

На правах рукописи



БУСЛАЕВ ГЕОРГИЙ ВИКТОРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ЗАБОЙНОГО УСТРОЙСТВА ПОДАЧИ ДОЛОТА
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ БУРЕНИЯ
ГЛУБОКИХ И НАПРАВЛЕННЫХ СКВАЖИН**

Специальность 05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы
нефтяной и газовой промышленности

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ухта

2010

Работа выполнена на кафедре «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности» Ухтинского государственного технического университета.

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Быков Игорь Юрьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Семин Владимир Иванович
кандидат технических наук,
доцент Логачев Юрий Леонидович

Ведущее предприятие: ООО «Газпром переработка»

Защита состоится «28» октября 2010 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.291.02 при Ухтинском государственном техническом университете по адресу: 169300, г. Ухта, Республика Коми, ул. Первомайская, 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ухтинского государственного технического университета.

Автореферат размещен на интернет-сайте Ухтинского государственного технического университета www.ugtu.net в разделе «Диссертационный совет».

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с заверенными гербовой печатью подписями просим направлять по адресу: 169300, г. Ухта, Первомайская улица, 13. Ухтинский Государственный Технический Университет, Ученый совет.

Автореферат разослан «23» сентября 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета, к.т.н., профессор

 Н.М. Уляшева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. При проводке глубоких и направленных скважин из-за трения бурильной колонны о горную породу возникают силы сопротивления, которые в определенные моменты времени становятся больше силы тяжести той части колонны, за счет массы которой создается нагрузка на долото. А значит, осевое воздействие на забой уменьшается по мере разрушения породы, что приводит к снижению механической скорости бурения, приближая ее к нулю. К тому же строительство глубоких и направленных скважин осложняется вероятностью прихвата бурового инструмента, вызванного обвалом стенок скважины, недостаточным выносом шлама или другими причинами. Так же с увеличением протяженности ствола скважины в колонне бурильных труб начинают возникать различные виды колебаний, которые вызывают «подскакивание» долота на забое и приводят к снижению нагрузки на долото и досрочному выходу из строя бурового инструмента.

Неопределенность в доведении расчетной нагрузки до долота проявляется из-за неконтролируемых сил трения, возникающих при контакте бурового инструмента со стенками скважины, особенно в наклонных и разветвленных стволах, и зависит от окружного угла охвата и погонной длины этого контакта, набухаемости горных пород и реологии буровой жидкости, а так же является причиной продольного резонирования бурильной колонны из-за потери управления осевой нагрузкой. Такая многофакторность пока не поддается дифференциации и поэлементному контролю, в результате чего поиск рациональных параметров силового воздействия на долото оказывается случайным и зависит от квалификации оператора, что сопровождается или снижением параметров режима бурения, или аварией с породоразрушающим инструментом.

Анализ показал, что проблема частично решается использованием автоматических устройств, контролирующих равномерность подачи долота на забой. При этом существуют два вида автоматических регуляторов: наземные и забойные. Преимуществом наземных устройств является их эксплуатационная доступность; недостатком – неточность регулирования. Преимуществом забойных устройств является их непосредственное воздействие на регулируемый объект, что повышает точ-

ность дозирования и равномерность осевого давления долота на забой: скорость проходки увеличивается от 15 % (ротором) до 35 % (направленное бурение), число отказов систем каротажа и забойных двигателей снижается на 50 %; недостатком – ограниченная функциональность устройств, использование которых в многофакторных условиях буровой скважины часто оказывается неэффективным. Забойное устройство подачи долота, помимо функции создания осевой нагрузки, должно обладать функциями ее дозирования, самоосвобождения от прихвата и успокоения продольных колебаний бурильной колонны.

Таким образом, разработка технических решений по контролю за доведением осевой нагрузки до долота с помощью многофункциональных забойных устройств является задачей актуальной.

Цель работы: Разработка забойного устройства подачи долота многофункционального назначения для бурения глубоких и направленных скважин

Основные задачи исследований. Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ конструктивного исполнения и патентной проработки забойных устройств подачи долота, изучить методики их проектирования и опыт практического применения;
2. Разработать методические основы создания новых забойных устройств подачи долота многофункционального назначения, а также методики их стендовых и промысловых испытаний;
3. Провести теоретические исследования работы забойного устройства подачи долота и его взаимодействия с бурильной колонной;
4. Разработать и обосновать конструкцию забойного устройства подачи долота ЗУПД-195;
5. Провести стендовые и промысловые исследования ЗУПД-195;
6. Оценить экономический эффект от применения ЗУПД-195.

Методы решения поставленных задач. Поставленные задачи решались путем проведения теоретических, расчетно-конструкторских и опытно-промысловых работ. Проведен анализ научной литературы, а также патентные исследования. Тео-

ретические исследования выполнялись комплексно: аналитическим путем и с применением современных методов компьютерного моделирования. Конструкторские работы осуществлялись с использованием современных расчетных и графических программных продуктов. Опытно-промышленные испытания проводились в заводских и промышленных условиях.

Научная новизна работы:

1. Получено графо-аналитическое решение для определения величины дополнительной гидравлической составляющей нагрузки на долото.

2. Предложена система уравнений для расчета диаметра поршня внутреннего толкателя, общей площади и диаметра единичного отверстия диафрагмы, необходимых для создания дополнительного гидравлического сопротивления.

3. Найдено выражение для определения ударно-динамической нагрузки при освобождении нижней части колонны от прихвата, зависящей от длины колонны, ее жесткости и относительного ускорения движения, а также удельного времени ударного воздействия, что позволяет определить конструктивный оптимум длины хода выдвижного вала устройства и ускорение движения колонны для достижения расчетной силы удара.

4. Аналитически обосновано, что эффективность гашения продольных колебаний бурильной колонны при $A_0 = f(P_{oc}, P_2, k, \alpha, \omega, D, d)$ и заданном зенитном угле α определяется такой величиной осевой нагрузки, которая обеспечивается устройством при размещении его в компоновке колонны на расстоянии $S_{ПНБК}$ от торца долота.

Защищаемые положения:

- комплекс методик обоснования технико-технологических параметров забойного устройства подачи долота;
- теоретические принципы обоснования параметров управления режимом работы устройства;
- комплекс конструкторской документации;
- работоспособность и многофункциональность устройства.

Практическая ценность работы:

1. Разработаны методические основы проектирования и расчета новых многофункциональных забойных устройств подачи долота;
2. Созданы методики, обеспечивающие выбор параметров для создания требуемой проектной нагрузки на долото, динамического удара при самоосвобождении от прихвата и для обеспечения эффективного успокоения продольных колебаний;
3. Разработана техническая документация и рабочие чертежи для двух устройств ЗУПД-127 и ЗУПД-195;
4. Изготовлен опытный образец ЗУПД-195;
5. Разработаны методики, проведены стендовые и промышленные испытания ЗУПД-195;
6. По теме диссертационной работы поданы 2 заявки на полезную модель и получены патенты РФ.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- IV Научно-практической конференции молодых специалистов ООО «Севергазпром» «Современные технологии газовой отрасли» (г. Ухта, 2006 г.);
- VII международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех-2006», (г. Ухта, 2006 г.);
- VIII международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех-2007», (г. Ухта, 2007 г.);
- IX международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех-2008» (г. Ухта, 2008 г.);
- Научно-техническая конференция преподавателей и сотрудников УГТУ, (г. Ухта, 2010 г.);
- Научно-практическая конференция ООО «РН – Северная нефть» (г. Усинск, 2010 г.).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка использованных источников и приложений.

Работа изложена на 142 страницах и содержит 46 рисунков и 12 таблиц. Общий объем работы с приложениями составляет 185 страниц.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе 5 - в материалах научных конференций, 2 – патенты РФ на полезную модель, 1 – в виде учебно-методических указаний и 2 статьи размещены в реферируемых журналах, рекомендованных ВАК.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю, заведующему кафедрой МОНиГП, д.т.н., профессору Быкову И.Ю.; ректору УГТУ, д.т.н., профессору Цхадая Н.Д.; проректору по научной работе УГТУ, д.т.н., профессору Андронову И.Н.; первому проректору УГТУ, д.т.н., профессору Хегаю В.К.; к.т.н., профессору, Уляшевой Н.М.; заведующей кафедрой ВМ, к.т.н., доценту Волковой И.И., зам. ген. директора ООО «Бурсервис» Макаро И.В.; коллективам кафедр МОНиГП и БС; специалистам ООО «Ухта бурение» и ООО «Газпром переработка»; оказавшим поддержку и помощь в работе над диссертацией.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цели и задачи исследований, показана научная новизна, практическая ценность и апробация полученных результатов.

В первой главе дан обзор литературных данных. Выполнен анализ существующих конструктивных решений средств автоматической подачи долота, определены основы создания глубинного оборудования, представлен анализ патентной проработки. Кроме того, приведены данные о результатах практического применения устройств в отечественной и зарубежной практике.

При бурении скважин до сих пор существует проблема неопределенности в доведении расчетной нагрузки до долота из-за неконтролируемого сопротивления движению колонны, связанного с действием сил трения возникающих при контакте бурового инструмента со стенками скважины, особенно в наклонных и разветвленных стволах, а так же зависящего от окружного угла охвата и погонной длины этого контакта, набухаемости горных пород и реологии буровой жидкости. Такая много-

факторность пока не поддается дифференциации и поэлементному контролю, в результате чего возникает неограниченная степень свободы в поиске рациональных параметров осевого силового воздействия на долото, успешность которого оказывается случайной и зависит от квалификации оператора, что сопровождается или снижением режима бурения, или аварией с породоразрушающим инструментом. Таким образом, разработка технико-технологических решений по контролю доведения и дозированию осевой нагрузки на долото является актуальной задачей.

Анализ показал, что проблема частично решается благодаря использованию автоматических устройств контролирующей равномерности подачи долота на забой. При этом существуют два вида автоматических регуляторов: наземные и забойные, схема размещения которых представлена на рисунке 1.

Преимуществом наземных устройств 10 является их эксплуатационная доступность; недостатком – неточность регулирования из-за искажений входного параметра, определяемого индикатором нагрузки 11 по натяжению струны талевого каната 8, которое лишь частично характеризует разгрузку массы тяжелого низа на долото 2. Преимуществом забойных устройств 12 является их непосредственное воздействие на регулируемый объект, что повышает точность дозирования и равномерность осевого давления долота на забой: скорость проходки увеличивается от 15 % (ротатором) до 35 % (направленное бурение), число отказов систем каротажа и забойных двигателей снижается на 50 %; недостатком – ограниченная функциональность устройств, использование которых в многофакторных условиях буровой скважины часто оказывается неэффективным. Таким образом, преимущественным типом автоматических регуляторов нагрузки на долото является забойное многофункциональное устройство непосредственного действия на регулируемый объект. Разработке такого устройства посвящена диссертационная работа.

Известные глубинные устройства для подачи долота имеют множество конструкций и названий, например, забойный механизм подачи (ЗМП), регулятор подачи долота (РПД), автомат подачи долота (АПД), стабилизатор нагрузки механический (СВМ), гидравлический нагрузжатель (англ., «hydraulic thruster») или забойный нагрузжатель (англ., «downhole thruster») и др.

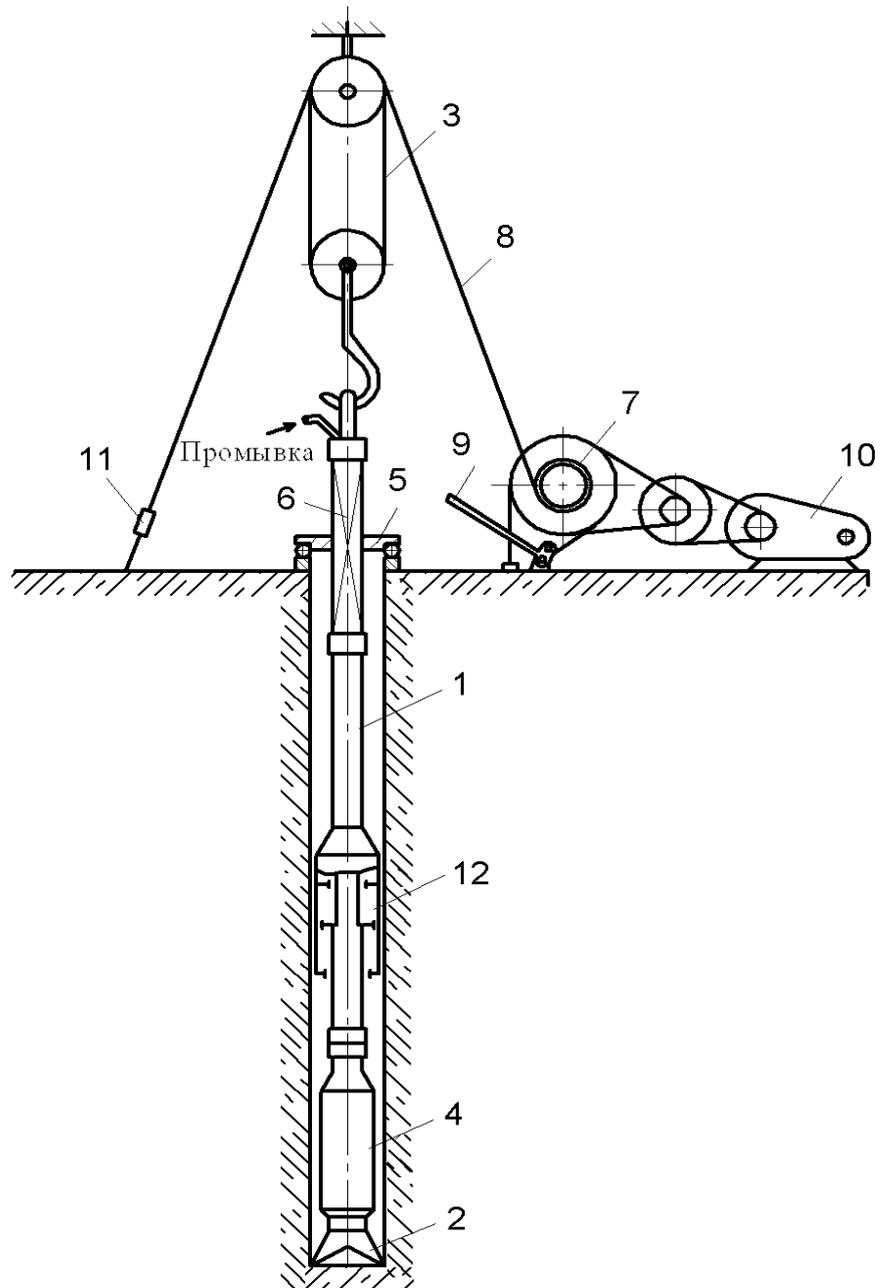


Рисунок 1 – Схема регулирования подачи буровой колонны и долота: 1 - колонна буровых труб; 2 - породоразрушающий инструмент; 3 - талевая система; 4 - забойный двигатель; 5 - ротор; 6 - ведущая труба; 7 - лебедка; 8 - конец талевой оснастки; 9 - рукоятка ленточного тормоза; 10 - наземное устройство подачи; 11 - индикатор нагрузки; 12 – забойное гидропоршневое устройство подачи.

Работы по исследованию и созданию механизмов подачи долота проводились в ряде организаций, таких как ВНИИ буровая техника, Гипронефтемаш, МИНХ и ГП, Куйбышев НИИ НП, Уфимский НИ, Ухтинский ГТУ, «Дженерал электрик», «АЛКО», «Фэктормэтик дриллинг системс», «Нейшнл», «Бэлл Корпорэйшн», «Ау-

тодрилл» и др. Также с этими механизмами связаны имена отечественных и зарубежных исследователей, таких как Амелин Б.А., Алексеевский Г.В., Багиров Т.Б., Балденко Д.Ф., Brentли Д., Варламов В.П., Вольгемут Э.А., Гарибов М.А., Гусман М.Т., Горелик Ф.Х., Деревянных А.И., Залкин С.Л., Иоанесян Р.А., Коршунов Е.С., Минян А.А., Островский Ю.И., Паронджанов Д.Г., Погарский А.А., Синельников А.В., Сирик В.Ф., Саммерс К., Уитл Ф., Моисеев Н.П., Чефранов К.А., Шрейнер Л.А., Эпштейн Е.Ф., Эскин М.Г. и другие.

В результате анализа установлено, что недостатками существующих забойных регуляторов осевой нагрузки на долото являются излишняя сложность конструкций, неуниверсальность по назначению и ограниченность по применению; в то же время показаны пути упрощения конструкций устройств, расширения их функциональности и усиления эксплуатационной надежности, что обеспечивает применимость этих устройств в любых горно-геологических условиях, глубоких и направленных скважинах.

Конструктивно устройство должно быть телескопичным по исполнению, защищенным от смятия при механических воздействиях, обладать достаточной длиной хода поршня для создания необходимой силы удара при освобождении компоновки от прихвата и диафрагменным узлом для гидравлического управления осевой нагрузкой на долото, а также усиленными опорно-центрирующими элементами для обеспечения продольной устойчивости конструкции.

Вторая глава посвящена разработке комплекса методик для конструирования, подбора параметров, проведения стендовых и промысловых испытаний забойного устройства подачи долота многофункционального назначения.

Выполненный анализ показал, что методы обоснования теории работы и конструктивного исполнения скважинных забойных устройств подачи долота до настоящего времени разрознены, имеют лишь частные решения, требуют обобщения и разработки специальной комплексной методики, обеспечивающей научные основы выбора технико-технологических параметров этих устройств и их экспериментальных испытаний на стадиях конструирования, изготовления и промыслового применения.

Существует три этапа управления рабочими параметрами устройства для создания требуемой нагрузки на долото: первый – на стадии разработки устройства; второй – на стадии разработки режима бурения; третий – при сборке компоновки и ее эксплуатации. Поэтому разработаны следующие методики:

а. Методика обоснования технико-технологических параметров забойного устройства подачи долота, включающая графо-аналитическое решение для определения величины гидравлического сопротивления, обеспечивающего создание дополнительного осевого усилия на долоте; конструктивное обеспечение этого усилия с расчетом диаметра поршня внутреннего толкателя d_n , м, общей площади $f_{од}$, м², и диаметра одного из n отверстий диафрагмы d_1 , м, а так же оценку прочностной надежности силовых элементов конструкции с проверкой ударных поверхностей на смятие, резьбовых соединений на страгивание, а конуса резб – на усталость.

Получена формула для определения диаметра поршня внутреннего толкателя

$$d_n = \sqrt{4 \cdot P_z / (\pi \cdot p_o)}, \quad (1)$$

где P_z - гидравлическая составляющая нагрузки на долото, создаваемая устройством, Н; p_o - перепад давления в устройстве между надпоршневым и кольцевым пространствами, Па

$$p_o = p_\partial + p_{з\partial} + p_y, \quad (2)$$

где $p_\partial, p_{з\partial}, p_y$ - гидравлические сопротивления соответственно в гидромониторных насадках долота, забойном двигателе, диафрагме устройства, Па.

Получена формула для расчета общей площади отверстий диафрагмы, м²

$$f_{од} = \sqrt{Q \cdot F_n \sqrt{\frac{\rho_{\partial p}}{2 \cdot p_y}}}; \quad (3)$$

где F_n - площадь поперечного сечения поршня устройства, Па; Q - расход бурового раствора, проходящего через устройство, м³/с; p_y - гидравлические сопротивления в диафрагме устройства, Па; $\rho_{\partial p}$ - плотность бурового раствора, кг/м³.

Выведена формула для нахождения диаметра одного из n отверстий диафрагмы

$$d_1 = 2 \cdot \sqrt[4]{\frac{Q \cdot F_n}{\pi^2 \cdot n^2} \sqrt{\frac{\rho_{\partial p}}{2 \cdot p_y}}}, \quad (4)$$

где n - количество одинаковых проходных отверстий в диафрагме.

в. Методика стендовых испытаний забойного устройства подачи долота, включающая: подбор гидравлического стенда (рисунок 2) для создания механических нагрузок сжатия и растяжения на металлические элементы конструкции, а так же обеспечивающего исследование герметичности поршневых манжет выдвигного вала; порядок гидравлических испытаний на внутреннее давление с расчетом испытательных нагрузок, а также испытание на сжимающие и растягивающие нагрузки с целью вычисления пределов силовых воздействий;

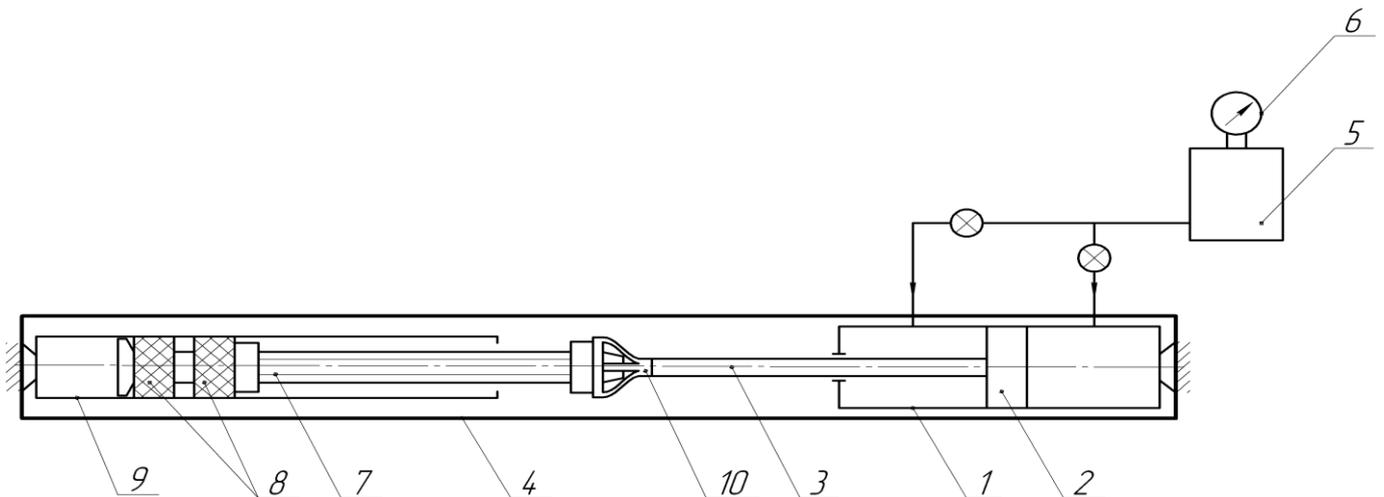


Рисунок 2 – Схема стенда для испытания забойного устройства подачи долота: 1 – цилиндр пресса; 2 – поршень пресса; 3 – шток пресса; 4 – станина стенда; 5 – насос для подачи рабочей жидкости в пресс; 6 – манометр; 7 – выдвигной вал устройства; 8 – поршневая группа устройства; 9 – корпус устройства; 10 - соединительная муфта.

с. Методика проведения промысловых испытаний забойного устройства подачи долота в скважинных условиях, которая регламентирует опрессовку компоновки и эмпирическое определение нагрузки на долото, а также порядок углубления скважины с помощью многофункционального забойного устройства подачи долота.

В третьей главе приведены теоретические исследования режимов работы забойного устройства подачи долота и его взаимодействия с бурильной колонной.

Для исследования вводились граничные условия, при которых традиционная бурильная колонна рассматривалась как подвеска, разделенная в устройстве на две части:

- Верхняя – часть бурильной колонны (ВБК), подвешенная в процессе бурения на талевой системе со свободным нижним концом, снабженным корпусом устройства. При необходимости увеличения нагрузки за счет составляющей силы тяжести ВБК корпус устройства опирается на его нижний переводник.

- Нижняя – подвижная часть бурильной колонны (ПНБК), в процессе бурения опертая нижним торцом-долотом на забой и снабженная на противоположном конце выдвигным валом, способным свободно перемещаться вдоль оси скважины в пределах хода устройства.

В общем виде осевая нагрузка на долото определяется выражением, H

$$P_{oc} = G_{cp} - P_c + P_2, \quad (5)$$

где G_{cp} - гравитационная составляющая осевой нагрузки на долото, H

$$G_{cp} = G_{кн} \cdot \cos \bar{\alpha}, \quad (6)$$

где $G_{кн}$ - сила тяжести той части компоновки, при помощи которой создается нагрузка на долото при гравитационно-массовом способе подачи, или сила тяжести подвижного низа бурильной колонны при бурении с применением забойного устройства подачи долота, H ;

$\bar{\alpha}$ - среднее значение зенитного угла на участке расположения компоновки, °.

P_c - сила сопротивлений, препятствующих доведению нагрузки до забоя, H

$$P_c = k_c \cdot G_{кн} \cdot \sin \bar{\alpha}, \quad (7)$$

где k_c - обобщенный коэффициент сил сопротивления движению колонны, учитывающий силы трения, резания замками корки и стенок скважины, дифференциальное давление и другие факторы.

P_2 - гидравлическая составляющая нагрузки на долото, создаваемая в многофункциональном забойном устройстве, при гравитационно-массовом способе подачи в расчете не учитывается, H

$$P_2 = p_o \cdot F_n, \quad (8)$$

где p_o - перепад между давлением над выдвигным валом устройства и давлением в кольцевом пространстве, $Па$

$$p_o = p_o + p_z + p_y + p_m + p_k, \quad (9)$$

где P_d, P_z, P_m, P_y, P_k - гидравлические сопротивления, соответственно в долоте, забойном двигателе, выдвижном вале и трубах, диафрагме устройства и кольцевом пространстве ниже поршня, Pa ;

F_n - площадь сечения поршня устройства, m^2 .

В проектных решениях для бурения условно вертикальных скважин в большинстве случаев осевая нагрузка на долото принимается равной 70-80% от силы тяжести компоновки низа бурового инструмента в растворе, что должно обеспечить работу бурильной колонны в растянутом состоянии. Однако формальный подход к проектированию способа создания нагрузки и конструкции бурильной колонны не отражает всего многообразия условий, в частности, при бурении направленных скважин.

На рисунке 3 представлены зависимости относительной осевой нагрузки на долото, создаваемой за счет 70% от силы тяжести КНБК при подаче колонны с поверхности, от среднего зенитного угла скважины $\bar{\alpha}$. Из рисунка видно, что при росте зенитного угла скважины осевая нагрузка на долото (кривая 5), создаваемая за счет силы тяжести, значительно уменьшается относительно проектной (кривая 1).

В результате численного анализа уравнения силового баланса нагрузок действующих на долото (5) установлено, что при бурении глубоких и направленных скважин со средним зенитным углом наклона более $\bar{\alpha} = 60^\circ$ и превышением сил сопротивления более 30 % от проектной нагрузки применение забойных устройств подачи долота является безальтернативной целесообразностью, т.к. передача осевой нагрузки с помощью выдвижного гидравлического толкателя не зависит от его пространственной ориентации и сил сопротивления, препятствующих доведению ее до породоразрушающего инструмента гравитационно-массовым способом.

Исследована дополнительная функция забойного устройства подачи долота как ударного механизма для самоосвобождения от прихвата. Для создания удара вверх или вниз необходимо производить расхаживание бурильной колонны на длину хода выдвижного вала – l_x , наличие которого позволяет разогнать свободную часть колонны над устройством, а значит увеличить ее кинетическую энергию.

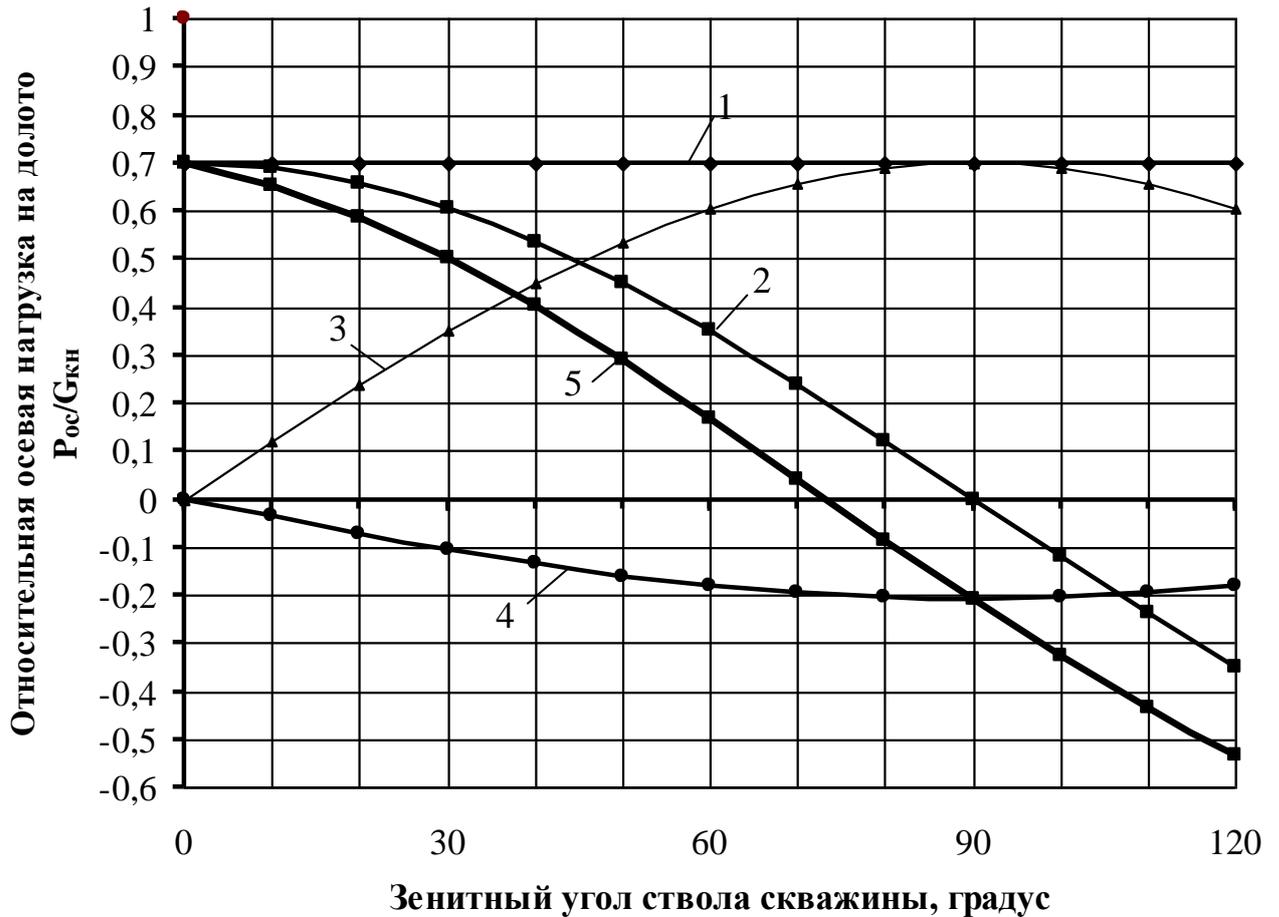


Рисунок 3 – Зависимость относительной осевой нагрузки на долото от зенитного угла наклона скважины: 1 – проектная осевая нагрузка на долото; 2 – осевая составляющая от силы тяжести компоновки; 3 – часть силы тяжести действующая на стенку скважины; 4 – осевая составляющая сил сопротивления компоновки, при $k_c = 0,3$; 5 – осевая нагрузка, доводимая до долота при гравитационно-массовом способе подачи.

Из уравнения продольных колебаний для однородного стержня, без учета диссипативного влияния окружающей среды

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (10)$$

при граничных и начальных условиях $u|_{x=0} = \frac{\partial u}{\partial x}|_{x=1} = 0$, $\frac{\partial u}{\partial t}|_{t=0} = v$, $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}|_{t=0} = a$ получено

аналитическое решение для определения максимальной ударной нагрузки с учетом изменения ее во времени

$$P = E \cdot F \cdot \left[\sqrt{\frac{2 \cdot l_x \cdot a}{c^2}} - \frac{l \cdot a}{c^2} \cdot \left(1 - \frac{c \cdot t}{l} \right) \right], \quad (11)$$

где E - модуль упругости материала труб бурильной колонны, Па; F - площадь сечения буровых труб, m^2 ; l - длина верхней части буровых колонн от устья до устройства, м; c - скорость распространения продольных возмущений вдоль колонны, м/с; a - ускорение движения верха буровых колонн, m/c^2 ; l_x - длина хода выдвинутого вала устройства, м; t - время удара, с.

На рисунке 4 представлены графики зависимости максимальной динамической ударной нагрузки от длины хода выдвинутого вала устройства для различных ускорений движения верхней части буровых колонн из труб ТБК-140 длиной 4500 м.

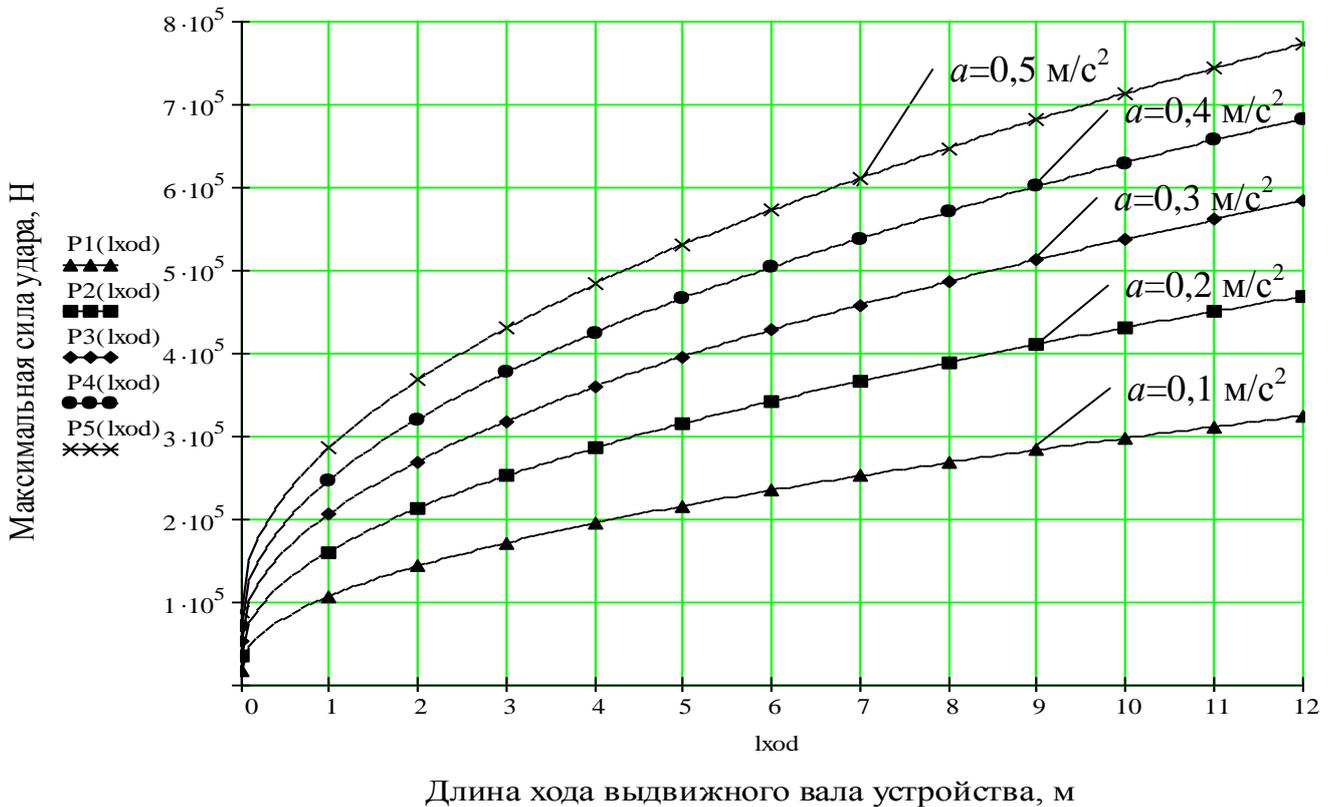


Рисунок 4 – Зависимость максимальной динамической ударной нагрузки от длины хода устройства для различных ускорений подъема

Применение многофункционального забойного устройства подачи долота с наличием нижней подвижной наддолотной части компоновки будет ограничивать распространение продольных колебаний на все элементы буровых колонн. В

этой связи исследована дополнительная функция устройства как забойного компенсатора продольных колебаний, изучен процесс затухания волнового возмущения в зависимости от технологических параметров: осевой нагрузки и частоты вращения долота; параметров компоновки: длины и диаметра подвижного низа бурильной колонны; скважинных параметров: зенитного угла и коэффициента трения.

Адаптировано аналитическое выражение по определению амплитуды колебаний в колонне бурильных труб с учетом ее уменьшения от действия диссипативных сил, заимствованное из работ проведенных профессорами Е.К. Юниным и В.К. Хегаем

$$A_0 = \frac{2 \cdot c}{\pi \cdot \omega} \sqrt{\left(\frac{2 \cdot (P_{oc} - P_z)}{E \cdot (D^2 - d^2)}\right)^2 - \left(\frac{k \cdot g \cdot \sin \alpha}{c \cdot \omega}\right)^2} \quad (12)$$

где P_{oc} - осевое усилие на долото, учитывающее гравитационную составляющую нагрузки, силы сопротивления, облегчение колонны в буровом растворе и гидравлическую составляющую, H ; P_z - гидравлическая составляющая нагрузки на долото, при гравитационно-массовом способе подачи $P_z = 0$, H ; ω - угловая скорость вращения долота, rad/c ; k - коэффициент трения скольжения; α - зенитный угол ствола скважины, °; D , d - соответственно наружный и внутренний диаметры труб над долотом, м.

Выражение (12) имеет смысл только при положительном значении подкоренного выражения, то есть при условии существования продольных колебаний стержня при осевой нагрузке на долото

$$P_{oc} > \frac{k \cdot \sin \alpha \cdot g \cdot E \cdot (D^2 - d^2)}{2 \cdot c \cdot \omega} + P_z. \quad (13)$$

При этом величина осевой нагрузки на долото находится по формуле

$$P_{oc} = S_{ПНБК} \cdot \frac{(D^2 - d^2)}{4} \cdot \pi \cdot \rho_{cm} \cdot g (\cos \alpha - k \cdot \sin \alpha) \cdot \left(1 - \frac{\rho_{op}}{\rho_{cm}}\right) + p_o \cdot F_n, \quad (14)$$

где $S_{ПНБК}$ - расчетное место установки устройства в компоновке, м; ρ_{cm} - плотность материала труб подвижного низа, kg/m^3 ; ρ_{op} - плотность бурового раствора, kg/m^3 .

Четвертая глава посвящена научному обоснованию конструкции забойного устройства подачи долота многофункционального назначения ЗУПД-195 и разработке конструкторской документации.

Условия работы многофункциональных забойных устройств подачи долота в составе компоновки низа бурильной колонны связаны с динамикой, абразивностью и агрессивностью окружающей среды, а так же осложнены высоким гидростатическим давлением и температурой. Работа устройства сопряжена с действием значительных знакопеременных нагрузок и моментов, возникающих при бурении глубоких и направленных скважин в связи с развитием крутильных и продольных колебаний, потерей устойчивости колонны и ее вращением в сильноискривленном участке ствола, а также при создании ударных нагрузок для самоосвобождения подвижного низа бурильной колонны из прихвата. Поэтому при создании многофункциональных забойных устройств подачи долота особое внимание уделено обеспечению прочности и надежности его деталей и конструкции в целом.

Выполнено обоснование конструктивных решений с пояснением назначения и особенностей каждой детали многофункционального забойного устройства подачи долота. Так, для предотвращения коррозии и уменьшения сил трения внутренняя поверхность корпуса отполирована и хромирована, а для повышения надежности герметичного разделения трубного и затрубного пространств в устройстве использованы два последовательно соединенных поршня, промежутки между которыми заполнены смазкой. Для защиты торца верхнего переводника от смятия, а его резьбы от разрыва из-за удара о нижний ниппель при использовании устройства для самоосвобождения из прихвата, выдвигной вал снабжен опорным кольцом, смонтированным на «горячей» посадке. Выполнен расчет на страгивание и выносливость наиболее опасного сечения резьбы, соединяющей выдвигной вал с верхним и нижним переводниками. Согласно методикам, представленным во 2 главе, обоснованы конструктивные параметры, с учетом которых разработана конструкторская документация многофункционального забойного устройства подачи долота ЗУПД-195, спроектированная с учетом унификации заготовок труб и материалов, применяемых в нефтяной и газовой промышленности. Данное технико-технологическое решение

имеет полный комплект конструкторской документации и рабочих чертежей, пригодный для массового изготовления многофункциональных забойных устройств подачи долота.

В пятой главе приведены результаты стендовых и промысловых испытаний забойного устройства подачи долота многофункционального назначения.

Из проведенного анализа видно, что, несмотря на значительное количество отечественных конструкций забойных устройств подачи долота, в литературе практически отсутствуют сведения об опыте их промыслового применения. В то же время создание и совершенствование новых надежных технико-технологических средств невозможно без эмпирических исследований, на основании анализа результатов которых должна корректироваться техническая документация и создаваться новое оборудование. Таким образом, проведение экспериментальных исследований работы многофункционального забойного устройства подачи долота ЗУПД-195, а так же оценка практического и экономического эффекта от его применения является актуально задачей. Проведены стендовые испытания ЗУПД-195, в ходе которых устройство подвергалось действию сжимающих (до 350 кН) и растягивающих нагрузок (до 305 кН), а также внутреннему давлению до 15 МПа для проверки герметичности поршневых манжет и резьбовых соединений корпуса. Испытания подтвердили работоспособность устройства в скважинных условиях, а также установили, что усилие необходимое для начала движения выдвигного вала не превышает 7 кН. Стендовые экспериментальные исследования выполнялись на адаптированном сертифицированном распрессовочном стенде типа СР-70 имеющемся в наличии на базе производственного обслуживания ООО «Ухта бурение» филиал ООО «Газпром бурение». Для проведения промысловых испытаний комиссией определена разведочно-эксплуатационная скв. 4 Северный Югид оснащенная буровой установкой Уралмаш 3Д-76 со станцией геолого-технических исследований (ГТИ), показывающей и регистрирующей силу тяжести инструмента, расход и давление бурового раствора, условный момент на роторе и другие параметры. Промысловые испытания ЗУПД-195 подтвердили технологичность, работоспособность и высокую эффективность применения устройства при бурении глубокой

скважины: повышение проходки на долото в 3,9 раза, механической скорости в 1,56 раза, сокращение массы УБТ на 20 т, а времени СПО на 80 минут. Дана оценка экономической эффективности от испытания ЗУПД-195 на скважине №4 Северо Югидского месторождения. Проведен анализ стоимости изготовления устройства и обоснованы исходные данные для расчета экономического эффекта от промышленного испытания, составившего 1 785 тысяч рублей.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Неопределенность в доведении осевой нагрузки на долото из-за возрастания сил сопротивления движению колонны при увеличении зенитного угла наклона скважин в диапазоне до 60° и невозможность управления этим процессом при возрастании угла более 60° с превышением сил сопротивления более 30 % от заданной осевой нагрузки предопределяет безальтернативную целесообразность использования забойного устройства подачи долота, обеспечивающего в этих условиях независимую равномерность осевого нагружения, величина которого определяется конструктивными параметрами устройства и расстоянием от места его установки до рабочего торца долота.

2. Обобщены факторы негативного влияния на процесс бурения глубоких и направленных скважин, представляющие собой комплекс диссипативных сил, порождаемых сопротивлением трения движению бурильной колонны и явлениями частичной или полной разгрузки ее массы на стенках наклонного ствола, адгезивным состоянием горных пород и явлениями прихвата породоразрушающего инструмента, а также рассеиванием подводимой к долоту энергии за счет продольных колебаний и резонансных явлений, что позволило обосновать необходимость создания многофункционального забойного устройства, которое помимо основной функции осевого нагружения обладает возможностью силового самоосвобождения наддолотной компоновки от прихвата, является забойным компенсатором продольных колебаний и обеспечивает управление дозированием величины осевой нагрузки на долото.

3. Разработан комплекс методик, обеспечивающий научные основы выбора технико-технологических параметров многофункциональных забойных устройств подачи долота и их экспериментальных испытаний на стадиях конструирования, изготовления и промышленного применения; комплекс включает в себя: методику гра-

фо-аналитического определения величины гидравлического сопротивления для создания автономного осевого усилия с помощью выдвижного толкателя и возможностью управления величиной этого усилия; методику стендовых испытаний с регламентом проведения гидравлических нагружений металлических конструкций забойного устройства подачи долота с целью выявления пределов силовых воздействий; методику проведения промысловых испытаний в скважинных условиях с регламентацией порядка опрессовки компоновки, эмпирического определения нагрузки на долото и рекомендациями по углублению скважины с помощью забойного устройства подачи долота.

4. Выполнено аналитическое обоснование конструктивных параметров забойного устройства подачи долота, включающего определение диаметра поршня выдвижного толкателя, общей площади отверстий в дырчатом узле гидравлического сопротивления и диаметра единичного отверстия диафрагмы с оценкой прочностной надежности силовых элементов конструкции, включая проверку ударных поверхностей на смятие, резьбовых соединений – на страгивание, а конуса резьб – на усталость.

5. Выполнены теоретические исследования силового баланса действующих нагрузок и получено выражение для расчета осевого усилия на выдвижном толкателе, осуществляющего автоматическую и равномерную подачу долота к точке контакта с забоем независимо от его пространственного положения, при этом дозирование нагрузки осуществляется путем механического перекрытия части отверстий в диафрагме гидравлического сопротивления.

6. Получено аналитическое решение для определения силы удара при освобождении наддолотной части компоновки от прихвата, величина которой определяется длиной хода выдвижного вала.

7. Аналитически обосновано, что эффективность гашения продольных колебаний в бурильной колонне определяется величиной гравитационных, гидравлических и диссипативных сил, срабатываемых на подвижном низе наддолотного комплекта в виде осевой нагрузки на долото, не превышающей порогового значения, величина которой в сильной степени зависит от длины наддолотного комплекта и определяет условия возбуждения продольных колебаний

с областью распространения, зависящей от величины их амплитуды и угловой скорости вращения долота.

8. Выполнено обоснование конструктивных решений с пояснением назначения и особенностей каждой детали, на основании чего разработана конструкторская документация и полный комплект рабочих чертежей, пригодных для промышленного изготовления многофункционального забойного устройства подачи долота ЗУПД-195 спроектированного с учетом унификации заготовок труб и материалов, применяемых в нефтяной и газовой промышленности.

9. Стендовые и промысловые испытания забойного устройства подачи долота ЗУПД-195, в ходе которых устройство подвергалось действию сжимающих и растягивающих нагрузок, а также внутреннему гидравлическому давлению и действию рабочих нагрузений в скважинных условиях, подтвердили работоспособность устройства, технологичность его использования и эффективность применения при бурении скважины Северо-Югидского газоконденсатного месторождения на глубине 3321-3350 м: проходка долота возросла в 3,9 раза, механическая скорость – в 1,56 раза, масса УБТ сократилась на 20 т, а время спуско-подъема на 80 минут; при этом экономический эффект от испытаний составил 1 785 тысяч рублей.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Буслаев, Г.В. Забойное устройство многофункционального назначения [Текст] / Г.В. Буслаев, И.А. Турьев // IV Научно-практическая конференция молодых специалистов «Современные технологии газовой отрасли», 26-31 марта 2006 г.: тезисы докладов. - ООО «Севергазпром», 2006. – С. 27.

2. Забойное устройство подачи долота [Текст]: пат. 55848 Рос. Федерация: МПК⁷ E21B 19/08 / В.Ф.Буслаев, Г.В. Буслаев, И.Н.Андронов, Н.И. Кузнецов, Н.И. Нестер; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Ухтинский государственный технический университет. - № 2006110739/22; заявл. 03.04.2006; опубл. 27.08.2006, Бюл. № 24. - 7 с.

3. Буслаев, Г.В. Исследование условий возникновения продольного резонанса при использовании забойного устройства подачи долота [Текст] / В.Ф. Буслаев, В.К. Хегай, Г.В. Буслаев, Н.И. Кузнецов, Ю.Г. Башаров // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2006. – № 11. – С. 7-10. - Библиогр.: 4 назв.

4. Буслаев, Г.В. Забойное устройство подачи долота многофункционального назначения [Текст] / Г.В. Буслаев, И.А. Турьев // VII международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2006», 22-24 марта 2006 г.: материалы конференции, Ч.1. – Ухта: УГТУ, 2006. – С. 302-304.

5. Буслаев, Г.В. Результаты испытания многофункционального забойного устройства подачи долота ЗУПД-195 [Текст] / Буслаев В.Ф., Буслаев Г.В., Лужиков Д.А., Кузнецов Н.И., Горбиков А.Н., Мануйлов А.В., Нестер Н.И., Миленский А.М. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2007. – № 11. – С. 32-34. - Библиогр.: 3 назв.

6. Устройство забойное для создания равномерной нагрузки на долото [Текст]: пат. 73021 Рос. Федерация: МПК⁷ E21B 17/10/ В.Ф.Буслаев, Г.В. Буслаев; заявитель и патентообладатель ООО «Новационные технологии». - № 2007139788/22; заявл. 26.10.2007; опубл. 10.05.2008, Бюл. № 13. - 5 с.

7. Буслаев, Г.В. Методика и результаты испытаний забойного устройства подачи долота [Текст] / Г.В. Буслаев, И.А. Турьев // VIII международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2007», 21-23 марта 2007 г.: материалы конференции, Ч.1. – Ухта: УГТУ, 2007. – С. 245-247.

8. Буслаев, Г.В. Гидравлическая программа применения забойного устройства подачи долота [Текст] / Буслаев Г.В. // Геология, бурение, разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. – 2008. – № 2. – С. 33-36. - Библиогр.: 3 назв.

9. Буслаев, Г.В. Анализ и обоснование применения забойных устройств подачи долота [Текст] / Г.В. Буслаев // IX международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2008», 19-21 марта 2008 г.: материалы конференции, Ч.II. – Ухта: УГТУ, 2008. – С. 146-149.

10. Буслаев, Г.В. Гидравлическая программа применения забойного устройства подачи долота [Текст] / Г.В. Буслаев // IX международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2008», 19-21 марта 2008 г.: материалы конференции, Ч.II. – Ухта: УГТУ, 2008. – С. 150-153.

11. Буслаев, Г.В. Расчет забойного устройства подачи долота многофункционального назначения [Текст]: методические указания/ Г.В. Буслаев. – Ухта: УГТУ, 2010. – 14 с.