

*На правах рукописи*

**Шайхутдинова Алия Фаритовна**



**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА КОМПОНОВКИ С  
ДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ ДЛЯ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРЕНИЯ  
СКВАЖИН ДОЛОТАМИ PDC**

*Специальность 25.00.15 – Технология бурения и освоения  
скважин*

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

**Санкт-Петербург - 2019**

**Работа выполнена в государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт» (ГБОУ ВО АГНИ).**

**Научный руководитель –**  
доктор технических наук, доцент

*Хузина Лилия Булатовна*

**Официальные оппоненты:**

*Лягов Александр Васильевич*

доктор технических наук, доцент, ООО «Перфобур»,  
директор по научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам

*Чулкова Виктория Валерьевна*

кандидат технических наук, доцент, ОАО «Ямал СПГ»,  
планово-экономический отдел управления контроллинга,  
главный специалист

**Ведущая организация:**

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»

Защита диссертации состоится 17 января 2020 г. в 15 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.02 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, В.О. 21-я линия, дом 2, ауд. №1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте [www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).

Автореферат разослан 15 ноября 2019г.

**УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ**  
диссертационного совета



**Блинов**  
Павел Александрович

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы диссертации**

Одной из важных проблем нефтегазовой отрасли России является необходимость поддержания добычи на существующем уровне. Среди задач, стоящих перед нефтегазовыми сервисными компаниями, осуществляющими эксплуатационное бурение, актуальной является сохранение конкурентоспособности на российском рынке нефтесервисных услуг, которое невозможно без качественного строительства скважин. В связи с этим, повышение технико-экономических показателей строительства скважин является одним из наиболее приоритетных направлений деятельности нефтесервисных буровых компаний.

Как показывает практика, за счёт правильного подбора породоразрушающего инструмента, можно увеличить механическую скорость бурения, проходку на долото и получить экономию капитальных затрат при строительстве нефтяных и газовых скважин до 30-40% от общей стоимости скважины. На сегодняшний день наиболее современными и эффективными считаются долота PDC (Polycrystalline Diamond Compact). Основными показателями эффективности PDC долот в отличие от шарошечных является кратное увеличение проходки на долото и повышение механической скорости бурения. Однако при прохождении пород, перемежающихся по твёрдости, у долот типа PDC, как правило, наблюдаются низкая механическая скорость бурения и стойкость инструмента.

Одним из путей улучшения эффективности разрушения горной породы является включение в компоновку низа бурильной колонны (КНБК) наддолотных технических устройств, усиливающих динамическую составляющую осевой нагрузки на долото. Однако практическая реализация преимуществ, связанных с внедрением в практику бурения динамических КНБК, оказалась сопряжена со значительными трудностями, которые, в первую очередь, касаются сложности конструкций существующих устройств.

Таким образом, проведение комплекса работ по исследованию и разработке динамической компоновки, позволяющей сочетать статическую нагрузку на долото PDC с динамическим импульсом, при сохранении непрерывного контакта долота с забоем и улучшение качества проводки скважины в перемежающихся по твёрдости горных породах, является актуальной задачей для нефтегазовой отрасли.

**Цель работы** - повышение эффективности бурения нефтяных и газовых скважин в условиях перемежающихся по твёрдости горных пород.

**Идея работы** заключается в создании дополнительной динамической нагрузки на долото путём включения в состав КНБК динамически активного элемента, позволяющего увеличить механическую скорость бурения и проходку на долото.

**Основные задачи работы:**

1. Анализ отработки долот PDC и применяемых КНБК на скважинах, пробуренных на месторождениях Республики Татарстан, а также обзор существующих устройств и механизмов, способных регулировать динамическую составляющую осевой нагрузки на долото.

2. Разработка схемы КНБК с динамически активным элементом для более эффективного разрушения горной породы долотами PDC.

3. Проведение аналитических исследований работы динамически активного элемента КНБК – осциллятора-турбулизатора.

4. Проведение стендовых испытаний динамически активного элемента КНБК по определению влияния расхода промывочной жидкости на основные технические показатели осциллятора-турбулизатора.

5. Проведение опытно-промысловых испытаний КНБК с динамически активным элементом и долотом PDC с целью определения влияния её работы на основные технико-экономические показатели бурения. Проведение технико-экономической оценки разработанной КНБК.

**Методология и методы исследований** включают в себя комплекс аналитических методов с применением современных программных средств, стендовых исследований, промысловых испытаний и статистических обобщений результатов.

**Научная новизна** заключается в разработке математической модели работы осциллятора-турбулизатора для конкретных геометрических параметров и характеристик материала, позволяющей оценить влияние плотности, вязкости и расхода промывочной жидкости на частоту его колебаний, а также в экспериментальном подтверждении повышения эффективности работы долот PDC в перемежающихся по твёрдости горных породах за счёт создания дополнительной динамической нагрузки на долото с помощью осциллятора-турбулизатора, входящего в состав КНБК.

**Защищаемые научные положения:**

1. Разработанная математическая модель работы осциллятора-турбулизатора позволяет оценить влияние плотности, вязкости и расхода промывочной жидкости на частоту его колебаний, а также подобрать работоспособные конструкции основного рабочего органа осциллятора-турбулизатора – клапана.

2. В перемежающихся по твёрдости горных породах увеличение механической скорости бурения долотами PDC до 35%, проходки на долото до 10% обеспечивается за счет воздействия дополнительной динамической нагрузки, создаваемой осциллятором-турбулизатором, включённым в состав КНБК, с частотным диапазоном колебаний 10-80Гц.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** определяется современным уровнем аналитических и достаточным объёмом экспериментальных исследований, высокой степенью сходимости результатов и воспроизводимостью полученных данных.

**Практическая и теоретическая значимость работы:**

1. Разработана компоновка низа бурильной колонны для повышения эффективности бурения скважин в перемежающихся по твёрдости горных породах с включением в неё долота PDC, осциллятора-турбулизатора, которая успешно прошла промысловые

испытания и позволила повысить показатели бурения на скважинах в условиях Урало-Поволжья.

2. Результаты теоретических, лабораторных и промысловых исследований разработанной КНБК используются в учебном процессе ГБОУ ВО АГНИ при изучении студентами дисциплин «Технология бурения нефтяных и газовых скважин», «Породоразрушающий инструмент», при выполнении выпускных квалификационных работ бакалавров, обучающихся по направлению 21.03.01 «Нефтегазовое дело» профиля «Бурение нефтяных и газовых скважин», научно-исследовательских работ магистров направления подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело» программы «Строительство нефтяных и газовых скважин в сложных горно-геологических условиях».

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских, международных и региональных конференциях, в том числе научно-практической конференции «Научная сессия ученых Альметьевского государственного нефтяного института» (г. Альметьевск, 2013,2014,2015,2016гг.); XI Международной научно-практической конференции «Ашировские чтения» (г. Туапсе, 2014, 2019); молодёжной научно-практической конференции ООО «УК «Татбурнефть»» (г. Альметьевск, 2016); научно-технической конференции, посвященной 60-летию «ТатНИПИнефть» (г. Бугульма, 2016); молодёжной научно-практической конференции НГДУ «Елховнефть» (г. Альметьевск, 2016); научном форуме молодых работников НГДУ «Альметьевнефть» (г. Альметьевск, 2016); Международной научно-практической конференции «Бурение в осложненных условиях» (г. Санкт-Петербург, 2016); Международной научно-практической конференции «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли» (г. Альметьевск, 2017, 2018); Всероссийской научно-технической конференции «Трудно-извлекаемые запасы нефти и газа. Проблемы, исследования и инновации» (г. Уфа, 2019).

**Публикации.** Основное содержание диссертации опубликовано в 30 работах, в том числе 8 работ изданы в ведущих

научных рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК РФ, 2 - в изданиях, индексируемых международной научной базой цитирования Scopus и Web of Science, получен патент РФ.

**Личный вклад.** Проведены теоретические исследования, стендовые и промышленные испытания, в результате которых доказана эффективность компоновки.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, основных выводов, списка использованной литературы из 134 наименований, содержит 135 страниц машинописного текста, в том числе 53 рисунка, 17 таблиц и 4 приложения.

*Автор выражает особую признательность и искреннюю благодарность научному руководителю д.т.н. Хузиной Л.Б., коллективу кафедры БНГС АГНИ за постоянную помощь в работе, Фахрутдинову Ш.Х. за помощь в проведении совместных стендовых, опытно-промышленных испытаний, а также директору НПФ «Пакер» Нагуманову М.М. и коллективу фирмы за помощь в изготовлении опытного образца осциллятора-турбулизатора.*

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель, задачи, идея, научная новизна, теоретическая и практическая ценность работы, основные защищаемые положения, приводятся сведения об апробации разработанной КНБК.

**В первой главе** приведены результаты проведенного анализа по отработке долот PDC на 220 скважинах, пробуренных на месторождениях Республики Татарстан.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности бурения скважин является постепенная замена шарошечных долот на долота PDC. В Республике Татарстан в последние годы также наблюдается значительный рост применения долот типа PDC (рисунок 1).

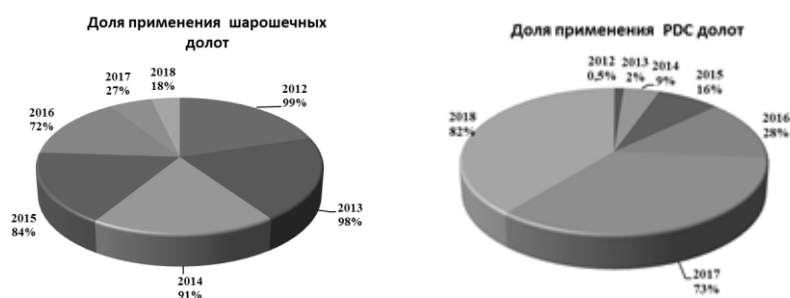


Рисунок 1 – Сравнительные показатели по применению шарошечных и PDC долот в компании ПАО «Татнефть» за 2012-2018гг.

При выполнении анализа по отработке долот PDC в ПАО «Татнефть» по каждой скважине были рассмотрены: технико-экономические показатели бурения, режимы бурения, применяемые КНБК под каждую колонну.

На основании проведённого анализа выявлена эффективность применения долот PDC на участках бурения под направление и кондуктор. Однако на некоторых площадях при бурении под эксплуатационную колонну наблюдался сильный износ вооружения PDC долот и, как следствие, низкая механическая скорость бурения, которая сопоставима со средними показателями шарошечных долот в этом интервале. Низкая механическая скорость бурения связана, вероятнее всего, с интервалом бурения, горно-геологический разрез которого представлен перемежающимися по твёрдости породами, переслаиванием известняков, доломитов, аргиллитов, характерным для Ромашкинского месторождения Республики Татарстан, а также, возможно, с недохождением нагрузки и подвисанием долота, что ухудшает контакт долота с забоем и снижает эффективность разрушения горной породы.

Многочисленные теоретические и промысловые исследования, в том числе зарубежных учёных, показывают, что сочетание статической нагрузки на долото с динамической при применении вибрационных устройств способно повысить

эффективность разрушения горных пород, особенно повышенной категории твердости. Исследованиями динамики бурильного инструмента в процессе проводки скважин на нефть и газ занимались такие видные учёные, как М.М. Александров, П.В. Балицкий, Ю.С. Васильев, В.С. Владиславлев, М.С. Габдрахимов, А.С. Галеев, В.Г. Григулецкий, И.Л. Гуреев, Р.А. Иоаннесян, Л.Е. Калинин, З.Г., Керимов, Г.А. Кулябин, А.В. Лягов, Н.Ф. Мавлютов, А.Х. Мирзаджанзаде, Э.М. Мухин, Ю.Ю. Никитин, Р.Х. Санников, В.В. Симонов, С.Л. Симонянц, А.И. Спивак, Б.З. Султанов, В.К. Хегай, Л.Б. Хузина, Ю.К. Шлык, Е.К. Юнин, А.Ш. Янтурин и др. Однако известные конструкции устройств для усиления нагрузки на долото имеют ряд недостатков и широкого применения не получили.

Учитывая перспективность применения долот PDC, проанализировав теоретические исследования и практическое применение, вопрос совершенствования существующих конструкций КНБК с долотами PDC для повышения эффективности бурения в перемежающихся по твёрдости горных породах, является актуальным.

*Во второй главе* приведены результаты аналитических исследований работы элемента динамически активной КНБК.

Разработана типовая конструкция низа бурильной колонны, позволяющая регулировать динамическую нагрузку на долото PDC (патент РФ №126748), представленная на рисунке 2.

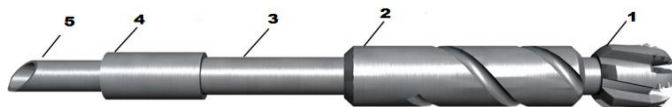


Рисунок 2 – Типовая компоновка низа бурильной колонны с усиленной динамической составляющей осевой нагрузки на долото

1- долото PDC, 2 - осциллятор-турбулизатор, 3 - винтовой забойный двигатель (ВЗД), 4 - телесистема, 5 - бурильные трубы

Предложенная компоновка включает динамически активный участок в виде осциллятора-турбулизатора (рисунок 3), включение

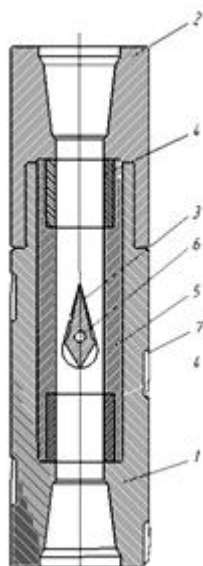


Рисунок 3 –  
 Схема  
 осциллятора-  
 турбулизатора  
 1-корпус;  
 2- крышка;  
 3- клапан;  
 4 – диффузоры;  
 5 – втулка;  
 6 – ось;  
 7 – насечки

которого приводит к осцилляции низкочастотных колебаний промывочной жидкости и создает дополнительные виброперемещения КНБК, что способствует лучшему контакту долота с забоем и улучшению эффективности разрушения горной породы, особенно в горизонтальных участках скважин.

Основным рабочим органом осциллятора-турбулизатора является клапан. Статическое исследование осциллятора-турбулизатора не дает возможности оценить зависимости частоты колебаний от плотности, вязкости промывочной жидкости и массы лепестка клапана, но позволяет сделать определенные выводы. Предельное положение клапана зависит от его формы и размеров. Клапан должен обладать устойчивостью, т.е. способностью возвращаться в исходное вертикальное положение после прекращения действия отклоняющей силы (сила давления промывочной жидкости - гидродинамическая сила  $F_{гидр}$ ). Стабилизирующими силами (возвращающими клапан в исходное вертикальное положение) являются сила тяжести  $G$  и выталкивающая сила  $F_a$  (сила Архимеда). Так как по абсолютной величине  $G > F_a$ , необходимо, чтобы сила тяжести «работала» на открытие клапана (т.е.

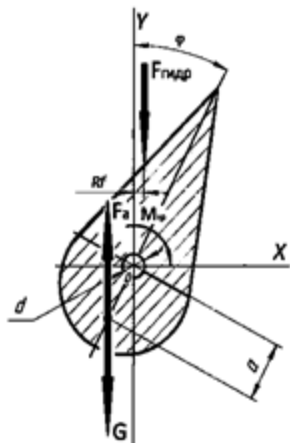
возвращала клапан в исходное вертикальное положение). Это возможно, если вектор силы тяжести  $G$  будет расположен левее относительно вертикальной оси (оси  $Y$ ), проходящей через ось вращения (точку  $O$ ). Соответствующим профилированием клапана (верхней и нижней частей, т.е. выше и ниже оси вращения) можно исключить/уменьшить действие выталкивающей силы  $F_a$ .

Для рассматриваемого осциллятора-турбулизатора был разработан и сконструирован клапан в виде лепестка.

Уравнение динамики клапана рассмотрим на примере схемы (рисунок 4). Рассмотрим частный случай, если клапан изготовлен из однородного материала (или в нем нет специальных конструктивных полостей).

Уравнение динамики вращательного движения клапана будет иметь вид:

$$(J + J_{\text{пр}}) \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = G \cdot a \cdot \sin \varphi - F_a \cdot a \cdot \sin \varphi - F_{\text{гидр}} \cdot Rf - M_{\text{тр}}, \quad (1)$$



где  $J$  – момент инерции клапана относительно точки  $O$ , кг·м<sup>2</sup>;

$J_{\text{пр}}$  – присоединенный момент инерции, кг·м<sup>2</sup>;

$M_{\text{тр}}$  – момент трения в опоре вращения (оси), Н·м.

Математическая модель динамики клапана исследовалась численными методами в программе Mathcad при следующих допущениях:

1) Для описания движения достаточно рассмотреть один цикл, от начала открывания клапана до его закрытия.

2) Расход жидкости через клапан принимается зависящим линейно от угла поворота клапана (максимальный расход  $Q_{\text{max}}$  в вертикальном положении, минимальный  $Q_{\text{min}}$  – в предельном/крайнем положении).

3) Масса клапана, момент инерции вычислены в программе SolidWorks для конкретных геометрических параметров и

Рисунок 4 - Положение клапана для вывода уравнения динамики

$O$  – ось вращения;

$G$  – сила тяжести;

$F_a$  – выталкивающая сила;

$d$  – диаметр оси;

$F_{\text{гидр}}$  – гидродинамическая сила;

$\varphi$  – угол поворота клапана;

$Rf$  – плечо действия

гидродинамической силы;

$M_{\text{тр}}$  – момент трения в опоре вращения (оси).

характеристик материала.

4) Данные для нахождения присоединенного момента инерции и численные значения коэффициента гидродинамического сопротивления взяты из справочных материалов.

В результате проведенных исследований получены зависимости:

- с увеличением динамической вязкости промывочной жидкости от  $5 \cdot 10^{-3}$  до  $20 \cdot 10^{-3}$  Па·с амплитуда колебаний клапана уменьшается, при этом частота колебаний практически не меняется;

- с увеличением плотности промывочной жидкости от 1000 до  $1200 \text{ кг/м}^3$  амплитуда колебаний клапана уменьшается, при этом частота колебаний увеличивается;

- с увеличением расхода промывочной жидкости от 0,001 до  $0,045 \text{ м}^3/\text{с}$  амплитуда колебаний уменьшается, при этом частота колебаний увеличивается.

В результате проведения аналитических исследований конструкции клапана осциллятора-турбулизатора, которое является одним из возможных исполнений и ни в коей мере не исчерпывает всего многообразия вариантов, было выявлено, что существенное влияние на частоту колебаний оказывает конструктивное исполнение клапана. Соответствующим профилированием клапана можно подобрать: необходимый закон изменения расхода жидкости через клапан; массогабаритные характеристики, влияющие на силу тяжести и силу Архимеда; величину и точку приложения гидродинамической силы; момент трения в опоре изменением диаметра оси.

Полученные зависимости могут в дальнейшем использоваться при проектировании различных вибраторов, гидроусилителей для бурения скважин.

**В третьей главе** приведены методика, методы и результаты проведенных стендовых исследований КНБК с динамически активным элементом, направленные на определение основных параметров работы динамически активного участка в условиях, приближенных к промышленным. Для проведения исследований при решении поставленных задач использовались обкаточно-

испытательный стенд типа СОИ-500, виброизмерительный прибор АГАМ–М фирмы «Диамех». На рисунке 5 изображена схема стенда для исследования осциллятора-турбулизатора, оборудованного замкнутой системой циркуляции жидкости, прокачиваемой насосом, обеспечивающего непрерывную подачу жидкости.

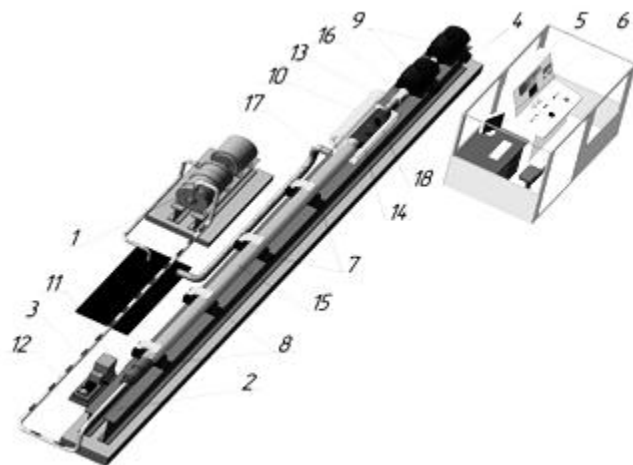


Рисунок 5 - Схема стенда для исследования осциллятора-турбулизатора

- 1-насосный блок; 2- станина; 3– маслостанция; 4- тензодатчик;  
 5- пульт управления; 6– компьютер; 7– гидрозажимы нерегулируемые;  
 8– гидрозажимы регулируемые; 9- гидравлический тормоз;  
 10– отбойник; 11– быстрая съёмная гайка; 12 - рукав высокого давления; 13 – насадка; 14- осциллятор-турбулизатор; 15- винтовой забойный двигатель; 16– муфта соединительная; 17 – слив;  
 18-виброизмерительный прибор.

Расход и давление жидкости определялись блоком датчиков расхода и давления, установленным в нагнетательной линии насосной группы. Виброизмерительный прибор устанавливался на теле осциллятора-турбулизатора. Испытания на стенде проводили без осциллятора и с осциллятором при различных значениях расхода промывочной жидкости от 0,008 м<sup>3</sup>/с до 0,035 м<sup>3</sup>/с. В качестве

промывочной жидкости применялась вода. После выгрузки и обработки полученных результатов на компьютере были получены спектры частот. Так, из графиков 6,7 видно, что при расходе промывочной жидкости  $0,008 \text{ м}^3/\text{с}$  и включении в КНБК осциллятора-турбулизатора частота колебаний составила 18 Гц, что соответствует частоте работы устройства.

Аналогичная картина наблюдалась и при других значениях расхода промывочной жидкости: при расходе  $0,012 \text{ м}^3/\text{с}$  частота колебаний составила 24 Гц, при  $0,016 \text{ м}^3/\text{с}$  – 32 Гц, при  $0,020 \text{ м}^3/\text{с}$  – 48 Гц, при  $0,025 \text{ м}^3/\text{с}$  – 56 Гц, при  $0,030 \text{ м}^3/\text{с}$  – 64 Гц, при  $0,035 \text{ м}^3/\text{с}$  – 78 Гц.

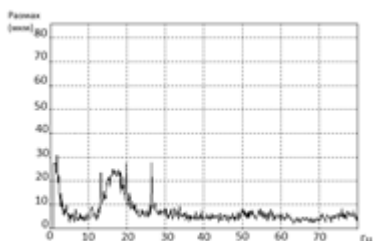


Рисунок 6 - Спектр частот без включения в КНБК осциллятора-турбулизатора при расходе промывочной жидкости  $0,008 \text{ м}^3/\text{с}$

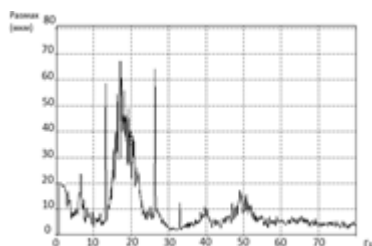


Рисунок 7 - Спектр частот с включением в КНБК осциллятора-турбулизатора при расходе промывочной жидкости  $0,008 \text{ м}^3/\text{с}$

Для оценки влияния расхода промывочной жидкости на частоту колебаний и перепад давления, создаваемого осциллятором-турбулизатором, проведены теоретические расчёты, которые были сопоставлены с полученными экспериментальными данными. На основании полученных данных построены графики 8,9.

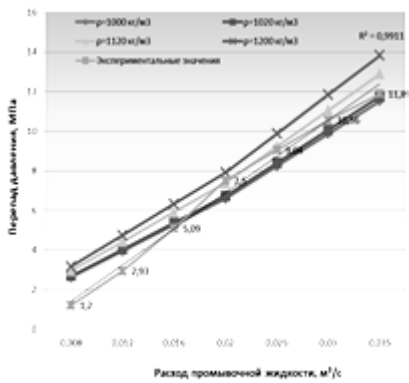


Рисунок 8 – Результаты сопоставления теоретических расчетов и экспериментальных значений перепада давления, создаваемого осциллятором-турбулизатором, от расхода промывочной жидкости

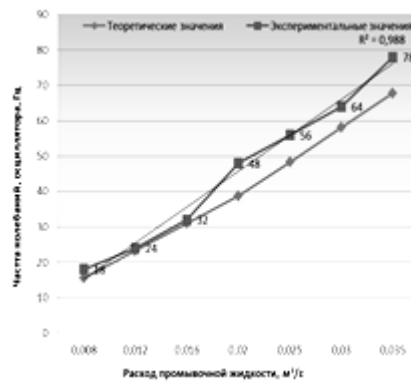


Рисунок 9 – Результаты сопоставления теоретических расчетов и экспериментальных значений частоты колебаний осциллятора- турбулизатора от расхода промывочной жидкости турбулизатора от расхода

Лабораторные эксперименты показали, что для определения амплитудных значений давления гидравлического удара, создаваемого осциллятором-турбулизатором, применима формула Жуковского. Из графика 8 видно, что с увеличением расхода промывочной жидкости от 0,008 до 0,035 м³/с перепад давления возрастает от 1,2 МПа до 11,89 МПа. Из графика 9 видно, что с увеличением расхода промывочной жидкости частота колебаний скважинного осциллятора-турбулизатора также увеличивается.

Из приведенных выше графиков зависимостей параметров работы осциллятора-турбулизатора видна хорошая сходимость экспериментальных и теоретических значений.

В результате стендовых исследований была подтверждена работоспособность осциллятора-турбулизатора и получены его основные технические характеристики. Полученные результаты теоретических и экспериментальных значений послужили

основанием для проведения дальнейших опытно-промысловых испытаний КНБК с динамически активным элементом.

**В четвертой главе** приведены результаты промысловых испытаний компоновки низа бурильной колонны с динамически активным элементом и долотом PDC на месторождениях Республики Татарстан.

1. Шереметьевское месторождение, скв № 1.

Геологический разрез сложен преимущественно из перемежающихся по твердости горных пород. Бурение скважины велось буровой установкой БУ – 2000/125 ЭБМ. Опытное бурение проводилось в интервале 305-800 м. В компоновку низа бурильного инструмента, состоящего из долота PDC диаметром 215,9; двигателя ДР172; центратора; УБТ(178) – 75 м; ЛБТ – 18 м; бурильных труб, над долотом установили осциллятор-турбулизатор. Для оценки результатов опытного бурения с применением КНБК с усиленной динамической нагрузкой на долото PDC были выбраны соседние скважины, пробуренные на том же Шереметьевском месторождении, в равноценных геолого-технических условиях № 1,2,3. В результате испытаний КНБК на опытной скважине пробурено 495 метров горных пород под эксплуатационную колонну. В среднем механическая скорость с применением компоновки с динамически активным элементом составила 30,8 м/ч. Средняя механическая скорость по оценочным скважинам составила 22 м/ч. Получено превышение механической скорости в 1,5 раза; проходки на долото – 1,9 раз.

2. Аканское месторождение, скв. №1, №2 (скважины малого диаметра - СМД).

Геологический разрез сложен плотными глинами с пропластками аргиллитов, песчаников. Применялась компоновка: долото PDC диаметром 215,9; осциллятор-турбулизатор; двигатель ДР178; ЛБТ(102) 50 м; УБТ(120) 75 м; ЛБТ(102); СБТ(102) 193 м; остальное – бурильный инструмент. В результате опытного испытания компоновки было пробурено 856 метров горных пород. В среднем механическая скорость по двум скважинам составила 21,6

м/ч, что превышает средние показатели механической скорости бурения по соседним скважинам в 1,3-1,5 раз.

В результате опытно-промысловых испытаний с помощью осциллятора-турбулизатора пробурено 2305 метров горных пород, средняя механическая скорость бурения составила от 16 до 30,8 м/ч в зависимости от разбуриваемых горных пород. Обобщенные результаты опытно-промысловых испытаний КНБК в составе с осциллятором-турбулизатором показали увеличение механической скорости бурения до 20...35% и проходки на долото до 10%.

На основании результатов работы КНБК с усиленной динамической нагрузкой на долото PDC, полученных при строительстве вышеприведённых скважин, выполнен сравнительный технико-экономический расчёт. Предполагаемый экономический эффект от внедрения предлагаемой разработки составляет более 650 тыс. рублей в расчёте на одну скважину, который достигается за счет увеличения механической скорости бурения и проходки на долото, сокращения непроизводительного времени, связанного с подъёмом КНБК для смены породоразрушающего инструмента.

Таким образом, проведённые опытно-промысловые испытания показали эффективность применения разработанной КНБК с осциллятором-турбулизатором.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. На основании проведённого анализа 220 скважин, пробуренных на месторождениях Республики Татарстан, выявлена эффективность применения долот PDC на участках бурения под направление и кондуктор. Однако при бурении под эксплуатационную колонну наблюдается сильный износ вооружения долот, низкая механическая скорость бурения, что, скорее всего, связано с прохождением перемежающихся по твёрдости горных пород, характерных для месторождений Республики Татарстан, а также с недохождением необходимой нагрузки на долото и его подвисанием, что не обеспечивает необходимый контакт долота с забоем.

2. Разработана типовая схема динамической компоновки, включающая долото PDC, осциллятор-турбулизатор, винтовой забойный двигатель, телесистему, бурильные трубы, для повышения эффективности процесса бурения в перемежающихся по твёрдости горных породах.

3. Получена математическая модель динамики клапана осциллятора-турбулизатора, решение которой позволяет получить зависимости влияния плотности, вязкости и расхода жидкости на частоту его колебаний и определить работоспособные конструкции. Существенное влияние на частоту колебаний оказывает конструктивное исполнение клапана осциллятора-турбулизатора. Рассмотренная конструкция клапана является одним из возможных вариантов и ни в коей мере не исчерпывает всего многообразия вариантов. Полученные зависимости могут в дальнейшем использоваться при проектировании мощных гидравлических вибраторов для бурения скважин.

4. Проведёнными теоретическими и стендовыми исследованиями установлено, что использование осциллятора-турбулизатора позволяет создавать пульсирующую промывку согласно заданных параметров. Стендовыми испытаниями установлено:

- при расходе промывочной жидкости  $0,008 \text{ м}^3/\text{с}$  частота колебаний осциллятора-турбулизатора составляет 18 Гц, при  $0,012 \text{ м}^3/\text{с}$  - 24 Гц,  $0,016 \text{ м}^3/\text{с}$  - 32 Гц,  $0,020 \text{ м}^3/\text{с}$  - 48 Гц,  $0,025 \text{ м}^3/\text{с}$  - 56 Гц,  $0,030 \text{ м}^3/\text{с}$  - 64 Гц,  $0,035 \text{ м}^3/\text{с}$  - 78 Гц;

- для теоретических исследований амплитудных значений давления гидравлического удара, создаваемого осциллятором-турбулизатором, применима формула Жуковского; с увеличением расхода промывочной жидкости от  $0,008$  до  $0,035 \text{ м}^3/\text{с}$  перепад давления возрастает от 1,2 МПа до 11,89 МПа соответственно.

В результате сопоставления теоретических и экспериментальных данных получена хорошая сходимость.

5. В результате промысловых испытаний установлено, что для повышения эффективности бурения в перемежающихся по твёрдости горных породах в условиях Татарстана, необходимо

создание и увеличение интенсивности продольных колебаний путём включения в КНБК осциллятора-турбулизатора над долотом. Получено увеличение механической скорости бурения до 35% и проходки на долото до 10%. Экономический эффект от внедрения осциллятора-турбулизатора составил более 650 000 рублей в расчёте на одну скважину за счёт увеличения проходки на долото, роста механической скорости бурения, сокращения непроизводительного времени, связанного с подъёмом КНБК для смены породоразрушающего инструмента.

Наиболее значимые работы:

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

1. Хузина, Л.Б. Конструкция низа бурильной колонны при разработке залежей высоковязких нефтей / Л.Б. Хузина, А.Ф. Шайхутдинова, Л.В. Петрова, А.А. Мухутдинова // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". – 2012. - №5. – С. 55-61.

2. Хузина, Л.Б. Особенности предупреждения прихватоопасности при бурении скважин с горизонтальными окончаниями / Л.Б. Хузина, С.В. Любимова А.Ф. Шайхутдинова // Ежемесячный научно-технический и производственный журнал «Газовая промышленность». - 2013. – С.49-51.

3. Хузина, Л.Б. Технологическое решение для повышения эффективности работ долот РДС / Л.Б. Хузина, А.Ф. Шайхутдинова // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. - 2016. - №4. – С.84-87.

4. Хузина, Л.Б. Техника для снижения сил трения при бурении горизонтальных участков / Л.Б. Хузина, С.В. Любимова, А.Ф. Шайхутдинова // Нефтепромысловое дело. - 2016.- № 9 – С. 38-42.

5. Хузина, Л.Б. Промысловые испытания компоновки низа бурильной колонны с усиленной динамической нагрузкой на долото / Л.Б. Хузина, А.Ф. Шайхутдинова, Р.Х. Фаткуллин и др. // Территория «НЕФТЕГАЗ». - 2016. - № 12. – С. 18-22.

6. Хузина, Л.Б. Анализ и предложение по эффективному применению долот РДС на месторождениях ПАО «Татнефть» / Л.Б.

Хузина, А.Ф. Шайхутдинова, Б.А. Хузин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2017. - № 11. – С.15-19.

7. Шайхутдинова А.Ф. Аналитические исследования работы элемента динамической компоновки низа бурительной колонны / А.Ф. Шайхутдинова, Л.Б. Хузина, А.Х. Габзалилова // Электронный журнал "Нефтяная провинция". – 2018. - №3. – С. 55-61.

8. Хузина, Л.Б. Методы создания дополнительной динамической нагрузки на долото / Л.Б. Хузина, С.В. Любимова, А.Ф. Шайхутдинова // Нефть. Газ. Новации. - 2018. - №10. - С. 54-55.

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

9. Khuzina, L.B. Studies of equipment stability for drill string in oil fields development/Исследование устойчивости элемента оборудования бурительных колонн при разработке нефтяных месторождений / L.B. Khuzina, A.F. Shaykhutdinova, A.Kh Gabzalilova // Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISSN2590-3217). 2019, – pp.723-726.

10. Khuzina, L.B. On the choice of the oscillators' installation site/ К вопросу о выборе места установки осцилляторов / L.B. Khuzina, V.S. Mukhametshin., K.T. Tyncherov, A.F. Shaikhutdinova // IJCRET-IAEME - International Journal of Civil Engineering and Technology (ISSN09766308-Scopus), 722307]. India. 2018, –pp.1952 - 1959.

**в) патенты:**

11. Патент № 126748 Российская Федерация, МПК E21B 7/08 (2006.01), Компоновка низа бурительной колонны с усиленной динамической нагрузкой на долото : № 2012146106/03 : заявл. 29.10.2012 : опубл.10.04.2013/ Хузина Л.Б., Шайхутдинова А.Ф., Фаткуллин Р.Х., Мухутдинова А.А., Теляшева Э.А. ; заявитель Альметьевский государственный нефтяной институт. – 4 с.: ил. – Текст : непосредственный.