

На правах рукописи



**СЕРИКОВ ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ШАРОШЕЧНОГО БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА  
С КОСОЗУБЫМ ВООРУЖЕНИЕМ**

Специальность 05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы (нефтегазовая отрасль)

**АВТОРЕФЕРАТ**

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

Москва – 2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»

Научный консультант: **Кершенбаум Всеволод Яковлевич**,  
*доктор технических наук, профессор  
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина  
119991, Россия, Москва, Ленинский пр-т. 65*

Официальные оппоненты: **Блинков Олег Геннадиевич**  
*доктор технических наук, профессор  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина»; 620002, Россия, Свердловская обл., Екатеринбург, ул. Мира, 19.*

**Ибатуллин Ильдар Дугласович**  
*доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», 443100, Россия, Самара, ул. Молодогвардейская, 244.*

**Шигин Андрей Олегович**  
*доктор технических наук, профессор  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». 660041, РФ, г. Красноярск, пр. Свободный, 79*

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Защита состоится « 14 » декабря 2018 года в 10 часов 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.291.02 при Ухтинском государственном техническом университете по адресу 169300, г. Ухта, Республика Коми, ул. Первомайская, д.13.

С авторефератом и диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», а так же на сайте ВУЗа по адресу [www.ugtu.net](http://www.ugtu.net) в разделе «Диссертации».

Автореферат разослан « \_\_\_ » октября 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук

  
\_\_\_\_\_ Д.А. Борейко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы исследования

Несмотря на тот факт, что за последние годы все большие объемы бурения в нашей стране и за рубежом осуществляются буровыми долотами Polycrystalline Diamond Bits (PDC) и алмазными бурильными головками, применение классических шарошечных долот (ШД) все еще занимает достойное место в общем объеме используемого бурового инструмента. В особенности это касается расширителей скважин и буровых долот больших типоразмеров от 393,7 до 660,4 мм и более, где стоимость изготовления алмазного инструмента значительно увеличивается, а процесс бурения требует существенного увеличения крутящего момента и, как следствие, энергетических затрат.

В связи с этим работы, направленные на повышение эффективности шарошечного бурового инструмента (ШБИ) и, как следствие, его конкурентоспособности остаются достаточно актуальными. Повышение эффективности работы ШБИ, как правило, является многофакторной задачей и может быть решена путем совершенствования как отдельных компонентов, так и их совокупности.

Успешная работа ШБИ на забое во многом зависит от эффективности разрушающего воздействия его вооружения на породу, долговечности вооружения и качественной работы системы очистки забоя.

Вооружение ШБИ – это часть конструкции, непосредственно воздействующая и разрушающая породу забоя, работающая в сложных условиях комплекса разнопеременных нагрузок. От совершенства конструкции вооружения напрямую зависят одни из самых важных технических показателей бурового инструмента - механическая скорость бурения и проходка.

Все виды механического воздействия зубьев вооружения шарошек на породу забоя в целом или по отдельным венцам, кратковременно или постоянно могут быть присущи той или иной модификации ШБИ. Поэтому решение задачи повышения эффективности ШБИ, как правило, связано с уменьшением энергетических затрат при бурении за счет обеспечения соответствия геометрии вооружения условиям работы каждого из венцов шарошек на кольцевых участках забоя и физико-механическим свойствам разбуриваемых горных пород.

Стойкость зубчатого вооружения существенно зависит от величин, направлений и характера воздействия на него, возникающих при бурении нагрузок, а также от целого ряда факторов: физико-механических характеристик материала зубьев, армирующего износостойкого материала, формы зубьев и геометрии армированных зон. Это особенно важно для ШБИ больших диаметров, предназначенного для разбуривания мягких и пород средней твердости, где зубья вооружения имеют максимальные вылеты и соответственно подвержены

воздействию наибольших изгибающих нагрузок. Несовершенная форма зубьев, а также нерациональное размещение армированных зон на их рабочих поверхностях способствуют преждевременному износу вооружения за счет образования и распространения микротрещин как в наплавочном материале, так и стальной основе вооружения.

Повышению эффективности ШБИ в значительной степени способствует улучшение очистки как самого инструмента, так и призабойной зоны в целом от шлама вследствие применения самоочищающихся шарошек и использованию промывочных узлов, оснащенных гидромониторными насадками различной конфигурации.

Однако во многих случаях конструкции промывочных узлов, а также их размещение в теле бурового инструмента и ориентация относительно вооружения и поверхности забоя не являются оптимальными для данного вида бурового инструмента и конкретных условий бурения. Поэтому во многих случаях работа ШБИ сопровождается образованием в различных участках забоя застойных зон и, как следствие – «засаливанием» зубчатого вооружения шарошек. Это существенно снижает эффективность разрушения породы и транспортировку шлама из призабойной зоны в затрубное пространство, что неминуемо приводит к снижению механической скорости бурения и ресурса работы инструмента.

Совершенствование систем промывки ШБИ особенно важно для шарошечных долот и расширителей больших типоразмеров (от 444,5 мм и более), где конструктивно достаточно сложно приблизить насадки к поверхности забоя без перекрытия межшарошечного пространства. При этом бурение инструментом большого диаметра сопровождается существенным увеличением объемов и размеров частиц разрушенной породы, что так же осложняет эвакуацию шлама из зоны работы инструмента на поверхность. Поэтому разработка новых конструкций промывочных узлов, схем промывки и организации транспортировки шлама из зоны работы данного вида инструмента наиболее актуальны.

Таким образом, создание новых конструкций вооружения шарошек, позволяющих увеличить разрушающую способность зубьев, новых способов организации транспортировки шлама из зоны бурения, а также гидромониторных узлов, предназначенных для разных типоразмеров ШБИ, даст возможность повысить эффективность его работы за счет сокращения времени и уменьшения стоимости бурения нефтяных и газовых скважин.

В связи с этим исследования, направленные на повышение эффективности ШБИ и, как следствие, его конкурентоспособности, являются актуальными.

## **Степень разработанности темы исследования**

За более чем вековую историю существования ШБИ накоплен огромный теоретический и экспериментальный потенциал, связанный с разработкой, изготовлением и эксплуатацией данного вида бурового инструмента.

Тем не менее анализ существующих на сегодняшний день теоретических исследований свидетельствует о том, что они описывают далеко не все аспекты кинематического взаимодействия элементов зубчатого вооружения шарошек с поверхностью забоя, а конструкции серийного ШБИ не всегда обеспечивают соответствие геометрии вооружения характеру и условиям того или иного способа бурения.

Анализ кинематики и условий работы вооружения ШБИ свидетельствует о том, что у большинства существующего ШБИ со смещенными осями вращения шарошек ориентация зубьев (прямозубого) вооружения не обеспечивает их эффективную работу в условиях повышенного скольжения. А в случае инструмента с несмещенными осями, часто возникает проблема образования зубчатой рейки на поверхности забоя. Устранить эти недостатки, можно путем оснащения шарошек специально ориентированным косозубым вооружением (КЗВ).

В свою очередь, анализ вооружения существующего ШБИ позволяет сделать вывод о том, что большинство конструкций и процессов их изготовления достаточно трудоемки и не в полной мере обеспечивают требуемое качество армированных рабочих поверхностей.

Так же значительное количество теоретических и конструкторских разработок посвящены улучшению очистки как вооружения, так и всей зоны работы инструмента. Однако широко распространенные на сегодняшний день схемы и отдельные элементы промывочных систем все еще имеют ряд существенных недостатков, таких как: недостаточная надежность крепления и низкое гидравлическое совершенство гидромониторных насадок, их нерациональное расположение на корпусе ШБИ и не способность гарантированно исключить образование застойных зон в различных участках забоя.

В связи с этим дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования принципов работы ШБИ, его проектирования, совершенствование процессов его изготовления и создание новых систем промывки ШБИ большого диаметра с КЗВ являются одной из приоритетных задач.

**Цель представленной работы** - повысить эффективность шарошечного бурового инструмента за счет создания новых конструкций косозубого вооружения и гидромониторных узлов, позволяющих увеличить скорость и снизить стоимость проведения буровых работ на основе разработки научно-обоснованных методик проектирования геометрии вооружения и элементов промывочных систем.

### **Задачи исследования**

- Исследовать процесс кинематического взаимодействия косозубого вооружения ШБИ с забоем при классическом и реактивно-турбинном бурении (РТБ), для того чтобы установить геометрические параметры вооружения, обеспечивающих повышенную эффективность работы ШБИ при бурении пород различной твердости;
- Исследовать процесс силового взаимодействия КЗВ шарошечного бурового инструмента с забоем, для того чтобы установить наиболее эффективную форму зубьев вооружения с целью уменьшения нагрузок, необходимых для успешного разрушения породы и, как следствие, снижению напряженно-деформируемого состояния (НДС) зубьев в процессе работы инструмента;
- Изучить влияние геометрии зубьев вооружения и армированной зоны на прочность вооружения ШБИ в процессе его работы, с целью определения параметров процесса центробежного армирования, в зависимости от геометрии вооружения, а также геометрические параметры зоны армирования, обеспечивающей повышенную стойкость зубьев вооружения шарошек к знакопеременным ударным нагрузкам;
- Исследовать процесс промывки ШБИ с КЗВ, чтобы установить возможность управлять направлением и силой гидравлического потока с помощью изменения геометрических параметров внутреннего поперечного сечения гидромониторных насадок. А также определить влияние вращающегося КЗВ ШБИ на гидравлическую среду забоя;
- Исследовать кинематические характеристики различных венцов шарошек и особенности процесса разрушения забоя, чтобы установить основные факторы, способствующие процессу рейкообразования, и на этой основе разработать конструкторские решения, предотвращающие образование забойной рейки в течение всего цикла работы инструмента;
- Провести проверку результатов исследований в ходе стендовых и промышленных испытаний и выработать рекомендации по их промышленному использованию.

### **Научная новизна**

1 Установлены основные закономерности процесса перекатывания шарошки бурового инструмента при классическом и реактивно турбинном бурении скважин, позволяющие определять геометрические параметры вооружения, обеспечивающие повышение эффективности работы ШБИ при бурении пород различной твердости.

2 Определено влияние геометрии вооружения на расположение мгновенной оси вращения шарошки ШБИ, позволяющее вычислять координаты ведущего венца и рассчитывать величины проскальзывания ведомых венцов вооружения,

а также установлены математические зависимости между отклоняющими и стабилизирующими силами, возникающими при работе инструмента с КЗВ.

3 Установлена закономерность влияния угла наклона КЗВ шарошек на площадь поражения забоя в процессе проскальзывания вооружения, позволяющая ориентировать наклонные зубья с таким расчетом, чтобы обеспечивать максимальное поражение забоя зубьями каждого из венцов для увеличения производительности ШБИ.

4 Установлены основные закономерности процесса силового взаимодействия зубчатого вооружения шарошек с забоем, позволившие установить, что придание зубьям ведомых венцов асимметричной формы способствует не только существенному уменьшению нагрузок, необходимых для успешного разрушения породы, но и снижению напряженно-деформируемого состояния зубьев в процессе работы инструмента.

5 Определены основные параметры процесса центробежного объемного армирования (ЦОА) асимметричного КЗВ, обеспечивающие размещение армирующего компонента в требуемой области рабочей части зуба, с получением аналитического выражения процесса.

6 Установлены основные факторы процесса воздействия вращающегося КЗВ шарошечного бурового инструмента на гидравлическую среду призабойной зоны, а также дано обоснование гидродинамических процессов, происходящих при истечении жидкости из фасонных гидромониторных насадок.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы**

- Разработаны математические модели: процессов перекачивания шарошки бурового инструмента при классическом и реактивно-турбинном бурении скважин, позволяющие определять геометрические параметры вооружения, обеспечивающие повышенную эффективность работы ШБИ при бурении мягких и средних пород;
- Разработаны новые методики: определения положения мгновенной оси вращения шарошки бурового инструмента, позволяющая определять координаты ведущего венца и рассчитывать величины проскальзывания ведомых венцов вооружения; расчета отклоняющих и стабилизирующих сил, возникающих при работе инструмента с КЗВ; определения основных параметров процесса центробежного объемного армирования асимметричного КЗВ, обеспечивающая размещение армирующего компонента в требуемой области рабочей части зуба с получением аналитического выражения процесса; проектирования новых конструкций стального армированного КЗВ, основанной на расчетах различных прочностных показателей, с целью получения требуемых геометрических размеров;

- Разработана математическая модель силового взаимодействия зубьев вооружения шарошек с деформируемым забоем, позволившая установить, что придание зубьям ведомых венцов асимметричной формы способствует существенному снижению нагрузок, необходимых для успешного разрушения породы забоя;
- Разработаны методики определения физико-механических характеристик (ФМХ) армирующего композиционного материала (КМ), а также проектирования новых конструкций стального армированного КЗВ, основанных на расчетах различных прочностных показателей, с целью получения требуемых геометрических размеров вооружения;
- Разработаны конструктивные схемы КЗВ, обеспечивающие минимальную вероятность отклонения инструмента от заданного направления бурения, за счет уравнивания осевых составляющих сил реакции забоя, действующих на вооружение каждой из шарошек ШБИ;
- Разработаны конструктивные схемы центрального и бокового гидромониторных узлов, а также варианты их размещения в ШБИ;
- Разработано несколько вариантов геометрии КЗВ шарошек, предотвращающих образование забойной реки в течение всего цикла работы инструмента;
- Разработана геометрия КЗВ для шарошечных расширителей, обеспечивающая повышение эффективности их работы;
- Разработаны несколько вариантов КЗВ шарошечных долот для бурения мягких, средних и твердых пород способом РТБ;
- Проведен ряд промысловых испытаний опытных образцов различного ШБИ: трехшарошечных долот Ш295,3М-ЦГВ, Ш490С-ЦВ, Ш393,7С-ЦВ, Ш490С-ЦВР-1, Ш490ТЗ-ЦВР-9, шестишарошечных расширителей 6РШ-555М, подтвердивших эффективность использования КЗВ и новых элементов промысловых систем. Некоторые из них были внедрены, другие рекомендованы к внедрению на различных предприятиях нефтегазовой отрасли;
- По результатам проведенной работы получено 33 патента РФ на изобретение.

#### **Методы исследования**

При выполнении работы использовались различные методы исследований, такие как: теоретические, экспериментально-теоретические, статистические, а также стендовые и промышленные испытания.

#### **Положения, выносимые на защиту**

1. Исследован процесс кинематического взаимодействия КЗВ ШБИ с забоем при классическом и РТБ, позволивший установить геометрические параметры

вооружения, обеспечивающие повышенную эффективность работы ШБИ при бурении пород различной твердости.

2. Исследован процесс силового взаимодействия КЗВ ШБИ с забоем, позволивший установить, что придание зубьям ведомых венцов асимметричной формы способствует не только существенному уменьшению нагрузок, необходимых для успешного разрушения породы, но и снижению НДС зубьев в процессе работы инструмента. А также разработать конструктивные схемы КЗВ ШБИ, обеспечивающие минимальную вероятность отклонения от заданного направления бурения.

3. Изучено влияние геометрии зубьев вооружения и армированной зоны на прочность вооружения ШБИ в процессе его работы, позволившее определить параметры процесса центробежного армирования в зависимости от геометрии вооружения или решать обратную задачу, при этом обеспечивая необходимое качество армирования. А также геометрические параметры зоны армирования, обеспечивающей повышенную стойкость зубьев вооружения шарошек к знакопеременным ударным нагрузкам.

4. Исследован процесс промывки и осуществлено совершенствование промывочных систем ШБИ с КЗВ, позволившие установить, что с помощью изменения геометрических параметров внутреннего поперечного сечения насадок можно управлять направлением и силой гидравлического потока, без существенных конструктивных изменений как самого узла, так и ШБИ в целом. А также определить влияние вращающегося КЗВ ШБИ на гидравлическую среду забоя.

5. На основе исследований кинематических характеристик различных венцов шарошек и особенностей процесса разрушения забоя были установлены основные факторы, способствующие процессу рейкообразования, позволившие разработать несколько вариантов геометрии КЗВ шарошек как для ведущих, так и ведомых венцов вооружения, предотвращающих образование забойной реки в течение всего цикла работы ШБИ.

#### **Личный вклад автора**

Автор лично разработал математические модели: процессов перекатывания шарошки ШБИ при классическом и реактивно-турбинном бурении скважин; силового взаимодействия зубьев вооружения шарошек с деформируемым забоем. Разработал методики: определения положения мгновенной оси вращения шарошки бурового инструмента; расчета отклоняющих и стабилизирующих сил, возникающих при работе инструмента с КЗВ; определения основных параметров процесса центробежного объемного армирования косозубого асимметричного зубчатого вооружения. Впервые провел исследование влияния вращающегося КЗВ ШБИ на гидравлическую среду призабойной зоны, а также

дал обоснование гидродинамических процессов происходящих при истечении жидкости из фасонных гидромониторных насадок.

Автор лично провел математические и физические эксперименты, а также осуществил обработку полученных результатов. Подготовил публикации и оформил патенты РФ на изобретение по материалам проведенной работы. Научные рекомендации автора сформулированы им лично на основе проведенных им исследований.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Основные результаты работы докладывались и демонстрировались, получив одобрение на семинарах, совещаниях и выставках по породоразрушающему буровому инструменту. Среди них можно выделить: Международные выставки: «Нефтегаз – 1998 – 2000»; РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина - конференции «Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России» 1997 – 2007; Доклад на факультете «Горное и нефтегазовое производство» ФГБОУ ВПО Московского государственного университета машиностроения (МАМИ), по результатам которого книга, изданная по материалам диссертационной работы, была рекомендована для использования в учебном процессе по направлению «Нефтегазовое дело» и «Горное дело»; На научно-технических заседаниях кафедр «Технология газонефтяного и нефтехимического машиностроения», «Стандартизация, сертификация и управление качеством производства нефтегазового оборудования» в РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в период с 2010 г. по настоящее время.

### **Соответствие темы диссертации паспорту специальности**

**Пункт 1. Разработка научных и методологических основ (методик) проектирования новых конструкций** стального армированного косоугого вооружения, основанных на расчетах различных прочностных показателей, с целью получения требуемых геометрических параметров вооружения.

**Пункт 3. Теоретические и экспериментальные исследования гидродинамических процессов**, происходящих при истечении жидкости из фасонных гидромониторных насадок, а также **влияния вращающихся зубьев вооружения шарошечного бурового инструмента** на гидравлическую среду призабойной зоны. **Исследование параметров, определяющих положение мгновенной оси вращения шарошки бурового инструмента, а также отклоняющих и стабилизирующих сил**, возникающих при работе инструмента с косоуголым вооружением.

**Пункт 5. Разработка научных основ по математическому моделированию процессов перекатывания шарошки бурового инструмента** при классическом и реактивно турбинном бурении скважин, позволяющему определять геометрические параметры вооружения и гидродинамических процес-

сов, происходящих при истечении жидкости из фасонных гидромониторных насадок, **обеспечивающих повышение эффективности (производительности) работы шарошечного инструмента** при бурении пород различной твердости.

*Пункт 6. Исследование технологического процесса* центробежного объемного армирования косозубого асимметричного зубчатого вооружения с целью обеспечения гарантированного размещения армирующего компонента в требуемой области рабочей части зуба с получением аналитических выражений. **Исследование кинематики шарошечных буровых долот** при классическом и реактивно-турбинном бурении, позволившее установить **траектории движения зубьев** вооружения шарошек, направления и **величины скоростей вращения и проскальзывания вооружения** в каждой точке забоя.

Таким образом, диссертация соответствует по области исследований (пункты 1, 3, 5, 6) паспорту специальности 05.02.13 - «Машины, агрегаты и процессы (в нефтегазовой отрасли)».

#### **Публикации**

Основные материалы работы опубликованы в 97 печатных трудах, из них: 62 работы в рецензируемых журналах из перечня ВАК Министерства образования и науки РФ, 33 патента РФ на изобретение, 2 монографии.

#### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, 6 глав, основных выводов, списка литературы, включающего 175 наименований работ и приложений. Работа изложена на 433 страницах текста, включает 184 рисунка и 14 таблиц.

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы: главная цель и основные задачи исследования.

Отмечен большой вклад в развитие теоретических и экспериментальных исследований в области совершенствования шарошечного бурового инструмента, таких ученых и инженеров, как: Агошашвили Т.Г., Балденко Д.Ф., Бикбулатов И.К., Близнюков В.Ю., Блинков О.Г. Богомолов Р.М., Браженцев В.П., Бугай Ю.Н., Вадецкий Ю.В., Варламов Е.П., Васильев А.В., Виноградов В.Н., Владиславлев Ю.Е., Гинзбург Э.С., Гусман А.М., Григорян А.Я., Жидовцев Н.А., Ильский А.Л., Иоаннесян Р.А., Кершенбаум В.Я., Кершенбаум Я.М., Константинов Л.П., Кораблев Г.А., Крылов К.А., Кузмак Е.М., Лившиц Л.С., Линдо Г.В., Мавлютов М.Р., Матвеев Г.И., Мокшин А.С., Палий П.А., Рубарх В.М., Симонов В.В., Сорокин Г.М., Стеклянов Б.Л., Травкин В.С., Торгашов А.В., Цветков Ю.Н., Чайковский Г.П., Шрейбер Г.К., Эйгелес Р.М., Ясашин В.А. и многих других.

**В первой главе** проведен анализ работы и особенностей конструкций ШБИ являющегося одним из основных компонентов буровой системы, совершенствование которого, способно существенно повысить эффективность процесса проходки нефтегазовых скважин. При работе ШБИ его шарошки совершают сложное вращательное движение, заключающееся в том, что каждая из них, вращаясь вокруг своей собственной оси, одновременно перемещается и вокруг оси вращения долота или корпуса инструмента. При этом ШБИ под действием веса буровой колонны продвигается вниз, одновременно совершая возвратно-поступательные колебания и воспринимает существенные воздействия динамических нагрузок. Эта особенность эксплуатации ШБИ предъявляет жесткие требования как к его конструкции, так и технологии изготовления.

Известно, что конструкции ШБИ, предназначенного для бурения твердых, средних и мягких пород сильно отличаются друг от друга. Одной из основных отличительных особенностей является наличие или отсутствие проскальзывания зубьев вооружения по забою, определяемое как геометрическими параметрами шарошек, так и их пространственной ориентацией относительно оси вращения ШБИ. От соотношения величины качения и скольжения зубьев по забою зависит характер разрушения породы, изменяющийся от дробяще-скалывающего для твердых пород до ударно-режущего для мягких.

ШБИ предназначенный для разбуривания мягких и средних пород проектируются таким образом, чтобы при вращении инструмента шарошки перекачивались по забою скважины с одновременным проскальзыванием. С целью увеличения проскальзывания зубьев вооружения по забою у ШБИ данных типов смещают оси вращения шарошек как по направлению вращения инструмента, так и против него. При положительном смещении скорость скольжения направлена к вершине шарошки, отклоняясь на определенный угол от образующей. При отрицательном смещении скорость скольжения направлена к основанию конуса шарошки, тоже отклоняясь от образующей.

Проведенный анализ кинематики и условий работы вооружения ШБИ свидетельствует о том, что у большинства существующего ШБИ со смещенными осями вращения шарошек ориентация зубьев (прямозубого) вооружения не обеспечивает их эффективную работу в условиях повышенного скольжения. А в случае инструмента с несмещенными осями, часто возникает проблема образования зубчатой рейки на поверхности забоя. Устранить эти недостатки, можно путем оснащения шарошек специально ориентированным КЗВ.

В настоящее время существует большое количество конструкций ШБИ, оснащенных КЗВ, тем не менее лишь единицы нашли свое воплощение в серийно выпускаемом ШБИ. Главной причиной такой не востребованности, вероятно, является сложность нахождения баланса между новыми конструктивными

решениями геометрии вооружения и технологическими аспектами его изготовления. Проведенный анализ конструкций наиболее интересных представителей ШБИ с КЗВ показал, что использование КЗВ является достаточно перспективным направлением совершенствования ШБИ, тем не менее на сегодняшний день так и не удалось создать конструкцию, максимально раскрывающую весь потенциал данного типа вооружения.

Рассматривая основные типы зубчатого вооружения ШБИ было установлено, что по конструктивным особенностям его можно разделить на твердосплавное и стальное поверхностно-армированное. В первом случае твердосплавные зубки запрессовываются в корпуса шарошек с гарантированным натягом. Во втором – зубья вооружения формируются в процессе фрезерования или литья с последующим упрочнением путем нанесения на их рабочие поверхности износостойкого армирующего материала. Существенная разница физико-механических характеристик стальной основы шарошек и армирующего твердосплавного материала как поверхностно-армированного, так и твердосплавного вооружения, главным образом предопределяет характер их изнашивания. Износ стального поверхностно-армированного вооружения сопровождается постепенным скалыванием и отслаиванием с поверхности зуба твердосплавной наплавки, обнажением стальной сердцевины и последующим интенсивным ее износом. Твердосплавные зубки в процессе работы инструмента скалываются, сламываются или полностью выпадают из шарошки.

Проведенный анализ конструкций и технологий изготовления вооружения ШБИ свидетельствует о том, что существующие конструкции вооружения ШБИ не всегда соответствуют характеру и условиям бурения, а технологии их изготовления являются трудоемкими и не обеспечивают необходимого качества вооружения.

Значительная часть указанных проблем может быть решена путем использования метода центробежного армирования вооружения ШБИ, суть которого заключается в совмещении процессов центробежного литья и армирования, что позволяет размещать зерна армирующего твердосплавного компонента не только на рабочих поверхностях зубьев, но и по их внутреннему объему.

Среди множества факторов, оказывающих влияние на эффективность разрушения горных пород, необходимо отметить процесс промывки скважин, а главное, его важнейшую составляющую - очистку призабойной зоны, в процессе которой происходят разрушение и отрыв частиц породы, уже отделенной от массива в результате механического воздействия зубьев шарошек долота с последующим выносом их в наддолотное пространство.

Эффективность очистки призабойной зоны, по мнению множества исследователей, напрямую зависит от объема и скорости истечения промывочной

жидкости, схем промывки и конструкций промывочных узлов Анализ теоретических и экспериментальных исследований работы ШБИ с различными схемами промывки свидетельствует о том, что для долот с центральной схемой промывки характерен преимущественный износ периферийных венцов шарошек, работающих в области скопления шлама принесенного потоками с центра забоя. В этом месте, в результате резкого изменения направления потока жидкости образуется "застойная" зона. Этим же объясняется преимущественный износ набегающей шарошки, расположенной в свободном проеме гидромониторного долота с двумя боковыми насадками (асимметричная схема). Для долот с тремя боковыми гидромониторными насадками характерен износ вооружения по вершине шарошек, куда транспортируется шлам с периферии.

Таким образом, анализ существующих схем промывки бурового инструмента, а также их влияния на эффективность очистки призабойной зоны от выбуренного шлама показал, что существующие в настоящее время схемы промывки ШБИ имеют ряд существенных недостатков и в то же время обладают значительными резервами для их дальнейшего совершенствования.

**Во второй главе** представлены результаты исследования кинематического взаимодействия КЗВ с забоем скважины при различных способах бурения.

Проведенное исследование взаимодействия КЗВ с забоем скважины при бурении мягких пород позволило установить, что у подавляющего большинства существующего ШБИ со смещенными в плане осями вращения шарошек ориентация зубьев вооружения не обеспечивает их эффективную работу в условиях повышенного скольжения. При этом было установлено, что для достижения увеличения площади поражения забоя необходимо располагать зубья вооружения под определенными углами по отношению к образующим шарошек. Наибольшая площадь поражения забоя по горизонтали и, соответственно производительность ШБИ, достигаются при геометрии зубчатого вооружения, когда большая сторона площадки притупления каждого зуба на каждом из венцов расположена под определенным углом к образующей шарошки, обеспечивающим ориентацию основных рабочих граней зубьев, строго перпендикулярно по отношению к направлению результирующей скорости их скольжения (рисунок 1).

Исследование взаимодействия КЗВ с забоем скважины при бурении пород средней твердости позволило установить, что оснащение КЗВ шарошек с минимальным или нулевым смещением осей их вращения относительно центра ШБИ не дает возможности увеличить общую площадь поражения забоя. Однако использование КЗВ позволяет повысить эффективность удаления шлама путем его механической эвакуации сквозь межзубное пространство из зоны непосредственного разрушения горной породы, а также улучшить выравнивание

поверхности забоя за счет повышения фрезерующего эффекта КЗВ ШБИ. Это самым положительным образом сказывается на процессе выравнивания поверхности забоя, а следовательно, способствует повышению эффективности очистки призабойной зоны за счет поперечных потоков бурового раствора.

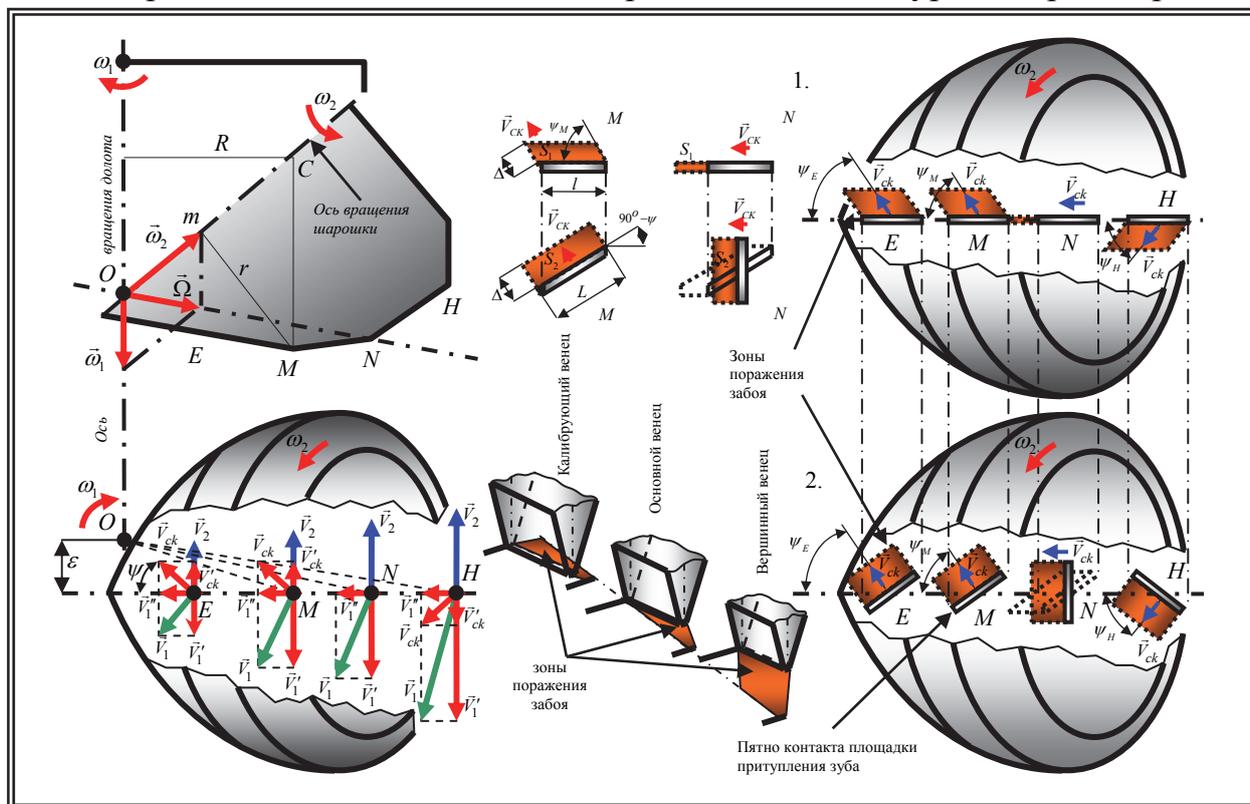


Рисунок 1 – Исследование проскальзывания по горизонтали зубчатого вооружения шарошек ШБИ по забюю

Математическое моделирование процесса перекатывания шарошки бурового инструмента при бурении позволило определить и построить в трехмерном пространстве траектории движения всех зубьев каждого из венцов шарошечного бурового долота. В результате было установлено, что вершинные венцы шарошек работают с пробуксовкой вооружения, а периферийный с подтормаживанием, при этом существует некий средний (ведущий) венец вооружения, зубья которого работают без скольжения (рисунок 2).

Разработана новая методика определения положения мгновенной оси вращения шарошки ШБИ (в основе которой лежит принцип наименьшей затраты мощности), позволяет с большей точностью выявлять расположение ведущего венца за счет вычисления координат нейтральных точек для каждого из основных осевых сечений шарошки, а также рассчитывать величины проскальзывания ведомых венцов вооружения ШБИ (рисунок 3).

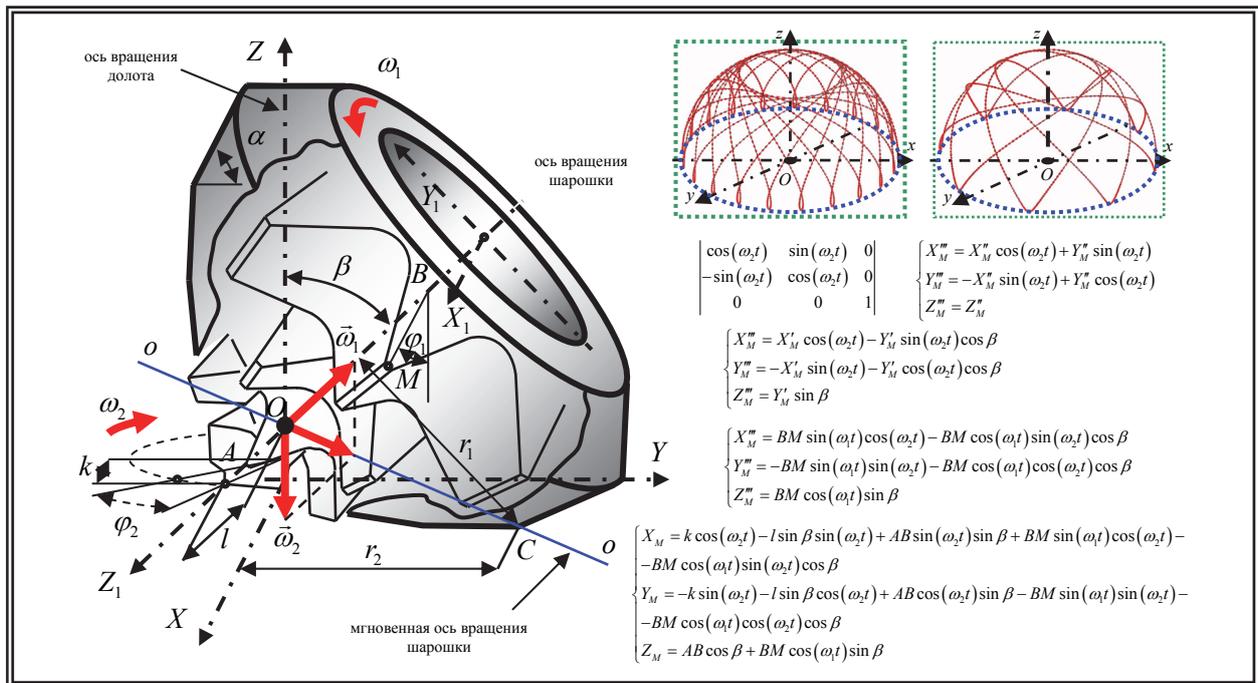


Рисунок 2 – Математическое моделирование процесса «перекатывания» шарошки ШБИ по забою

Исследования процесса проскальзывания зубчатого вооружения шарошек по забою, позволило установить, что процесс пробуксовки зубчатого вооружения ШБИ с точки зрения площади поражения забоя в вертикальной плоскости, является гораздо менее эффективным, чем процесс подтормаживания.

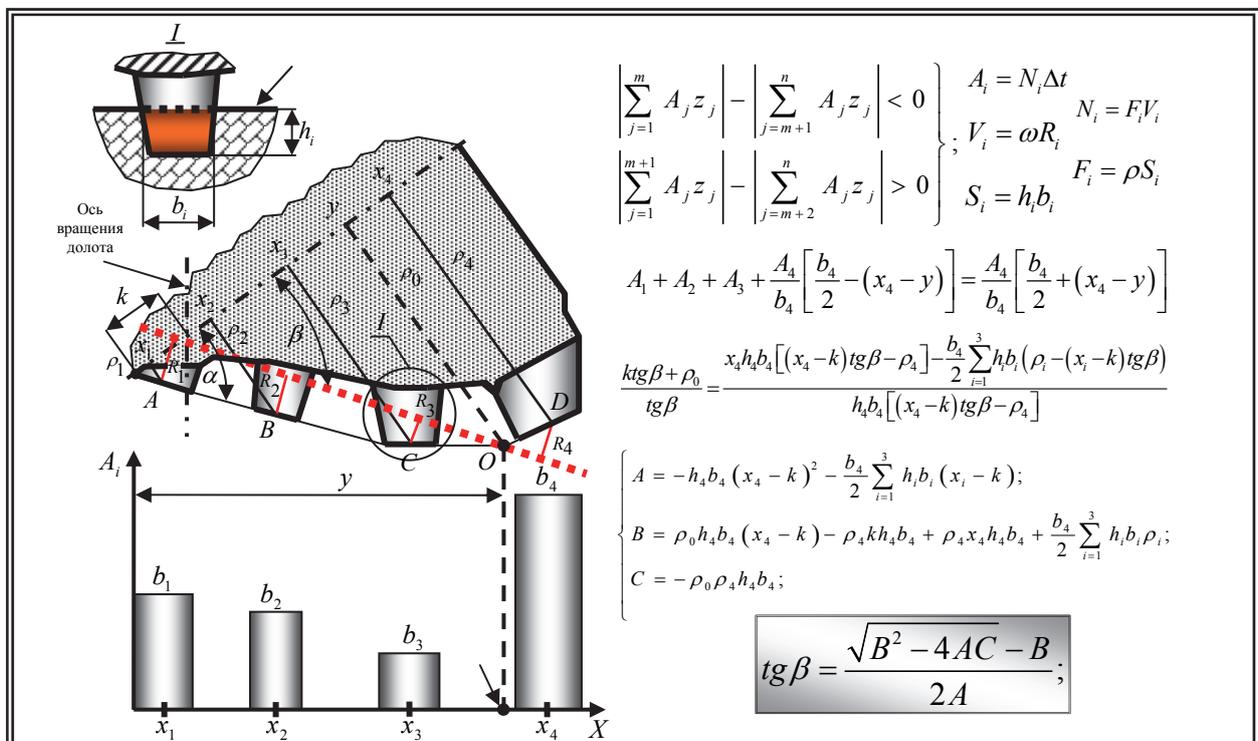


Рисунок 3 – Методика определения положения мгновенной оси вращения шарошки ШБИ

Проведенные исследования позволили установить, что для того чтобы повысить эффективность работы ШБИ при бурении мягких, не склонных к образованию забойной рейки горных пород за счет обеспечения максимального объема разрушаемой породы каждым зубом ведомых венцов его вооружения, необходимо, чтобы величины проскальзывания зубьев шарошек находилась в пределах (рисунок 4):

$$\Delta_{\beta} = (0,9 \div 1,1)R \left( 2 \sin \beta - \frac{\pi\beta}{180} \right); \Delta_{\beta} = (0,9 \div 1,1)R \left( \frac{\pi\beta}{180} - \frac{2}{3} \sin \beta \right); \quad (1)$$

а так же установить, что для повышения эффективности работы вооружения ШБИ за счет увеличения объема разрушенной породы за весь цикл работы инструмента работающего в режиме пробуксовки вооружения, с одновременным качественным выравниванием поверхности забоя, необходимо чтобы величина проскальзывания зубьев шарошек находилась в пределах:

$$\Delta_{\beta} = (0,95 \div 1,05)R \left( \frac{\pi\beta}{180} - \frac{1}{2} \sin \beta \right); \quad (2)$$

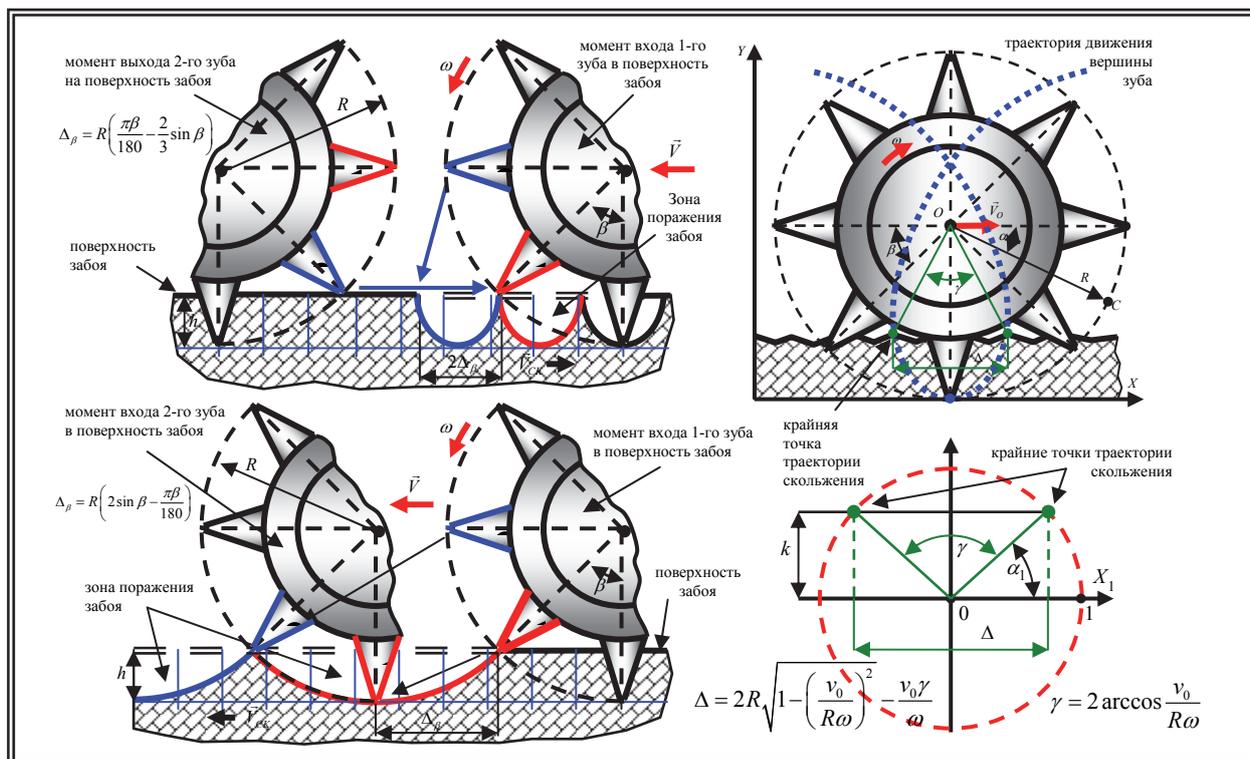


Рисунок 4 – Исследование проскальзывания по вертикали зубчатого вооружения шарошек ШБИ по забою

Проектирование и изготовление новых конструкций зубчатого вооружения шарошек с учетом этих параметров позволит повысить эффективность работы ШБИ, за счет увеличения механической скорости бурения и проходки на инструмент и снижения стоимости бурения.

Бурение стволов и скважин больших диаметров способом РТБ осуществляется при помощи специальных забойных агрегатов, состоящих из нескольких

жестко соединенных траверсами в один ряд и одновременно работающих турбобуров, оснащенных ШД. Вращение агрегата РТБ в большинстве случаев происходит самостоятельно, за счет сил реакции забоя, возникающих вследствие работы ШД, и не требует дополнительного использования ротора буровой установки. В результате шарошечные долота с небольшими по отношению к размеру ствола диаметрами целиком обрабатывают всю поверхность забоя большого диаметра

С целью повышения эффективности бурения скважин большого диаметра способом РТБ, за счет улучшения качества бурильного инструмента были изучены условия кинематического взаимодействия вооружения шарошек с забоем в данных условиях бурения (рисунок 5).

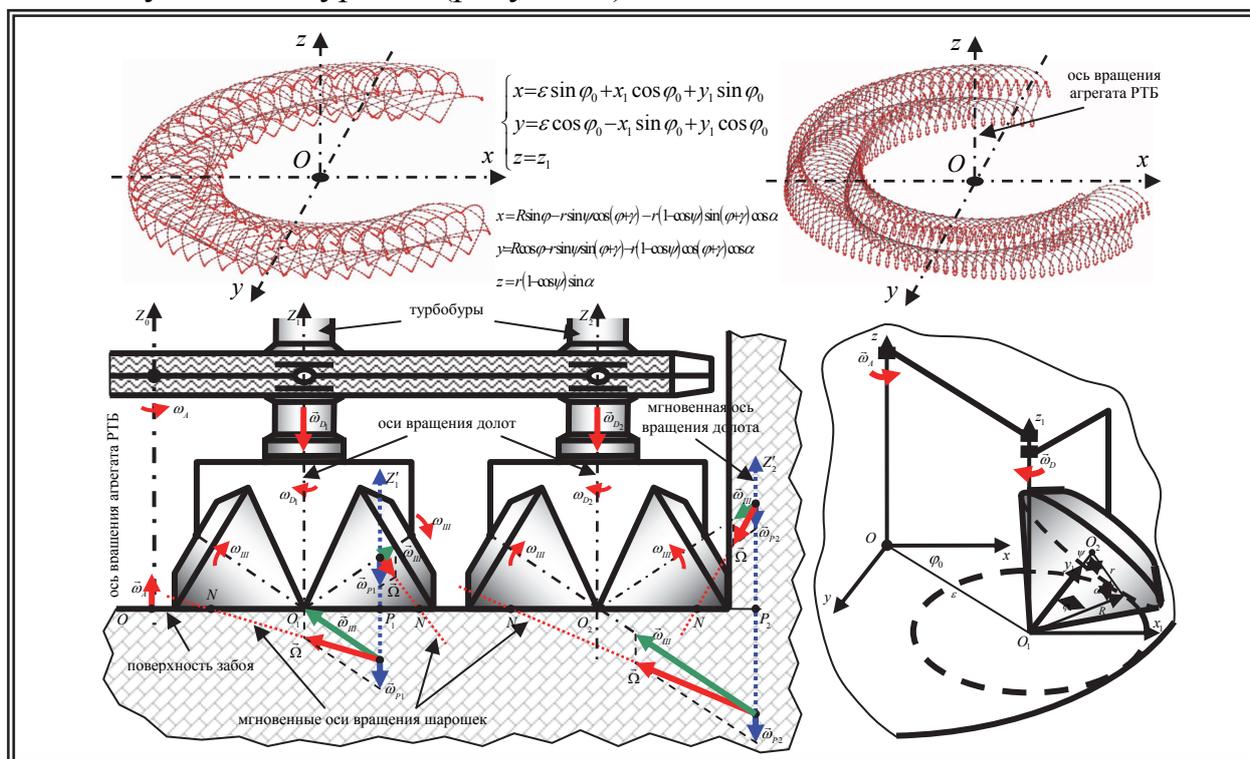


Рисунок 5 – Математическое моделирование процесса «перекатывания» шарошки по забою в процессе работы ШБИ в составе агрегата РТБ

Проведенное на основе математического моделирования исследование кинематики ШД в процессе его работы в составе агрегата РТБ позволило установить, что зубья вооружения ШБИ, перемещаются по сложной траектории движения, с постоянно меняющимся во времени направлением и величиной проскальзывания, зависящими от положения шарошки относительно оси и направления вращения агрегата. А также в результате проведенных расчетов было установлено, что при работе ШД, зубья вооружения которого распределены равномерно и одинаково загружены по всем венцам шарошек, реакция забоя приводится к паре сил, определяющих величину вращающего момента на ШД.

В третьей главе представлены результаты исследований силового взаимодействия КЗВ ШБИ с забоем.

Изучение факторов, влияющих на эффективность разрушения мягких и средних пород зубчатым вооружением ШБИ, позволило установить, что работа ведомых венцов шарошек, работающих с проскальзыванием вооружения, подобна работе цилиндрических фрез, и, соответственно, многие из конструктивных особенностей геометрических параметров рабочих поверхностей цилиндрической фрезы, способствующих повышению эффективности ее работы, могут быть использованы при создании новых конструкций зубчатого вооружения ШБИ.

Исследование процесса силового взаимодействия зубьев вооружения шарошек с забоем позволило установить, что придание зубьям ведомых венцов шарошек ШБИ, работающих в режиме проскальзывания вооружения, асимметричной формы с наклонными площадками притупления позволяет значительно снизить энергоемкость процесса разрушения породы и одновременно уменьшить нагрузки, действующие на зубчатое вооружение и другие элементы ШБИ. (рисунок 6).

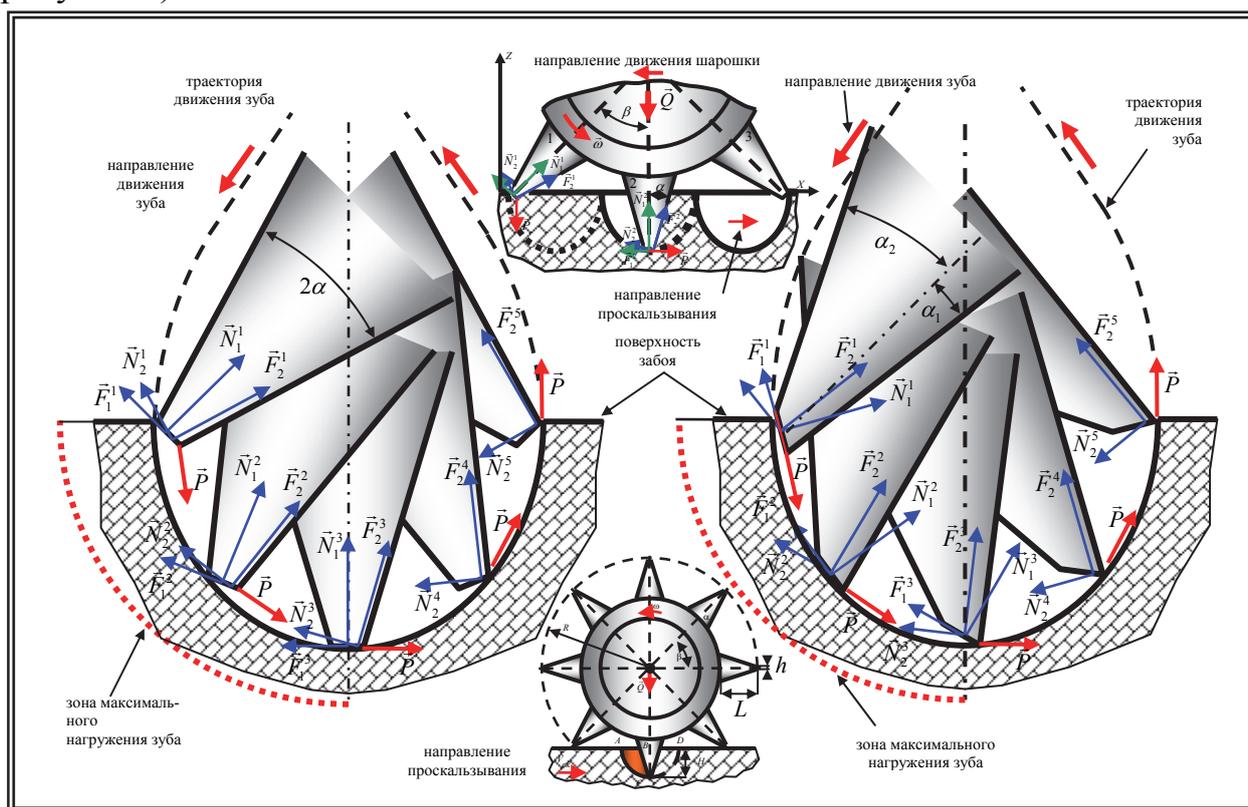


Рисунок 6 – Исследование силового взаимодействия зубьев вооружения шарошек с забоем

Проведенные исследования процесса работы ШБИ при бурении мягких и средних пород позволили установить, что его шарошки «перекатываются» по забою со скольжением, поэтому должны оснащаться геометрией зубчатого вооружения, позволяющей обеспечивать зубьям шарошек такие абсолютные и от-

носительные скорости, а также углы между направлениями равнодействующих нормальных сил и осевой нагрузкой на инструмент, при которых среднее значение отношения абсолютной и переносной скоростей для каждой шарошки ШБИ было бы наибольшим. А также установлено влияние размеров, расположения и разнонаправленности зубьев вооружения на равномерность распределения крутящего момента по всем шарошкам ШБИ (рисунок 7.1 и 7.2).

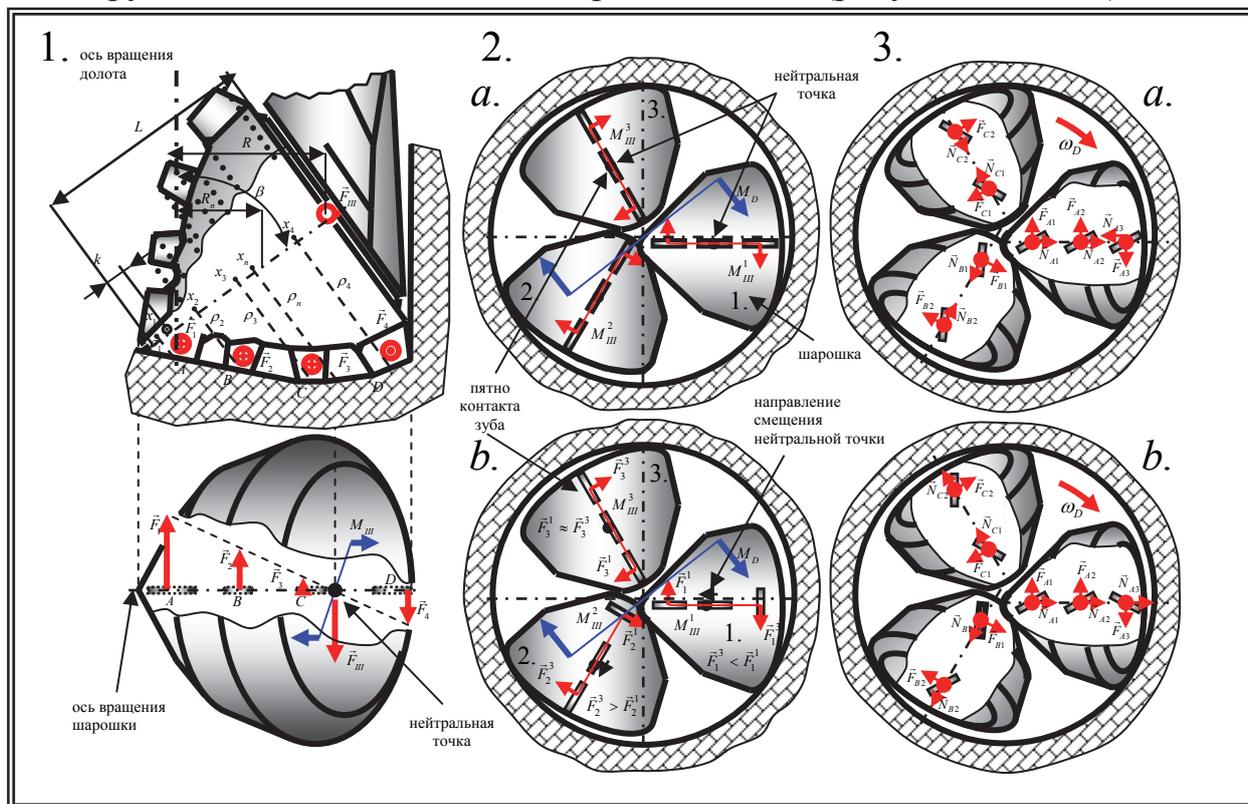


Рисунок 7 – Исследование влияния отклоняющих и стабилизирующих сил возникающих при работе ШБИ с косозубым вооружением

В процессе работы ШБИ практически всегда существует вероятность отклонения инструмента от заданного направления бурения. Как правило, это связано с возникновением, по той или иной причине, отклоняющего усилия на ШБИ. Это обстоятельство также приводит и к увеличению износа опорных узлов ШБИ вследствие воздействия на них дополнительных осевых нагрузок, связанных с разрушением горной породы за счет проскальзывания зубчатого вооружения по поверхности забоя (рисунок 7.3).

С целью минимизации воздействия отклоняющих сил на ШБИ и повышения эффективности его работы, за счет оптимизации удаления шлама из зоны работы зубьев вооружения шарошек и обеспечения проводки скважины строго в требуемом направлении, а также увеличения ресурса опорных узлов, были предложены и изучены две основные конструктивные схемы геометрии КЗВ: однонаправленная и разнонаправленная.

По первому варианту, когда все зубья в рамках одной шарошки направлены в одну сторону, добиться повышения эффективности работы ШД путем обеспечения проходки скважины по заданному направлению можно только в том случае, если каждая шарошка будет оснащена КЗВ, ориентированным таким образом, чтобы осевая нагрузка на опорный узел, возникающая вследствие воздействия сил сопротивления разрушению породы на КЗВ одного из венцов шарошки, полностью компенсировалась одинаковой по величине и прямо противоположной по знаку осевой нагрузкой, возникающей при одновременной работе оставшихся венцов этой шарошки

Таким образом, суммарные осевые усилия на всех шарошках ШБИ от соответствующих сил сопротивления разрушению горной породы, вызываемых усилиями по ее разрушению разноориентированного КЗВ (рисунок 7.3.а), проскальзывающего по поверхности забоя, должны соотноситься между собой следующим образом:  $N_A = N_{A1} + N_{A2} + N_{A3} = 0$ ;  $N_B = N_{B1} + N_{B2} = 0$ ;  $N_C = N_{C1} + N_{C2} = 0$ ;

По второму варианту, когда зубья различных венцов в рамках одной шарошки могут быть одновременно направлены как в одну, так и в другую сторону (рисунок 3.12), добиться повышения эффективности работы ШБИ за счет обеспечения проходки скважины по требуемому направлению можно только в том случае, если каждая шарошка будет оснащена КЗВ, ориентированным таким образом, чтобы все суммарные осевые нагрузки, возникающие вследствие воздействия сил сопротивления разрушению породы при проскальзывании КЗВ по забою, действующие на каждый опорный узел, были одинаковыми по величине и направлению (к центру или от центра ШБИ) т.е. удовлетворять следующему равенству:  $N_A = N_B = N_C$ ; где  $N_A = N_{A1} + N_{A2} + N_{A3}$ ;  $N_B = N_{B1} + N_{B2}$ ;  $N_C = N_{C1} + N_{C2}$ ;

Обеспечение данных условий, может быть достигнуто за счет использования множества конструкторских решений: подбором необходимого шага и количества зубьев на венцах с КЗВ; использованием различных сочетаний разноориентированного КЗВ как по венцам отдельно взятой шарошки, так и в их совокупности в рамках ШБИ; варьированием углов наклона и ширины зубьев, каждого отдельного венца каждой шарошки и т. д.

Проведенное исследование отклоняющих и стабилизирующих сил, возникающих в процессе работы КЗВ ШБИ, позволило выявить некоторые особенности работы данного вида вооружения в отличие от прямозубого вооружения (ПЗВ). На этой основе были разработаны технические решения, дающие возможность в значительной степени компенсировать воздействия дополнительных отклоняющих усилий, возникающих при работе КЗВ, которые позволяют обеспечить хорошую управляемость инструмента при проходке скважин по требуемому направлению, а также повысить ресурс работы опорных узлов ШБИ.

Исследование процесса взаимодействия зубчатого вооружения с забоем при работе ШД в составе агрегата РТБ позволило установить, что в процессе разрушения породы забоя наибольшее участие принимает зубчатое вооружение периферийных или калибрующих венцов шарошек, тем не менее вершинные и основные венцы тоже активно участвуют в данном процессе. Все зубья вооружения ШД совершают значительно большие проскальзывания по забою, чем при обычном способе бурения, с постоянно меняющимся направлением и величиной скольжения. А также математически было доказано, что оснащение шарошек ШД разнонаправленным КЗВ дает возможность значительно увеличить площадь поражения забоя, особенно в местах наибольшего проскальзывания шарошек в направлении вращения агрегата РТБ (рисунок 8).

Однако для того чтобы обеспечить максимальную эффективность работы КЗВ в условиях РТБ, необходимо при проектировании вооружения обеспечить определенную ориентацию зубьев различных венцов вооружения (рисунок 8).

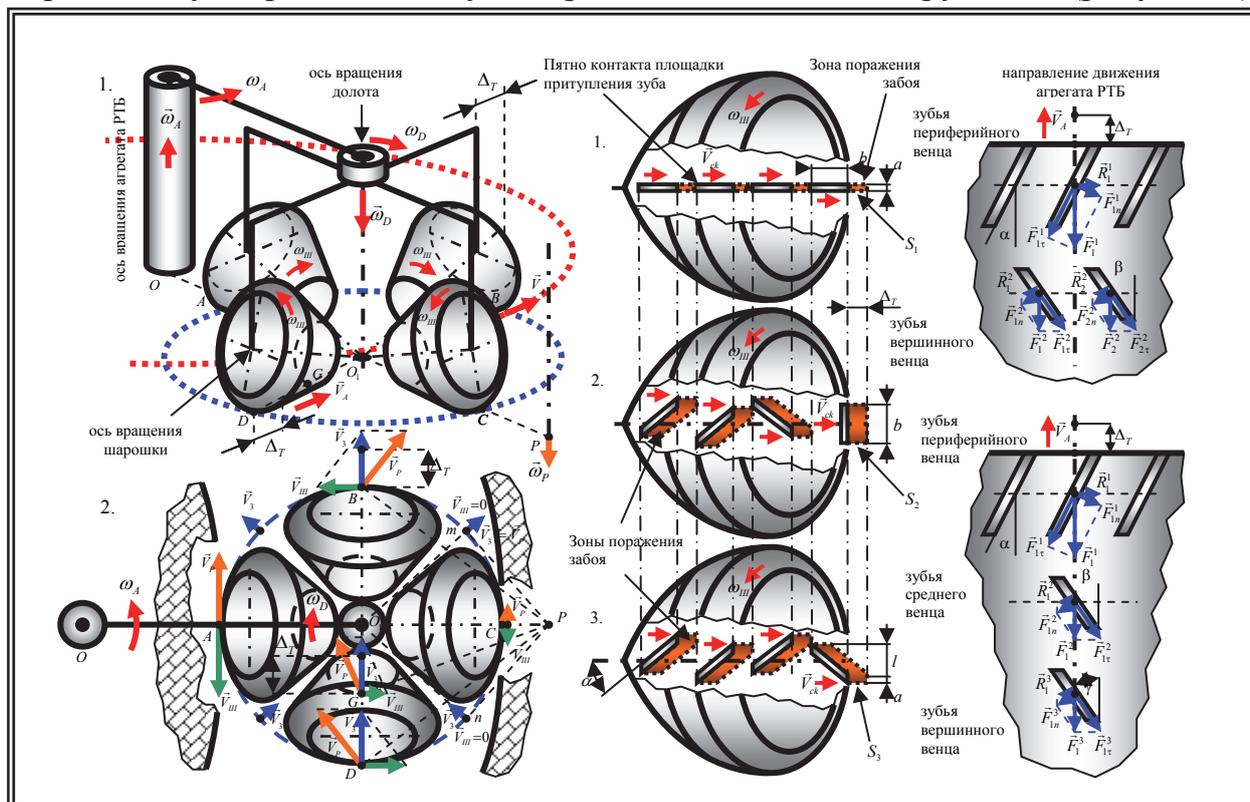


Рисунок 8 – Исследование взаимодействия зубьев вооружения шарошек с забоем в процессе работы ШБИ в составе агрегата РТБ

Чтобы предотвратить дополнительный проворот шарошек от воздействия этих сил и тем самым обеспечить эффективную работу набегающей и сбегаящей граней зубьев при их продольном перемещении, необходимо, чтобы выполнялось следующее условие:

- для 1-го варианта расположения зубьев:

$$M_{K1}^1 \approx M_{K1}^2 + M_{K2}^2; F_1^1 r_1^1 \cos \alpha \sin \alpha \approx F_1^2 r_1^2 \cos \beta \sin \beta + F_2^2 r_2^2 \cos \beta \sin \beta; \quad (5)$$

- для 2-го варианта расположения зубьев:

$$M_{K1}^1 \approx M_{K1}^2 + M_{K1}^3; F_1^1 r_1^1 \cos \alpha \sin \alpha \approx F_1^2 r_1^2 \cos \beta \sin \beta + F_1^3 r_1^3 \cos \gamma \sin \gamma; \quad (6)$$

Реализация данного условия в геометрии вооружения шарошек позволяет повысить эффективность работы набегающих и сбегающих граней зубьев инструмента в моменты их одновременного взаимодействия с породой забоя, в процессе проскальзывания зубчатого вооружения ШД, вызванного вращением агрегата.

**Четвертая глава** посвящена исследованию влияния геометрии зубьев и армированной зоны на прочность вооружения ШБИ.

Разработана методика расчета максимальных изгибающих нагрузок воздействующих на зубья ШБИ, работающего в отсутствие проскальзывания его вооружения.

Проведен сравнительный анализ статической прочности прямозубого и косозубого поверхностно-армированного вооружения, позволивший установить, что при одинаковых нагрузках, напряжения, возникающие в косозубом вооружении (с углом наклона зубьев к образующей шарошки  $25^0$ ) в самом опасном сечении, ниже в 2 раза, чем в аналогичном сечении прямозубого вооружения. В связи с этим оснащение шарошек косозубым вооружением дает возможность создавать буровой инструмент с меньшими углами заострения зубьев, при одновременном сохранении их прочности, что позволяет улучшить внедряемость вооружения в поверхность забоя и способствует увеличению основных показателей бурения, таких как: механическая скорость бурения и проходки на инструмент.

Исследование напряженно-деформируемого состояния центробежно-объемно-армированного (ЦОА) КЗВ ведущих венцов ШБИ позволило установить, что работа ведущих венцов ЦОА КЗВ при бурении средних пород характеризуется неравномерностью распределения нагрузки между смежными зубьями КЗВ, одновременно разрушающими забой. При этом НДС зубьев ЦОА КЗВ характеризуется следующей зависимостью: наибольшие напряжения возникают в вершинной части зуба с противоположной стороны углу его наклона по отношению к поверхности забоя и постепенно и плавно уменьшаются в направлении основания зуба.

Разработана методика расчета максимальных изгибающих нагрузок, воздействующих на зубчатое вооружение ведомых венцов ШБИ, позволившая установить, что применение асимметричного зубчатого вооружения для оснащения ведомых венцов шарошек, с одновременным упрочнением зубьев ШБИ центробежно-объемно-армированным композиционным материалом (Ц-О-АКМ) слоем под набегающей гранью, дает возможность существенно уменьшить как средние, так и максимальные напряжения, которые возникают в зубьях

ях вооружения в процессе работы ШБИ. В свою очередь, меньшая нагруженность армированной зоны, которая в значительной степени и определяет долговечность зубчатого вооружения, даст возможность повысить и эффективность работы ШБИ в целом.

Сравнительный анализ НДС симметричных и асимметричных зубьев центробежно-объемно-армированного КЗВ ведомых венцов ШБИ позволил установить, что работа симметричного и асимметричного ЦОА КЗВ характеризуется неравномерностью распределения нагрузки между смежными зубьями КЗВ, одновременно разрушающимися забой. При этом неравномерность нагружения, возникающая в асимметричном вооружении, незначительно выше, а величины напряжений существенно ниже, чем у вооружения оснащенного симметричными зубьями. НДС для обоих типов зубьев ЦОА КЗВ характеризуется следующей зависимостью: наибольшие напряжения возникают в вершинной части зуба с противоположной стороны углу его наклона по отношению к поверхности забоя и постепенно и плавно уменьшаются в направлении основания зуба.

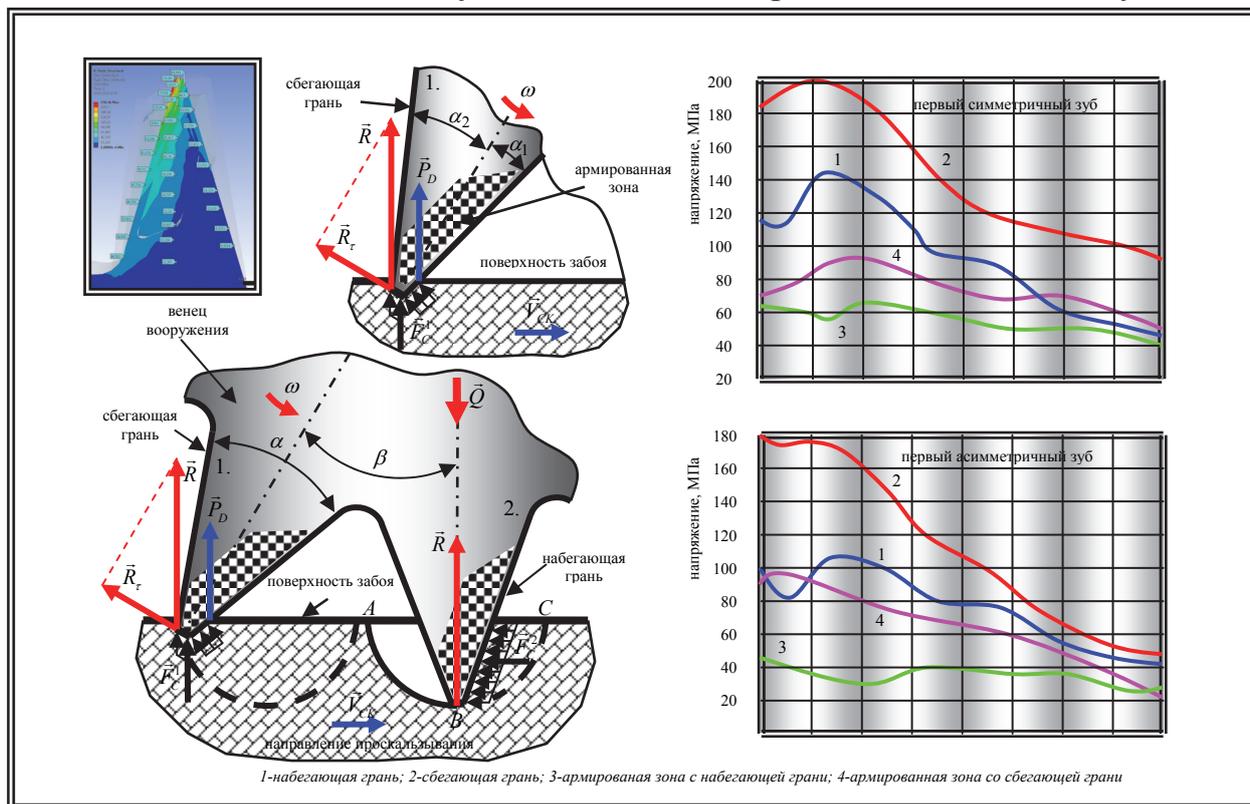


Рисунок 9 – Исследование напряженно деформируемого состояния зубьев ШБИ

Проведенные математическое моделирование и экспериментальные исследования позволили установить взаимовлияние скорости вращения литейной формы и углов косозубости и асимметрии зубьев вооружения ШБИ в процессе ЦОА на распределение частиц армирующего твердосплавного компонента по ширине ЦОА КЗВ (рисунок 10).

Проведенный расчет геометрических параметров зоны армирования, обеспечивающей повышенную стойкость зубьев вооружения шарошек к ударным нагрузкам, позволил определить: толщину демпферного слоя основного металла над армированной зоной со стороны набегающей грани 0,4-1,0 мм и соотношение объемов армированного слоя и рабочей части зуба центробежно-объемно-армированного вооружения  $V_2 = (0,25 \div 0,35)V_1$ .

Разработанная новая методика определения модуля упругости армирующего композиционного материала, используемого для упрочнения вооружения шарошечного бурового инструмента, позволила определить значения модулей упругости центробежно-объемно-армированного композиционного материала: с сорока процентной концентрацией твердого сплава  $E_{40\%} = 2,643 \cdot 10^5$  МПа; с шестидесяти процентной концентрацией твердого сплава  $E_{60\%} = 2,813 \cdot 10^5$  МПа.

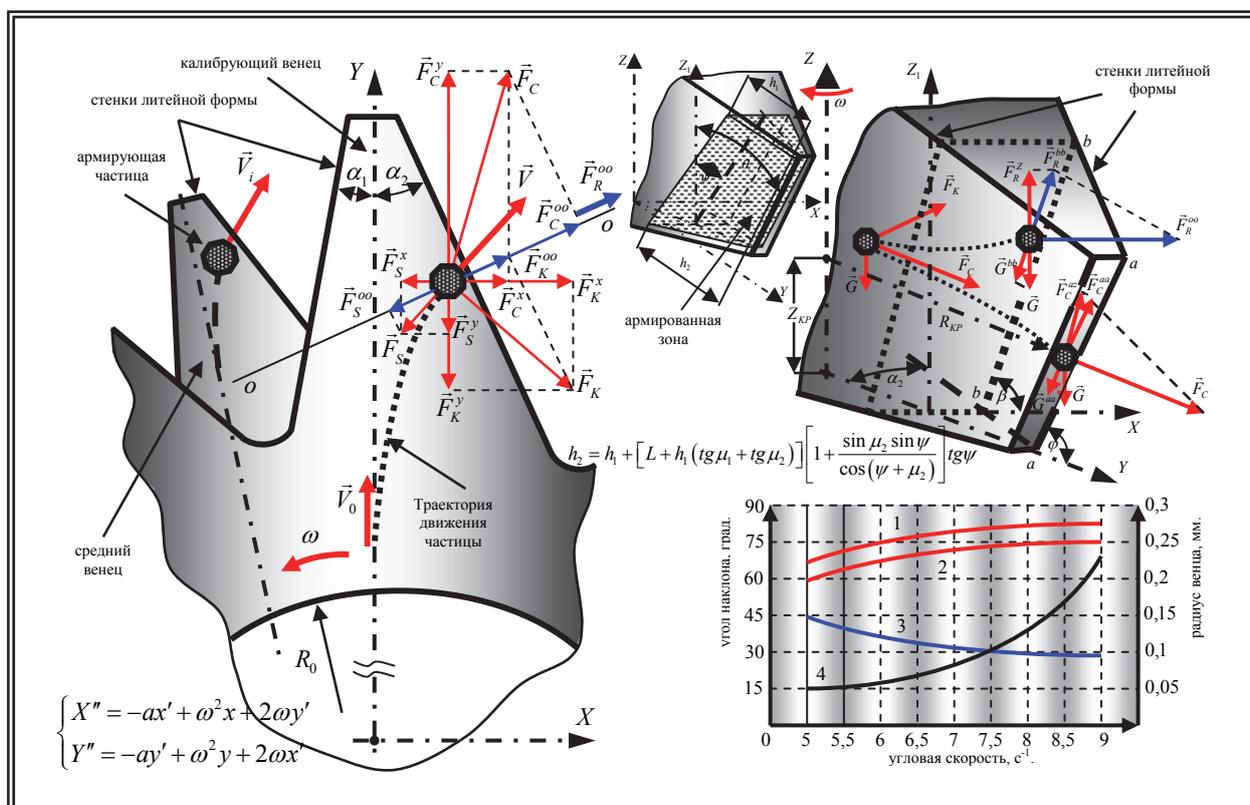


Рисунок 10 - Математическое моделирование процесса центробежного

- 1, 2. от угла наклона зубчатых элементов вооружения к горизонтальной плоскости  $\beta$ .
3. от угла асимметрии зубчатых элементов вооружения  $\alpha_2$ .
4. от расстояния от центра вращения литейной формы  $r$ .

Разработанная новая методика определения допустимого напряжения при изгибе армирующего композиционного материала, используемого для упрочнения вооружения ШБИ, позволила определить значения допустимых напряжений при изгибе центробежно-объемно-армированного композиционного

материала: с сорока процентной концентрацией твердого сплава:  $[\sigma]=1,401$  МПа; с шестидесяти процентной:  $[\sigma]=1,394$  МПа.

Разработана экспресс методика расчета на прочность стального армированного зубчатого вооружения по допускаемым напряжениям изгиба, основанная на методе приведенного поперечного сечения, позволяющая, не только оперативно рассчитывать геометрию зубьев вооружения, но и корректировать технологические параметры режима бурения, исходя из прочностных характеристик вооружения ШБИ.

Определение циклической прочности ЦОА КЗВ шарошечного бурового инструмента, проведенное на основе теоретических и экспериментальных исследований показало хорошую сходимость полученных результатов, тем самым, доказав возможность проектирования геометрических параметров вооружения, включая форму армированной зоны, путем теоретических расчетов циклической прочности вооружения ШБИ.

С использованием математического моделирования была разработана методика определения геометрических характеристик зубчатого вооружения ШБИ, дающая возможность значительно упростить процесс разработки и проектирования геометрических параметров зубчатого вооружения ШБИ. Если зафиксировать значение одного из главных параметров процесса бурения (осевая нагрузка на инструмент), можно с достаточной степенью точности определить наиболее рациональные величины угла заострения и шага зубьев, позволяющих обеспечить повышенную эффективность работы зубчатого вооружения ШБИ при бурении всех основных типов горных пород (рисунок 11).

**Пятая глава** посвящена исследованиям, направленным на совершенствование системы промывки ШБИ с КЗВ.

Анализ конструкций существующих промывочных узлов и причин потери ими работоспособности, позволил установить, что одной из них является ненадежность фиксации гидромониторных насадок в теле шарошечного бурового инструмента. В связи с этим были разработаны и запатентованы несколько конструкций, позволяющих существенно увеличить надежность систем промывки ШБИ.

На основе проведенных исследований по изучению процесса истечения струи промывочной жидкости из гидромониторных насадок с внутренним асимметричным поперечным сечением было установлено, что путем изменения геометрии внутреннего поперечного сечения гидромониторных насадок, можно не только влиять на форму, но и существенно увеличить скорость истечения в средней части струи промывочной жидкости. Что в свою очередь, дает возможность повысить не только эффективность работы гидромониторных узлов, но и систем промывки ШБИ в целом (рисунок 12).

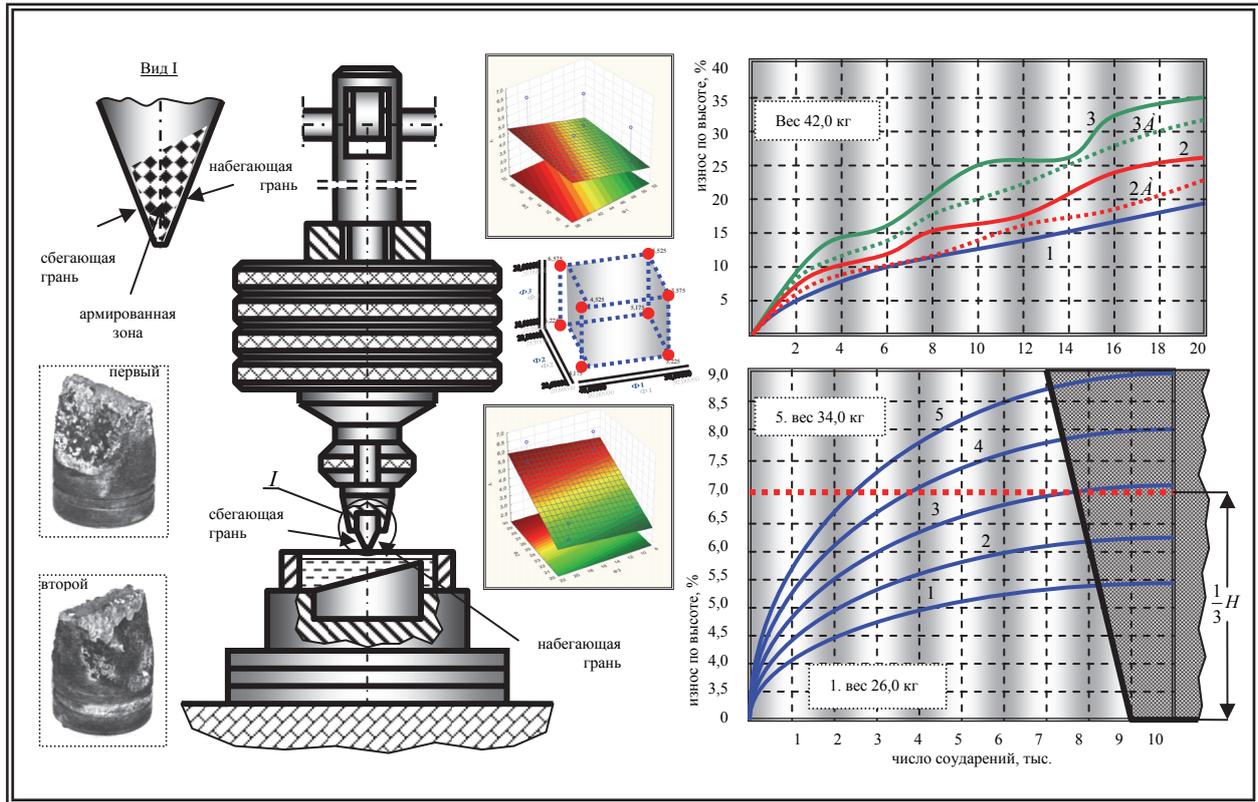


Рисунок 11 – Методика проектирования зубчатого вооружения ШБИ на основе математического моделирования

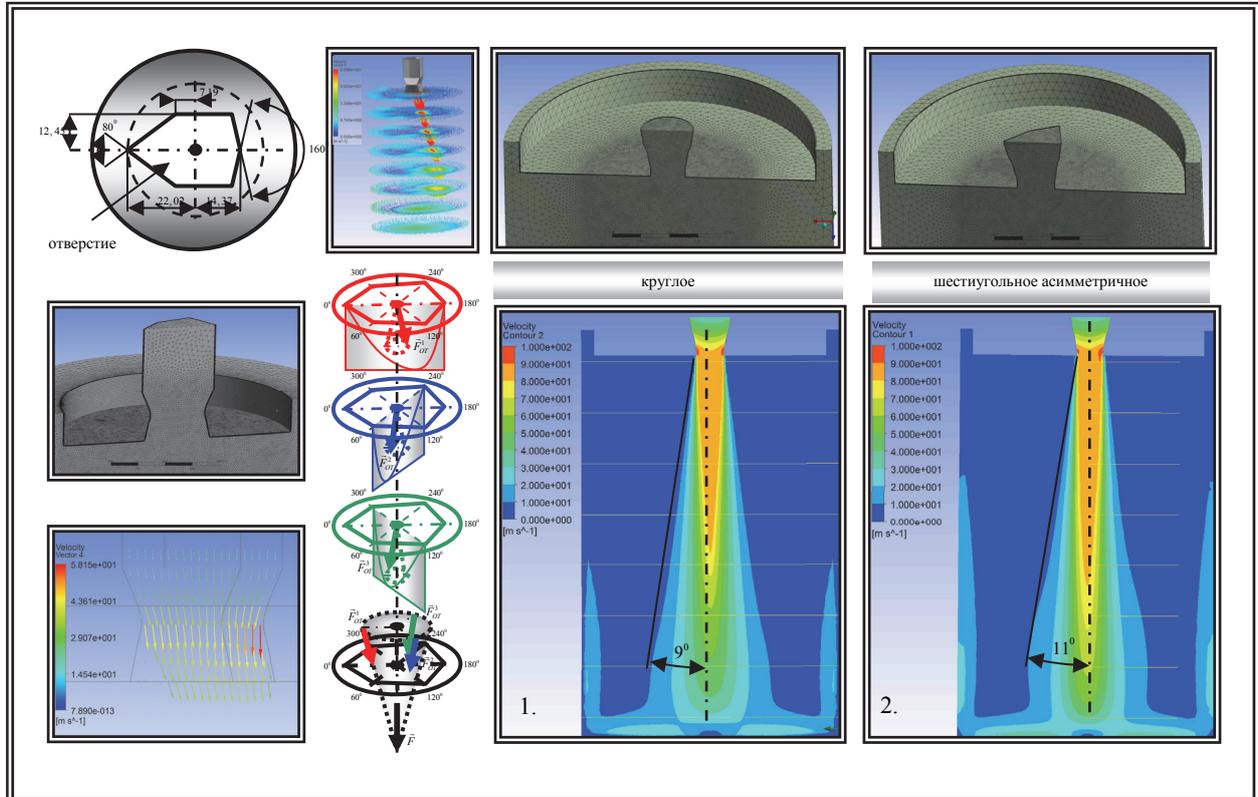


Рисунок 12 – Исследование истечения струи из фасонных гидромониторных насадок

Исследование процессов истечения струй промывочного агента (жидкости) из гидромониторных насадок диффузорного и конфузорного типов с обычным круглым и новым шестигранным асимметричным внутренним поперечным сечением, при помощи компьютерного моделирования в системе Ansys Fluent, показало, что использование насадок новой конструкции позволяет увеличить зону (ядро) постоянных скоростей струи на 25-30%.

Впервые были проведены исследования влияния вращающихся зубьев вооружения шарошек ШБИ на гидравлическую среду призабойной зоны. В ходе лабораторных экспериментов и математического моделирования в программе Ansys Fluent было установлено, что сила воздействия КЗВ на гидравлическую среду существенно зависит от скорости вращения венцов шарошек, угла наклона и шага зубьев вооружения (рисунок 13).

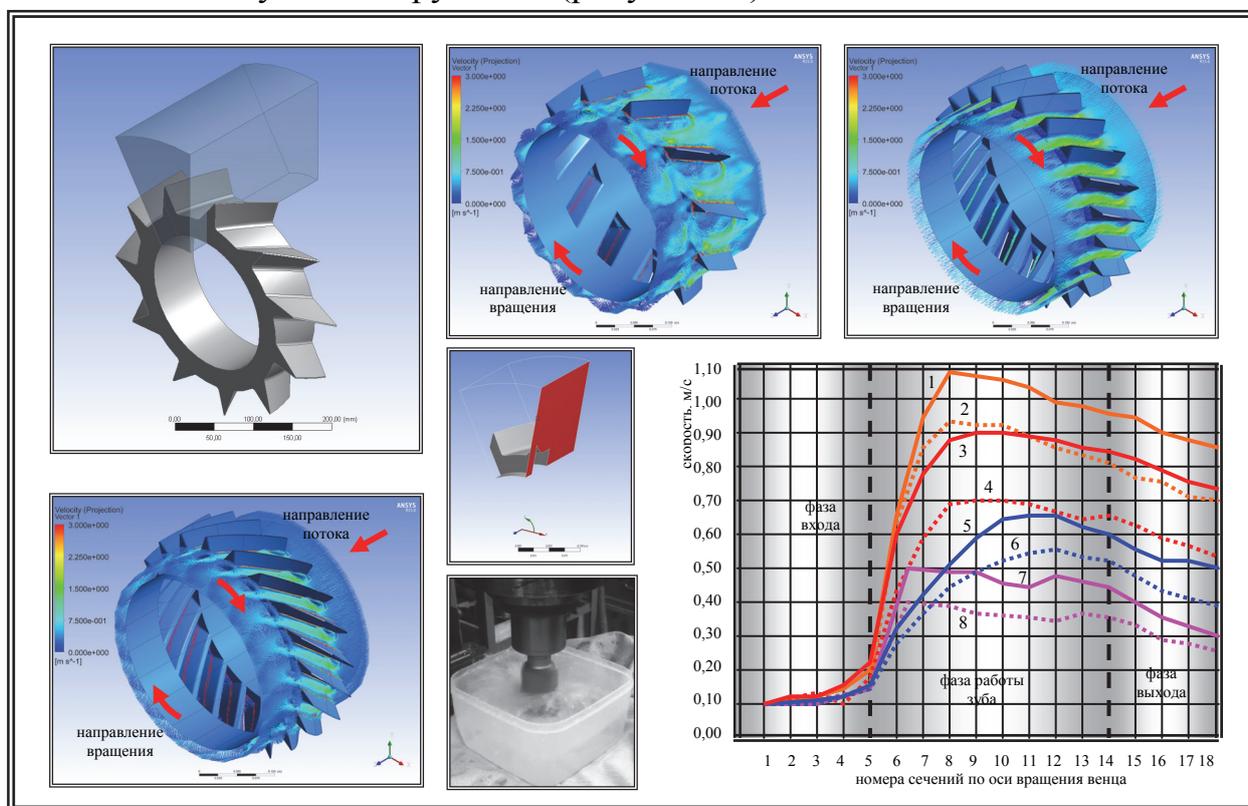


Рисунок 13 – Исследование воздействия косозубого вооружения на гидравлическую среду забоя

1 - КЗВ «С» (косозубость  $45^{\circ}$ ) при 600 об/мин; 2 – КЗВ «С» (косозубость  $45^{\circ}$ ) при 300 об/мин; 3 - КЗВ «С» (косозубость  $25^{\circ}$ ) при 600 об/мин; 4 - КЗВ «С» (косозубость  $25^{\circ}$ ) при 300 об/мин; 5 - КЗВ «М» (косозубость  $25^{\circ}$ ) при 600 об/мин; 6 - КЗВ «М» (косозубость  $25^{\circ}$ ) при 300 об/мин; 7 - прямозубое вооружение «С» (угол наклона  $0^{\circ}$ ) при 600 об/мин; 8 – прямозубое вооружение «С» (угол наклона  $0^{\circ}$ ) при 300 об/мин

Проведенные исследования истечения промывочного агента (жидкости) из гидромониторных насадок с различной геометрией внутреннего поперечного сечения, позволили установить, что с помощью изменения геометрических параметров внутреннего поперечного сечения насадок, можно управлять направлением и силой гидравлического потока без существенных конструктивных из-

менений как самого узла, так и бурового инструмента в целом. На этой основе были разработаны: новые конструктивные схемы ШБИ.

Таким образом, результаты проведенных исследований, показали, что использование КЗВ при оснащении ШБИ может значительно повысить эффективность его работы, за счет того, что данный тип вооружения обладает лучшей работоспособностью в условиях около нулевых и малых скоростей потока промывочной жидкости и препятствует образованию различных сальников и зон с повышенной концентрацией шлама.

**В шестой главе** приводятся результаты работы по разработке новых конструктивных схем ШБИ, а так же результаты промысловых испытаний новых конструкций ШБИ с КЗВ, созданных на основе исследований проведенных в рамках диссертационной работы.

Главным преимуществом КЗВ ШБИ, в отличие от широко распространенного ПЗВ, является возможность управлять направлением эвакуации разрушенной породы не только на поверхности забоя, но и по всей зоне работы инструмента включая и его надшарошечное пространство. При этом важной задачей по совершенствованию процесса очистки инструмента и призабойной зоны в целом, является создание условий не допускающих возникновение противоположных движений между направлениями механической эвакуацией шлама зубчатым вооружением шарошек и основными гидравлическими потоками промывочной жидкости (рисунок 14).

На основе этого принципа были разработаны новые конструктивные схемы ШД с центральной промывкой и однонаправленным КЗВ, оснащенная центральной гидромониторной насадкой диффузорного типа с внутренним асимметричным шестигранным поперечным сечением и с боковой (симметричной и асимметричной) гидромониторной промывкой и разнонаправленным КЗВ, оснащенная боковыми гидромониторными насадками конфузорного типа с внутренним асимметричным шестигранным поперечным сечением, обеспечивающих однонаправленность движения основных потоков промывочной жидкости и механической эвакуации шлама зубьями вооружения инструмента.

Разработана новая асимметричная форма вооружения с наклонными площадками притупления зубьев ведомых венцов ШБИ, работающих в режиме пробуксовки или подтормаживания, которая позволила значительно снизить усилия необходимые на преодоление сопротивления породы при внедрении в нее элементов вооружениядвигающихся в пространстве по сложной траектории, за счет оптимизации углов заострения вершинных частей зубьев по отношению к направлению их движения, особенно при входе в поверхность забоя.

В процессе бурения нефтегазовых скважин ШБИ довольно часто возникает проблема образования зубчатой рейки на поверхности забоя, которая ока-

зывает отрицательное влияние на основные показатели этого процесса, т. е. механическую скорость бурения и проходку на инструмент. Суть проблемы состоит в том, что спустя некоторое время с начала работы ШБИ зубья его вооружения в процессе разрушения породы забоя формируют на нем шероховатую поверхность, обратную геометрии зубчатого вооружения ШБИ. В результате, вместо дальнейшего успешного разбуривания породы зубчатым вооружением ШБИ его шарошки осуществляют перекатывание по ответной зубчатой рейке, сформировавшейся на поверхности забоя, как шестерни механических зубчатых передач. При этом, как правило, происходит интенсивное изнашивание сбегających или набегających рабочих граней зубчатого вооружения, а также тела шарошки, расположенного в межзубном пространстве ее вооружения. Формирование зубчатой рейки на поверхности забоя может начинаться как на начальной стадии приработки ШБИ, так и по истечении достаточно продолжительного времени бурения и связано с влиянием множества различных факторов. В подавляющем большинстве случаев образование забойной рейки в начале приводит к значительному уменьшению механической скорости бурения и в конечном итоге к полному отсутствию проходки как таковой.

В связи с этим, была разработана конструктивная схема ШБИ с КЗВ, исключающая возможность появления рейкообразования при его работе (рисунок 15). Конструкция основана на трех основных технических решениях:

- использование разнонаправленного вооружения ведущих венцов на всех трех шарошках.
- использование различных шагов зубчатого вооружения ведущих венцов на каждой из трех шарошек,
- использование кинематических характеристик ведущих венцов шарошек, с целью устранения эффекта рейкообразования.

На этой основе было разработано несколько вариантов геометрии КЗВ шарошек, предотвращающих образование забойной рейки в течение всего цикла работы ШБИ.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом имеется большое количество конструкций расширителей шарошечного типа, которые главным образом различаются друг от друга типом вооружения, количеством шарошек и способами крепления с корпусом инструмента, т. е. с несменными или сменными шарошками. Однако не все эти конструкции в должной мере учитывают кинематику шарошек, работающих на более значительном удалении от оси вращения инструмента. В связи с этим было осуществлено исследование кинематики исполнительных органов шарошечных расширителей и высказаны рекомендации для проектирования геометрии как шарошек, так и их зубчатого вооружения данного вида бурового инструмента.

Очистка бурового инструмента и всей призабойной зоны является важным фактором при проходке стволов и скважин больших диаметров, в связи со значительным увеличением объемов разрушаемой породы. Например, объем шлама при бурении скважины диаметром 609 мм почти в четыре раза больше, чем при диаметре 304,8 мм.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности очистки зоны забоя, является оснащение ШБИ новыми конструкциями КЗВ. Этот тип зубчатого вооружения ШБИ позволяет превращать все без исключения венцы шарошек в мини-шнеки, которые в областях с пониженными скоростями потока промывочного агента (жидкости), механическим путем эвакуируют шлам в требуемом для каждой конкретной схемы промывки направлении.

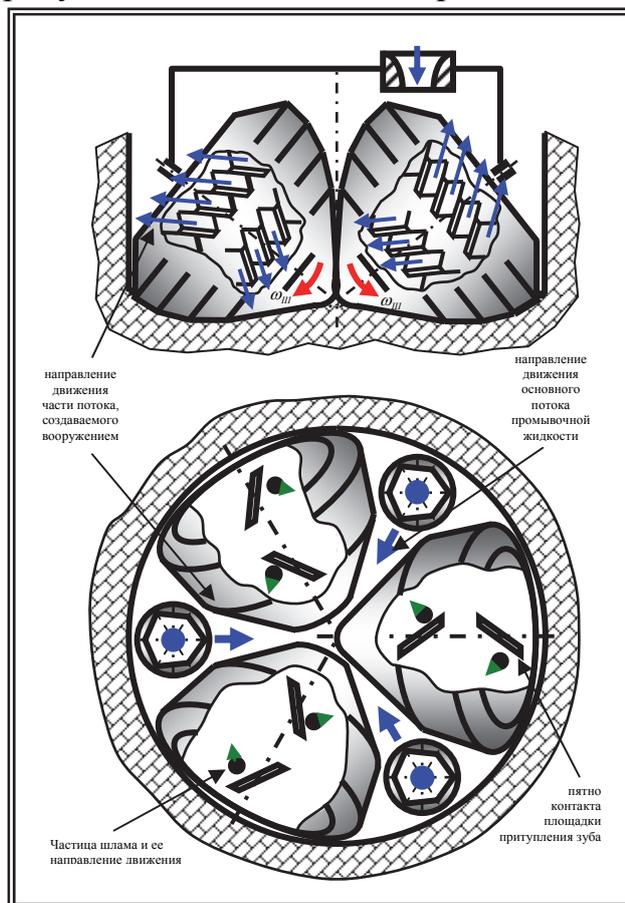


Рисунок 14 - Схема воздействия КЗВ шарошек на поверхность забоя и гидравлическую среду призабойной зоны

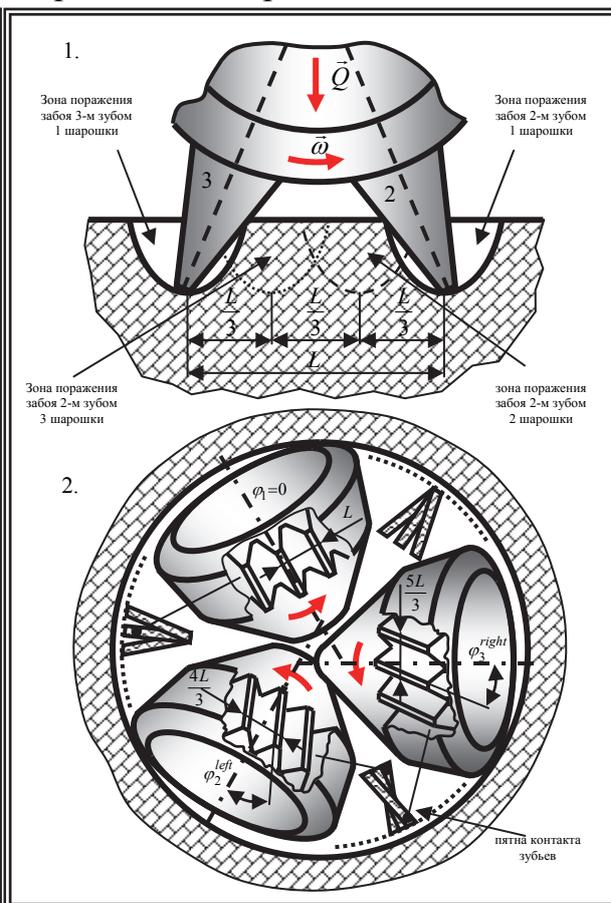


Рисунок 15 - Схема поражения забоя разнонаправленным зубчатым вооружением

На основе проведенных исследований была разработана конструктивная схема шарошечного расширителя, оснащенного КЗВ и специальной системой промывки, обеспечивающих повышение эффективности работы данного вида ШБИ.

Разработаны несколько новых конструктивных схем шарошечных долот для разбуривания пород различных категорий твердости способом РТБ, основ-

ными отличительными чертами которых, являются: КЗВ шарошек, нижняя образующая (или ее основная часть) каждой шарошки расположена перпендикулярно по отношению к оси вращения агрегата, т. е. образует поверхность плоского горизонтального забоя; угловая поверхность между образующей периферийного венца и калибрующего конуса шарошек, выполнена с таким расчетом, чтобы не только калибровать стенки скважины, но и успешно разрушать породу забоя.

Основной целью проведения промышленных испытаний опытных образцов является подтверждение работоспособности ШБИ, оснащенного КЗВ с различной геометрией, новой конструкцией центробежно-объемно-армированного косозубого асимметричного вооружения и новыми конструкциями гидромониторных промывочных узлов. А также осуществление сравнительного анализа, технико-экономических показателей бурения новых конструкций ШБИ с его серийными аналогами в реальных условиях бурения.

Испытания новых опытных образцов ШБИ в промысловых условиях, были проведены в соответствии со стандартной методикой (РД 39-2-754-82).

Новые конструкции центробежно-объемно-армированного КЗВ изготавливались на опытно-промышленном участке ЗАО «Завод экспериментальных машин» и ОАО «Сарапульский машзавод».

Опытные образцы гидромониторных промывочных узлов с асимметричным шестигранным внутренним поперечным сечением изготавливались на ЗАО «Проммашсервис».

Опытные образцы шарошечных буровых долот Ш490С-ЦВР-1 с центробежно-объемно-армированным КЗВ и Ш490ТЗ-ЦВР-9 с разнонаправленным твердосплавным вооружением были изготовлены на ОАО «Сарапульский машзавод».

Опытные образцы шарошечных буровых долот Ш295,3М-ЦГВ с разнонаправленным КЗВ, а так же режущие комплекты шарошечных буровых долот Ш295,3М-ЦГВ с однонаправленным и разнонаправленным КЗВ, предназначенные для оснащения шарошечных расширителей типа 6ШР-555М, были изготовлены на ОАО «Волгабурмаш».

Опытные образцы шарошечных расширителей 6ШР-555М с разнонаправленным КЗВ, были изготовлены на ЗАО «Проммашсервис» (рисунок 16).

Проведенные промышленные испытания показали следующее. Основные технико-экономические показатели бурения, такие как: проходка на долото, механическая скорость бурения и стойкость вооружения опытных долот Ш490С-ЦВР-1 превышают соответствующие показатели серийных аналогов Ш490С-ЦВР: по проходке на 46 %, по механической скорости бурения на 20 %.

Анализ результатов работы опытных П490С-ЦВР-1 и серийных долот П490 С-ЦВР свидетельствуют о том, что значительное увеличение проходки опытными долотами получено как за счет увеличения стойкости вооружения, так и увеличения механической скорости бурения.

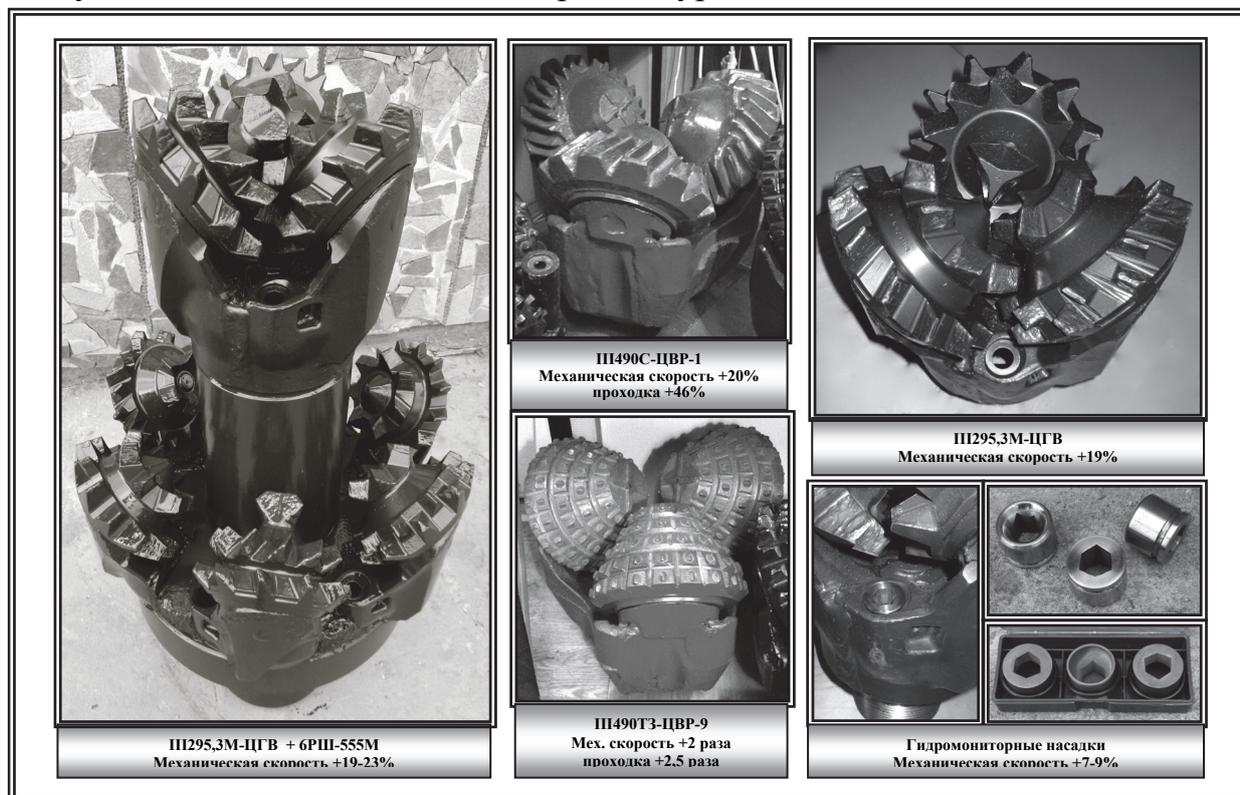


Рисунок 16 – Опытные образцы ШБИ с разноориентированным зубчатым вооружением

Промышленные испытания опытной партии шарошечных буровых долот П490Т3-ЦВР-9 в промышленных условиях подтвердили правильность конструкторских решений принятых на основе проведенных в работе исследований, установивших, что периферийный венец шарошек в условиях РТБ участвует не только в калибровании стенки ствола, но и в разрушении породы забоя, вершинные венцы не в меньшей степени участвуют в процессе углубления скважины. Экспериментальные долота П490Т3-ЦВР-9 с шарошками, оснащенными многовенцовым твердосплавным вооружением, вершинные венцы, которого образуют плоский забой, в сравнении с серийными долотами П490Т3-ЦВР позволили увеличить проходку и механическую скорость бурения более чем в 2 раза.

Испытания опытных образцов шарошечных буровых долот П295,3М-ЦГВ с разнонаправленным КЗВ по сравнению с базовой конструкцией серийных долот П295,3М-ЦГВ с ПЗВ показали увеличение механической скорости бурения в интервале 315-1300 м на 19 %, при одновременном увеличении проходки на долото на 2 %. При этом во всех случаях, поднятие инструмента осу-

ществлялось не в связи с потерей его работоспособности, а по достижению заданной глубины бурения.

Анализ износа отработанных долот показал сбалансированность изнашивания вооружения и опоры у всех экспериментальных долот. КЗВ изношено минимально и имеет незначительную потерю геометрии вооружения в основном за счет периферийных - калибрующих венцов шарошек. В месте с тем, на серийных долотах с ПЗВ в некоторых местах наблюдается незначительные сколы, как твердосплавного покрытия, так и самой стальной основы зубьев. Износ подшипниковых узлов серийных и экспериментальных долот – незначительный. Люфт в подшипниковых узлах отработанных долот с ПЗВ и КЗВ примерно одинаков; потеря диаметра всех долот незначительная. Это свидетельствует о том, что разнонаправленное КЗВ не приводит к существенному дополнительному увеличению радиальной нагрузки на подшипниковые узлы ШБИ.

Испытания опытных образцов шарошечных буровых долот П490С-ЦВ и П393,7С-ЦВ оснащенных центральными гидромониторными насадками диффузорного типа с асимметричным шестигранным внутренним поперечным сечением по сравнению с базовыми конструкциями аналогичных серийных долот насадками с круглым поперечным сечением показали увеличение механической скорости бурения в интервале 30-890 метров на 7-9 %.

Анализ износа инструмента показал, что вооружение как серийных, так и экспериментальных долот изношено минимально и имеет незначительную потерю геометрии вооружения в основном за счет периферийных венцов шарошек. Размыва гидромониторных узлов опытных долот и выпадения насадок с асимметричным шестигранным внутренним поперечным сечением не зафиксировано, так же не установлено дополнительного износа вершинных и основных венцов опытных долот, связанного с определенной геометрией и ориентацией экспериментальных гидромониторных насадок диффузорного типа с шестигранным асимметричным внутренним поперечным сечением.

Бурение экспериментальными шарошечными долотами П295,3М-ГВ с КЗВ, оснащенные гидромониторными насадками конфузорного типа с внутренним шестигранным асимметричным поперечным сечением, совместно с экспериментальными шарошечными расширителями 6РШ-555М с разнонаправленным КЗВ, показало, что они по механической скорости бурения превосходят своих базовых аналогов с ПЗВ на 19-23 %.

Анализ износа инструмента показал, что: износ всех отработанных шарошечных расширителей по вооружению и опоре незначительный; вооружение изношено минимально и имеет небольшую потерю геометрии вооружения как основных, так и периферийных венцов шарошек; на шарошечных расширителях с ПЗВ в некоторых местах наблюдается незначительные сколы, как твердо-

сплавного покрытия, так и самой стальной основы зубьев; размыва гидромониторных узлов и выпадения насадок конфузорного типа с внутренним шестигранным асимметричным поперечным сечением экспериментальных пилотных долот ПИ295,3М-ГВ с разнонаправленным КЗВ - не зафиксировано; износ подшипниковых узлов шарошечных расширителей БРШ-555М с разнонаправленным КЗВ сопоставим с аналогичными показателями расширителей с ПЗВ. потеря диаметра всех шарошечных расширителях незначительная.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные результаты работы и выводы:**

1 Проведенные в работе исследования позволили повысить эффективность работы различного шарошечного бурового инструмента за счет разработки новых конструкций косозубого вооружения, обладающего большей разрушающей способностью и прочностью, а также элементов промывочных систем, позволяющих существенно повысить очистку как инструмента, так и всей призабойной зоны в целом.

2 Созданы математические модели процессов «перекатывания» шарошек различных буровых инструментов при разных способах бурения. На их основе определены геометрические параметры вооружения, обеспечивающие повышенную эффективность работы шарошечного инструмента при бурении пород различной твердости.

3 Разработана методика определения положения мгновенной оси вращения шарошки бурового инструмента, позволяющая выявлять координаты ведущего венца и рассчитывать величины проскальзывания ведомых венцов вооружения.

4 Создана математическая модель силового взаимодействия зубчатого вооружения шарошек с забоем, позволившая установить, что придание зубьям ведомых венцов асимметричной формы способствует не только существенному уменьшению нагрузок, необходимых для успешного разрушения породы, но и снижению напряженно-деформируемого состояния зубьев в процессе работы инструмента.

5 Исследовано влияние отклоняющих и стабилизирующих сил, возникающих при работе инструмента с косозубым вооружением, позволившее разработать конструктивные схемы косозубого вооружения шарошечного бурового инструмента, обеспечивающие минимальную вероятность отклонения от заданного направления бурения.

6 Осуществлено математическое моделирование процесса центробежного объемного армирования косозубого асимметричного вооружения бу-

рового инструмента, позволяющее определить параметры процесса центробежного армирования в зависимости от геометрии вооружения, или решать обратную задачу, при этом обеспечивая необходимое качество армирования. Также на его основе были определены геометрические параметры зоны армирования, обеспечивающей повышенную стойкость зубьев вооружения шарошек к знакопеременным ударным нагрузкам.

7 Разработаны методики определения модуля упругости и допустимого напряжения при изгибе износостойких композиционных материалов, используемых для упрочнения вооружения шарошечного бурового инструмента.

8 Разработана методика расчета зубьев вооружения шарошечного бурового инструмента на прочность, основанная на методе конечных элементов, позволяющая определять наиболее нагруженные участки зубчатого симметричного и асимметричного вооружения при различных вариантах приложения нагрузки.

9 Проведены исследования истечения промывочной жидкости из фасонных гидромониторных насадок, которые позволили установить, что с помощью изменения геометрических параметров внутреннего поперечного сечения насадок можно управлять направлением и силой гидравлического потока без существенных конструктивных изменений как самого узла, так и бурового инструмента в целом. На основе этих исследований были разработаны конструктивные схемы центрального и бокового гидромониторных узлов, а также варианты их размещения в шарошечном буровом инструменте.

10 Впервые проведены исследования, позволившие определить влияние вращающегося косозубого вооружения шарошечного бурового инструмента на гидравлическую среду забоя. На их основе были разработаны несколько конструкций шарошечного бурового инструмента с различными схемами промывки.

11 На основе исследований кинематических характеристик различных венцов шарошек и особенностей процесса разрушения забоя были разработаны несколько вариантов геометрии косозубого вооружения шарошек как для ведущих, так ведомых венцов вооружения, предотвращающих образование забойной реки в течение всего цикла работы инструмента.

12 Разработаны и изготовлены опытные образцы различного шарошечного бурового инструмента, такие как: шарошечные долота для реактивно-турбинного бурения П490С-ЦВР-1 с разноориентированным центробежно-объемно-армированным зубчатым вооружением, П490ТЗ-ЦВР-9 с твердосплавным разнонаправленным зубчатым вооружением, трехшарошечные долота П295,3М-ЦГВ с разнонаправленным косозубым вооружением, П295,3М-ГВ, оснащенные гидромониторными насадками конфузторного типа с шести-

гранным асимметричным внутренним поперечным сечением, ШЗ93,7С-ЦВ, Ш490С-ЦВ, оснащенные центральными гидромониторными насадками диффузорного типа с шестигранным асимметричным внутренним поперечным сечением, шестишарошечный расширитель 6РШ-555М с разнонаправленным косо-зубым вооружением.

13 Промышленные испытания опытных образцов всех новых конструкций различного шарошечного бурового инструмента с косо-зубым вооружением, а также элементов промывочных систем, показали их высокую работоспособность и эффективность при различных способах бурения. Некоторые из них были внедрены, другие рекомендованы к внедрению на различных предприятиях нефтегазовой отрасли.

## **ОСНОВНЫЕ ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК:**

1 Сериков Д.Ю. Сравнительный анализ статической прочности прямо-зубого и косо-зубого поверхностно-армированного вооружения / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, Р.Ф. Гафганов // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. - 2013. - №4. - С. 31-35.

2 Сериков Д.Ю. Совершенствование конструкций бурильного инструмента для бурения скважин с очисткой забоя газообразным агентом / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, Н.М. Панин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2014. - №1. - С. 4-9

3 Сериков Д.Ю. Повышение эффективности работы шарошечного бурового инструмента с косо-зубым вооружением / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2014. - №1. - С. 29.

4 Сериков Д.Ю. Анализ конструкций шарошечных буровых долот с косо-зубым вооружением / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2014. - №1. - С. 28.

5 Исследование проскальзывания косо-зубого вооружения шарошечных буровых долот при бурении мягких пород / Д.Ю. Сериков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2014. - №2. - С. 4-6.

6 Сериков Д.Ю. Совершенствование конструкций шарошечного бурового инструмента с косо-зубым вооружением / Д.Ю. Сериков // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2014. - №2. - С. 33.

7 Сериков Д.Ю. Анализ напряженного состояния центробежно-объемно-армированного косо-зубого вооружения при бурении пород средней

твердости / Д.Ю. Сериков, Р.Ф. Гаффанов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2014. - №3. - С. 22.

8 Сериков Д.Ю. Повышение качества проектирования вооружения бурового инструмента / Д.Ю. Сериков, К.А Пиканов // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. - 2014. - №1. - С. 21-23.

9 Сериков Д.Ю. Совершенствование конструкций калибраторов / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, Н.М. Панин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2014. - №4. - С. 19-22.

10 Сериков Д.Ю. Исследование процесса проскальзывания зубьев вооружения шарошечных буровых долот / Д.Ю. Сериков // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2014. - №2. - С. 14-18.

11 Сериков Д.Ю. Методика определения положения мгновенной оси вращения шарошки бурильного инструмента / Д.Ю. Сериков, К.А Пиканов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2014. - №5. - С. 20-23.

12 Сериков Д.Ю., Совершенствование способов крепления промывочных узлов бурильного инструмента / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, Н.М. Панин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2014. - №6. - С. 6-12.

13 Сериков Д.Ю. Повышение качества центробежно-объемно-армированного косозубого вооружения бурового инструмента / Д.Ю. Сериков // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. - 2014. - №2. - С. 21-23.

14 Сериков Д.Ю. Совершенствование конструкций вооружения шарошечного бурового инструмента с целью минимизации эффекта рейкообразования / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, Н.М. Панин // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2014. - №3. - С. 4-8.

15 Сериков Д.Ю. Совершенствование способов крепления твердосплавных зубков в бурильном инструменте / Д.Ю. Сериков, Н.М. Панин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2014. - №7. - С. 30-32.

16 Сериков Д.Ю. Анализ циклической прочности центробежно-объемно-армированного бурильного инструмента / Д.Ю. Сериков, Р.Ф. Гаффанов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2014. - №8. - С. 4-7.

17 Сериков Д.Ю. Сравнительный анализ напряженного состояния симметричных и асимметричных зубьев центробежно-объемно-армированного косозубого вооружения / Д.Ю. Сериков, Р.Ф. Гаффанов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2014. - №7. - С. 19-21.

18 Сериков Д.Ю. Анализ напряженного состояния центробежно-объемно-армированного косозубого вооружения ведомых венцов шарошечного бурового инструмента / Д.Ю. Сериков, Р.Ф. Гаффанов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2014. - №4. - С. 8-11.

19 Сериков Д.Ю. Анализ гидродинамики работы прямозубого и косозубого вооружения шарошечных буровых долот / Д.Ю. Сериков, Д.В. Сморкалов // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. - 2014. - №3. - С. 54-57.

20 Сериков Д.Ю. Совершенствование геометрии вооружения шарошечных буровых долот с боковой гидромониторной промывкой / Д.Ю. Сериков // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2014. - №8. - С. 18-21.

21 Сериков Д.Ю. Совершенствование геометрии вооружения шарошечных буровых долот с центральной промывкой / Д.Ю. Сериков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2014. - №9. - С. 16-19.

22 Сериков Д.Ю. Совершенствование геометрии вооружения шарошечных расширителей / Д.Ю. Сериков // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2014. - №10. - С. 18-22.

23 Сериков Д.Ю. Совершенствование косозубого вооружения ведущих венцов шарошек бурового инструмента / Д.Ю. Сериков, К.А. Пиканов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2014. - №5. - С. 6-8.

24 Сериков Д.Ю. Совершенствование геометрии вооружения буровых долот для бурения мягких пород / Д.Ю. Сериков, К.А. Пиканов // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2014. - №11. - С. 19-23.

25 Сериков Д.Ю. Анализ работы шарошечного бурового инструмента при бурении мягких и средних пород / Д.Ю. Сериков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2014. - №12. - С. 22-28.

26 Сериков Д.Ю. Совершенствование центрального промывочного узла трехшарошечного бурового долота / Д.Ю. Сериков, Д.В. Сморкалов // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2014. - №12. - С. 20-25.

27 Сериков Д.Ю. Исследование проскальзывания косозубого вооружения шарошечных долот при бурении средних пород / Д.Ю. Сериков // Химическое и нефтегазовое машиностроение. - 2014. - №12. - С.37-39.

28 Сериков Д.Ю. Совершенствование геометрии зубчатого вооружения ведомых венцов шарошечных буровых долот / Д.Ю. Сериков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2015. - №1. - С. 25-29.

29 Сериков Д.Ю., Совершенствование геометрии вооружения шарошечных буровых долот с боковой асимметричной промывкой / Д.Ю. Сериков, А.В. Васильев // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2015. - №1. - С. 21-27.

30 Сериков Д.Ю. Совершенствование геометрии вооружения ведомых венцов шарошечного бурового инструмента / Д.Ю. Сериков // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2015. - №2. - С. 25-31.

31 Сериков Д.Ю. Совершенствование геометрии вооружения шарошечных буровых долот для бурения пород средней твердости / Д.Ю. Сериков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2015. - №3. - С. 35-40.

32 Спиридонов С.В. Математическое моделирование процесса износа вооружения бурильного инструмента / С.В. Спиридонов, Д.Ю. Сериков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2014. - №10. - С. 37-40.

33 Спиридонов С.В. Методика определения геометрических параметров вооружения бурового инструмента на основе математического моделирования / С.В. Спиридонов, Д.Ю. Сериков // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2014. - №6. - С. 29-33.

34 Сериков Д.Ю. Совершенствование шарошечного бурового инструмента с боковой гидромониторной системой промывки / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясашин, И.К. Бикбулатов, Д.В. Сморкалов // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2015. - №4. - С. 25-31.

35 Сериков Д.Ю. Повышение эффективности бурового инструмента, предназначенного для реактивно турбинного бурения / Д.Ю. Сериков // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2015. - №2. - С. 21-27.

36 Сериков Д.Ю. Совершенствование геометрии вооружения ведомых венцов шарошечного бурового инструмента / Д.Ю. Сериков // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2015. - №2. - С. 25-31.

37 Сериков Д.Ю. Исследование отклоняющих и стабилизирующих сил, возникающих при работе косозубого вооружения шарошечного бурового инструмента / Д.Ю. Сериков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2015. - №9. - С. 30-32.

38 Сериков Д.Ю. Повышение качества центробежно-объемно-армированного асимметричного косозубого вооружения шарошечного бурового инструмента / Д.Ю. Сериков // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2015. - №9. - С. 20-26.

39 Сериков Д.Ю. Шестишарошечное долото большого диаметра с твердосплавным вооружением для РТБ / Д.Ю. Сериков // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2016. - №4. - С. 20-25.

40 Сериков Д.Ю. Сборно-разборное шарошечное долото большого диаметра для РТБ / Д.Ю. Сериков // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2016. - №4. - С. 12-18.

- 41 Сериков Д.Ю. Совершенствование вооружения ведущих венцов шарошек буровых долот / Д.Ю. Сериков // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2016. - №11. - С. 34-40.
- 42 Ясашин В.А. Сравнительный анализ работы гидромониторных насадок круглого и гексагонального сечений / В.А. Ясашин, Д.Ю. Сериков, Д.В. Сморгалов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2015. - №4. - С. 22-28.
- 43 Сериков Д.Ю. Совершенствование бурового инструмента для реактивно турбинного бурения / Д.Ю. Сериков // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2015. - №5. - С. 38-45.
- 44 Сериков Д.Ю. Анализ конструктивных особенностей систем промывки шарошечных буровых долот и их влияния на качество очистки забоя скважины / Д.Ю. Сериков, А.А. Васильев // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, 2015. - №3. - С. 27-32.
- 45 Сериков Д.Ю.. Совершенствование бурового инструмента для реактивно турбинного бурения мягких пород / Д.Ю. Сериков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2015. - №7. - С. 7-13.
- 46 Сериков Д.Ю. Повышение эффективности разрушения средних и твердых пород за счет использования косозубого вооружения шарошек / Д.Ю. Сериков, Э.С. Гинзбург // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, 2015. - №4. - С. 18-22.
- 47 Сериков Д.Ю. Исследование истечения струи из насадок с асимметричным поперечным сечением/ Д.Ю. Сериков, В.И. Исаев, Д.В. Сморгалов // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2015. - №12. - С. 56-63.
- 48 Сериков Д.Ю. Повышение эффективности шарошечных буровых долот для реактивно турбинного бурения / Д.Ю. Сериков // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2016. - №3. - С. 40-47.
- 49 Сериков Д.Ю. Анализ конструкций промывочных систем шарошечных долот / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясашин, В.Н. Агеева // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, 2016. - №2. - С. 8-14.
- 50 Сериков Д.Ю. Технология изготовления корпусных шарошечных долот со сменными секциями / Д.Ю. Сериков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2016. - №5. - С. 34-36.
- 51 Сериков Д.Ю. Пути повышения эффективности работы гидромониторных шарошечных долот / Д.Ю. Сериков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2016. - №6. - С. 15-19.
- 52 Сериков Д.Ю. Особенности промывки скважин и инструмента при реактивно-турбинном бурении / Д.Ю. Сериков // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2016. - №3. - С. 21-27.

53 Сериков Д.Ю. Исследование проскальзывания вооружения шарошечных буровых долот / Д.Ю. Сериков, А.М. Гринев // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2016. - №7-8. - С. 20-27.

54 Сериков Д.Ю. Совершенствование геометрии вооружения шарошечных расширителей / Д.Ю. Сериков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2017. - №1. - С. 20-24.

55 Сериков Д.Ю. Совершенствование систем герметизации опор шарошечных буровых долот / Д.Ю. Сериков, Н.М. Панин // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2017. - №3. - С. 15-19.

56 Сериков Д.Ю. Методики определения физико-механических характеристик армирующего композиционного материала, используемого для упрочнения вооружения шарошечного бурового инструмента / Д.Ю. Сериков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2016. - №12. - С. 29-32.

57 Сериков Д.Ю. Особенности кинематики многошарошечных долот большого диаметра в условиях реактивно-турбинного бурения / Д.Ю. Сериков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2017. - №2. - С. 25-28.

58 Сериков Д.Ю. Совершенствование боковых гидромониторных насадок шарошечных буровых долот / Д.Ю. Сериков // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2017. - №1. - С. 9-14.

59 Сериков Д.Ю. Промышленные испытания перспективных конструкций шарошечных долот в условиях реактивно-турбинного бурения / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, А.М. Назаров // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2017. - №2. - С. 16-19.

60 Сериков Д.Ю. Совершенствование конструкций калибраторов / Д.Ю. Сериков, Н.М. Панин // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2017. - №2. - С. 16-20.

61 Сериков Д.Ю. Исследование влияния геометрии зубчатого вооружения шарошек на гидравлическую среду / Д.Ю. Сериков, А.Н. Шарапов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2017. - №4. - С. 47-52.

62 Сериков Д.Ю. Анализ технологий изготовления стального армированного вооружения шарошечных буровых долот / Д.Ю. Сериков // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2017. - №4. - С. 8-15.

#### **Патенты РФ на изобретения:**

63 Авт. свид. 1808964 СССР: Е21В 10/16. Породоразрушающий элемент бурового долота и способ его изготовления / В.А. Ясагин, А.Н. Николаев, Д.Ю. Сериков и др. - № 4887002/02, заявл. 04.12.1990, опубл. 15.04.1993..

64 Пат. 2090732 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Шарошечное долото для реактивно-турбинного бурения / В.А. Ясагин, Н.Г. Макаров, А.М. Назаров, Д.Ю. Сериков и др. - № 94045572/03, заявл. 29.12.1994, опубл. 20.09.1997.

65 Пат. 2169822 Российская Федерация: МПК E21B 7/28. Шарошечный расширитель / В.А. Ясагин, Н.Г. Макаров, А.М. Назаров, Д.Ю. Сериков. - № 2000129343/03, заявл. 24.11.2000, опубл. 27.06.2001.

66 Пат. 2148146 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Шарошка бурового долота / В.А. Ясагин, Н.Г. Макаров, А.М. Назаров, Д.Ю. Сериков. - № 99114168/03, заявл. 05.07.1999, опубл. 27.04.2000.

67 Пат. 2281373 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Шарошка бурового долота / Н.М. Панин, Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин и др. - № 2005111850/03, заявл. 21.04.2005, опубл. 10.08.2006.

68 Пат. 2394145 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Буровое шарошечное долото с центральной промывкой / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, Н.М. Панин. - № 2009124060/03, заявл. 24.06.2009, опубл. 10.07.2010.

69 Пат. 2394146 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Буровое гидромониторное шарошечное долото / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, Н.М. Панин. - № 2009124059/03, заявл. 24.06.2009, опубл. 10.07.2010.

70 Пат. 2425945 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Буровое трехшарошечное долото / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, Н.М. Панин. - № 2010131703/03, заявл. 29.07.2010, опубл. 10.08.2011.

71 Пат. 2427700 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Буровое шарошечное долото / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, Н.М. Панин. - № 2010131704/03, заявл. 29.07.2010, опубл. 27.08.2011.

72 Пат. 2492310 Российская Федерация: МПК E21B 10/60. Промывочный узел бурового долота / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, Н.М. Панин. - № 2012119014/03, заявл. 11.05.2012, опубл. 10.09.2013.

73 Пат. 2473770. Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Буровое шарошечное долото / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, Н.М. Панин. - № 201140286/03, заявл. 05.10.2011, опубл. 27.01.2013.

74 Пат. 2505660 Российская Федерация: МПК E21B 10/60. Промывочный узел бурового долота / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, Р.М. Богомолов, Н.М. Панин. - № 2012141487/03, заявл. 28.09.2012, опубл. 27.01.2014.

75 Пат. 2503791 Российская Федерация: МПК E21B 10/60. Промывочный узел бурового долота / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, Р.М. Богомолов, Н.М. Панин. - № 2012141485/03, заявл. 28.09.2012, опубл. 10.01.2014.

- 76 Пат. 2507364 Российская Федерация: МПК E21B 10/60. Промывочный узел бурового долота (варианты) / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясашин, Н.М. Панин и др. - № 2012143279/03, заявл. 10.10.2012, опубл. 20.02.2014.
- 77 Пат. 2507365 Российская Федерация: МПК E21B 10/60. Промывочный узел бурового долота / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясашин, Р.М. Богомолов, Н.М. Панин. - № 2012145180/03, заявл. 24.10.2012, опубл. 20.02.2014.
- 78 Пат. 2509201 Российская Федерация: МПК E21B 10/60. Промывочный узел бурового долота / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясашин, Р.М. Богомолов, Н.М. Панин. - № 2012153804/03, заявл. 13.12.2012, опубл. 10.03.2014.
- 79 Пат. 2520656 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Буровое шарошечное долото с асимметричной схемой промывки / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясашин, Н.М. Панин. - № 2013123770/03, заявл. 24.05.2013, опубл. 27.06.2014.
- 80 Пат. 2520974 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Буровое шарошечное долото / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясашин, Н.М. Панин. - № 2013119919/03, заявл. 30.04.2013, опубл. 27.06.2014.
- 81 Пат. 2522608 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Буровое шарошечное долото / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясашин, Н.М. Панин. - № 2013130681/03, заявл. 05.07.2013, опубл. 20.07.2014.
- 82 Пат. 2543760 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Буровое шарошечное долото / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясашин, Н.М. Панин. - № 2014103702/03, заявл. 05.02.2014, опубл. 10.03.2015.
- 83 Пат. 2543823 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Буровое шарошечное долото / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясашин, Н.М. Панин. - № 2014103700/03, заявл. 05.02.2014, опубл. 10.03.2015.
- 84 Пат. 2543824 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Буровое шарошечное долото / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясашин, Н.М. Панин. - № 2014103701/03, заявл. 05.02.2014, опубл. 10.03.2015.
- 85 Пат. 2543828 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Буровое шарошечное долото / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясашин, Н.М. Панин. - № 2014120711/03, заявл. 23.05.2014, опубл. 10.03.2015.
- 86 Пат. 2552242 Российская Федерация: МПК E21B 10/18. Буровое гидромониторное шарошечное долото / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясашин, Н.М. Панин. Б.И. - № 2014120710/03, заявл. 23.05.2014, опубл. 10.06.2015.
- 87 Пат. 2555850 Российская Федерация: МПК E21B 10/18. Буровое шарошечное долото (варианты) / В.А Ясашин, Д.Ю. Сериков, Н.М. Панин.. - № 2014123701/03, заявл. 11.06.2014, опубл. 10.07.2015.
- 88 Пат. 2558030 Российская Федерация: МПК E21B 10/18. Буровое долото / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясашин, Н.М. Панин. - № 2014130566/03, заявл. 24.07.2014, опубл. 27.07.2015.

89 Пат. 2567561 Российская Федерация: МПК E21B 10/18. Буровое гидромониторное шарошечное долото / Д.Ю. Сериков. - № 2014146698/03, заявл. 21.11.2014, опубл. 10.11.2015.

90 Пат. 2579087 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Долото для реактивно-турбинного бурения / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, А.А. Молчанова, Н.М. Панин. - № 2015106648/03, заявл. 27.02.2015, опубл. 27.03.2016.

91 Пат. 2585315 Российская Федерация: МПК E21B 10/60. Промывочный узел бурового долота / А.А. Молчанова, В.А. Ясагин, Д.Ю. Сериков и др. - № 2015109688/03, заявл. 20.03.2015, опубл. 27.05.2016.

92 Пат. 2598250 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Буровое шарошечное долото / Д.Ю. Сериков. - № 2015150565/03, заявл. 26.11.2015, опубл. 20.09.2016.

93 Пат. 2600225 Российская Федерация: МПК E21B 10/20. Шарошечный расширитель / Д.Ю. Сериков, В.А. Ясагин, Н.М. Панин. - № 2014130568/03, заявл. 24.07.2014, опубл. 20.10.2016.

94 Пат. 2611776 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Долото для реактивно-турбинного бурения / Д.Ю. Сериков. - № 2016102413, заявл. 27.01.2016, опубл. 01.03.2017.

95 Пат. 2620108 Российская Федерация: МПК E21B 10/16. Долото для реактивно-турбинного бурения / Д.Ю. Сериков, А.А. Молчанова, Н.М. Панин. - № 2016106655, заявл. 26.02.2016, опубл. 23.05.2017.

#### **Монографии:**

96 Сериков Д.Ю. Повышение эффективности шарошечного бурового инструмента с косозубым вооружением / Д.Ю. Сериков. - М.: Нефть и газ, 2015. - 379 с.

97 Сериков Д.Ю. Шарошечные долота для реактивно-турбинного бурения / Д.Ю. Сериков. - М.: Нефть и газ, 2016. - 240 с.