

## ОТЗЫВ

официального оппонента **Шигина Андрея Олеговича**  
на диссертационную работу **Серикова Дмитрия Юрьевича**  
на тему: «Повышение эффективности шарошечного бурового инструмента с косозубым вооружением», представленной на соискание ученой степени  
доктора технических наук по специальности  
05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы (нефтегазовая отрасль)

Представленная на отзыв диссертационная работа состоит из введения, шести глав, основных выводов, списка литературы, включающего 175 наименований работ и приложений. Материал изложен на 433 страницах, включает 184 рисунка и 14 таблиц.

### 1. Актуальность темы диссертационной работы

Развитие собственного рынка нефтегазопромыслового оборудования, в котором важнейшим элементом, непосредственно разрушающим горную породу и формирующим ствол скважины, является породоразрушающий буровой инструмент, требует новых научно обоснованных решений в области совершенствования шарошечных долот. Эта многофакторная задача и может быть решена путем оптимизации как отдельных компонентов, так и их совокупности, где необходим комплексный подход в вопросах кинематики долота, гидравлики, материаловедения и дизайна.

Актуальность исследований, направленных на повышение эффективности и конкурентоспособности шарошечного бурового инструмента не вызывает сомнений, особенно, в нише расширителей скважин и буровых долот больших диаметров 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.

Таким образом, создание новых конструкций вооружения шарошек, позволяющих повысить разрушающую способность зубьев, новых гидромониторных узлов, как способа организации транспортировки шлама из зоны бурения, даст возможность повысить эффективность его работы за счет сокращения времени и уменьшения стоимости бурения нефтяных и газовых скважин.

Поставленные автором задачи решались с помощью комплекса исследований, включающих:

- процесс кинематического взаимодействия косозубого вооружения (КЗВ) шарошечного долота с забоем при классическом и реактивно-турбинном бурении, для повышения эффективности его работы при бурении пород различной твердости;
- процесс силового взаимодействия КЗВ шарошечного бурового инструмента с забоем для оптимизации формы зубьев вооружения с целью



уменьшения необходимых для разрушения горной породы нагрузок, и снижению напряжений в породоразрушающих элементах;

- влияние геометрии зубьев вооружения и её влияние на параметры процесса центробежного армирования с целью обеспечения повышенной стойкости зубьев вооружения шарошек к знакопеременным ударным нагрузкам;

- процесс промывки долота с КЗВ при использовании гидромониторных насадок с измененной геометрией внутреннего поперечного сечения для оценки возможности управления гидравлическим потоком, а также определение влияния вращающегося КЗВ шарошек на гидравлическую среду забоя;

- кинематические характеристики различных венцов шарошек и особенности процесса разрушения забоя для определения основных влияющих факторов и поиска конструкторских решений по предотвращению образования забойной рейки;

- стендовые и промышленные испытания для верификации результатов исследований и их промышленное использование.

Для анализа и обработки информации автором использовались различные методы исследований, такие как: теоретические, экспериментально-теоретические, статистические, а также стендовые и промышленные испытания.

## **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна**

### **2.1. Защищаемые положения:**

2.1.1. Исследован процесс кинематического взаимодействия КЗВ шарошечного бурового инструмента (ШБИ) с забоем при классическом и реактивно-турбинном бурении (РТБ), позволивший установить геометрические параметры вооружения, обеспечивающие повышенную эффективность работы ШБИ при бурении в горных породах различной твердости.

Положение обосновано материалами п.1.1 и главы 2 диссертационной работы. Положение значимо для научной постановки экспериментов, получения достоверных результатов, разработки адекватных математических моделей, необходимых для описания влияния исследуемых факторов на параметры изучаемых процессов.

Положение имеет практическую значимость для проектирования режима бурения при углублении скважины в горных породах с различной буримостью. Оптимизированный подход к проектированию параметров режима бурения при использовании КЗВ ШБИ позволяет повысить технико-экономические показатели строительства скважин.



2.1.2. 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 напряжённо-деформированного состояния (НДС) зубьев в процессе работы инструмента. А также разработать конструктивные схемы КЗВ ШБИ, обеспечивающие минимальную вероятность отклонения от заданного направления бурения.

Положение обосновано материалами п.1.1 и главы 3 диссертационной работы. Положение имеет научную новизну и значимость для теоретического описания силового взаимодействия косозубого вооружения шарошек с забоем скважины. Установлено влияние формы зубьев на эффективность разрушения горной породы и их напряженное деформированное состояние при взаимодействии с забоем.

Положение имеет практическую значимость для проектирования конструкций ШБИ, обладающего повышенной стабилизацией его при работе по забою скважины за счет компенсации отклоняющих сил. Исследование факторов, влияющих на эффективность разрушения средних и твердых горных пород, позволяет повысить показатели работы долот и качество проектирования режима бурения в этих горных условиях.

2.1.3. Исследовано влияние геометрии зубьев вооружения и армированной зоны на прочность вооружения ШБИ, 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.

Положение обосновано материалами п.1.2 и главы 4 диссертационной работы. Положение имеет научную значимость, поскольку без изучения напряженного состояния КЗВ невозможно провести математическое моделирование процесса центробежного объёмного армирования асимметричного КЗВ шарошек.

Положение имеет практическую значимость и включает:

- методику определения максимальных изгибающих нагрузок действующих на зубья ШБИ;
- методику расчета максимальных изгибающих нагрузок действующих на вооружение ведомых венцов;
- методику оценки модуля упругости армирующего композиционного материала;
- методику определения допустимого напряжения при изгибе армирующего композиционного материала;
- методику определения геометрических параметров вооружения бурового инструмента;



- сравнительный анализ статической прочности и напряженного состояния прямозубого и косозубого вооружения.

Комплексное применение разработанных методик и подходов к проектированию ШБИ с КЗВ позволяет создать принципиально новую конструкцию вооружения шарошечного породоразрушающего инструмента, обладающего высокой стойкостью к силовым воздействиям и повышенной производительностью.

2.1.3. Исследован процесс промывки, и осуществлено совершенствование промывочных систем ШБИ с КЗВ. Установлено, 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 определено влияние вращающегося КЗВ ШБИ на гидравлическую среду забоя.

Положение обосновано материалами п.1.3 и главы 5 диссертационной работы. Положение значимо для научной постановки экспериментов, необходимых для исследования гидродинамических процессов протекающих на забое при работе косозубого вооружения ШБИ и для изучения истечения струи из гидромониторных насадок с асимметричным поперечным сечением.

Положение имеет практическую значимость для проектирования конструкций гидромониторных насадок с асимметричным поперечным сечением и модернизации гидромониторных узлов шарошечных долот.

Гидромониторная промывка для ШБИ позволяет реализовывать на забое существенную гидравлическую мощность и тем самым повышает ТЭП углубления скважины. Для ее рационального использования необходимо эффективно распределить транспортирующие и удаляющие шлам потоки по сечению забоя, обеспечить очистку шарошек и охлаждение зубков КЗВ, что решалось в поставленной задаче.

2.1.5. 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.

Положение обосновано материалами главы 6 диссертационной работы. Положение имеет научную новизну и значимость для теоретического исследования кинематического процесса взаимодействия КЗВ шарошек с целью определения условий и разработки математической модели для предотвращения формирования зубчатой рейки на поверхности забоя.

Положение имеет практическую значимость для проектирования конструкций ШБИ с улучшенной разрушающей способностью, реализованной путем установления диапазонов передаточных отношений



«ШБИ-шарошка», при которых исключается рейкообразование на забое скважины при разбуривании средних и твердых горных пород. Исследование факторов, влияющих на эффективность разрушения средних и твердых пород, позволяет повысить показатели работы долот и обеспечить конкурентно способность и привлекательность ШБИ.

## 2.2. Основные выводы

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

Вывод обоснован материалами пятой и шестой глав. Автором исследованы асимметричные гидромониторные насадки и смоделированы параметры истекающих из них на забой струй бурового раствора, сконструированы и испытаны новые типоразмеры ШБИ, которые показали свою эффективность.

2.2.2. 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.

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

Выводы 2.2.2. и 2.2.3. обоснованы материалами п.1.1. и второй главы, имеют практическую и научную значимость. Автором изучены кинематические процессы и взаимодействие КЗВ ШБИ с забоем, представленным мягкими и средней твердости горными породами. Проведено математическое моделирование процесса перекатывания шарошки с проскальзыванием с целью определения мгновенной оси вращения и тем самым оптимизирования расположения и геометрических параметров зубчатого вооружения.

2.2.4. 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 бурения.

2.2.5. 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.

Выводы 2.2.4. и 2.2.5. обоснованы материалами п.1.1. и третьей главы. Автором изучен процесс силового взаимодействия зубкового вооружения шарошек с горной породой на забое, определены дестабилизирующие факторы с целью повышения эффективности разрушения средних и твердых пород. Выводы имеют практическую и научную значимость и служат основой для конструирования новых перспективных типоразмеров ШБИ и при проектировании режимных параметров бурения с целью повышения ТЭП.

2.2.6. Осуществлено математическое моделирование процесса центробежного объемного армирования косоугого асимметричного вооружения бурового 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.

2.2.7. Разработаны методики определения допустимого напряжения при изгибе износостойких композиционных материалов, используемых для упрочнения вооружения шарошечного бурового инструмента.

2.2.8. 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.

Выводы 2.2.6. - 2.2.7. обоснованы материалами п.1.2. и четвертой главы. Автором разработаны методики прочностных расчетов зубкового вооружения симметричного и асимметричного типа, изучен процесс центробежного объемного армирования косоугого асимметричного вооружения и проведено его математическое моделирование с целью определения геометрических параметров вооружения ШБИ с повышенной стойкостью зубьев к ударным нагрузкам. Выводы имеют практическую и научную значимость. Проведенные исследования востребованы для конструирования новых перспективных типоразмеров ШБИ с повышенной стойкостью и ресурсом работы.

2.2.9. 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.

2.2.10. 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.

Выводы 2.2.9. - 2.2.10. обоснованы материалами п.1.3. и пятой главы. Автором разработаны асимметричные гидромониторные насадки и исследованы формируемые ими струи, смоделированы гидродинамические процессы на забое с использованием средства расчёта CFD (структурно-жидкостная динамика) на базе программного комплекса ANSYS Fluent. Выводы имеют практическую и научную значимость для проектирования насадок формирующих струи с улучшенной очищающей забой и транспортирующей шлам способностью.

2.2.11. 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.

2.2.12. Разработаны и изготовлены опытные образцы различного шарошечного бурового инструмента, такие как: шарошечные долота для реактивно-турбинного бурения П490С-ЦВР-1 с разноориентированным центробежно-объёмно-армированным зубчатым вооружением, П490ТЗ-ЦВР-9 с твёрдосплавным разнонаправленным зубчатым вооружением, трёхшарошечные долота П295,3М-ЦГВ с разнонаправленным косозубым вооружением, П295,3М-ГВ, оснащенные гидромониторными насадками конфузорного типа с шестигранным асимметричным внутренним поперечным сечением, П393,7С-ЦВ, П490С-ЦВ, оснащенные центральными гидромониторными насадками диффузорного типа с шестигранным асимметричным внутренним поперечным сечением, шестишарошечный расширитель БРШ-555М с разнонаправленным косозубым вооружением.

2.2.13. Промышленные испытания опытных образцов всех новых конструкций различного шарошечного бурового инструмента с косозубым 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.

Выводы 2.2.11. - 2.2.13. обоснованы материалами шестой главы. Автором проведена значительная работа по внедрению научных разработок в производстве ШБИ, их испытания для подтверждения технического и экономического превосходства новых технических и методических разработок, научно обоснованных теоретических положений в области



кинематики, гидравлики, материаловедения и конструирования бурового шарошечного инструмента. Выводы имеют практическую значимость для долотостроения.

### **3. Значимость для науки и практики полученных результатов**

Изложенные в диссертации положения направлены на совершенствование породоразрушающего шарошечного инструмента, на повышение его технико-экономических показателей за счёт оптимизации геометрической формы зубкового вооружения и шарошек, на усиление армирующих свойств.

В научном плане результаты работы имеют значимость для разработки методов изучения кинематических процессов вооружения и шарошек породоразрушающего инструмента, напряжённого состояния зубьев, гидродинамических процессов происходящих при вращении гидромониторных струй в межшарошечном пространстве.

Разработанные при участии автора методики расчета напряженного состояния зубкового вооружения в том числе поверхностно-армированного исследования отклоняющих и стабилизирующих сил, возникающих при взаимодействии КЗВ с горными породами мягкими и средней твердости, позволяют проектировать конструкции принципиально нового ШБИ.

Результаты, полученные в диссертационной работе, имеют практическую значимость, подтвержденную документами о внедрении новых конструкций ШБИ с КЗВ на АО «Волгабурмаш», в ЗАО «Проммашсервис», Сарапульском машзаводе имени Дзержинского. Апробация подтверждается актами внедрения результатов докторской диссертационной работы автора в ЗАО «Проммашсервис», ООО «РосБурЧасть», компанией NRB – New Rock Bits. Разработанное КЗВ защищено патентом РФ на изобретение № 2522608.

### **4. Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования**

Результаты работы Серикова Дмитрия Юрьевича рекомендуются к применению в нефтегазовой отрасли при конструировании и производстве шарошечного породоразрушающего инструмента, используемого при строительстве скважин на месторождениях нефти и газа, а также при подготовке специалистов, магистров и аспирантов для нефтегазовой отрасли (специальность 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (нефтегазовая отрасль)).

Использование результатов комплексного исследования, направленного на совершенствование конструкции ШБИ, позволит повысить стойкость вооружения за счёт стабилизирующих свойств, снизить динамические нагрузки на элементы долота, что обеспечит высокое качество



ствола скважины, а также ТЭП в горных породах мягкой и средней твёрдости.

## **5. Замечания по работе**

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

5.1. Автор комплексно подходит к совершенствованию конструкции вооружения ШБИ, но совсем не касается конструкции опоры шарошек. В процессе работы КЗВ при скольжении долота из-за смещения осей шарошек возрастают нагрузки на радиальные подшипники скольжения, даже несмотря на предпринятые меры по стабилизации усилий по венцам зубкового вооружения. Это связано с анизотропией, перемежаемостью горных пород по крепости, с наклонным залеганием пластов.

5.2. В главе 2 в п.2.8. и главе 3 п.3.6. автор приводит исследование кинематики шарошечного долота при его работе от привода РТБ. При этом способе бурения по забою скважины работают только периферийные зубки, а центральные и средние венцы не взаимодействуют с горной породой вследствие планетарного движения долота. В исследовании автора взаимодействуют с забоем все вооружение шарошки, что является неверной постановкой при моделировании условий.

5.3. В п. 3.2 диссертации автор рассматривает процесс силового взаимодействия зубьев вооружения шарошек с забоем. При этом, начиная с выражения 3.1, используется силовой подход в моделировании процесса разрушения породы. При этом силовой подход в представленном виде является идеализированным и не охватывает особенности разрушения пород, содержащих нарушения однородности, поры, трещины. На мой взгляд, необходимо сочетать силовой и энергетический подходы в моделировании процесса взаимодействия шарошечного долота с породным массивом для оценки объемного разрушения с уточненными характеристиками.

5.4. Автор в конструктивных разработках не уделяет внимание стойкости долота к диаметральному износу, т.е. усилению калибрующих поверхностей, что приведет к неминуемым проработкам вследствие потери диаметра ШБИ особенно в абразивных горных породах.

5.5. В качестве общего замечания следует отметить, что работа несколько перегружена по объёму, имеет в совокупности 46 выводов в конце всех глав и 13 основных выводов. Ряд выводов можно было объединить.

Сделанные замечания не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации, а некоторые носят рекомендательный характер.

## **6. Заключение**

Диссертация Серикова Дмитрия Юрьевича выполнена на актуальную тему, является законченным исследовательским научным трудом, имеющим



научную и практическую значимость.

В работе приведены результаты исследований, позволяющие их квалифицировать как научно обоснованные теоретические и технологические разработки, внедрение которых позволит повысить эффективность ШБИ, снизить затраты на бурение скважин и повысить ТЭП строительства скважин. Полученные автором результаты достоверны, а выводы обоснованы.

Работа базируется на теоретически обоснованных результатах лабораторно-экспериментальных исследований и математическом моделировании кинематических и гидравлических процессов работы ШБИ.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и отражает все наиболее значимые результаты.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на конференциях различного уровня и опубликованы в научных изданиях, в том числе рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

В целом диссертация соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемых к докторским диссертациям, а ее автор Сериков Дмитрий Юрьевич заслуживает присуждения степени доктора технических наук по специальности 05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (нефтегазовая отрасль)

**Официальный оппонент:**

Профессор кафедры «Горные машины и комплексы»  
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,  
доктор технических наук по специальности  
05.05.06 – Горные машины

**Шигин Андрей Олегович**

Подпись Андрея Олеговича Шигина  
заверяю:

ФГАОУ ВО СФУ  
Подпись *А. О. Шигин* заверяю  
Заведующий общим отделом  
11 2018 г.



Адрес: 660041, РФ, г. Красноярск, пр. Свободный, д.79.  
тел: +7 (913) 186-26-59  
e-mail: shigin27@rambler.ru

Автор отзыва дает свое согласие на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.