношением  $F_6/F_M$ , где  $F_6$  – площадь алмазосодержащих секторов на половине торца коронки с большей площадью алмазосодержащих секторов, а  $F_M$  – площадь алмазосодержащих секторов на половине торца коронки с меньшей площадью алмазосодержащих секторов.

8. Установлена важная зависимость изменения точки прилегания коронки к стенке скважины при варьировании параметрами режима бурения, что позволяет

провести более точное усиление бокового вооружения коронки для изменения её фрезерующей способности, повышения эффективности её работы, повышения ее ресурса.

9. Разработаны конструкции коронок КИТ, учитывающие основные конструктивные недостатки предыдущих образцов, выявленных в ходе теоретических исследований, стендовых и производственных испытаний для их дальнейшего внедрения.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### ***Статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ:***

1. Петенёв, П. Г. Анализ технического и технологического оснащения буровых работ для реализации опорного колонкового бурения с целью поиска углеводородного сырья / В. В. Нескоромных, А. Л. Неверов, П. Г. Петенёв, Д. Д. Каратаев // Научно-технический журнал «Инженер нефтяник». – Москва: Изд. ООО «Ай Ди Эс Дриллинг». – 2015. – № 1. – С. 15–21.

2. Петенёв, П. Г. Разработка и экспериментальные исследования особенностей работы алмазной коронки для бурения в твердых анизотропных горных породах / В. В. Нескоромных, П. Г. Петенёв, А. Л. Неверов, П. С. Пушмин, Г. Р. Романов // Известия Томского политехнического университета. – Томск: Изд. ТПУ. – 2015. – №4. – С. 30–40.

3. Петенёв, П. Г. Результаты теоретических и опытных работ по изучению механизма работы буровых компоновок со смещенным центром масс поперечного сечения / П. Г. Петенёв, В. В. Нескоромных // Известия Томского политехнического университета. – Томск: Изд. ТПУ. – 2016. – №5. – С. 87–97.

### ***Патенты:***

4. Пат. РФ. № 129141, Е 21 В 17/00. Бурильная труба / В. В. Нескоромных, П. Г. Петенёв – № 2013103129/03; Заявлено 23.01.2013. Оpubл. 20.06.2013.

5. Пат. РФ. № 148333, Е 21 В 10/48. Алмазная коронка для бурения / В. И. Спирин, Ю. Е. Будюков, В. В. Нескоромных, П. Г. Петенёв и др. – № 2014132259/03; Заявлено 05.08.2014. Оpubл. 10.12.2014.

6. Пат. РФ. № 160827, Е 21 В 10/48. Алмазная коронка для бурения / В. В. Нескоромных, П. Г. Петенёв, А. Л. Неверов – № 2015148430/03; Заявлено 10.11.2015. Оpubл. 10.04.2016.

7. Пат. РФ. № 161061, Е 21 В 10/48. Алмазная коронка для бурения / В. В. Нескоромных, П. Г. Петенёв, А. Л. Неверов – № 2015151633/03; Заявлено 01.12.2015. Оpubл. 10.04.2016.

8. Пат. РФ. № 163419, Е 21 В 17/00. Бурильная труба / В. В. Нескоромных, П. Г. Петенёв, А. Л. Неверов – № 2016102131/03; Заявлено 23.01.2016. Оpubл. 20.07.16.

### ***Статьи в прочих изданиях:***

9. Петенёв, П. Г. Разработка средств повышения эффективности работы бурильных колонн при бурении геологоразведочных скважин / П. Г. Петенёв // Труды XVII Международного симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ. – 2013. – С. 278–280.

10. Петенёв, П. Г. Влияние фрезерующей способности бурового инструмента на процесс углубки скважины / В. В. Нескоромных, П. Г. Петенёв, В. В. Савенков // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Науки на современном этапе». – Москва: Изд. «Спутник +». – 2013. – С. 20–24.

11. Петенёв, П. Г. Разработка гидроактивных систем долот для разрушения твердых горных пород / П. Г. Петенёв, Е. О. Шишкина // Труды XVIII Международного

симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ. – 2014. – С. 390–391.

12. Петенёв, П. Г. Разработка и экспериментальные исследования особенностей работы бурового инструмента для поискового опорного бурения / П. Г. Петенёв, Е. О. Шишкина // Труды XIX Международного симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ. – 2015. – С. 382–383.

13. Петенёв, П. Г. Результаты экспериментальных исследований особенностей работы алмазной коронки для бурения в твердых анизотропных горных породах / П. Г. Петенёв, В. А. Штукерт, Г. Р. Романов, В. И. Иордан // Труды XIX Международного симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ. – 2015. – С. 415–417.

14. Петенёв, П. Г. Разработка и экспериментальные исследования особенностей работы бурового инструмента для поискового опорного бурения / П. Г. Петенёв, Е. О. Шишкина // Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив свободный – 2015». – Красноярск: Изд. СФУ. – 2015. – С. 89–91.

15. Петенёв, П. Г. Разработка гидроактивных систем долот для разрушения твердых горных пород / П. Г. Петенёв, Е. О. Шишкина // Материалы всероссийской научно-практической конференции «Нефтегазовый комплекс: образование, наука и производство». – Альметьевск: Изд. АГНИ. – 2015. – С. 101–103.

16. Петенёв, П. Г. Результаты экспериментальных исследований особенностей работы опытной алмазной коронки / П. Г. Петенёв, Т. Р. Мустафин // Международный форум-конкурс молодых ученых «проблемы недропользования». – Санкт-Петербург: Изд. НМСУ «Горный». – 2015. – С. 107.

17. Петенёв, П. Г. Результаты экспериментальных исследований особенностей работы алмазной коронки для бурения в твердых анизотропных горных породах / П. Г. Петенёв, Г. Р. Романов, В. И. Иордан, В. А. Штукерт // Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив свободный – 2015». – Красноярск: Изд. СФУ. – 2015. – С. 12–14.