

На правах рукописи

Попова Марина Сергеевна



**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОДНОСЛОЙНЫХ
КОРОНОК, АРМИРОВАННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИМИ
АЛМАЗНЫМИ МОНОКРИСТАЛЛАМИ С
ПОВЫШЕННОЙ ТЕРМОСТОЙКОСТЬЮ**

*Специальность 25.00.14 – Технология и техника
геологоразведочных работ*

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

Санкт-Петербург - 2019

Работа начата в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет», закончена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет».

Научный руководитель –

кандидат технических наук, доцент

Каракозов Артур Аркадьевич

Официальные оппоненты:

Третьяк Александр Яковлевич

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова», кафедра «Нефтегазовые техника и технологии», заведующий кафедрой

Соловьев Николай Владимирович

доктор технических наук, профессор, РГГРУ имени Серго Орджоникидзе, кафедра современных технологий бурения скважин имени Б. И. Возвиженского, заведующий кафедрой

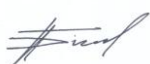
Ведущая организация: ФГБОУ ВО «ИРНТУ»

Защита диссертации состоится 17 января 2020 г. в 13 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета ГУ 2019.2 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, В.О. 21-я линия, дом 2, ауд. № 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 15 ноября 2019 г.

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
Диссертационного совета



Блинов
Павел Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации

Эффективное разрушение твердых горных пород при бурении геологоразведочных скважин достигается при использовании алмазного породоразрушающего инструмента. Весьма твердые породы бурят импрегнированным инструментом, оснащенным мелкими природными и искусственными алмазами. Породы средней твердости – однослойными алмазными коронками, оснащенными крупными природными алмазами и сверхтвердыми режущими вставками. Породоразрушающий инструмент для бурения перемежающихся пород подбирается из имеющегося с учетом геологических условий, технических и технологических возможностей.

Над производственными проблемами алмазного бурения работали такие ученые как Башкатов Д.Н., Блинов Г.А., Богданов Р.К., Владиславлев В.С., Горшков Л.К., Власюк В.И., Воздвиженский Б.И., Гореликов В.Г., Исаев М.И., Калинин А.Г., Киселев А.Т., Ключанский Г.В., Козловский Е.А., Корнилов Н.И., Кудряшов Б.Б., Марамзин А.В., Нескормных В.В., Онищин В.П., Осецкий А.Н., Остроушко И.А., Пономарев П.В., Соловьев Н.В., Спирин В.И., Сулакшин С.С., Цыпин Н.В., Шамшев Ф.А., Чихоткин В.Ф., Эйгелес Р.М. и многие другие.

Основными недостатками производства алмазного инструмента, необходимого для перечисленных условий бурения, является отсутствие сырьевой базы больших природных алмазов, низкие прочностные характеристики серийных сверхтвердых материалов, быстрая деградация их режущей кромки в процессе взаимодействия с породой.

Современные достижения в области синтеза крупных (1600/1250 мкм) алмазных монокристаллов с повышенной термостойкостью (до 1150 °С), которые могут использоваться для армирования алмазного инструмента, открыли широкие перспективы разработки нового поколения однослойных алмазных коронок и увеличения номенклатуры алмазного бурового инструмента для эффективного применения в разнообразных горно-

геологических условиях, прежде всего в горных породах средней твердости и твёрдых.

Для разработки новых конструкций и технологий применения такого алмазного породоразрушающего инструмента необходимо дополнительное изучение особенностей его работы на забое. Известные теоретические модели не удовлетворяют современным требованиям комплексного рассмотрения процессов. В связи с этим, актуальным является исследование работы и разработка конструкции однослойной алмазной коронки, которая позволит существенно увеличить технико-экономические показатели бурения геологоразведочных скважин.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Автор принимала непосредственное участие в госбюджетных темах, выполненных в Донецком национальном техническом университете (ДонНТУ) и Институте сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины (ИСМ): Н-17-11 (приказ по ДонНТУ №227-15 от 29.09.2011), III-103-11 номер госрегистрации №0111U000630 (в соответствии с договором о сотрудничестве ДС – 1/2012).

Цель работы – обоснование геометрических параметров алмазной однослойной коронки с синтетическими монокристаллами с повышенной термостойкостью и технологии её применения при бурении геологоразведочных скважин в породах V–VIII с пропластками до IX категории по буримости.

Основные задачи работы:

1. Осуществить обзор и анализ результатов ранее проведенных экспериментальных и теоретических исследований работы алмазной коронки на забое.
2. Установить характер нагружения отдельных алмазов в секторе коронки в зависимости от её геометрических параметров и схемы раскладки алмазных монокристаллов.
3. Исследовать температурный режим работы алмазных монокристаллов в зависимости от режимов бурения для разных конструкций однослойных алмазных коронок с учетом циркуляции промывочной жидкости на забое.

4. Экспериментально проверить полученные результаты.
5. Выбрать и обосновать оптимальную конструкцию алмазной однослойной коронки, с возможностью армирования ее синтетическими монокристаллами зернистостью 1600/1250 мкм с повышенной термостойкостью.
6. Провести испытания разработанных коронок и апробацию технологии их применения в производственных условиях и оценить эффективность их работы при бурении геологоразведочных скважин.

Объект исследования – алмазные однослойные коронки с радиальной раскладкой синтетических монокристаллов с повышенной термостойкостью.

Предмет исследования – закономерности нагружения и температурного режима алмазных монокристаллов при работе коронки на забое.

Идея работы заключается в рассмотрении взаимодействия с горной породой каждого алмаза коронки как элемента единой и взаимосвязанной системы с учетом термических и гидродинамических процессов.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач в работе проведены комплексные, взаимодополняющие теоретические и экспериментальные исследования. При аналитических исследованиях применялись методы математического моделирования, метод конечных элементов. При экспериментальных (лабораторных и производственных) исследованиях методика включала: подбор контрольно-измерительной аппаратуры, разработку собственно методики экспериментов, обработку данных и анализ полученного материала.

Научная новизна полученных результатов

1. Получена зависимость максимальной толщины слоя породы, срезаемого алмазом от количества и характера расположения алмазов на торце коронки с учетом взаимного влияния всех линий резания коронки.
2. Установлено, что чем больше отношение расстояния в линии резания между первыми алмазами сектора и последними алмазами

впередидущего сектора к расстоянию между алмазами внутри сектора, тем больше нагрузка, воспринимаемая алмазами первых радиальных рядов сектора.

3. Путем аппроксимации результатов компьютерного моделирования температурных процессов на забое, получена зависимость температуры нагрева алмаза при бурении скважины от частоты вращения инструмента и подачи промывочной жидкости для коронок с 2, 3, 4 и 7 радиальными рядами в секторе.

Защищаемые научные положения:

1. Максимально термостойкие объемные алмазы следует располагать во втором радиальном ряду сектора, при этом чем больше отношение расстояния в линии резания между первыми алмазами сектора и последними алмазами впередидущего сектора к расстоянию между алмазами внутри сектора, тем больше должна быть прочность объемных алмазов первых двух радиальных рядов по отношению к прочности алмазов других радиальных рядов сектора коронки.

2. Интенсификация процесса разрушения горных пород V-VIII с пропластками пород более высоких категории по буримости достигается использованием конструкции алмазной коронки, в каждом секторе которой будет размещаться не более четырех радиальных рядов объемных алмазов, при этом предпочтительны следующие геометрические размеры матрицы по наружному диаметру:

- длина промывочного канала равна расстоянию между рядами объемных алмазов в секторе;
- длина сектора составляет три длины промывочного канала;
- сумма длин сектора и промывочного канала находится в пределах не более 5-5,5 диаметров объемных алмазов.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций определяется современным уровнем аналитических и достаточным объемом экспериментальных исследований, высокой степенью сходимости результатов и воспроизводимостью полученных данных. С целью подтверждения достоверности и эффективности научных разработок диссертационной работы

осуществлено производственное внедрение однослойной алмазной коронки и технологии ее применения, что является практическим результатом работы.

Практическая и теоретическая значимость работы:

1. Разработан метод проектирования однослойных алмазных коронок, армированных крупными синтетическими алмазными резцами.
2. Разработано программное обеспечение, позволяющее определять зависимость изменения механической скорости бурения однослойных коронок от типа и характера раскладки алмазов на торце их сектора, а также нагрузку на отдельный алмаз коронки в любой момент бурения.
3. Спроектирована и внедрена конструкция однослойной алмазной коронки, оснащенная термостойкими монокристаллическими алмазами разной прочности с размером зерна 1600/1250 мкм, обеспечивающая высокую механическую скорость при небольших осевых нагрузках и работоспособность, а также снижение расхода алмазов.

Личный вклад соискателя. Основные положения и результаты диссертационной работы, которые выносятся на защиту, получены автором лично. Экспериментальные работы и изготовление экспериментального и промышленного образца осуществлены с помощью коллег и специалистов ИСМ при непосредственном участии автора.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты работы докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на 14 конференциях, наиболее значимые из которых: «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения» (ИСМ, 2011 – 2013, 2019 г.); международная научно-практическая конференция «Форум горняков » (г. Днепропетровск, НГУ, 2011, 2013); Международный симпозиум им. академика М. А. Усова студентов и молодых ученых (2014, 2016 и 2018 гг, Томск); Международная научно-практическая конференция «Бурение в осложненных условиях» (Санкт-Петербург, 2016); международная

научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов «Технологии будущего нефтегазодобывающих регионов» (г. Сургут, 2018 г); Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы недропользования» (ЮРГПУ(НПИ), г.Новочеркасск, 2018). На форум-конкурсе молодых ученых «Проблемы недропользования» (Санкт-Петербургский горный университет) в 2016 г за доклад по результатам работы получен диплом за I место в секции «Комплексное освоение нефтегазовых месторождений и транспортировка углеводородного сырья».

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 27 статьях научных журналов, из них 9 в профессиональных изданиях из списка ВАК Украины, 3 из списка ВАК России и 1 статья на английском языке в издании, цитируемом в Scopus. Основные технические и технологические решения защищены 2 патентами на полезную модель и 2 патентами на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы в количестве 98 наименований и 2 приложений. Полный объем диссертации составляет 152 страницы, из них 143 страницы основного текста. Работа содержит 27 таблиц и 82 иллюстрации.

Благодарности. Идейным вдохновителем, консультантом и наставником автора был выдающийся ученый ныне покойный *Богданов Роберт Константинович*.

Автор выражает благодарность специалистам ИСМ – Закоре А. П. и Супруну М. С., а также преподавателю ДонНТУ Парфенюку С. Н. Отдельная благодарность д.т.н., проф., член.-кор. РАЕН *Нескоромных Вячеславу Васильевичу* за ценные советы и помощь в завершении и подготовке работы к защите.

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 состояния исследований и разработок конструкций однослойного алмазного породоразрушающего инструмента для бурения скважин. Предложена последовательность этапов исследования.

Во второй главе исследована работа различных коронок на забое скважины, описана уточненная математическая модель взаимодействия с забоем алмазных резцов однослойной коронки. Представлено выражение, определяющее толщину слоя породы, срезаемого каждым алмазом коронки при движении по линии резания, в процессе бурения. Представлена картина механических напряжений в элементах алмазной коронки при бурении скважин. Описаны особенности математического моделирования температурного режима работы однослойной алмазной коронки с учетом гидравлических процессов, происходящих на забое скважины.

В третьей главе описаны экспериментальные исследования процесса взаимодействия алмазной однослойной коронки с забоем скважины в процессе бурения.

В четвертой главе представлена конструкция и технология использования однослойной алмазной коронки с режущими вставками, выполненными из синтетических монокристаллов термостойких алмазов. Изложены результаты испытаний и рекомендации для внедрения испытываемых образцов коронки.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях.

1. Максимально термостойкие объемные алмазы следует располагать во втором радиальном ряду сектора, при этом чем больше отношение расстояния в линии резания между первыми алмазами сектора и последними алмазами впередиидущего сектора к расстоянию между алмазами внутри сектора, тем больше должна быть прочность объемных алмазов первых двух радиальных рядов по отношению к прочности алмазов других радиальных рядов сектора коронки.

Разработку новых алмазных коронок необходимо производить на основании комплекса исследований, определяющих:

нагрузки; механические напряжения в элементах коронки; поле скоростей жидкости под торцом коронки; температурное поле в элементах коронки с учётом циркуляции промывочной жидкости.

За основу исследования приняты однослойные коронки с радиальным расположением алмазов по торцу матрицы, схема размещения которых рассчитывается по методике Н. В. Цыпина. Схемы раскладки алмазов на торце коронки классифицированы по характеру расположения алмазов первого и последнего радиальных рядов сектора: I тип – алмазы находятся на разных линиях резания (рисунок 1 а); II тип – алмазы находятся на одних линиях резания (рисунок 1 б).

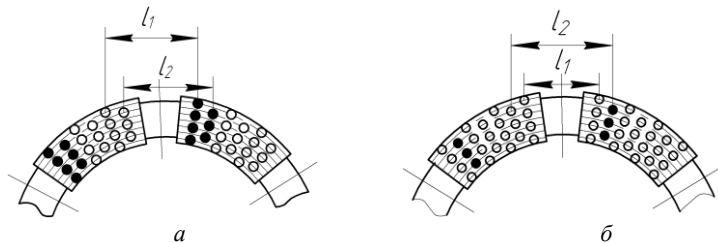


Рисунок 1 – Схема размещения алмазов в матрице: а – I тип; б – II тип; ● – наиболее заглубленные в породу алмазы в секторе

На коронку действует осевая нагрузка P_{oc} , которая в статическом положении распределяется равномерно на каждый алмаз. Положение каждого алмаза во время работы коронки определяется углом её поворота (φ) и углублением коронки (z). Каждая линия резания коронки дополнительно характеризуется координатами поверхности забоя ($y(\varphi)$) в каждой своей точке (рисунок 2). Толщина слоя породы, срезаемая алмазом в конкретной точке забоя при определенном положении коронки (рисунок 2 б) равна:

$$h_i = z - y_i, \quad (1)$$

где y_i – координата поверхности забоя перед конкретным алмазом.

Исходя из условия неизменности площади внедрения алмазов в забой при постоянной осевой нагрузке, имеем:

$$\sum_{i=1}^{n_a} h_i = n_k h_a \quad (2)$$

где h_a – углубка алмазов коронки в породе при статическом вдавливании, которая зависит от усилия на алмаз P_a и одинакова для всех алмазов:

$$h_a = \frac{P_a}{P_{шт} \pi R} \quad (3)$$

где $P_{шт}$ – твердость породы по штампу; R – радиус алмаза.

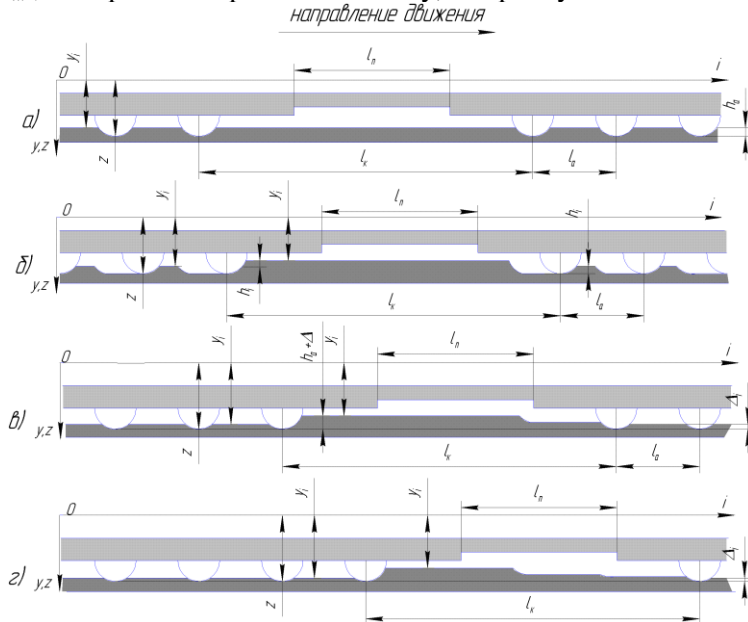


Рисунок 2 – Схема взаимодействия алмазов коронки одной линии резания с забоем (основанная на опыте ВИТР). Углубление алмазов в породе: а) первоначальная; б) при прохождении меньшего расстояния, чем расстояние между алмазами в пределах одного сектора (l_a); в) после прохождения расстояния l_a ; г) после прохождения расстояния $2l_a$. l_k – расстояние между первым алмазом сектора и последним алмазом предыдущего сектора; l_n – длина промывочного окна

При вращении коронки, за счет неравномерного распределения алмазов по одной линии резания $l_a < l_k$ (рисунок 2), происходит перераспределение сил сопротивления, действующих на

алмазы и её периодическое углубление на величину Δ , соответствующее определенному положению коронки на забое.

$$\Delta = \frac{n_k h_a - \sum_{i=1}^{n_k} (z - y_i)}{n_k} = h_a - \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} (z - y_i). \quad (4)$$

При этом алмазы первого рабочего ряда будут внедряться на максимально возможную для всех алмазов коронки величину $h_{\max}$. Для коронок с раскладкой I типа ее значение составит:

$$h_{\max} = h_a \left[1 + \sum_{i=1}^m (1 - \kappa_n)^i \right], \quad (5)$$

где $\kappa_n = n_1/n_a$, n_1 – количество алмазов в первом рабочем ряду сектора, n_a – количество алмазов в секторе; $m = (l_k/l_a) - 1$, если отношение l_k/l_a дробное, то m принимается равной целой части результата (без округления).

При изучении взаимодействия с забоем коронок с раскладкой II типа необходимо учитывать, что для коронок такого типа расстояние l_k для двух смежных линий резания различное: большее значение (l_{k2}) для алмазов второго радиального ряда и меньшее – для первого (l_{k1}) ($l_{k1} = l_1$, $l_{k2} = l_2$ рисунок 1 б).

Полученные значения $h_{\max}$ для коронок с раскладкой II типа зависят от отношения l_{k2}/l_a и приведены в таблице 1

Таблица 1 – Определение величин толщины максимального слоя породы, снимаемого алмазами коронки с раскладкой II типа

Величина l_{k2}/l_a	$h_{\max}$
$l_{k2}/l_a \leq 2$	$h_{\max} = h_a \left(3 - \frac{2n_1 + n_{12}}{n_a} + \kappa_n^2 \right)$
$2 < l_{k2}/l_a \leq 3$	$h_{\max} = h_a \left(4 - \frac{5n_1 + n_{12}}{n_a} + 4\kappa_n^2 - \kappa_n^3 \right)$
$3 < l_{k2}/l_a \leq 4$	$h_{\max} = h_a \left(5 - \frac{9n_1 + n_{12}}{n_a} + 10\kappa_n^2 - 5\kappa_n^3 - \kappa_n^4 \right)$

С использованием описанной модели проведен сравнительный анализ работы однослойных коронок с различным значением показателей l_k и l_a .

Определено, что для коронок с несколькими рабочими рядами в секторе наиболее рациональной конструкцией является коронка с раскладкой I типа. При такой раскладке алмазы первого рабочего ряда сектора нагружены равномерно. Однако, эта нагрузка не менее чем в 2 раза больше нагрузки, действующей на алмазы последующих рядов со стороны породы. Для раскладки II типа характерно неравномерное распределение нагрузки на алмазы первого рабочего ряда. Максимальная нагрузка приходится на алмазы второго радиального ряда и превышает нагрузку на алмазы третьего и последующих радиальных рядов более чем в 3 раза (по сравнению с раскладкой I типа этот показатель больше примерно на 25 %).

Учитывая различную толщину снимаемого слоя породы и окружную скорость, забойная мощность на отдельном алмазе будет различна. Нагрев торца коронки будет неравномерный. Для исследования температурных процессов на забое скважины необходимо одновременное моделирование тепловых и гидравлических процессов.

Для решения данной задачи целесообразен метод конечных элементов. Составленная модель определяет температуру, скорость течения и давление в любой точке призабойной зоны. Исходными данными являлись конструктивные параметры коронки, характеристики матрицы, корпуса, горной породы, алмазов. Примеры результатов моделирования приведены на рисунке 3.

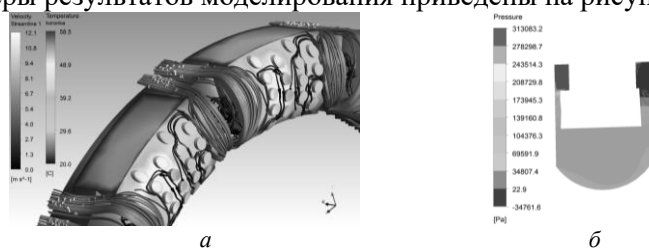


Рисунок 3 – Пример результатов моделирования процессов на забое при бурении скважины: а – температура нагрева и скорость течения жидкости; б – распределение давления жидкости.

Моделирование показало, что максимально нагретыми

являются алмазы второго радиального ряда; алмазы первого радиального ряда сильнее омываются промывочной жидкостью поэтому являются менее нагретыми, причем независимо от типа раскладки; минимально нагретыми являются алмазы последнего радиального ряда (рисунок 3 а). При этом чем меньше радиальных рядов в секторе, тем меньше температура нагрева алмазов одного и того же радиального ряда (рисунок 4).

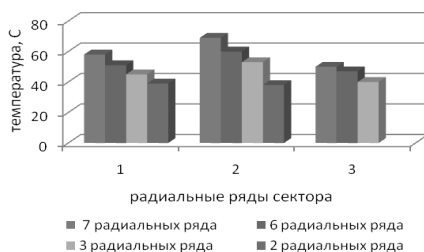


Рисунок 4 – Гистограмма сравнения температуры нагрева первых трех радиальных рядов коронок с 7, 6, 3 и 2 радиальными рядами в секторе

Зависимость температуры нагрева от режимов бурения неодинакова для коронок с разным количеством радиальных рядов в секторе. При неизменной осевой нагрузке для коронок с *четырьмя* радиальными рядами в секторе зависимость температуры нагрева контакта алмаза с породой:

$$T = -1,4 \cdot 10^{-7} n^2 q - 0,7 \cdot 10^{-5} n^2 + 1,5 \cdot 10^{-4} n \cdot q + 0,082n - 0,15q + 30 \quad (6)$$

- для коронок с *семью* радиальными рядами в секторе:

$$T = 1,8 \cdot 10^{-7} n^2 q - 2,2 \cdot 10^{-5} n^2 - 3,7 \cdot 10^{-4} n \cdot q + 0,094n - 1,7 \cdot 10^{-3} q + 23; \quad (7)$$

- для коронок с *тремя* радиальными рядами в секторе:

$$T = -3,8 \cdot 10^{-4} n \cdot q + 0,059n + 21; \quad (8)$$

- для коронок с *двумя* радиальными рядами в секторе:

$$T = 1,2 \cdot 10^{-7} n^2 q - 0,9 \cdot 10^{-5} n^2 - 3,8 \cdot 10^{-4} n \cdot q + 0,043n + 4,6 \cdot 10^{-2} q + 18. \quad (9)$$

Учитывая неравномерность механической и тепловой нагрузки алмазов, рекомендуется в первом рабочем ряду использовать алмазы большей прочности, для последующих рядов – меньшей. Выбор прочности алмаза должен учитывать, что чем

больше отношение расстояния в линии резания между первыми алмазами сектора и последними алмазами впередиидущего сектора (l_k) к расстоянию между алмазами внутри сектора (l_a), тем больше толщина слоя породы срезаемая алмазами первого рабочего ряда и температура их нагрева. Таким образом прочность алмазов первых двух радиальных рядов (P_1) и других радиальных рядов (P_2) сектора должна быть связаны следующими соотношениями:

для коронок I типа схемы раскладки алмазов

$$P_1 = P_2 l_k / l_a, \quad (10)$$

для коронок II типа

$$P_1 = P_2 (l_k / l_a + 1) \quad (11)$$

При этом наиболее термостойкие объемные алмазы следует располагать во втором радиальном ряду.

Для оценки работоспособности коронок, в радиальных рядах которых установлены синтетические алмазные монокристаллы с повышенной термостойкостью различной прочности, изготовлена опытная буровая коронка с 22 радиальными рядами алмазов в секторе. Испытания проходили в ИСМ и в ДонНТУ. Условия были приближены к производственным. За базу сравнения приняты серийные буровые коронки типа БС06. Результаты показали, что использование в секторе коронки алмазного сырья разной прочности обеспечивает рациональное использование алмазного сырья и сохраняет качество бурения.

2. Интенсификация процесса разрушения горных пород V-VIII с пропластками пород более высоких категории по буримости достигается использованием конструкции алмазной коронки, в каждом секторе которой будет размещаться не более четырех радиальных рядов объемных алмазов, при этом предпочтительны следующие геометрические размеры матрицы по наружному диаметру:

- длина промывочного канала равна расстоянию между рядами объемных алмазов в секторе;
- длина сектора составляет три длины промывочного канала;

- сумма длин сектора и промывочного канала находится в пределах не более 5-5,5 диаметров объемных алмазов.

Экспериментальные исследования коронки с 22 радиальными рядами алмазов в секторе показали, что из-за большой длины сектора происходит скопление шлама в его сбегающей части. Данную проблему решает возможность уменьшения длины сектора с сохранением общего количества алмазов коронки. Результаты аналитических исследований коронок с укороченным сектором показали, что уменьшение количества радиальных рядов в секторе, и как следствие его длины l_c , снижает перепад нагрузки на алмазы (рисунок 5).

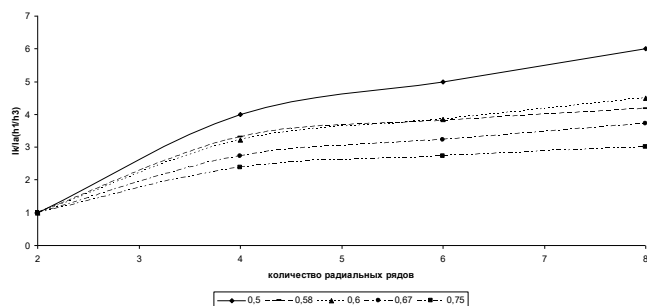


Рисунок 5 – График зависимости $h_{1(2)}/h_3$ от количества радиальных рядов в секторе для конструкций коронок, соотношение $l_c/(l_c+l_n)$ которых равно 0,5; 0,58; 0,6 и 0,75. $h_{1(2)}/h_3$ – толщина слоя породы срезаемая алмазами первого или второго, третьего радиальных рядов сектора

Равномерная нагрузка на все алмазы коронки наблюдается только в случае размещения в каждом секторе одного рабочего ряда, т.е. двух радиальных рядов.

Для изучения распределения механических нагрузок в коронках с укороченными секторами проведено моделирование ее работы на забое с учетом осевых и крутящих усилий. Результаты моделирования показали, что сектор с небольшим количеством радиальных рядов выдерживает максимально возможные для техники режимы бурения (на рисунке 6 показаны результаты моделирования работы коронки с 4 радиальными рядами в секторе при осевой нагрузке 20кН, частоте вращения 1000 об/мин).

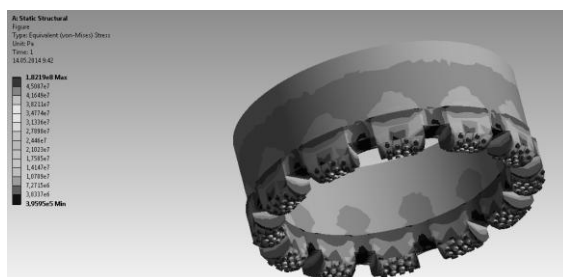


Рисунок 6 – Определение механических напряжений в коронке

Математическое моделирование температурных режимов показало, что при одних и тех же режимах бурения, снижая количество радиальных рядов в секторе на один, можно добиться уменьшения температуры нагрева алмаза на 30-40%. Например, нагрев алмазов первых двух радиальных рядов сектора коронки с 4 радиальными рядами в секторе более равномерный чем у коронок с 7 радиальными рядами (рисунок 7). В коронке с 7 радиальными рядами при частоте вращения 1500 об/мин нагрев алмазов второго радиального ряда сектора превышает нагрев первого *не менее чем на 20%*, а с 4 радиальными рядами это превышение составляет *не более 12%*.

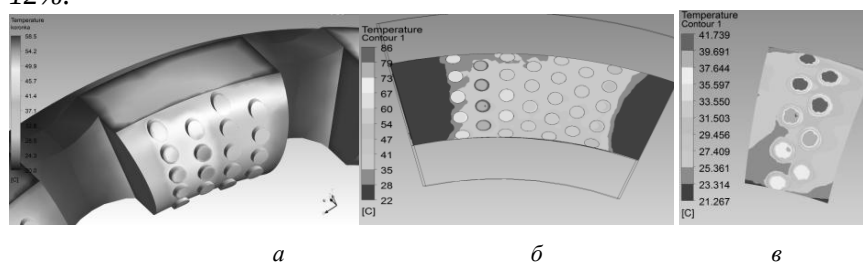
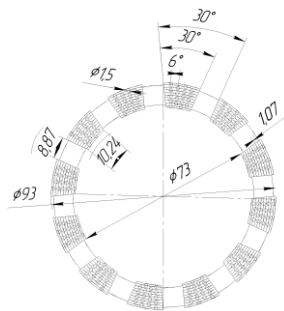


Рисунок 7 – Распределение температуры в пределах одного сектора торцевой части коронки: а – с четырьмя; б – с семью; в – с двумя радиальными рядами в секторе

Учитывая полученные данные, разработана конструкция однослойной буровой коронки БСО-1 (рисунок 8). Алмазы в секторе разложены по I типу раскладки. Начиная с первого ряда (с набегавшей части сектора) по последний прочность алмазных зерен данной коронки понижается.



а

б

Рисунок 8 – Коронка БСО-1: а – опытный образец; б – чертеж торца коронки

Образцы разработанной коронки испытывались на объектах ГПП «Донецкгеология». По сравнению с серийно выпускаемой коронкой 01А3 коронка БСО-1 обеспечила повышение механической скорости бурения в 1,67 раза. Проходка на коронку увеличилась в 1,64 раза. Результаты подтверждают эффективность использования коронок с количеством радиальных рядов в секторе, не превышающем 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, в которой на основании экспериментальных и теоретических исследований установлены зависимости забойных процессов при бурении скважины от конструктивных особенностей породоразрушающего инструмента, позволяющие получить рекомендации по проектированию однослойного алмазного породоразрушающего инструмента.

Основными научными результатами, выводами и рекомендациями является следующее:

1. Разработку новых алмазных коронок необходимо производить на основании комплексного подхода, рассматривая взаимодействие с горной породой каждого алмаза коронки как элемента единой и взаимосвязанной системы с учетом термических и гидродинамических процессов.
2. Чем больше отношение расстояния в линии резания между первыми алмазами сектора и последними алмазами впередиидущего

сектора (l_k) к расстоянию между алмазами внутри сектора (l_a) тем больше нагрузка, воспринимаемая алмазами первых радиальных рядов сектора.

3. Интенсификация разрушения горных пород V-VIII с пропластками пород более высоких категории по буримости достигается использованием конструкции алмазной коронки, в каждом секторе которой будет размещаться не более четырех радиальных рядов объемных алмазов

4. Равномерная нагрузка на все алмазы коронки достигается при следующих геометрических размерах матрицы по наружному диаметру: длина промывочного канала равна расстоянию между рядами объемных алмазов в секторе; длина сектора составляет три длины промывочного канала; сумма длин сектора и промывочного канала находится в пределах не более 5-5,5 диаметров объемных алмазов.

5. Снижая количество радиальных рядов в секторе на один, можно добиться уменьшения температуры нагрева алмаза на 30-40%.

6. Зависимость температуры нагрева алмаза при бурении скважины от частоты вращения инструмента и подачи промывочной жидкости не одинакова для коронок с 2, 3, 4 и 7 радиальными рядами в секторе.

7. Максимально термостойкие объемные алмазы следует располагать во втором радиальном ряду сектора.

8. Разработана конструкция однослойной алмазной коронки, оснащенной термостойкими монокристаллическими алмазами с размером зерна 1600/1250 мкм различной прочности с четырьмя радиальными рядами в секторе, внедрение которой позволило увеличить механическую скорость бурения в 1,67 раза, а проходку на коронку в 1,64 раза.

Наиболее начимые публикации по теме диссертации:

а) в журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации:

1. Попова, М.С. Результаты компьютерного моделирования температурного режима алмазного бурового инструмента // Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». – 2018. – №2. – С. 23-26.

2. Нескоромных, В.В. Основы системного подхода к проектированию бурового инструмента / В.В. Нескоромных, **М.С. Попова** // «Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море». – 2018. – №8. – С. 26-31.

3. Нескоромных, В.В. Разработка алмазного инструмента с применением данных компьютерного моделирования и результатов системных исследований / В.В. Нескоромных, **М.С. Попова** // Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». – 2018. – №3. – С. 18-26.

б) в изданиях, индексируемых международной научной базой цитирования Scopus и Web of Science :

4. Zanevskii, O.A. Production of coarse-grained high-strength microgrits to be used in drilling tools / O.A. Zanevskii, S.A. Ivakhnenko, G.D. Il'nitskaya, A.P. Zakora, R.K. Bogdanov, A.A. Karakozov, **М.С. Попова** // Journal of Superhard Materials, March 2015. – Volume 37, Issue 2. – PP. 132-139.

в) патенты:

5. Патент № 91720 Украина, МПК (2014.01) E21B 7/00. Алмазна одношарова бурова коронка: № u201402067: заявл. 28.02. 2014 : опубл. 10.07.2014 / Каракозов А.А., **Попова М.С.**, Богданов Р.К., Закора А.П. ; заявитель ДонНТУ. – 4 с.: ил

6. Патент № 108943 Украина, МПК E21B 10/36 (2006.01) E21B 10/46 (2006.01). Алмазна одношарова бурова коронка: № u20140755: заявл. 24.02. 2014: опубл. 25.06.2015 / Каракозов А.А., **Попова М.С.**, Богданов Р.К., Закора А.П. ; заявитель ДонНТУ. – 3 с.: ил.

7. Патент № 92032 Украина, МПК (2014.01) E21B 7/00. Алмазна одношарова бурова коронка: № u201402063: заявл. 28.02. 2014: опубл. 25.07.2014 / Каракозов А.А., **Попова М.С.**, Богданов Р.К., Закора А.П. ; заявитель ДонНТУ. – 5 с.: ил.

8. Патент №108942 Украина, МПК E21B 10/36 (2006.01) E21B 10/46 (2006.01). Алмазна одношарова бурова коронка : № u20141753: заявл. 24.02. 2014: опубл. 25.06.2015 / Каракозов А.А., **Попова М.С.**, Богданов Р.К., Закора А.П.; заявитель ДонНТУ. – 4 с.: ил.