

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки: 21.04.01 Нефтегазовое дело  
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Исследование и совершенствование винтовых забойных двигателей</b>

УДК 621.4:622.243

#### Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Кондауров Олег Олегович		

#### Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Саруев Лев Алексеевич	д.т.н.		

#### Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Валитова Елена Юрьевна	к.п.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Шарф Ирина Валерьевна	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Сечин Александр Иванович	д.т.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Манабаев Кайрат Камитович	к.ф.-м.н.		

Томск – 2022 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК-1	Способен решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний в нефтегазовой области
ОПК-2	Способен осуществлять проектирование объектов нефтегазового производства
ОПК-3	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии
ОПК-4	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
ОПК-5	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в нефтегазовой отрасли и смежных областях
ОПК-6	Способен участвовать в реализации основных и дополнительных профессиональных образовательных программ, используя специальные научные и профессиональные знания
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способность оценивать эффективность инновационных решений и анализировать возможные технологические риски их реализации.
ПК(У) -2	Способность анализировать и обобщать данные о работе технологического оборудования, осуществлять контроль и техническое сопровождение.
ПК(У)-3	Способность обеспечивать безопасную и эффективную эксплуатацию и работу технологического оборудования нефтегазовой отрасли.
ПК(У)-4	Знание современных САД-САЕ-систем, их функциональные возможности для проектирования геометрических моделей изделий высокой сложности.
ПК(У)-5	Способность применять полученные знания для разработки и реализации проектов, различных процессов производственной деятельности на основе методики проектирования в нефтегазовой отрасли, а также инструктивно-нормативных документов.
ПК(У)-6	Способность к разработке учебно-методических материалов для первичной и периодической подготовки и аттестации специалистов в области обеспечения работы технологического оборудования
ПК(У)-7	Способность реализовывать программы профессионального обучения: планировать и проводить учебные занятия, оценивать достижение планируемых результатов для первичной и периодической подготовки и аттестации специалистов в области обеспечения работы технологического оборудования

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки (специальность): 21.04.01 Нефтегазовое дело  
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Манабаев К.К.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ05	Кондаурову Олегу Олеговичу

Тема работы:

Исследование и совершенствование винтовых забойных двигателей	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№39-38/с от 08.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	23.06.22
--	----------

Техническое задание:

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Тексты и графические материалы отчетов и исследовательских работ, фондовая и научная литература, технологические регламенты, нормативные документы.</p>
---	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Профессор, д.э.н., Шарф Ирина Валерьевна
Социальная ответственность	Доцент, к.т.н., Сечин Андрей Александрович
Английская часть	Профессор, д.ф.н., Матвеевко Ирина Алексеевна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языке х:

Литературный обзор

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	26.01.22
--	----------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Саруев Лев Алексеевич	д.т.н.		26.01.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Кондауров Олег Олегович		26.01.22

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2БМ05	Кондауров Олег Олегович

<b>Школа</b>	Инженерная школа природных ресурсов	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Отделение нефтегазового дела
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	21.04.01 «Нефтегазовое дело»/ «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оценка стоимости материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов на проведение ремонтных работ по замене двигательной секции винтового забойного двигателя
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы для винтовых забойных двигателей. Приказ №639 от 20 сентября 2019 года «Об утверждении Правил подготовки технических проектов разработки месторождений углеводородного сырья»
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Налоговый кодекс Российской Федерации ФЗ №67 от 24.07.2009 в ред. от 28.05.2022

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Обоснование перспективности ремонта винтового забойного двигателя с применением новой конструкции двигательной секции
<i>2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Расчет доходов и затрат при проведении локального ремонта винтового забойного двигателя при помощи замены двигательной секции по патенту №943388
<i>3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка экономической эффективности применения новой двигательной секции при ремонте винтового забойного двигателя

**Перечень графического материала:**

1. Календарный график проведения НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор ОНД	Шарф И.В.	Д.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2БМ05	Кондауров Олег Олегович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
2БМ05		Кондаурову Олегу Олеговичу	
<b>Школа</b>	Инженерная школа природных ресурсов	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Отделение нефтегазового дела
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	21.04.01 Нефтегазовое дело

Тема ВКР:

<b>Исследование и совершенствование винтовых забойных двигателей</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования:</i> винтовой забойный двигатель.  <i>Область применения:</i> бурения нефтяных и газовых скважин, различной траектории и профиля.  <i>Рабочая зона:</i> полевые условия.  <i>Климатическая зона:</i> климат в районе работ резко-континентальный с суровой зимой и жарким летом.  <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> Узел соединения ротора и выходного вала шпинделя.  <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> Вырабатываемый на роторе рабочей пары крутящий момент посредством гибкого вала передается на вал шпиндельной секции и соответственно на долото ВЗД.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022)</p> <p>ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования;</p> <p>ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul>	<p><b>Вредные факторы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Повышенный уровень шума;</li> <li>– Повышенный уровень общей вибрации;</li> <li>– Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе;</li> <li>– Отсутствие или недостаток естественного света; недостаточная освещенность рабочей зоны.</li> </ul> <p><b>Опасные факторы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего (в том числе движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного</li> </ul>

	<p>оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; разрушающиеся конструкции; обрушивающиеся горные породы; падающие деревья и их части; струи и волны, включая цунами; ветер и вихри, включая смерчи и торнадо;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенная температуратрубопроводной обвязки;</li> <li>– повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.</li> </ul> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> нормирование рабочего времени на открытом воздухе, система обогрева и мероприятий по обеспечению обогрева, использование средств защиты органов дыхания и кожных покровов (перчатки, очки, спецодежда), предупредительные вывески и сигналы при работе оборудования, соблюдения условий и правил эксплуатации оборудования и электрических приборов</p> <p><b>Расчет:</b> расчет системы искусственного освещения.</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность <u>при разработке проектного решения/при эксплуатации</u></b></p>	<p>Анализ природной среды, подвергающейся воздействию от работы буровой установки :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Земля и земельные ресурсы</li> <li>• Лес и лесные ресурсы. Лесные пожары. Оставление недорубов, захламливание лесосек</li> <li>• Вода и водные ресурсы. Загрязнение производственными водами (буровой раствор, нефтепродукты, минеральные воды). Загрязнение бытовыми стоками</li> <li>• Недра</li> <li>• Воздушный бассейн</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Оценка предполагаемого вредного воздействия</li> <li>- Природоохранные мероприятия</li> </ul>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения/при эксплуатации</u></b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Перечень наиболее опасных производственных чрезвычайных ситуаций в нефтегазовом комплексе: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Пожары</li> <li>– Открытые фонтаны</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b></p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Кондауров Олег Олегович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки (специальность): 21.04.01 Нефтегазовое дело  
 Уровень образования: магистратура  
 Отделение школы (НОЦ): Отделение нефтегазового дела  
 Период выполнения: весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
--------------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	17.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.03.2022	Введение	20
27.03.2022	Провести анализ причин преждевременного выхода из строя винтовых забойных двигателей	10
24.04.2022	Подобрать и рассчитать альтернативную конструкцию двигательной секции винтового двигателя	25
29.04.2022	Модернизировать шпиндельную секцию винтового забойного двигателя	15
11.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
11.05.2022	Социальная ответственность	10
16.06.2022	Оформление работы, составление презентации	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Саруев Лев Алексеевич	Д.Т.Н.		

## РЕФЕРАТ

Магистерская работа студента содержит 149 с., 44 рис., 22 табл., 63 литературных источников, 1 прил.

Ключевые слова: винтовой забойный двигатель, ВЗД, неисправность, бурение, скважине, давление.

Объектом исследования является винтовой забойный двигатель.

Целью данной работы является исследование вариантов технических решений совершенствования винтовых забойных двигателей (ВЗД).

В соответствии с поставленной целью были выдвинуты следующие задачи:

1. Провести анализ причин преждевременного выхода из строя ВЗД;
2. Подобрать и рассчитать альтернативную конструкцию двигательной секции ВЗД;
3. Модернизировать шпиндельную секцию ВЗД.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями

**Скважина:** цилиндрическая горная выработка в земной коре, сооружаемая без доступа в неё человека, которая характеризуется относительно небольшим диаметром по сравнению с ее длиной.

**Винтовой забойный двигатель:** гидравлическая машина объемного действия, приводимая в движение потоком промывочной жидкости, необходимая для разрушения горной породы и строительства наклонно-направленных, вертикальных и горизонтальных скважин.

**Горизонтальная скважина:** скважина, вскрывающая продуктивный пласт на интервале превышающая мощность пласта не менее, чем вдвое.

**Двигательная секция:** данная секция забойного двигателя является основной, состоит из ротора и статора, входящие в контакт посредством косозубого зацепления с разницей в зубьях = 1.

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения с соответствующими расшифровками

ВЗД - винтовой забойный двигатель;

КНБК - компоновка низа бурильной колонны;

ПРИ - породоразрушающий инструмент;

ДРУ/ДГР - двигатель с регулятором угла производства компаний ООО «Радиус сервис» / ООО «ВНИИБТ Буровой инструмент»;

УБТ - утяжеленные бурильные трубы;

КЛН - калибратор с прямыми лопастями;

КЛС - калибратор лопастной спиральный;

МРП - межремонтный период;

ННБ/СННБ - наклонно-направленное бурение/служба наклонно-направленного бурения;

ГТИ - геолого-технологические исследования;

СПО - спускоподъемные операции;

ЗБС - зарезка боковых стволов.

В тексте документа допускается приводить без расшифровки общепринятые сокращения, установленные в национальных стандартах и соответствующие правилам русской орфографии: с. - страница; т.е. - то есть; т.д. - так далее; т.п. - тому подобное; и др. - и другие; в т.ч. - в том числе; пр. - прочие; т.к. - так как; г. - год; гг. - годы; мин. - минимальный; макс. - максимальный; шт. - штуки; св. - выше; см. - смотри; включ. - включительно и др.

## Оглавление

Введение .....	14
История создания винтового забойного двигателя .....	16
1. Конструкция и принцип действия ВЗД .....	20
1.1. Двигательная секция .....	22
1.2. Шпиндельная секция .....	27
1.3. Регулятор угла.....	30
1.4. Дополнительные узлы .....	35
1.4.1. Противоаварийные узлы .....	35
1.4.2. Клапан обратный; переливной (циркуляционный) .....	37
1.4.3. Фильтр двигателя (шламоуловитель) .....	40
1.4.4. Центратор-стабилизатор шпиндельной секции .....	42
1.5. Блок-схема конструкции ВЗД .....	43
2. Анализ причин преждевременного выхода из строя винтовых забойных двигателей.....	44
2.1. Подготовка двигателя к работе .....	45
2.2. Контроль работы двигателя в скважине .....	49
2.3. Возможные неисправности двигателей .....	52
2.3.1. Снижение давление в нагнетательной линии в процессе бурения .....	52
2.3.2. Скачки давление в нагнетательной линии в процессе бурения.....	54
2.3.3. Повышение давления в нагнетательной линии при работе двигателя в скважине .....	56
2.3.4. Снижение механической скорости бурения при работе двигателя в скважине .....	59
2.3.5. Отсутствие возможности набора параметров кривизны скважины.....	61
2.4. Статистические данные использования ВЗД .....	62
3. Совершенствование конструкции винтовых забойных двигателей .....	69
3.1. Модернизация двигательной секции ВЗД .....	69

3.2.	Техническое предложение.....	73
3.3.	Оценка технологичности.....	84
3.4.	Модернизация шпиндельной секции ВЗД.....	87
	Социальная ответственность .....	91
	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	92
	Производственная безопасность .....	93
	Анализ опасных и вредных производственный факторов .....	94
	Расчет системы искусственного освещения .....	105
	Экологическая безопасность .....	108
	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	111
	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	116
	Заключение.....	129
	Список литературы .....	130
	Приложение.....	136

## **Введение**

Из мировой практики известно, что при разработке месторождений нефти и газа многие полезные ископаемые остаются в продуктивных пластах. В то же время месторождения нефти и газа характеризуются низким коэффициентом извлечения флюида; к концу 20 - началу 21 веков нефтеотдача таких месторождений колеблется в пределах от 30 до 40%. Таким образом, большая часть нефти и газа остается в пласте. При разработке таких месторождений применяются различные методы добычи из пласта: физико-химические методы, тепловые методы, внутриконтурное, краевое заводнение пластов и другие, несмотря на это более половины запасов остаются «погребенными».

В настоящее время подавляющее большинство скважин в РФ и за рубежом строятся наклонно-направленным способом, с целью увеличения дренирования пласта и, как следствие, значительного увеличения дебита добываемого флюида. Данная технология эффективна для создания оптимальной системы разработки месторождений и восстановления продуктивности скважин на поздних стадиях эксплуатации. Горизонтальное бурение способствует увеличению площади фильтрации жидкости; особенно эффективен этот способ разработки малопродуктивных пластов с вертикальными трещинами.

Период 1995 - 2003 гг. является переломным для России с точки зрения технологии бурения наклонно-направленных скважин. Именно в этот период Всероссийский научно-исследовательский институт технологии бурения создает и изготавливает винтовой забойный двигатель нового типа, в том числе для бурения горизонтальных скважин. [1].

На сегодняшний день наиболее распространенным и популярным оборудованием для строительства таких скважин являются винтовые забойные двигатели с регулятором угла перекоса. Данное оборудование имеет множество преимуществ: возможность установки на буровой установке необходимого угла наклона за короткий промежуток времени; меньшая длина по сравнению с турбобурами; возможность управления работой двигателя на скважине по давлению в нагнетательной линии; совместимость с большинством типов

современных долот и многое другое. Но, как и любое скважинное оборудование, забойные двигатели подвержены агрессивным нагрузкам, агрессивным буровым растворам и эксплуатационным ошибкам со стороны персонала.

Для того, чтобы исключить непроизводительные временные, материальные и финансовые потери бурения и исключить создание аварийных ситуаций на скважине, в рамках данной работы рассмотрим возможные и наиболее вероятные отказы ВЗД, наиболее распространенные и широко распространенные используемые конструкции в нашей стране. Также разработаем алгоритм действий персонала, контролирующего работу ВЗД в скважине.

## **История создания винтового забойного двигателя**

Официально метод наклонно-направленного бурения (ГНБ) был основан в США, в 72 году прошлого века, Мартином Черрингтоном, в то время президентом строительной компании Titan Contractose, в штате Калифорния. Метод возник как альтернатива траншейному методу, дающему наименьший экологический ущерб окружающей среде и не затрагивающему водную преграду. В некоторых случаях более рентабельна, чем традиционная установка.

История этого события восходит к середине 60-х годов, когда компания Cherrington впервые внедрила управляемое бурение. Это стало предпосылкой для создания небольшой буровой установки, сотрудничества с электротехническими службами и проведения работ по прокладке бытовых коммуникаций под дорогами.

В дальнейшем, по мере развития нефтяной промышленности, проекты ГНБ переходов через реки заняли важное место на строительном рынке.

Российские предприятия более эффективно развивались в освоении наклонно-направленного бурения, которые избрали путь приобретения зарубежного оборудования и технологий.

В период 1994 - 1995 гг. на рынке бывшего СССР появилось много компаний, предлагающих свои услуги по наклонно-направленному бурению, таких как компании с мощным оборудованием и прокладкой трубопроводов через водные преграды (в том числе российско-германская компания ВИС МОС, внешнеэкономическая объединение «Внештрубопроводстрой» (ВТПС), «Мострансгаз» и др.), а также предприятия, располагающие оборудованием для выполнения работ в городских условиях. Сегодня, наверное, в каждом районном центре европейской части России и Западной Сибири есть предприятия, способные производить работы если не через большие реки, то малых в городских условиях [4].

Именно в 1940-х годах метод ГНБ получил широкое распространение в Советском Союзе. Основным техническим средством, применявшимся при бурении скважин на нефть и газ, был турбобур. Довольно широкое

распространение получило турбинное бурение, в результате чего была обеспечена ускоренная разведка и разработка месторождений нефти и газа в Западной Сибири и Урало-Поволжье. В то же время темпы добычи углеводородов значительно увеличились.

С совершенствованием долот и технологий бурения средняя глубина скважин увеличилась. С течением времени наметилась тенденция к снижению основного технико-экономического показателя бурения - проходки долота за рейс. Хотя методы и технологии турбинного бурения с годами улучшились, производительность долота не улучшилась. Западно-Сибирские месторождения с благоприятными условиями, такими как мягкие породы и неглубокие скважины, имели значительно более низкие показатели проходки, чем в США.

В основном это было связано с невозможностью эффективного использования шарошечных долот с герметичными, маслonaполненными подшипниками, из-за применения многоступенчатых безредукторных турбобуров, обеспечивающих высокоскоростное бурение, с частотой вращения 400 - 500 об/мин.

В связи с этим в СССР встал вопрос о необходимости разработки, а затем внедрения технологий и оборудования, обеспечивающих малоскоростное бурение. Путей решения этого вопроса было всего два: либо полный переход на вращательное бурение, либо создание тихоходного забойного двигателя. Нефтяная промышленность была технически, экономически и психологически не готова к переходу на роторное бурение, особенно исходя из опыта уже успешного турбинного бурения в ряде регионов. К тому же уровень роторного бурения в СССР сильно отставал от мирового. Отсутствовали бурильные трубы, буровые установки необходимого, высокого технического уровня.

Переход на роторное бурение означал бы замедление развития нефтегазовой отрасли в основных регионах государства; к тому же промышленность не располагала необходимыми средствами для строительства новых заводов и оперативных баз. Именно по этим причинам был определен доминирующий метод бурения с использованием низкоскоростных забойных двигателей [1].

Задача создания гидрзабойного двигателя с требуемыми характеристиками была решена путем перехода от динамических машин к объемным. Первым гидромотором, который оказался не только эффективным, но и нашел промышленное применение, стал роторно-планетарный инверторный насос Муано.

Многолетние поисковые работы во ВНИИБТ по совершенствованию забойных гидромоторов привели в 1966 г. к появлению предложенного М.Т. Гусман, С.С. Никомаров, Н.Д. Деркач, Ю.В. Захаров и В.Н. Меньпенина нового типа ВЗД, рабочие органы которого впервые в мировой практике выполнены на базе многозаходного винтового героторного механизма, выполняющего роль планетарного редуктора.

В последующие годы во ВНИИБТ и его Пермском филиале Д.Ф. Балденко, Ю.В. Вадецкий, М.Т. Гусман, Ю.В. Захаров, А.М. Кочнев, С.С. Никомаров и другие исследователи создали основы теории рабочего процесса, конструкции и технологии изготовления, разработали технологию бурения винтовыми двигателями [1-2].

Таким образом, историю создания винтовых забойных двигателей в нашей стране можно свести к перечню дат и событий:

- 1966 г. Впервые в мире ВНИИБТ (Всероссийский научно-исследовательский институт технологии бурения) и ПФ ВНИИБТ (Пермский филиал) предложили новый тип гидравлического забойного двигателя - многозаходный винтовой забойный двигатель.
- 1974 - 1980 гг. Освоение серийного производства первого отечественного ЦСА на КМЗ (Кунгурский машиностроительный завод) и ПМЗ (Павловский машиностроительный завод).
- 1980 - 1990 Крупносерийное производство ШДМ на КМЗ, ПМЗ и Бердичевский завод «Прогресс» (г. Бердичев, Украина) до 7000 винтовых пар в год.
- 1981–1984 Продажа 4 эксклюзивных лицензий компании Drillex. (Франция, Англия). Закрытие для России внешнего рынка поставки ДПМ до 1991 года
- 1991 г. ПФ ВНИИБТ продает лицензию на производство КМЗ и ПМЗ

ПДМ. С 1992 года ПФ ВНИИБТ является конкурентом ПМЗ и КМЗ.

- 1995 - 2003 гг. ПФ ВНИИБТ создает и производит ДПМ нового поколения, в т.ч. для бурения горизонтальных скважин и боковых стволов.

На данный момент разработано и выпускается более 50 типов ВЗД диаметром от 42 до 240 мм. ВЗД делятся на 3 группы:

- а) для бурения вертикальных и наклонно-направленных скважин;
- б) для бурения горизонтальных скважин;
- в) для капитального ремонта скважин и бурения боковых стволов от обсадных колонн [1,3].

## 1. Конструкция и принцип действия ВЗД

ВЗД — винтовой забойный двигатель, объемная (гидростатическая) машина, многопоточные рабочие органы которой представлены планетарно-роторным механизмом с внутренним косошумым зацеплением. Симметричный вращающийся блок приводится в действие гидравлической энергией бурового раствора и преобразуется в механическую энергию, необходимую для разрушения породы. Применение ВЗД позволяет осуществлять процесс бурения с реализацией высокого момента силы и частоты вращения на выходном валу, которые мало изменяются при увеличении осевой нагрузки [5].

При использовании ВЗД оптимальный режим бурения выбирается по перепаду давления на двигателе:

1. Загруженность двигателя ( $P_z$ ) - это величина разности рабочего давления ( $P_p$ )

и давления холостого хода ( $P_x$ ):  $P_z = P_p - P_x$ . Для определения величины ( $P_z$ ) необходимо создать заданную нагрузку на долото и снять показания ( $P_p$ );

2. Величину загруженности винтового забойного двигателя ( $P_z$ ) необходимо поддерживать на протяжении всего времени работы ВЗД;

3. При зависании инструмента рабочее давление снижается до величины близкой к холостому давлению ( $P_x$ ), в этом случае необходимо оторвать инструмент от забоя, определить ( $P_x$ ) и плавно увеличивая нагрузку довести перепад давления до величины  $P_p = P_x + P_z$ .

При бурении можно управлять работой двигателя изменением давления на насосах, так как увеличение перепада давления на двигателе пропорционально увеличению момента силы на его валу (рис. 1).

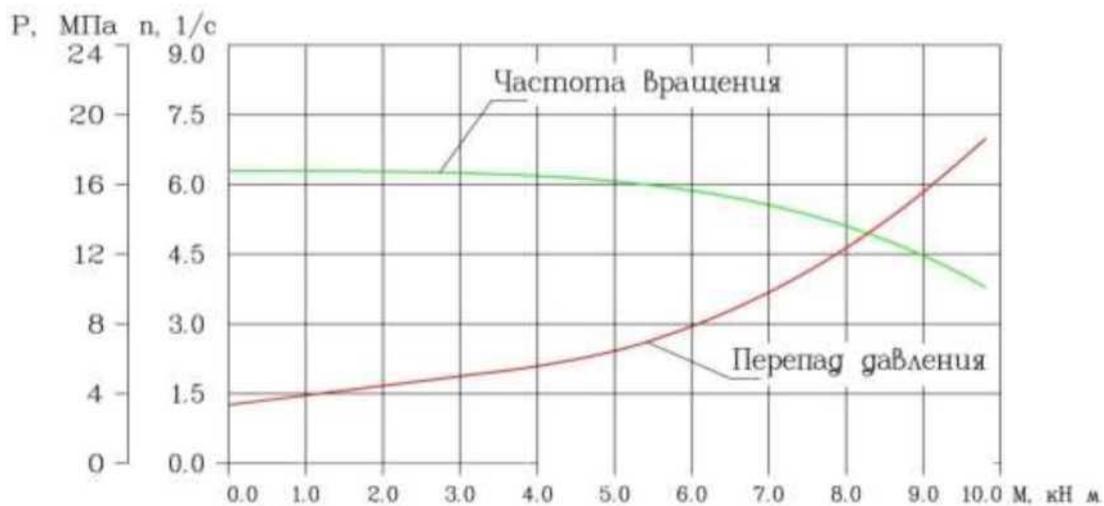


Рисунок 1 - Зависимость момента силы на валу ВЗД от перепада давления  
Рассмотрим конструкцию ВЗД.



Выше приведены основные компоненты ВЗД. Если забойный двигатель оснащен прямым переводником, то такая конструкция применима для высокоскоростного вращательного бурения или капитального ремонта скважины. При использовании регулируемого переводника предполагается работа винтового забойного двигателя для наклонно-направленного бурения, например, для строительства скважин сложного профиля или для зарезки нового ствола из ранее пробуренной скважины.

Все типы ВЗД можно разделить на три основных конструктивных сегмента: *двигательная секция, шпindelная секция, регулятор угла.*

## 1.1. Двигательная секция

Секция предназначена для преобразования потока жидкости во вращательное движение. Статор и ротор моторной секции должны соответствовать определенным условиям:

- Число заходов статора и ротора должно отличаться на единицу
- Винтовые поверхности статора и ротора должны иметь одинаковое направление

Зубья статора и ротора находятся в постоянном контакте, образуя единую камеру, замыкающуюся по длине статора. Буровой раствор, проходя через эти камеры, вращает ротор внутри статора. По конструкции моторного отсека различают монолитные и секционные двигатели [1,6].

Таким образом, основным узлом всех типов винтовых забойных двигателей является рабочая часть (рабочая пара), включающая в себя ротор и статор с эластомерной футеровкой, последняя, как правило, изготавливается из резиновой смеси ИРП-1226.

Рассмотрим более подробно конструкцию рабочей пары ВЗД. На рис. 2 показан пример рабочей пары в разрезах.



Рисунок 2 - Разрезы рабочей пары ротор - статор

Конструкция ротора винтового забойного двигателя остается неизменной

уже более десяти лет. Ротор изготовлен из легированной стали. Покрытие поверхности ротора износостойкое и коррозионностойкое. Ротор в зависимости от условий эксплуатации снабжается различным покрытием (рис.3.1-3.4):



Рисунок 3.1 - Ротор с хромовым покрытием



Рисунок 3.2 - Ротор с вольфрамовым покрытием



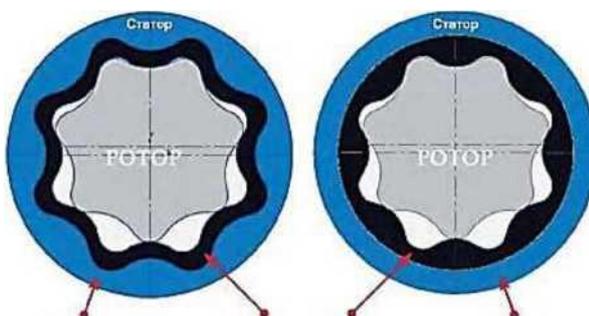
Рисунок 3.3 - Ротор с никелевым покрытием



Рисунок - 3.4 - Ротор с керамическим покрытием

Покрытие ротора двигателя выбирается исходя из условий эксплуатации: геологического разреза скважины и типа бурового раствора, и используемого при эксплуатации.

В настоящее время известны две конструктивные особенности и разновидности статора: стандартный статор и профилированный статор. (рис.4):



**Профилированный остов    Резиновая обкладка    Остов**

Рисунок 4 - Профилированная рабочая секция (слева), стандартная рабочая секция (справа)

Профилированные рабочие секции винтового забойного двигателя – новая конструктивная разработка отечественных производителей. Статор такой рабочей пары имеет винтовую (профилированную) внутреннюю металлическую поверхность с эластомерной футеровкой равного сечения.

Данная разработка является заслугой отечественного производителя ОАО «Пермнефтемашремонт», который стал первым и единственным предприятием в России, разработавшим подобные движители и наладившим серийное производство винтовых забойных двигателей, оснащенных маршевыми движителями [6-8].

### **Конструктивные особенности:**

- Цельнометаллическая толстостенная вставка с внутренним металлическим зубом, которая надежно крепится к цельнометаллическому каркасу статора из высококачественной легированной стали
- Резиновая прокладка внутренней поверхности вставки, имеющая одинаковую толщину по всей длине профиля вставки
- Крепление остова статора и профилированной вставки, выполненное без применения сварки.

### **Эксплуатационные преимущества:**

- Увеличение жёсткости зуба статора
- Исключение влияния опрокидывающего момента в подвижной части на параметры зацепления рабочих органов
- Снижение и равномерное распределение деформации размеров резиновой футеровки в результате воздействия температур и буровых растворов, уменьшение влияния температур и набухания резины на устойчивость двигательной части

### **Снижение уровня вибрации, способствующее:**

- Более стабильной работе систем телеметрии
- Увеличению стойкости породоразрушающего инструмента
- Повышению стойкости резьбовых соединений бурильных труб
- Повышенная надёжность и более длительный межремонтный период [8,10,11].

**По сравнению с обычными двигательными секциями профилированные двигательные секции позволяют:**

- На 30-100% увеличить энергетические характеристики винтового забойного

двигателя и на 30-150% увеличить механическую скорость бурения

- Использовать более короткие секции двигателя, чтобы соответствовать мощности и механической скорости более длинных секций двигателя.

- Использовать более короткие забойные двигатели, что при наклонно-направленном бурении позволяет повысить интенсивность и стабильность набора параметров кривизны, а также снизить аварийность, связанную с выходом из строя деталей корпуса забойных двигателей.

- Повысить качество измерений в процессе бурения за счёт более близкого расположения измерительных приборов к долоту

- Применять моментоёмкие долота PDC

- Работа винтовых забойных двигателей с пониженным расходом рабочей жидкости в условиях потерь бурового раствора и в условиях ограниченной производительности буровых насосов

- Использовать винтовые забойные двигатели с любыми керноотборными снарядами при выносе керна не менее 80%

- Эксплуатировать винтовой забойный двигатель в средах с повышенным содержанием нефти (до 18%) и повышенной забойной температуре (до 160 °С) [10-11].

Кроме вышеперечисленных конструктивных особенностей, движительная секция может быть выполнена разных габаритов, как правило, от 43 до 240 мм, длиной до 6500 мм, заходностью от 2/3 до 9/10 (рис.5). Данные критерии обусловлены также условиями эксплуатации.

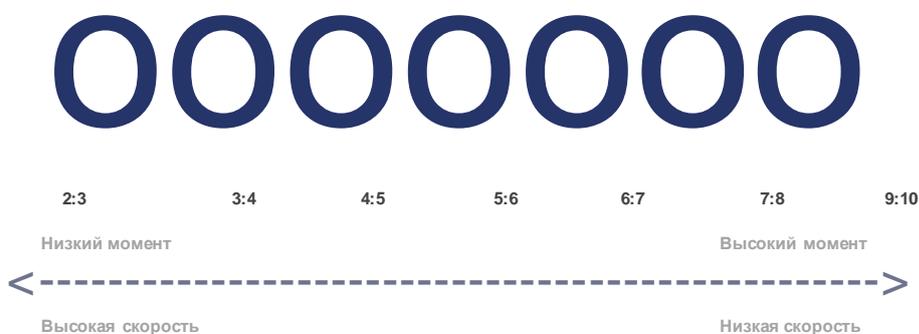


Рисунок 5 - Варианты заходности ВЗД

Заходность рабочей пары винтового забойного двигателя представлена

соотношением лопаток ротора к рабочим камерам статора (например, заходность 5:6 подразумевает наличие 5-лопастного профилированного ротора, 6 рабочих каналов статора). Заходность рабочей пары выбирается исходя из требований к бурению, а именно наличия высокого или низкого крутящего момента на выходе ВЗД, или скорости вращения. Чем ниже старт, тем выше скорость и ниже крутящий момент, и наоборот [1,4,9].

**Принцип действия ротор-статор (рис.6.1-6.2):** Зубья ротора и статора, находясь в непрерывном контакте, образуют единую рабочую камеру, замкнутую по длине шага статора. Грязь может попасть на долото только в том случае, если ротор двигателя вращается внутри футеровки статора, перекачиваясь по зубьям под действием неуравновешенных гидравлических сил. При этом геометрическая ось ротора вращается против часовой стрелки относительно оси статора (переносное движение), а сам ротор вращается по часовой стрелке (абсолютное движение). [12].

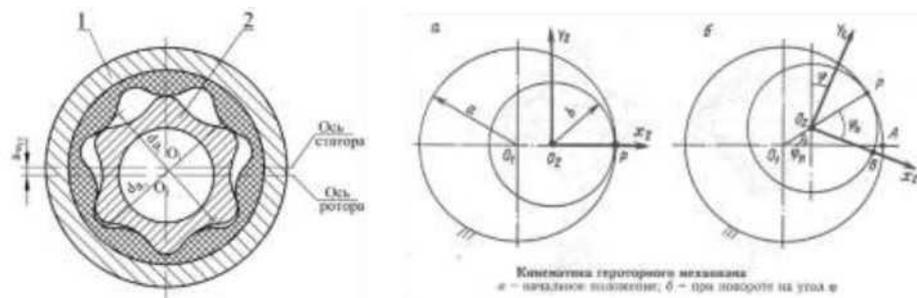


Рисунок 6.1 - Кинематика героторного механизма

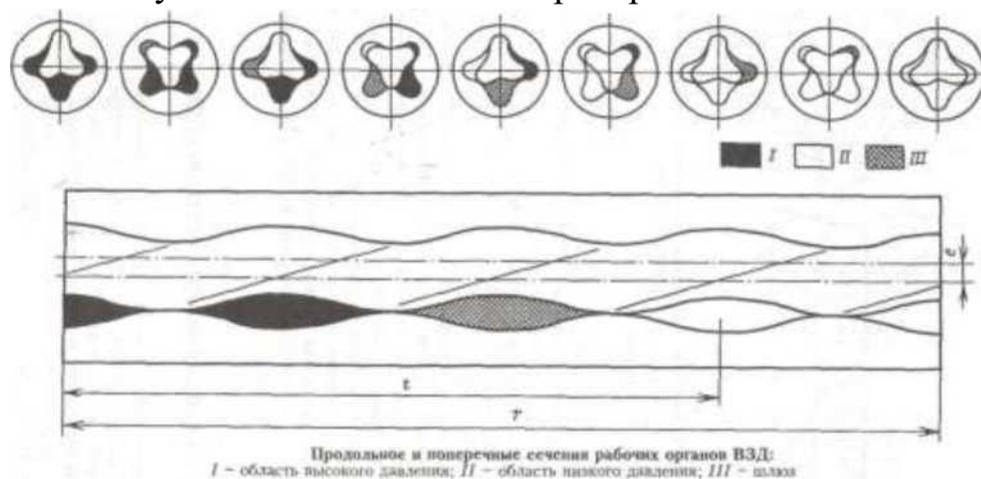


Рисунок 6.2 - Продольное и поперечное сечение РО ВЗД, области распределения давлений

(1 - область высокого давления, 2 - область низкого давления, 3 - шлюз)

## 1.2. Шпиндельная секция

Под термином «шпиндель» подразумевается автономный узел двигателя с выходным валом с осевыми и радиальными подшипниками. Шпиндель является немаловажным узлом двигателя наряду с двигательной секцией. Именно шпиндельная секция служит для восприятия большинства нагрузок, действующих на двигатель в процессе бурения. Он передает крутящий момент и осевую нагрузку на долото, воспринимает реакцию забоя и гидравлическую осевую нагрузку, действующую в рабочей паре, а также радиальные нагрузки от долот и гибкого вала (гибкий вал применяется для соединения ротора ВЗД и вала шпинделя).

Шпиндель выполняется в виде монолитного полого вала, который соединяется посредством наддолотного переводника в нижней части с долотом, а с помощью муфты в верхней части — с гибким валом (рис.7). По конструкции шпинделя бывают открытые и маслonaполненные. В открытых (используются почти во всех серийных отечественных двигателях) узлы трения смазываются и охлаждаются буровым раствором, а в маслonaполненные узлы трения находятся в масляной ванне с избыточным давлением на 0,1-0,2 МПа, превышающим давление окружающей среды [1,5].

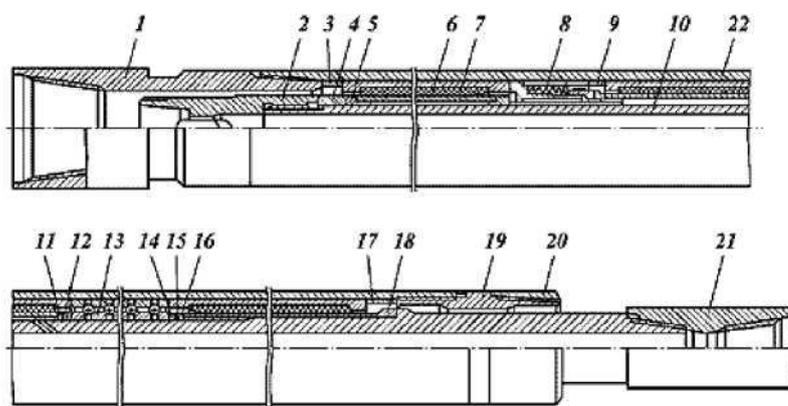


Рисунок 7 - Шпиндельная секция ВЗД

(1 — переводник нижний; 2 — муфта; 3, 17 — втулка регулировочная; 4 — кольцо регулировочное; 5, 11 — втулка подкладная; 6 — опора нижняя; 7 — втулка нижней опоры; 8 — сальник торцовый; 9, 12, 15 — кольцо; 10 — вал шпинделя; 13 — пакет подшипников упорных; 14, 18 — втулка упорная; 16 — втулка кольца уплотнительного; 19, 21 — переводник; 20 — гайка; 22 — корпус шпинделя)[21]

Как говорилось выше - шпиндельная секция передает крутящий момент и

осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент и воспринимает осевую и радиальную нагрузки. Таким образом, основными составными частями шпиндельной секции являются: карданный вал, вал шпинделя, подшипниковый узел. Все двигатели, имеющие секцию рабочих органов повышенной мощности, оснащаются маслonaполненным двухшарнирным карданным соединением, что позволяет снизить нагрузки на секцию рабочих органов, что способствует увеличению долговечности двигателя в целом.



Рисунок 8 - Карданный вал с шарнирным соединением (в центре), вал шпинделя с наддолотным переводником (справа)

Для восприятия осевых и радиальных колебаний (нагрузок) шпиндельная секция комплектуется подшипниками. Для минимизации осевых колебаний используются шарикоподшипники (рис.9.1), расположение осевого подшипника представлено на рис. 9.2 [10-11].



Рисунок 9.1 - Вид осевого подшипника ВЗД

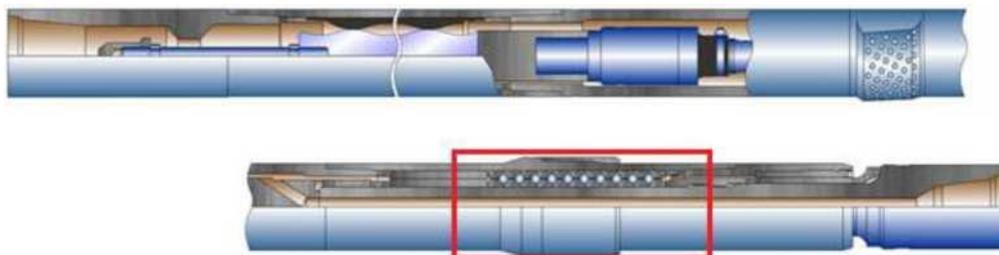


Рисунок 9.2 - Расположение осевых подшипников в конструкции двигателя

Применение осевых подшипников позволило производить процесс бурения скважин с большими нагрузками.

Для восприятия радиальной колебаний в конструкции ВЗД предусмотрена твердосплавная радиальная опора (рис.9.3). Исполнение опоры может иметь сплошное или сегментное покрытие.



Рисунок 9.3 - твердосплавная радиальная опора ВЗД со сплошным покрытием (слева), сегментным (справа)

Применение радиальных опор влияет на стабилизацию долота на забое скважины.

Расположение представлено на рис. 9.4.

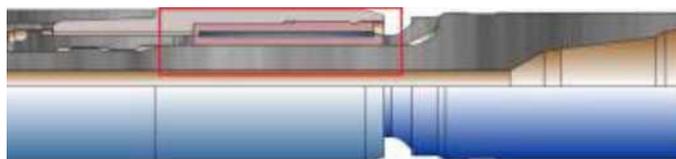


Рисунок 9.4 - Расположение радиальных опор в конструкции двигателя

Нижняя радиальная опора, совмещенная с ниппелем, расположена максимально близко к долоту. Эта схема позволяет снизить радиальные нагрузки максимально эффективно [10-11].



Рисунок 9.5 - Разрез шпиндельной секции ВЗД

### **1.3. Регулятор угла**

Предназначен для перекося осей секций двигателя или самого двигателя относительно нижней части бурильной колонны. Устанавливается между силовой и шпиндельной секцией или над самим ВЗД. Обычно состоит из двух переводников, сердечника и зубчатой муфты.

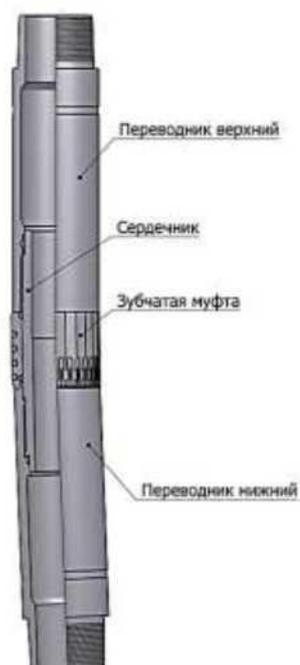


Рисунок 10 - Общий вид регулятора угла перекоса ВЗД

Конструктивное различие ВЗД с регулировочным узлом заключается в наличии зубчатой муфты (рис. 10.1).

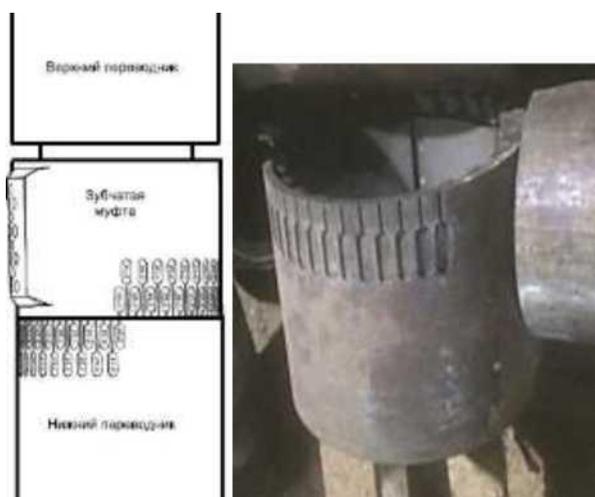


Рисунок 10.1 - Общий вид угла перекоса ВЗД (слева), нижняя регулировочная зубчатая муфта с градуировкой угла перекоса ВЗД (справа)



Рисунок 10.2 - Регулятор угла перекоса ВЗД в разрезе

Рассмотрим правила установки требуемого угла перекоса ВЗД.

1. Установить механические ключи (УМК) на верхнем и нижнем переводникерегулятора угла, как показано на рис. 10.3;
2. Раскрепить, а затем отвернуть верхний переводник регулятора угла до появления зазора 15 - 20 мм в стыке между зубчатой муфтой и верхним переводником;

Строгое внимание уделить тому, чтобы зубчатая муфта и нижний переводник при отвороте находились в зацеплении!



Рисунок 10.3 - Порядок раскрепления угла перекоса двигателя

3. Поднять зубчатую муфту вверх до выхода из зацепления с зубцами нижнего переводника регулятора угла (рис. 10.4). Удерживая муфту в верхнем положении повернуть цепным ключом, либо УМК муфту по минимальному смещению до совпадения меток требуемого угла с нижним переводником.

Не допускается проворачивать метку 0°00' муфты за метку 0°00' нижнего переводника регулятора угла при вращении в направлении,

противоположному рис. 10.4.



Рисунок 10.4 - Порядок выставления требуемого значения угла перекоса двигателя

4. Опустите зубчатую муфту до входа ее в зацепление с нижним переводником регулятора угла перекоса (рис. 10.5).

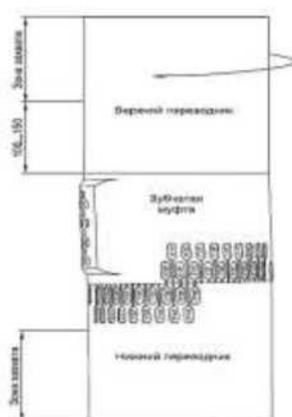


Рисунок 10.5 - Порядок установки муфты с нужным углом перекоса

5. Установите ключи также как при раскреплении. Заверните верхний переводник регулятора угла и закрепите моментом затяжки, указанным в табл. 1 (для каждого типоразмера ВЗД свой момент затяжки резьбовых соединений и соединения регулятора угла перекоса) [12-13].

Таблица 1 - Регламентированные моменты затяжки верхнего переводника регулятора угла перекоса ВЗД

Габариты ВЗД, мм	Момент затяжки, кгс*м
60	225±25
73,75	295±25
95,98	625±25
106	1300±50
120	1250±50
127	1350±50
172,176	3400±100
195	4900±100
210	5000±100
240	8000±100

Совпадающие значения одинаковых меток указывают на величину угла перекоса ВЗД.

В зависимости от производителя ВЗД и требований к техническим характеристикам, двигатели могут комплектоваться разными регуляторами угла перекоса. Наиболее часто используемые  $0^{\circ}00' - 2^{\circ}00'$  и  $0^{\circ}00' - 3^{\circ}00'$ .

Определение требуемого угла перекоса зависит от требуемой интенсивности искривления ствола скважины, измеряемая величиной **1 градус/ 10 метров** проходки. В свою очередь требуемая интенсивность искривления зависит от геологического разреза скважины и секции, под которую осуществляется бурение. Например, при бурении в Восточной Сибири типовой конструкцией скважин является: направление 324 мм, кондуктор 245 мм, эксплуатационная колонна 168 мм, хвостовик 114 мм. Согласно прочностным характеристикам обсадных колонн данных типоразмеров устанавливается максимально допустимая интенсивность искривления скважины: ОК 324 мм и ОК 245 мм -  $1^{\circ}/10\text{м}$ ; ОК 168 мм -  $2^{\circ}/10\text{м}$ ; хвостовик 114мм -  $3^{\circ}/10\text{м}$ . Для каждого типоразмера двигателя в его паспорте приведена таблица с допустимой частотой вращения ВЗД при конкретном значении угла перекоса, а также возможная пространственная интенсивность. На рисунке 11 показан пример таблицы для типоразмера ВЗД 172 мм [13].

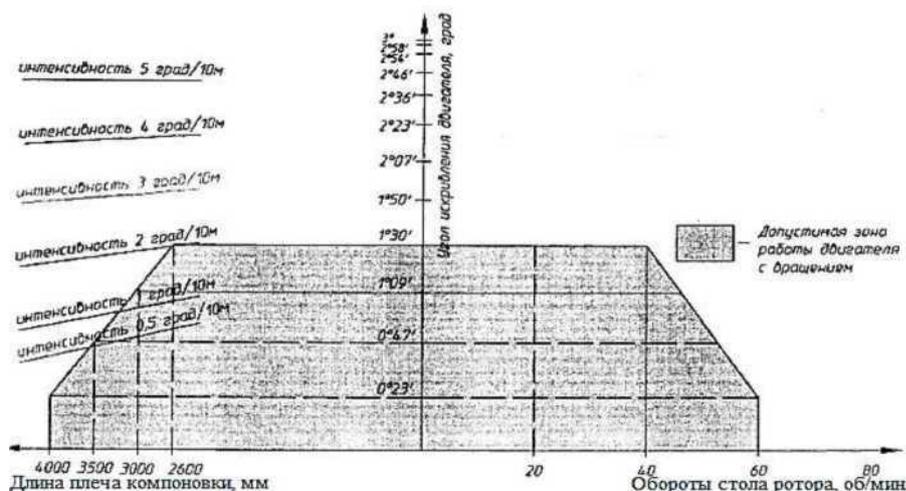


Рисунок 11 - Допустимые значения частоты вращения колонны бурильных труб и угол искривления винтового двигателя ДГР-172 в зависимости от длины нижнего плеча компоновки.

## 1.4. Дополнительные узлы

В данный раздел можно отнести конструктивные особенности ВЗД, которые не влияют на работоспособность самого двигателя, но выполняют другие немаловажные функции в составе винтового забойного двигателя.

### 1.4.1. Противоаварийные узлы

Винтовые забойные двигатели имеют достаточную прочность и надежность при эксплуатации в различных условиях, и удовлетворяют высоким требованиям Заказчика. Но для обеспечения безопасности работ, снижения аварийности и уменьшения потерь потребителя, возникающих при аварийных ситуациях, все модели винтового забойного двигателя оснащаются устройством безопасности, предотвращающим падение инструмента при обрыве.

Данное устройство используется для защиты от падения ВЗД в скважину при разрушении корпуса или развинчивании резьбовых соединений, а также для повышения давления в системе при возникновении аварии, при этом обеспечивается быстрое обнаружение аварии персоналом и своевременный

подъем оборудования (рис. 12).



Рисунок 12 - Противоаварийный узел (rotorcatcher)

Конструктивно представляет втулку с гайкой вкрученной в ротор ВЗД, в рабочем состоянии двигателя гайка находится выше посадочного кольца, расположенного перед ротором ВЗД. В случае поломки двигателя по резьбовому соединению, либо корпусу, гайка садится в посадочное седло. Характерные признаки поломки ВЗД по корпусу и задействование rotorcatcher: резкий рост давления в нагнетательной линии при отрыве от забоя и падение давления при разгрузке на забое.

Переводник-предохранитель имеет два вида исполнения: сплошной (как показано на рис.12) и сквозной (с насадкой). Второй тип исполнения используется в случае если есть необходимость интенсивной очистки забоя от шлама с повышенным расходом, не предусмотренным конструкцией ВЗД, то установив данную насадку, часть бурового раствора проходит не через зазоры статор-ротом, а внутри ротора и напрямую поступает к долоту, тем самым, не превышая допустимый расход промывочной жидкости на рабочую секцию ВЗД (ри.12.1). Данный компонент практически не используется в

отечественном бурении [7,11].

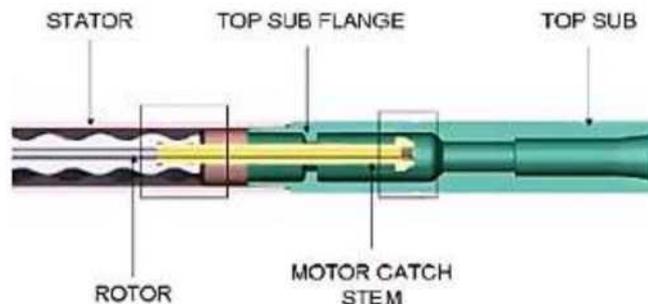


Рисунок 12.1 - Насадка предохранительного переводника на выходе из ротора (желтая) [7]

#### 1.4.2. Клапан обратный; переливной (циркуляционный)

Клапан обратный (рис.13) устанавливается выше гидравлического забойного двигателя и предназначен для исключения шламования двигателя при спуске бурильной колонны, а также для предотвращения нефтегазоводопроявлений (ГНВП) из скважины через бурильные трубы в процессе бурения нефтяных и газовых скважин.



Рисунок 13 - Самый распространенный тип обратных клапанов отечественных производителей

В табл. 2 приведены технические характеристики обратных клапанов ВЗД.

Таблица 2 - технические характеристики КО.

Обозначение Технич. \ хар-ки	КО-55.00	КО-55.100	КО-73			КОП-95*	КО-106		КО-120	КО-178.100		КО-210.00	КО-240.00
			-	-01	-02		-	-01		-	-01		
Наружный диаметр, мм	55		76			95	105		120	176		203	225
Проходное сечение, мм <sup>2</sup>	200	570	325			378	579		855	3290		3525	3435
Длина общая, мм	430	490	388	368	404	415	415	421	350	630	617	635	630
Длина между упорными торцами, мм	380	440	328	308	328	336	326	358	248	503		508	505

Присоед. резьбы по АРІ (ГОСТ)	Муфта	3 42	NC23 (3 65)	РАС 2 - 3/8	NC23 (3-65)	NC 26 (3-73)	NC 31 (3-86)	3/2 Reg (3-88)	3-102 (NC 38)	5/2 FH (3 147)	5/2 FH (3 147)	6 5/8 Reg (3-152)	6 5/8 FH (3-171)
	Ниппель		РАС 2 - 3/8	NC23 (3 65)						5/2 FH (3 147)			
Расход бурового раствора через клапан, л/с	1-3	3-5	5-10	6-12	10-20	19-38	25-57	35-64					
Перепад давления открытия клапана, МПа, max	0.05	0.21	0.15	0.05			0.2						

\*Серия КОП - обратный клапан с функцией переливного клапана.

Переливной клапан (рис.13.1) устанавливается выше винтового забойного двигателя (ВЗД) и предназначен для сообщения внутренней полости буровых труб с затрубным пространством при спускоподъемных операциях. Применение клапана уменьшает гидродинамическое воздействие на забой при спуске и подъеме колонны, а так же предохраняет двигатель от холостого вращения и шламования. При подъеме, применение ВЗД совместно с клапаном исключает неконтролируемый розлив промывочной жидкости («сифон») [10-11].



Рисунок 13.1 - Переливной клапан ВЗД

В табл. 3 приведены технические характеристики переливных клапанов ВЗД.

Таблица 3 - технические характеристики КП

^Обозначение Технич. хар-ки Х.		КП-76/65	КП-76/66	КП-95.00	КП-106/86	88	КП-120	КП-165.000	КП-172.000		КП-210.000	КП-240.010	RV-240.000
									-	-01			
Наружный диаметр, мм		76		95	106		120	166	172		203		225
Проходное сечение, мм <sup>2</sup>		15		18	18		24	45	45		56	50	70
Длина общая, мм		335		360	388	398	430	560	817	627	600	470	680
Длина между упорными торцами, мм		259		284	299	303	328	448	700	500	473	345	550
Присоед. резьбы по АРІ (ГОСТ)	Муфта	NC 23 (3-65)	2 - 3/8 Reg (3-66)	NC 26 (3-73)	NC 31 (3-86)	3-1/2 Reg(3-88)	NC 38 (3-102)	NC 50 (3-133)	NC 50 (3-133)	5-1/2 FH (3-147)	6-5/8 Reg (3-152)	6-7/8 FH (3-171)	
	Ниппель												
Расход бурового раствора через клапан, л/с		3-5		5-10	6-12		10-20	17-38	19-38		25-57	35-65	
Перепад давления открытия клапана, МПа, max		0.18					0.22	0.2	0.15		0.25	0.17	0.15

### 1.4.3. Фильтр двигателя (шламоуловитель)

Фильтры двигателя (рис.14) предназначены для защиты гидравлических забойных двигателей (ГЗД), телесистем (ТС) и элементов компоновки низа буровой колонны от попадания посторонних предметов и крупного шлама. Установка фильтров выполняется непосредственно над ГЗД или выше ТС. Эксплуатация производится на буровых растворах плотностью до 2000 кг/м<sup>3</sup> при забойной температуре до 150 °С. Содержание песка в буровом растворе не должно превышать 2% для фильтров и 8% для шламоуловителей. Очистка

шламоуловителей может производиться непосредственно на буровой. Принцип действия: фильтры содержат сменный фильтрующий элемент щелевого типа, механически препятствующий прохождению крупной фракции. Перепад давления при максимальном расходе на воде при незасоренном фильтроэлементе не более 0,6 Мпа [10-11].



Рисунок 14 - Щелевой фильтр ВЗД

В табл. 4 приведены технические характеристики фильтров ВЗД.

Таблица 4 - технические характеристики ФД

Обозначение	ФД1-95	ФД1-106		ФД1-120		ФД-165			ФД2-178		ФД2-240	ФД1-240	ШУ1-172
		-	01	-	-01	-	01	02	-	-01			
Наружный диаметр, мм	95	106		121		165			178		225	225	178
Присоед. резьба по АРІ (ГОСТ Р50864)	NC26(3-73)	NC31(3-86)		NC38(3-102)		NC50(3-133)			5- 1/2FH(3-147)		6- 5/8FH(3-171)	6- 5/8FH(3-171)	5- 1/2FH(3-147)
Длина корпуса между упорными торцами, мм	444	471		508		636			603		723	723	3500
Тонкость фильтрации, мм	5	5	3	5	3	5	4	3	5	3	5	5	5
Максимальный расход, л/с	18	25	20	30	22	49	43	35	48	34	75	75	70
Объем накапливаемого шлама, л	0.5	0.6		0.8		1.6			1.6		2.5	2.2	10.3

#### 1.4.4. Центратор-стабилизатор шпиндельной секции

Устанавливаются на шпиндельную секцию двигателя. Служат для симметричного расположения двигателя в процессе бурения. Влияют на поддержание зенитного угла при роторном режиме бурения с ВЗД. Центраторы имеют как сменное исполнение, так и встроенное в корпус ВЗД (рис.15) [10-11].

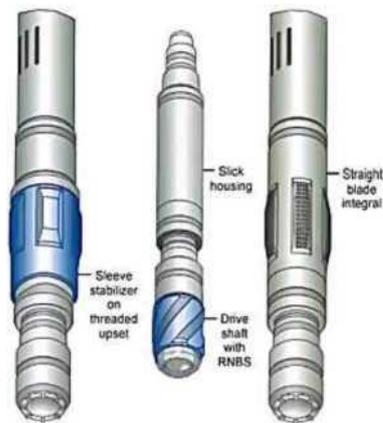


Рисунок 15 - Центраторы ВЗД

(слева, в центре - сменный вид исполнения; справа - встроенный)

## 1.5. Блок-схема конструкции ВЗД

Таким образом, винтовой забойный двигатель, можно представить в виде блок-схемы:



## 2. Анализ причин преждевременного выхода из строя винтовых забойных двигателей

Первым делом разберемся, что же подразумевается под понятием «преждевременный выход из строя» двигателя, основываясь на инструкцию по работе с переданным в аренду изделием, преждевременно вышедшим из строя компании ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент».

Преждевременный выход из строя, далее «отказ изделия» - изделие, не отработавшее указанное в договоре или ином документе назначенный ресурс до планового технического обслуживания (ТО).

Назначенный ресурс (межремонтный период; моторесурс) ВЗД устанавливается производителем индивидуально для каждого типоразмера двигателя. Так, например, для основных типоразмеров двигателей компании ООО «Радиус сервис» и ООО «ВНИИБТ- Буровой инструмент», являющихся лидерами на отечественном рынке, срок межремонтного периода представлен в таблице 5 [10-11,14].

Таблица 5 - Сроки МРП двигателей ООО «РС», ООО «ВНИИБТ»

Типоразмер ВЗД, мм	Срок МРП, час циркуляции
0 240	150
0 172	200
0 120	150

Межремонтный период достигается путем наработки на двигатель, рассчитываемой из часов циркуляции бурового раствора в скважине.

Перейдем к анализу причин не достижения сроков МРП забойных двигателей. Анализируя возможные причины неисправностей, будем рассматривать совокупность технологических процессов, в которых эксплуатируется двигатель как единое целое:

- Скважина, включающая в себя геологические особенности
- Системы наземной подачи и очистки бурового раствора
- Буровой раствор
- Конструктивные особенности самого двигателя

- Навыки и компетенции бурильщика и инженера по бурению

При использовании ВЗД обязательным условием является соблюдение регламента- завода изготовителя на эксплуатацию двигателя.

### **2.1. Подготовка двигателя к работе**

Винтовой забойный двигатель доставляется на буровую в собранном виде с ввернутыми предохранительными колпачками. Перед пуском в работу двигатель необходимо осмотреть. Особое внимание следует обратить на состояние присоединительных резьб к бурильным трубам и к долоту, а также на плотность свинчивания резьбовых соединений основных секций ВЗД. Допускаются следы на корпусных деталях от захватов механическими ключами.

При работе с двигателем СТРОГО запрещается:

- Обваривание резьбовых соединений
- Наличие таких деформаций на корпусных деталях, как вмятины и раздутие муфт резьбовых соединений
- Докрепление резьбовых соединений корпуса двигателя на буровой
- Наваривание каких-либо элементов на корпус двигателя (в том числе нанесения каких-либо знаков, номеров, обозначений).

Перед спуском в скважину нового двигателя или после ремонта, а также после каждого подъема двигателя из скважины необходимо провести проверку осевого, радиального и тангенциального люфтов выходного вала (рис.16). Именно эти, показатели являются главными в определении пригодности ВЗД к дальнейшей работе на буровой, если нет других явных признаков неисправности [9,14].

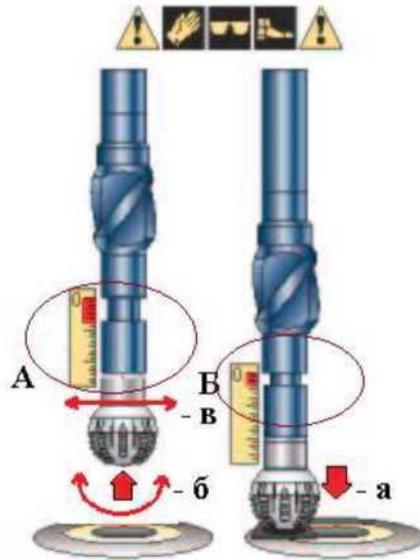
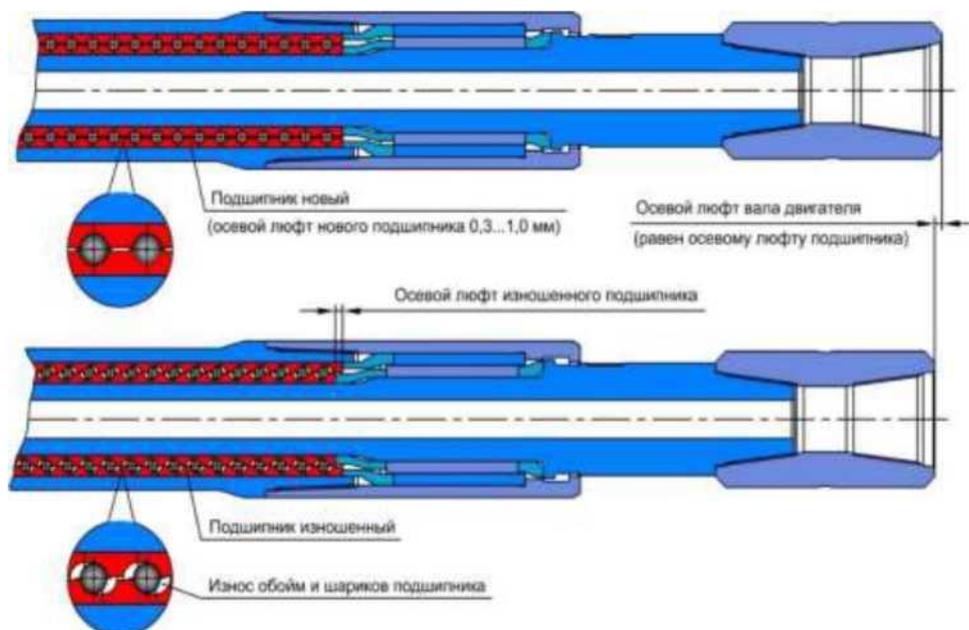


Рисунок 16 - Определение люфтов двигателя на буровой  
(а - осевой = А-В, мм; б - тангенциальный, градус; в - радиальный, мм.)

При проведении мероприятий по снятию люфтов следует строго соблюдать ТБ!

Особое внимание отводится осевому люфту, именно этот показатель определяет надежную фиксацию вала двигателя (ротора в статоре и целостность шарикоподшипников) и обеспечение требуемых показателей бурения (рис.17). Существуют критические значения осевого люфта ВЗД для каждого типоразмера (табл.6).



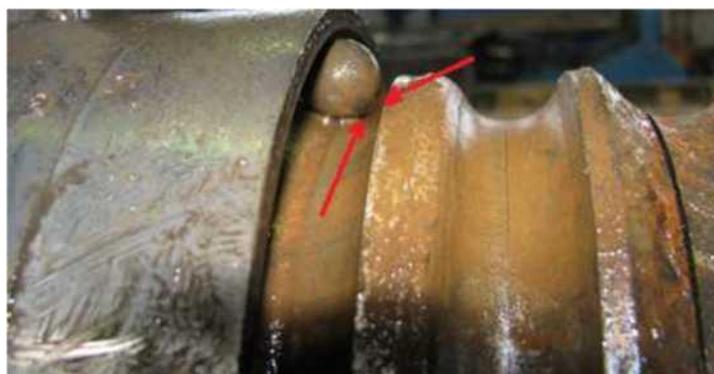


Рисунок 17 - Причина возникновения осевого люфта

Таблица 6 - Критические значения осевого люфта забойных двигателей

Габарит двигателя, мм.	Осевой люфт, мм	
	Максимально допустимый после ремонта	Максимально допустимый при эксплуатации
0 240	5	10
0 172	5	10
0 120	4	8

Причиной появления радиального люфта вала двигателя является износ радиальных опор (рис. 17.1).

**r** - Радиальный люфт в опоре

**R** - Радиальный люфт вала двигателя  $r < R$  - радиальный люфт в опоре всегда меньше радиального люфта вала двигателя.

*Измерить радиальный люфт вала двигателя на буровой с достаточной точностью не представляется возможным, поэтому он исключён из критериев отбраковки.*

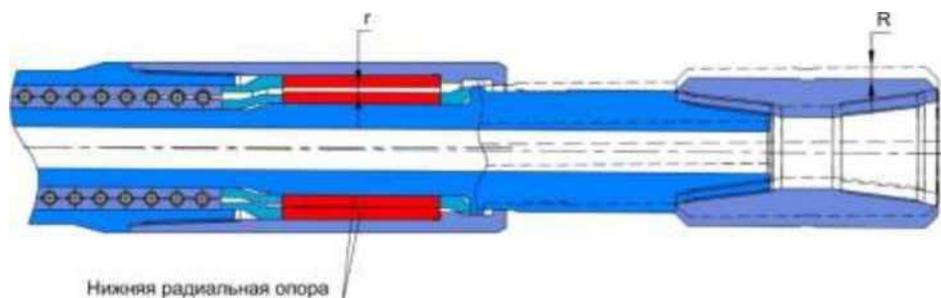




Рисунок 17.1 - Причина возникновения радиального люфта

Обязательным условием перед спуском ВЗД является проведение тестирования (опрессовки) над устьем. В зависимости от состояния двигателя, сроков хранения на объекте, качества и свойств промывочной жидкости, температурного фактора запуск может быть затруднен. В случае, если двигатель завелся, он должен устойчиво работать при давлении, не превышающем давление указанного в паспорте на конкретный ВЗД (без учета перепада давления в элементах КНБК: в телесистеме, в долоте и др.). При успешном тестировании ВЗД следует зафиксировать производительность буровых насосов (расход) и рабочее давление, на которых завелся двигатель и величину давления на рабочем расходе промывочной жидкости. Проток части бурового раствора между валом и корпусом шпиндельной секции предусмотрен для нормальной работы ВЗД. Количество пропускаемой жидкости не влияет на работу ВЗД и не регламентируется [16-18].

В случае выполнения всех требований, представленных выше, винтовой забойный двигатель признается исправным и используется для бурения.

Утечка бурового раствора между валом и корпусом двигателя является нормой и необходимо для охлаждения подшипникового узла ВЗД (рис.18).



Рисунок 18- Принцип охлаждения подшипников ВЗД

Например, для двигателя производства компании ООО «Радиус-Сервис» типоразмера 172 мм (ДРУ2-172РС) при расходе 30 л/с, является нормой:

- для нового ВЗД - 2 л/с, для двигателя с наработкой 2 - 7 л/с [14,18].

## 2.2. Контроль работы двигателя в скважине

При бурении ВЗД его рабочие характеристики могут быть определены путем несложных расчетов по величине дифференциального перепада давления, расходу промывочной жидкости и паспортной характеристике применяемого ВЗД.

Дифференциальный перепад давления при бурении с ВЗД это разница значений рабочего давления на стояке при бурении ( $P_{раб}$ ) и давления при промывке скважины (когда долото поднято над забоем), называемое давлением холостого хода ( $P_{хол}$ ) (рис. 19).



Рисунок 19 - Дифференциальный перепад давления при работе ВЗД в скважине

Дифференциальный перепад давления пропорционален моменту на валу ВЗД. Данный параметр устанавливается регламентом для каждого конкретного двигателя, каждого конкретного производителя. В таблице 7 представлена основная информация о ВЗД, в том числе значение дифференциального перепада [18,21].

Таблица 7 - Информационная таблица ВЗД

	120мм			172мм				240мм	
	ВНИИБТ		РС	ВНИИБТ		РС		ВНИИ БТ	РС
	ДРЗ- 120.7/8.50	ДРЗ- 120С.7/8.50	ДРУ1-120РС	ДГР- 172.7/8.56ВК		ДРУ-172РС	ДРУ-172РСК	ДГР- 240М.3.4.60 ВК	ДРУ-240РС
Заходность двигательной секции	7/8	7/8	7/8	7/8		7/8	6/7	3/4	3/4
Моменты свинчивания регулятора угла, кгс*м.	1100 1200	1100 1200	1650 1750	3200 3400	3200 3400	4200	4200	6500 7000	8000
Нагрузка на долото, т.	10	10	12	25	25	25	25	40	40
Расход жидкости, л/с	10-20	10-20	10-20	19 - 38	19 - 38	19 - 38	19 - 38	35 - 64	30 - 75
Частота вращения выходного вала на холостом ходу, об/мин	132 264	132 264	130265	84 - 168	84 - 168	85 - 170	125 - 250	138 - 240	105 - 270
Перепад давления на холостом ходу, атм	20-35	20-35	14-50	19 - 35	19 - 35	4 - 48	7 - 45	9 - 16	5 - 62
<b>Максимально допустимый дифференциальный перепад давления, атм</b>	<b>40-60</b>	<b>40-60</b>	<b>72</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>87</b>	<b>153</b>	<b>50</b>	<b>51</b>

Из таблицы видно, что практически у всех типов ВЗД производства

компаний «ВНИИБТ» и «Радиус-Сервис» максимально допустимый перепад давления 40-60 атм [18].

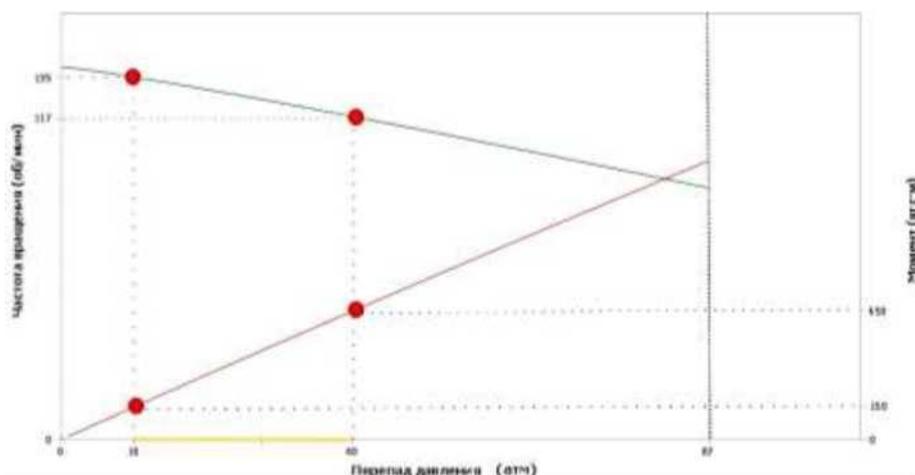


Рисунок 20 - Зависимость частоты вращения вала двигателя и момента от перепада давления [11]

Дифференциальный перепад давления достигается путем добавления нагрузки на долото в процессе бурения, но стоит помнить, что нельзя добиваться перепада давления путем превышения максимально допустимой нагрузки на долото, в результате которого может уменьшиться ресурс ПРИ. Таким образом, отсутствие или незначительные показания диф. перепада давления ведут к уменьшению скорости проходки, так как низкий крутящий момент ВЗД. С другой стороны, превышение максимально допустимого дифференциального перепада на валу ВЗД ведет к возникновению тормозного эффекта (двигатель «встает»). В результате чего, как правило, возникает стремительный рост давления (скачок). В большинстве случаев данный фактор ведет к разрушению конструкции ВЗД: износ эластомера - возникают задиры в результате подклинка ротора, износу подшипникового узла, а также преждевременного износу долота. Если двигатель в результате перегрузки подвергся износу в процессе бурения даже при малой нагрузке на долото возможны скачки давления в результате уже неидеальной формы рабочей пары ротор-статор. На рисунке 17 приведена диаграмма ГТИ в процессе бурения с характерными подклинками ВЗД, при превышении регламентируемого перепада давления.

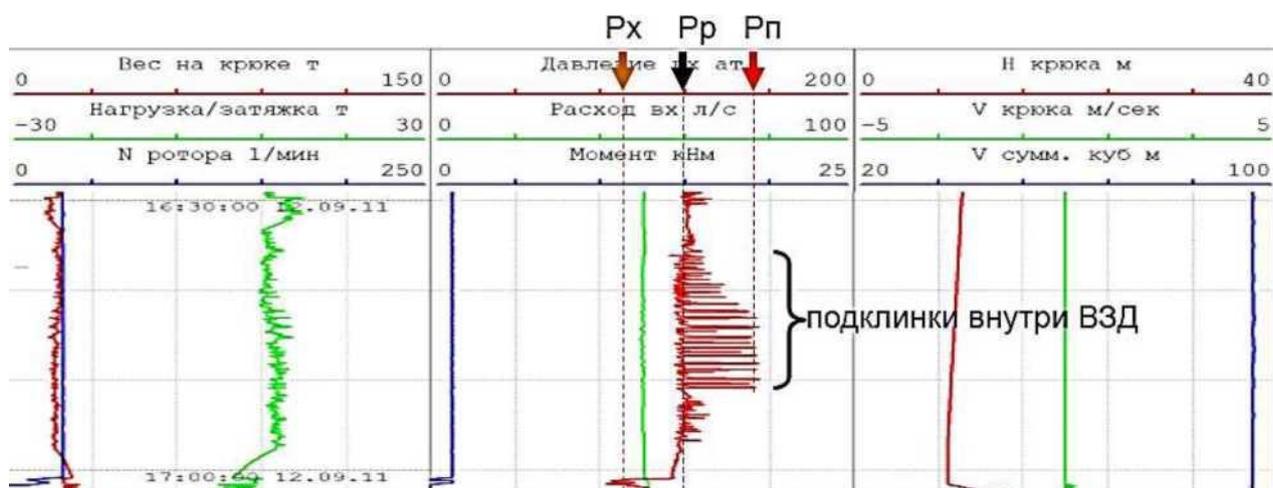


Рисунок 21 - Диаграмма ГТИ (бурение ВЗД)

Таким образом, именно значение дифференциального перепада давления на ВЗД является основным показателем при бурении двигателями данного типа.

### 2.3. Возможные неисправности двигателей

Основным параметром, характеризующим работоспособность винтовых забойных двигателей, является давление в нагнетательной линии, создаваемое потоком промывочной жидкости (бурового раствора).

Рассмотрим возможные признаки неисправности ВЗД в процессе бурения. Для точного определения неисправности в процессе бурения стоит рассматривать ВСЕ возможные варианты проблемы.

#### 2.3.1. Снижение давление в нагнетательной линии в процессе бурения.

Проанализируем данную ситуацию.

**Дополнительные наблюдения:** расход промывочной жидкости неизменный, осевая нагрузка постоянна.

Данные наблюдения позволяют понять, что причиной неисправности является не система подачи бурового раствора, а сам винтовой забойный двигатель или элементы буровой колонны. В данной ситуации можно выделить три основные причины неисправности:

а) *Промыв буровой колонны по резьбовому соединению или по телу (рис.22)*

*(негерметичность резьбовых соединений).*



Рисунок 22- Промыв ТБТ по резьбовому соединению

**Методы устранения неисправности на буровой:** замена промывных элементов буровой колонны.

*b) Не герметичность переливного клапана.*

**Методы устранения неисправности на буровой:** после подъема КНБК произвести ревизию переливного клапана на устье. Опустить ВЗД ниже стола ротора, запустить буровые насосы (создать подачу промывочной жидкости). Плавно увеличить подачу (вывести насосы на рабочий режим. В случае пропуска промывочной жидкости через отверстия переливного клапана - заменить его.

*c) Нарушение целостности корпусных деталей двигателя (рис. 22.1).*



Рисунок 22.1 - Промыв корпуса ВЗД

**Методы устранения неисправности на буровой:** замена двигателя.

Стоит помнить, что производить сварочные работы по корпусу ВЗД СТРОГО запрещено! [13, 21]

### 2.3.2. Скачки давление в нагнетательной линии в процессе бурения.

Проанализируем данную ситуацию.

**Дополнительные наблюдения №1:** осевая нагрузка и расход промывочной жидкости неизменный (постоянный). При отрыве от забоя наблюдается рост давления в нагнетательной линии; при разгрузке на забой - падение давления.

При выявлении данных закономерностей выделяется одно заключение о неисправности ВЗД:

a) *Нарушение целостности корпусных деталей двигателя (рис. 23).*



Рисунок 23 - Слом по корпусу ВЗД

**Методы устранения неисправности на буровой:** произвести подъем КНБК с последующей ревизией, в случае нарушения целостности ВЗД произвести замену двигателя, выявить причину инцидента, отправить ВЗД на экспертизу в цех по ремонту и обслуживанию, либо поставщику.

**Дополнительные наблюдения №2:** осевая нагрузка на ПРИ и расход промывочной жидкости неизменный (постоянный).

Заключения:

a) *Подклинки опор шарошечного долота.*



Рисунок 23.1 - Шарошечное долото, превысившее рабочий ресурс

**Методы устранения неисправности на буровой:** такие ситуации возникают в случае невыполнения норм по ресурсу шарошечных долот (количество проходки на долото, количество часов циркуляции). Решением проблемы является ревизия и замена долота и соблюдение регламентов на применение шарошечного породоразрушающего инструмента.

Как правило, подклинки в процессе бурения таким долотом являются серьезной угрозой для оставления шарошек долота на забое скважины.

*б) Загрязнение ВЗД посторонними предметами из бурового раствора:*

*кольматант, илам и др. (иламование).*

Причиной случившегося может быть несоответствие реологических параметров бурового раствора (отсутствие возможности поддержания шлама во взвешенном состоянии), неисправность в системе очистки бурового раствора от выбуренной горной породы, как следствие, поступление шлама обратно в скважину. Данная проблема может нести более глобальные последствия: выход из строя буровых насосов; уменьшение механической скорости бурения; прихват бурового инструмента в скважине.

*с) Задиры в рабочей секции ВЗД.*

Данная ситуация возникает как следствие несоответствия бурового раствора паспортным требованиям на эксплуатацию ВЗД (содержание твердой фазы), ведущей к задирам на резиновой обкладке статора и роторе. Помимо этого, разрушение эластомера может быть связано с высокими температурами в скважине и агрессивной средой бурового раствора (кислота, нефтепродукты и др.).



Рисунок 23.2- Разрушение хромированного покрытия ротора (слева), разрушение целостности резиновой обкладки статора (справа)

**Методы устранения неисправности на буровой:** произвести визуальный осмотр ВЗД на предмет засорения посторонними предметами, по согласованию с руководством, отвернуть и проверить фильтр ВЗД, в противном случае отправить двигатель в цех по ремонту и обслуживанию для замены рабочей пары. Заменить двигатель.

Контроль за работой ВЗД в скважине проводится и по механической скорости проходки [13,21].

### **2.3.3. Повышение давления в нагнетательной линии при работе двигателя в скважине.**

**Дополнительные наблюдения:** неизменный расход промывочной жидкости, неизменная осевая нагрузка, отсутствие смены горной породы и переслаивания в геологическом разрезе. При отрыве от забоя сохраняется остаточное давление.

*а) Попадание предметов в двигательную секцию, повреждение эластомера, резина в долоте.*

Возникновение данной ситуации возможно в процессе наращивания при неаккуратных действиях персонала, когда имеется доступ к внутренней полости буровой колонны, при условии, что внутреннего сечения элементов колонны достаточно для прохождения постороннего предмета, либо в процессе бурения при размыве трубного фильтра (в буровых трубах) и попадания предмета вместе с буровым раствором. В результате разрушения эластомера статора, резина может попасть в долото и закупорить

гидромониторные насадки (рис. 23.3).



Рисунок 23.3 - Резина в насадках долота

**Методы устранения неисправности на буровой:** произвести подъем КНБК с осмотром внутреннего пространства свечей бурильных труб, произвести ревизию гидромониторных насадок долота и обратного или переливного клапана ВЗД на наличие постороннего предмета, при отсутствии предмета и чистых насадок произвести опрессовку ВЗД на устье. В случае резкого роста давления и сохранения остаточного давления произвести замену ВЗД.

б) *Поломка или заклинивание осевой / радиальной опоры.*

**Методы устранения неисправности на буровой:** Произвести попытку повернуть вал шпинделя ВЗД ротором, либо подвесными ключами. В случае если вал заклинен, возможен хруст подшипников - произвести замену двигателя [3,22,23].

в) *Плотное засорение фильтра (рис. 23.4).*



Рисунок 23.4 - Шламование фильтра ВЗД

**Методы устранения неисправности на буровой:** произвести отворот фильтра двигателя, выбить или выкрутить фильтр, прочистить, визуально проверить полость ВЗД под фильтром (как правило, противоаварийный узел). Собрать ВЗД, произвести опрессовку на устье.

г) *Шламование двигателя (рис.23.5).*

**Методы устранения неисправности на буровой:** в случае если в ходе ревизии ВЗД, обнаружено, что большинство доступных узлов двигателя зашламованы, вероятнее всего, что плотно зашламована двигательная секция ротор-статор. Проворачивать вал двигателя запрещено (высока вероятность поломки карданного вала). Произвести замену ВЗД [22,23].



Рисунок 23.5 - Плотно зашламованный двигатель выбуренной горной породой

#### 2.3.4. Снижение механической скорости бурения при работе двигателя в скважине.

**Дополнительные наблюдения №1:** осевая нагрузка и производительность насосов постоянна, наблюдается рост давления;

Рассмотрим возможные варианты исхода события:

а) *Изменение горной породы по буримости.*

**Методы устранения неисправности на буровой:** проверить наличие пропластков в геологическом разрезе скважины по ГТН;

В случае если пропластков не обнаружено по ГТН, можно проанализировать архив бурения по предыдущим скважинам на данной кустовой площадке, либо месторождении. В противном случае рассматривается вторая возможная ситуация:

б) *Образование сальника на элементах КНБК.*

**Методы устранения неисправности на буровой:** принять попытки по устранению сальника путем расхаживания бурильной колонны с варьированием расхода промывочной жидкости.



Рисунок 24 - Сальникообразование на долоте

**Дополнительные наблюдения №2:** осевая нагрузка и производительность насосов постоянна, давление прежнее;

В данной ситуации возможен один исход:

в) *Износ вооружения породоразрушающего инструмента (долота), либо тип подобранного долота не соответствует категории буримости горных пород,*

представленных в разрез.

**Методы устранения неисправности на буровой: смена долота.**



Рисунок 24.1 - Износ долота PDC

**Дополнительные наблюдения № 3:** при увеличении осевой нагрузки перепад давления не растет;

а) *Влияние сил трения бурильной колонны о стенки скважины. Нагрузка не доходит до долота в связи с большим зенитным углом или сложным профилем скважины, так называемое подвисяние или складывание инструмент.*

**Методы устранения неисправности на буровой:** вести бурение в роторном режиме, если позволяет выставленный угол перекоса ВЗД по паспорту; увеличить осевую нагрузку на долото; осуществлять бурение по величине дифференциального перепада давления [3,16].

б) *Износ двигательной секции ВЗД (ротор-статор), как следствие, техническая неисправность двигателя и высокие показания люфтов.*

**Методы устранения неисправности на буровой:** Увеличить производительность промывочной жидкости на 20-25 %, в противном случае произвести подъем КНБК, ревизию ВЗД, замер люфтов, оценка согласно паспортных характеристик и допусков на эксплуатацию, замена двигателя.



Рисунок 24.2- Высокое значение осевого люфта, неисправный ВЗД (износ рабочей пары, карданного вала, осевых подшипников)

е) *Износ осевой опоры (подшипников) шпиндельной секции.*

**Методы устранения неисправности на буровой:** при вращении вала на устье, слышен хруст подшипников, замена ВЗД.

Помимо этого, отказ ВЗД может быть связан не только с внутренними компонентами двигателя, но и внешними [22,23].

### **2.3.5. Отсутствие возможности набора параметров кривизны скважины.**

**Дополнительные наблюдения:** отклонения от планируемой интенсивности наборы параметров кривизны;

Возможные ситуации:

а) *Неверно выбрано значение регулятора угла перекоса; износ «пятки».*

**Методы устранения неисправности на буровой:** определить максимально требуемую интенсивность искривления ствола скважины, на котором планируется применение данного двигателя, провести визуальный осмотр двигателя на работоспособное состояние элементов опоры для набора параметров «пятка», согласно таблице, максимально возможной интенсивности ствола скважины при конкретном значении угла перекоса, представленной в паспорте на ВЗД, подобрать требуемое значение. В случае износа опорной части двигателя, установить регулятор угла на одно значение

выше, провести замер оптическим квадрантом, согласовать со службой ННБ [22,23].



Рисунок 25 - Опорная часть ВЗД в пригодном состоянии

#### 2.4. Статистические данные использования ВЗД

Рассмотрим статистику применения лидеров отечественного производства винтовых забойных двигателей ООО «Радиус-Сервис» и ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент» на Дулисьминском НГКМ Иркутской области. В ходе анализа были проанализированы 24 забойных двигателя трех типоразмеров 0 120мм, 172мм, 240мм. В основе анализа лежало исследование исправной работы оборудования, достижение критических значений люфтов, а также достижение или не достижение МРП.

Анализ двигателей производился исходя из отчетных документов (суточные рапорты, сведения о наработке оборудования) на Дулисьминском нефтегазоконденсатном месторождении, где осуществляется бурение наклонно-направленных и горизонтальных скважин.

В-первую очередь, были проанализированы винтовые двигатели заявленных производителей типоразмера 0 240 мм, предназначенных для бурения в основном вертикальных участков ствола скважины под направление и под кондуктор. В таблице № 8 представлены полученные в ходе анализа результаты осмотра ВЗД [22,23].

Таблица 8 - Результаты анализа парка ВЗД 0 240 мм.

Произв-ль	Маркировка, №	Время работы, ч				Люфты (ос/рад/танг), мм	Комментарии
		Бурение	Промывка проработка	Общая циркуляция	Проходка, м		
ВНИИБ Т	ДГР-240М № 79	112,6	43,85	156,45	2103	4/1/0	Исправен, достиг МРП
ВНИИБ Т	ДГР-240М № 84	65,24	55,9	121,23	1672,35	6/2/0	Не исправен (после рем.)
ВНИИБ Т	ДГР-240М № 82	30	14,9	44,9	147	-	Слить БР не удалось, вал заклинен
ВНИИБ Т	ДГР-240М № 88	52,7	20,66	79,36	930	1/1/0	Исправен, пригоден

Продолжение табл. 8

РС	ДРУ-240РС №5410	74,6	64,8	139,4	1843	2/1/0	Исправен, пригоден
РС	ДРУ-240РС №5420	86,12	68	154,12	1482,2	3/1/0	Исправен, достиг МРП
РС	ДРУ-240РС №5424	78,01	71,3	149,34	2230,1	2/0/0	Исправен, пригоден
РС	ДРУ-240РС №5410	102,1	62,09	164,19	2412	4/2/15-30	Исправен, достиг МРП

Представленные в таблице № 8, винтовые забойные двигатели эксплуатировались в одинаковых технологических и геологических условиях на кустовых площадках Дулисьминского месторождения. На основании представленных данных, можно сделать вывод, что ВЗД производства компании ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент» в большей степени «показали себя» не с лучшей стороны. Лишь два из четырех представленных двигателей соответствуют требованиям для дальнейшей эксплуатации после ревизии КНБК, один из которых достиг значения МРП. ВЗД № 84 и № 82 оказались непригодны для бурения. В первом случае производился плановый подъем КНБК по достижении проектного забоя, но по результатам осмотра двигателя было выявлено, что вал ВЗД не соответствует требованиям, а, именно, данный двигатель эксплуатировался после очередного ремонта и осевой люфт оказался выше норм и равен 6 мм. Двигатель отправлен в цех по обслуживанию и ремонту ВЗД. Во втором случае, в процессе бурения были выявлены скачки давления в линии нагнетания бурового раствора, что не дает возможности продолжать процесс бурения. Было принято решение произвести подъем КНБК для ревизии. Результаты: вал двигателя заклинен, слить буровой раствор не удалось. Возможные причины: разрушение обкладки статора двигателя, в результате некачественной очистки бурового раствора, либо шламование двигателя. Двигатели производства ООО «Радиус-Сервис», представленные

данным типоразмеров зарекомендовали себя как качественное оборудование. Все 100 % двигателей оказались исправными в результате ревизии КНБК. Лишь в одном случае на двигателе № 5110 были выявлены значимые значения люфтов: осевой - 4 мм, радиальный - 2 мм, тангенциальный -30 градусов. Но даже эти значения позволяют использовать ВЗД для дальнейшего бурения.

Далее были проанализированы винтовые двигатели заявленных производителей типоразмера 0 172 мм, предназначенные для бурения наклонно-направленных участков ствола скважины, под эксплуатационную колонну. В таблице № 9 представлены полученные в ходе анализа результаты осмотра ВЗД.

Таблица 9 - Результаты анализа ВЗД 0 172 мм.

Произв-ль	Маркировка, №	Время работы,ч				Люфты (ос/рад/танг), мм	Комментарии
		Бурение	Промывка, проработка	Общая циркуляция	Проходка,м		
ВНИИБТ	ДГР-172 № 313	112	84,04	196,1	1801	3/0/0	Рост Р, зашламован фильтр
ВНИИБТ	ДГР-172 № 308	109	126,1	235,1	769	4/0/0	Отворот РУ
ВНИИБТ	ДГР-172 № 316	101,38	94,48	195,86	1012	4/1/0	Исправен, пригоден
ВНИИБТ	ДГР-172 № 310	94,05	80,04	174,09	980,16	11/4/0	Хруст подшипников при сливе БР
РС	ДРУ-172РС №5305	140,06	83,26	223,32	1619,15	4/1/0	Исправен, достиг МРП
РС	ДРУ-172РС №5308	99,95	74,09	174,04	1203,2	2/1/0	Исправен, пригоден
РС	ДРУ-172РС №5220	74,54	65	139,54	1301	5/2/0	Высокие люфты
РС	ДРУ-172РС №5429	121,03	79,54	200,57	1527,67	8/4/360	Высокие люфты

Из таблицы № 9 видно, что в большинстве случаев при эксплуатации данного типоразмера возникают проблемы. На мой взгляд, это связано с более продолжительными рейсами, с высокой интенсивностью искривления ствола скважины, высокими нагрузками на инструмент. Рассматривая работу ВЗД производства ООО «ВНИИБТ», можно сделать выводы: в результате ревизии фильтра ВЗД №313 было обнаружено, что тот плотно забит шламом, что характерно для некачественной системы очистки БР, как следствие роста давления на забое. ВЗД № 308 был поднят на поверхность в результате невыполнения параметров интенсивности искривления и потери давления в нагнетательной линии, в результате визуального осмотра было обнаружено, что регулятор угла двигателя находится в ослабленном состоянии, что

является признаком ошибки при сборке КНБК, а именно недостаточный момент затяжки данного резьбового соединения. ДГР-172 № 310 после ревизии КНБК был отправлен в ремонт по причине износа двигательной секции (высокие значения люфтов) и неисправности подшипников шпинделя ВЗД. Таким образом, лишь один из рассмотренных двигателей оказался исправным. Анализируя ВЗД производства ООО «Радиус-Сервис» два двигателя оказались пригодными к эксплуатации, на двух других были выявлены высокие показатели осевых люфтов. Так, на двигателе № 5429 по достижении времени МРП вал свободно вращался «от руки» и имел свободное хождение 8 мм.

Проанализируем типоразмер двигателей 0 120 мм, используемых для бурения горизонтальных участков ствола скважины, расположенных в пласте-коллекторе. В таблице № 10 приведены результаты анализа.

Таблица 10 - Результаты анализа ВЗД 0 120 мм.

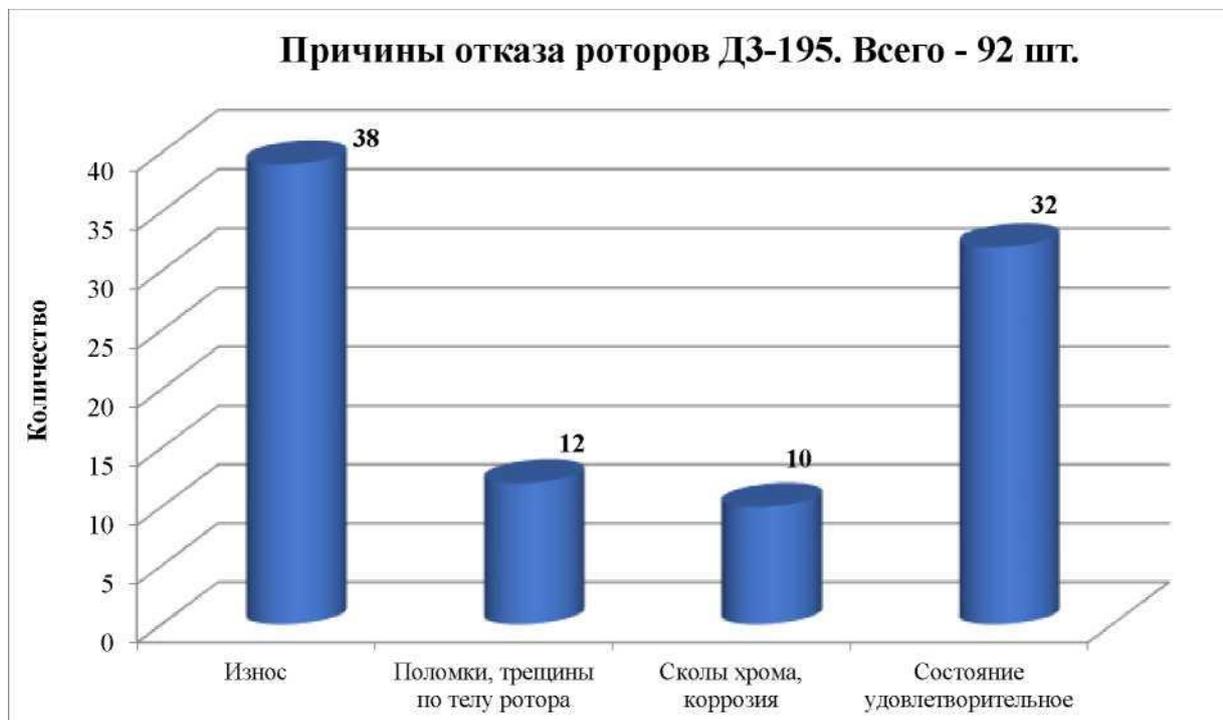
Произв-ль	Маркировка, №	Время работы, ч				Люфты (ос/рад/танг), мм	Комментарии
		Бурение	Промывка проработка	Общая циркуляция	Проходка, м		
ВНИИБТ	ДРЗ-120 №162	45,42	49,26	94,68	497	6/1/0	Высокие люфты
ВНИИБТ	ДРЗ-120 №157	68,09	23,51	91,6	691,18	8/2/0	Высокие люфты
ВНИИБТ	ДРЗ-120 №158	55,05	27,14	82,19	597,99	6/1/0	Исправен, пригоден
ВНИИБТ	ДРЗ-120 №165	78,4	58	136,4	714,2	4/1/0	Приближен к МРП
РС	ДРУ-120 №5430	29,63	26,41	56,04	250	10/1/0	Не воспринимает нагрузку, люфты
РС	ДРУ-120 №5312	23,6	30,16	53,76	280,8	3/0/0	Исправен, пригоден
РС	ДРУ-120 №5313	18,43	27,11	45,54	220,92	10/1/0	Высокие люфты
РС	ДРУ-120 №5432	81,65	76,49	158,14	461,5	10/2/0	Высокие люфты

В данном случае также в большинстве случаев ВЗД не достигли порога МРП в связи с износом подшипникового узла, двигательной секции, карданного вала. Критические значения осевого люфта для данного типоразмера после ремонта 4 мм, максимально допустимый при эксплуатации 8 мм. Исходя из таблицы гидравлические машины производства компании ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент» зарекомендовали себя лучше [22,23].

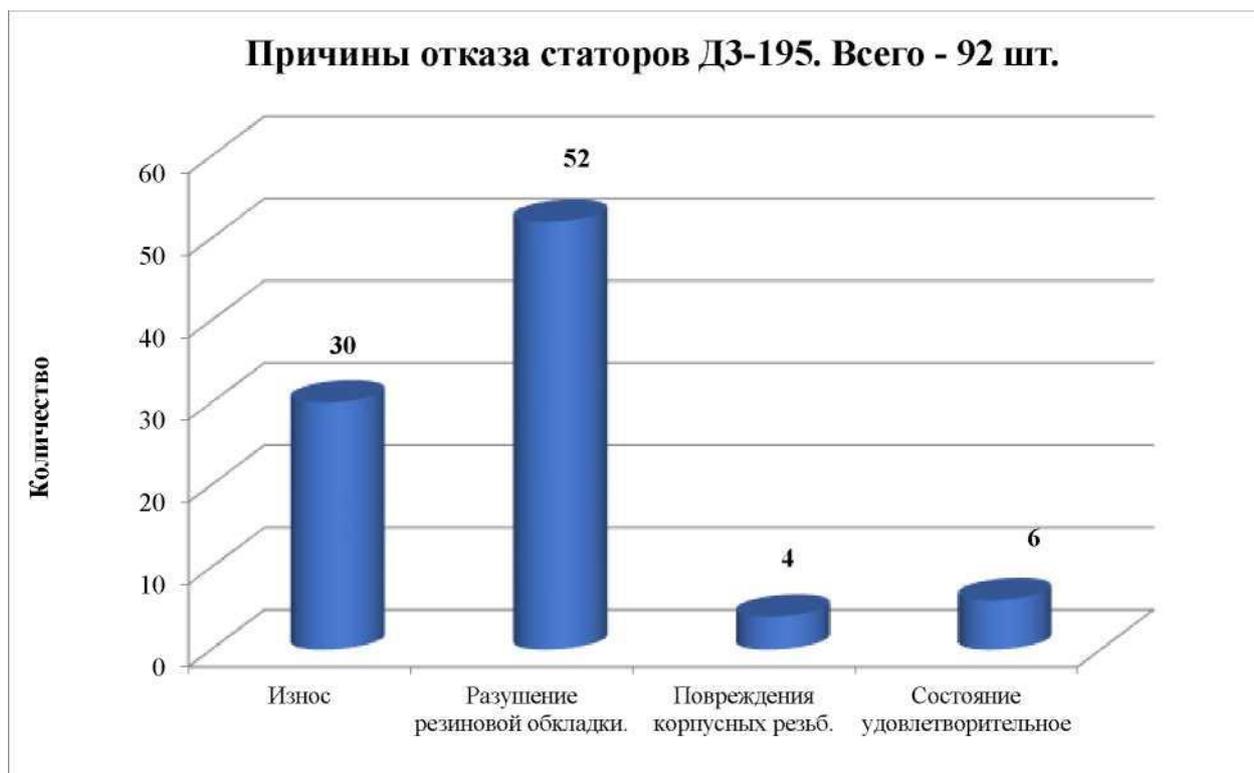
## Статистика характера повреждений ВЗД

Данная статистика представлена компанией «ВНИИБТ-Буровой инструмент». Проанализировав линейку двигателей ДЗ-195 поступающих в цех по ремонту и обслуживанию были получены данные представленные ниже.

Было изучено 92 забойных двигателя на дефект рабочей пары, в частности ротора и статора.

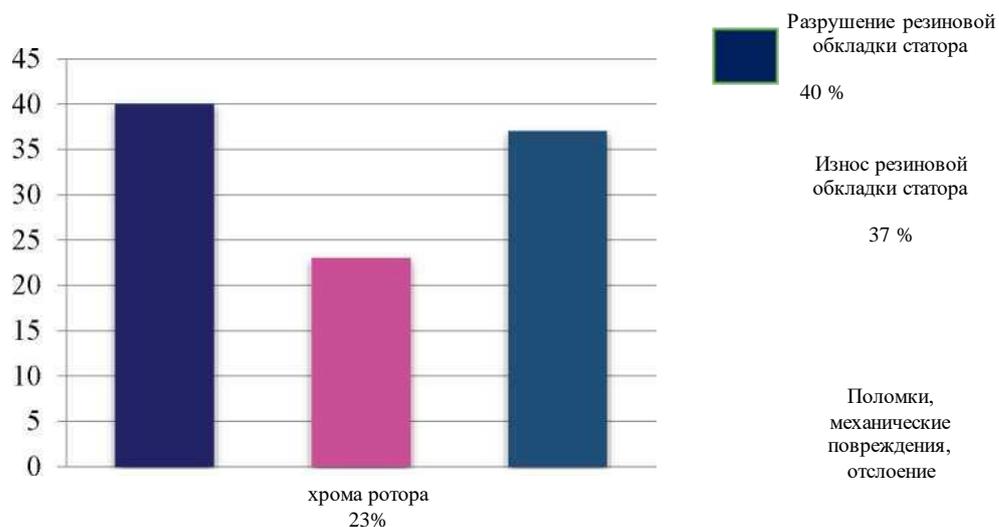


На диаграмме представлены причины отказов роторов винтовых забойных двигателей. По результатам анализа можно сделать вывод, что большинство отказов связано с естественным износом ротора, точнее его покрытия.



Что касается отказов статоров, то здесь сложнее: большинство отказов связано с неплановым разрушением эластомера статора, что ведет к выходу ВЗД из строя [3,27].

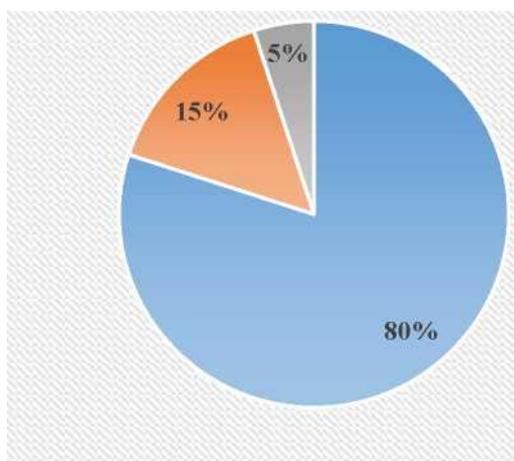
Помимо этого, было изучено 176 двигателей, имеющих в ассортименте, для установления характера повреждений рабочей пары, результаты представлены ниже.



Результаты данного наблюдения также подтвердили факт того, что повреждения рабочей пары имеют в большей степени совокупный характер, т.е. разрушение резиновой обкладки статора путем несоответствия параметров эксплуатации (химические, температурные, механические воздействия), установленных заводом-изготовителем, чем естественный износ.

По данным ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент» за 2016 год составлена диаграмма отказов ВЗД:

### Статистика отказов ВЗД за 2016 г.



- Не соблюдение условий эксплуатации
- Отказ по вине производителя
- Преждевременный износ

Исходя из выше представленного, можно составить зависимость срока службы ВЗД и

двигательной секции (рабочей пары) ВЗД [27].

**Соблюдение рекомендаций по эксплуатации ВЗД**

**Конструктивные и технологические параметры рабочей пары (верно подобраный двигатель)**



#### Условия эксплуатации:

1. режимы бурения;
2. типы применяемых долот, их моментоемкости
3. количество абразива в буровом растворе;
4. агрессивность бурового раствора;
5. температуры на забое и др.

### Негативные последствия в результате отказа ВЗД:

- Финансовые издержки из-за НПВ;
- Потеря репутации производителя в случае их вины;
- Расследования инцидентов занимает значительное время, ресурсы.

### 3. Совершенствование конструкции винтовых забойных двигателей

#### 3.1. Модернизация двигательной секции ВЗД

В главе №№ 1 и 2 данной работы, была рассмотрена наиболее распространенная комплектация винтового забойного двигателя, применяемая для строительства вертикальных и наклонно-направленных скважин, в том числе с горизонтальным окончанием ствола, на территории нашей страны и за рубежом.

К сожалению, как и всё техническое оборудование ВЗД подлежат износу и выходу из строя. В данной главе рассмотрим альтернативу стандартной конструкции двигателя, сделаем выводы по техническим характеристикам.

Начнем рассмотрение модифицированной конструкции ВЗД с основной секции - двигательной, представляющей ротор и статор.

Как уже было сказано: стандартная конструкция данной пары подразумевает наличие стального полого статора с профилированной зубчатой резиновой обкладкой (эластомером) и, как правило, хромированного ротора (рис. 26)



Рисунок 26 - Стандартная модификация двигательной секции

Статор в данной модификации винтового забойного двигателя, является одним из самых слабых мест в конструкции двигателя. Главной причиной преждевременного износа данного узла являются воздействие высоких забойных температур на резинотехническую смесь статора

(эластомера), а также влияние нефтесодержащих соединений в составе бурового раствора.

Завод-изготовитель в паспортах на винтовые забойные двигатели и рекомендациях к эксплуатации указывает, что повышение температуры в призабойной зоне негативно влияет на прочность обкладки статора и снижает ресурс двигателя. Буровой раствор содержащий реагенты на углеводородной основе приводит к набуханию резиновой обкладки (эластомера) статора и преждевременному выходу из строя двигателя.

Так, в научной работе сотрудников ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент» сказано: при повышении забойной температуры, резина, используемая для формирования обкладки статора ВЗД, изменяет свои физико-механические и упругоэластичные свойства. При нагреве до 180 °С термически разрушается. С повышением температуры и уровнем циклически действующих напряжений динамическая долговечность резинотехнических изделий значительно понижается.

Рассмотрим эпицентр действия максимальных температурных и динамических нагрузок на эластомер. При работе двигателя в режиме максимальной мощности обкладка статора стандартной конструкции подвержена максимальному напряжению со стороны боковины зуба посередине толщины резины. Максимальные температурные значения в эластомере достигают 97 °С для статоров диаметром 95 мм, 122 °С для статоров диаметром 195 мм (рис. 26.1) [28,29].

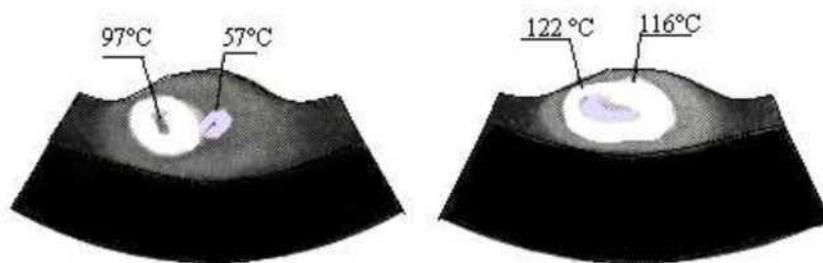


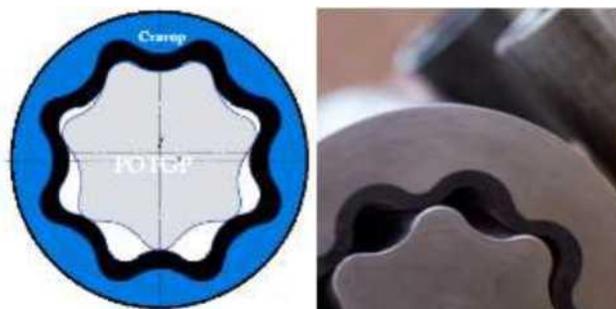
Рисунок 26.1 - Эпицентры термического воздействия на эластомер стандартной конструкции статора 95мм (слева), 195 мм (справа)

Как уже говорилось в результате температурного фактора резина теряет свои свойства и склонна к разрушению, следовательно, в конструкции ВЗД это чревато остановкой двигательной секции в связи с заклиниваем ротора и карданного вала, а также забиванием гидромониторных насадок долота элементами обкладки статора. На рис. представлены результаты разрушения эластомера ВЗД. В процессе бурения косвенными признаками разрушения эластомера являются скачки давления в нагнетательной линии при неизменных параметрах режима бурения, плохое восприятие нагрузки двигателем.



Рисунок 26.2 - Разрушение эластомера ВЗД в зоне действия высоких температур

Альтернативой стандартной конструкции статоров ВЗД является двигательная секция с равномерной толщиной резиновой обкладки (профилированная секция) (рис.26.3) [30].



### Рисунок 26.3 - Поперечный разрез профилированной двигательной секции

Конструктивное представление: двигательная секция выполнена в виде профилированного статора с привулканизированной к нему резиновой обкладкой равномерной толщины 5...8 мм. Конструкция ротора не подверглась модификации.

Создание такой конструкции рабочей пары позволило повысить жесткость в соединении и, как следствие, увеличить развиваемый момент на выходном валу ВЗД, максимальную мощность и увеличить максимально допустимую величину дифференциального перепада в 1,5..2 раза [10,17].

Рассмотрим данную конструкцию в точки зрения воздействия высоких температур и характера разрушения резиновой обкладки. Ранее проведенные научные опыты показали, что в результате уменьшения объема резиновой смеси и равномерного распределения происходит достаточный отвод тепла из зоны нагрева статора. Подтверждением этому является снижение температуры разогрева эластомера в эпицентре контакта ротор-статор почти в 2 раза (рис.26.4). Эксперименты производились на тех же типоразмерах ВЗД, что и для стандартной конструкции 95 и 195 мм.

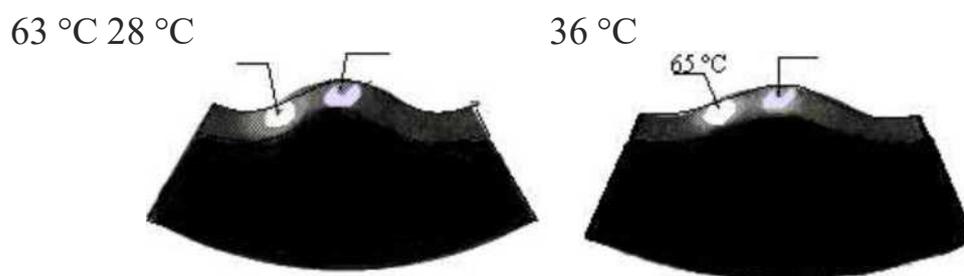


Рисунок 26.4 - Эпицентры термического воздействия на эластомер профилированной конструкции статора 95мм (слева), 195 мм (справа)

В связи с более качественным отводом тепла от зоны контакта профилированная секция ВЗД получила ряд преимуществ:

1. За счет уменьшения объема резиновой смеси и равномерного распределения, в зонах повышенной деформации, то есть на границе контакта ротор-статор, уменьшилось температурное расширение резины и, соответственно, не искажается геометрия эластомера.

Данный факт качественно сказался на отсутствии уменьшения рабочих

камер объемного винтового механизма и увеличении механических потерь в зацеплении рабочей пары, что в свою очередь значительно сказывается на энергетических характеристиках ВЗД. Помимо этого, создание профилированной секции позволило в разы снизить механический износ поверхностей секции.

2. За счет уменьшения температурного градиента в зоне контакта ротор-статор увеличился ресурс статора и уменьшилась вероятность термического растрескивания. Во время длительной работы ВЗД в скважине в режиме максимальной мощности физикомеханические свойства эластомера практически не изменяются. Увеличилась область применения забойных двигателей, снабженных данной секцией. Ранее для стандартной конструкции рабочей пары, заводом-изготовителем в обязательном порядке регламентировался температурный предел до 110 °С. Создание обновленной пары позволило поднять данное значение до 145 °С [28-30].

Помимо всего вышесказанного, хочется отметить, что в силу повышенной жесткости в зацеплении рабочей пары, для обеспечения бесперебойной работы двигателя возможно обеспечивать бурение на меньшей производительности буровых насосов, чем при использовании в конструкции двигателя стандартной конструкции статора.

По опыту эксплуатации винтовых забойных двигателей на Дулисьминском нефтегазоконденсатном месторождении Иркутской области двух выше представленных модификаций, хочется отметить значительное различие в их поведении на забое и показателям механической скорости проходки примерно в одинаковых геологических условиях.

## **3.2. Техническое предложение**

### **3.2.1. Описание предложения**

Еще одним способом повышения долговечности и нагрузочной способности двигателя предлагается использовать авторское свидетельство № 943388.

Данное изобретение позволяет увеличить долговечность, а так же повысить нагрузочную способность в рабочей зоне характеристики двигателя (от холостого хода до режима максимальной мощности) за счёт устранения перекосов ротора от гидравлических сил.

Также по результатам статистических исследований в области надёжности и работоспособности забойных двигателей в восьмидесяти процентах причиной отказа является рабочая пара, а точнее износ или полное разрушение резиновой обкладки статора, что снижает ресурс винтового забойного двигателя в целом.

На рисунке 4.1 представлена диаграмма причин отказа забойного двигателя в процентном соотношении.

Предлагаются некоторые мероприятия, которые направлены на увеличение ресурса рабочих органов.

В частности, как техническое предложение по усовершенствованию технологии, предлагается добавить в состав полимерный слой из смеси поливинилформаль и фенолформальдегидной смолы.

Целью технического предложения является повышение ресурса работы забойного винтового двигателя за счет увеличения адгезии резины к металлу до прочности резин и сохранения физикомеханических свойств резиновой втулки.

*Причины отказа винтовых забойных двигателей в процентном соотношении.*

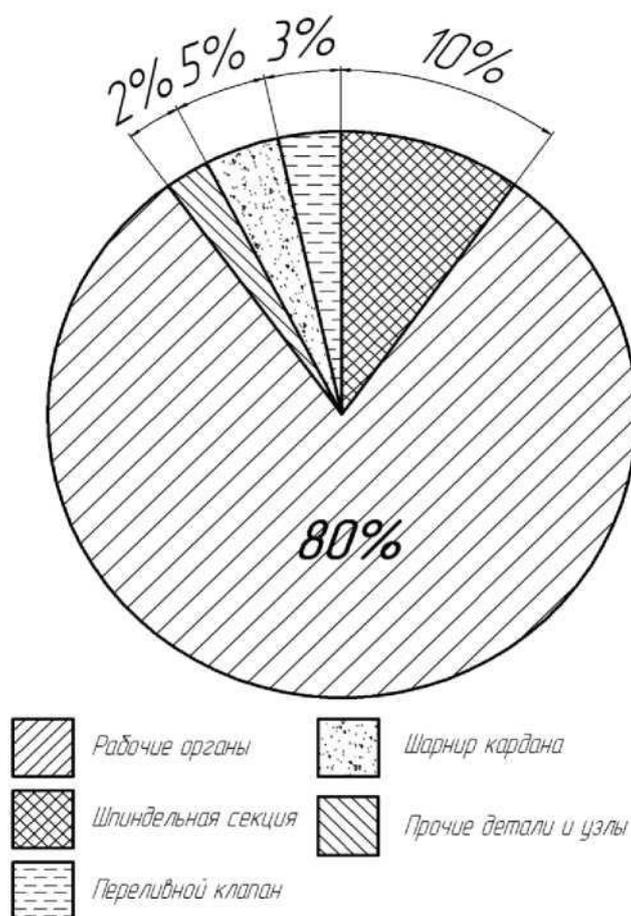


Рисунок 27

Указанная цель достигается тем, что статор имеет полимерный слой из смеси поливинилформаля и фенолформальдегидной смолы, размещенный между корпусом и резиновой втулкой, при этом корпус статора выполнен в виде двух полуцилиндров.

Статор состоит из металлического корпуса, выполнен в виде двух полуцилиндров, полимерного слоя из смеси поливинилформаля и фенолформальдегидной смолы, нанесенного на внутреннюю поверхность полуцилиндров, и резиновой втулки с многозаходной винтовой нарезкой, расположенной внутри корпуса. Резиновая втулка сцеплена с полимерным слоем с помощью полиуретанового или изоцианатного клея. Статор установлен в корпусе ВЗД. Нанесение полимерного слоя на полуцилиндры корпуса производится из раствора указанных полимеров в дикрезоле. Соотношение поливинилформаля к фенолформальдегидной смоле 2:1. После нанесение раствора покрытие сушат на воздухе и термообработывают при 150°C до неполного отверждения. На пуансон пресс-формы закладывают

сырую резину, на резину накладывают два полуцилиндра, предварительно нанося сверху полимерного слоя полиуретанового клея УРТ с 5% отвердителя - лейконата. Пресс - форму закрывают и прессуют при температуре 153°C по режиму вулканизации данной марки резины.

Выполнение корпуса в виде двух полуцилиндров позволяет производить смену отработанных статоров новыми с многократным использованием корпуса двигателя.

К преимуществам данного винтового забойного двигателя относятся:

Повышение адгезионной прочности связи резина - металл до прочности самой резины, т.е. до 200 кгс/см<sup>2</sup>, и сохранение физико - механических свойств резиновой втулки, что позволяет увеличить срок службы статора, и межремонтный период двигателя до 150 часов.

### 3.2.2. Расчёт модернизированного образца

#### Исходные данные

$P$  - перепад давления,  $8 \cdot 10^6 \text{Па}$ .

$D$  - расчетный диаметр ротора, 0,0107 м.

$t$  - ротора шаг, 1,850 м.

$e$  - эксцентриситеты, 0,0049 мм.

$z_1$  - число зубьев статора 10.

$M_0$  - удельный момент винтового двигателя 4,3 Нм .

$Se$  - безразмерный параметр, являющийся отношением эксцентриситета  $e$  к радиусу зуба зацепления  $r$  4,3.

$Q$  - расход жидкости, подаваемой в двигатель, 30 м<sup>3</sup>/с.

$V_0$  - объем рабочего органа камеры двигателя, 14,4 м<sup>3</sup>.

$T$  - шаг винтовой поверхности статора, 2,4 м.

$z_2$  - число зубьев ротора 9.

$n_0$  - удельная частота вращения вала выходного 2.

$T_p$  - наработка ротора до отказа 254 ч.

$T_{ст}$  - наработка статора до отказа 160ч.

$T_о$  - наработка осевой опоры до отказа 70ч.

$M$  - масса двигателя 1100 кг.

$M_p$  - максимальный рабочий момент,  $H.m$ .

$T$  - назначенный ресурс двигателя Д1-195, 500 ч.

$\eta_{эф}$  - максимальный эффективный КПД двигателя Д1-195 0,39.

$Q$  - расход бурового раствора 0,035 м<sup>3</sup>/с

### 3.2.2.1. Определение момента для поворота вала ротора

Минимальный момент, требуемый для поворота вала ротора с учётом существующего натяга, определяется по формуле:

$$M_{MN} = \frac{N \cdot \pi \cdot d^2 \cdot l \cdot f}{\frac{2 \cdot C_c}{E_c}} \quad (4.1)$$

где  $N$  - существующий натяг в рабочей паре ротор - статор,  $N = 0,001 м$ ;

$d$  - диаметр по вершинам зубьев статора,  $d = 0,1118 м$ ;

$l$  - длина контакта,  $l = 2 \cdot r_p \cdot \pi \cdot t \cdot z_1 = 10 м$

$f$  - коэффициент трения,  $f = 0,26$

$C_c$  - коэффициент Ламе, определяемый по формуле:

$$C_c = \frac{1 + \left(\frac{d}{d_H}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_H}\right)^2} + \mu_c, \quad (4.2)$$

где  $d_H$  - наружный диаметр обкладки статора,  $d_H = 0,132\text{м}$   
 $\mu_c$  - коэффициенты Пуассона статора,  $\mu_c = 0,475$

$$C_c = \frac{1 + \left(\frac{0,118}{0,132}\right)^2}{1 - \left(\frac{0,118}{0,132}\right)^2} + 0,475 = 4,999$$

$E_c$  - модули упругости статора,  $E_c = 6\text{МПа}$

$$M_{MN} = \frac{0,001 \cdot 3,14 \cdot 0,118^2 \cdot 10 \cdot 0,26}{\frac{2 \cdot 4,999}{6 \cdot 10^6}} = 70,6 \text{ Нм}$$

### 3.2.2.2. Расчет на соединение с натягом корпус - втулка.

Наибольшая сила осевая, которую может выдержать соединение, кН;

$$F_{ос} = P \cdot S \cdot f \quad (4.3)$$

где  $P$  - давление на посадочной поверхности, МПа;

$S = \pi \cdot d \cdot l$  - площадь посадочной поверхности, мм<sup>2</sup>;

$$S = 3,14 \cdot 150 \cdot 1,96 = 920,16;$$

$f$  - коэффициент трения между поверхностями, ( $f = 0,13-0,17$ ).

Наибольший крутящий момент, передаваемый соединением между стенкой корпуса и втулки,  $H \cdot м$

$$M_{кр} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot P \cdot S \cdot d \cdot f \quad (4.4)$$

Давление  $P$  на посадочных поверхностях зависит от натяга и толщины стенок охватывающей и охватываемой деталей. Согласно формуле Ламе, МПа,

$$P = \frac{\Delta}{d} \cdot \theta, \quad (4.5)$$

где  $\Delta/d$  - относительный натяг диаметральный, мм;  
 $\theta$  - коэффициент;

$$\theta = \frac{1}{\frac{C_{ВТ} - \mu_{ВТ}}{E_{ВТ}} + \frac{C_{К} + \mu_{К}}{E_{К}}}, \quad (4.6)$$

где  $E_{вт}, E_{к}$  - модуль нормальной упругости втулка, корпус;

$\mu_{вт}, \mu_{к}$  - коэффициент Пуассона материалов охватываемой и охватывающей деталей, соответственно равны (1,35 и 1,43);

$c_{вт}$  и  $c_{к}$  - коэффициенты, которые определяем из выражения;

$$C_{ВТ} = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} \quad (4.7)$$

$$C_{К} = \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2}\right)^2} \quad (4.8)$$

где  $d_1$  - внутренний диаметр втулки, 0,145 м;

$d_2$  - внешний диаметр корпуса, 0,172 м.

$$C_{BT} = \frac{1 + \left(\frac{0,145}{0,150}\right)^2}{1 - \left(\frac{0,172}{0,150}\right)^2} = 27,5$$

$$C_K = \frac{1 + \left(\frac{0,150}{0,172}\right)^2}{1 - \left(\frac{0,150}{0,172}\right)^2} = 7,3$$

Следовательно, из выражения (4.7) и (4.8) находим давление, действующее на посадочные поверхности,

$$P = \frac{\Delta}{d} \cdot \frac{1}{\frac{C_{BT} - \mu_{BT}}{E_{BT}} + \frac{C_K + \mu_K}{E_K}} = \frac{E_K \cdot \Delta}{d} \cdot \frac{1}{(C_{BT} - \mu_{BT}) \cdot \frac{E_K}{E_{BT}} + C_K + \mu_K},$$

$$P = \frac{6 \cdot 10^6 \cdot 0,6}{0,15} \cdot \frac{1}{(27,5 - 1,35) \cdot \frac{6 \cdot 10^6}{5,5 \cdot 10^6} + 7,3 + 1,43} = 6,5 \cdot 10^5.$$

Отсюда, следовательно находим крутящий момент, Н м,

$$M_{кр} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 6,5 \cdot 10^5 \cdot 0,92 \cdot 0,92 \cdot 0,15 \cdot 0,15 = 0,5.$$

По выражению (6.9) рассчитаем осевую силу, которую может выдержать соединение с натягом, кН,

$$F_{oc} = 6,5 \cdot 10^6 \cdot 0,92 \cdot 0,15 = 897 \cdot 10^3$$

Исходя из расчетов, видно, что при посадке с натягом латунированной втулки к корпусу, соединение выдерживает очень высокие осевые нагрузки, что характерно для длительной работы двигателя.

### 3.2.2.3. Расчёт на срыв резиновой обкладки от стенок втулки

Определим максимальную силу, которую может выдержать клеевое соединение резиновой обкладки (статор) к стенке втулки. Для вулканизации используют полиуретановый клей 51К - 20 с 5% отвердителем и прочностью 20 МПа.

Сопротивление соединений с натягом и клеевых соединений сдвигу соответственно равно,

$$F = P \cdot S \cdot f \quad (4.9)$$

$$F_{\text{кл}} = S \cdot \tau,$$

где  $S$  - площадь посадочной поверхности;

$P$  - давление на посадочной поверхности, МПа;

$\tau$  - прочность клеевого слоя на срез, (20 - 25) МПа;

$f$  - коэффициент трения между поверхностями, ( $f = 0,2$ ).

$$F = 100 \cdot 0,92 \cdot 0,2 = 18,4$$

Приравнявая  $F = P_{\text{кл}}$ , получим условие равнопрочности,

$$P = \frac{\tau}{f}, \quad (4.10)$$

$$P = \frac{20}{0,2} = 100.$$

Считая по сниженному, находим пределу,

$$P = 2/f$$

$$P = 2/0,2 = 10$$

при среднем значении  $f = 0,2$ , получаем давление в сто десять МПа. Этому значению соответствуют посадки с умеренным натягом типа r5, r6, s5, s6.

Клеевое соединение не вызывает напряжений в соединениях деталях, как посадка с натягом. Для клеев горячего отверждения необходима выдержка деталей при температуре примерно сто пятьдесят градусов цельсия в течение порядка двух часов. Клеевые соединения собирают на посадках  $H7/h6$ ,  $H7/js6$ ,  $H7/k6$ .

Исходя из выполненных расчетов, можно сказать, что при установке втулки в корпус, не уменьшило прочность клеевого соединения резиновой обкладки к корпусу, а наоборот повысило адгезии резины к металлу и равномерный износ, что соответственно повышает прочность соединения и срок службы рабочих органов.

#### 3.2.2.4. Расчёт на прочность

Определим максимальное предельное давление, которое может выдержать остов. Оно определяется по давлению, при котором напряжение в меридиональном сечении достигает предела текучести. Величина этого давления зависит от диаметра, толщины стенки, материала остова и вычисляется по формуле:

$$P_{\Pi} = \frac{2\delta\sigma_{Tc}}{D}, \quad (4.11)$$

где  $\delta$  - номинальная толщина стенки, берётся как  $\frac{D-D_B}{2}$ , где  $D_B$  диаметр внутренней окружности каналам,  $\delta = 0,011$  м;

$\sigma_T$ - предел текучести материала,  $\sigma_T = 830$  МПа;

$D$  - наружный диаметр,  $D = 0,172$  м;

$c$  - коэффициент, учитывающий допускаемое по ГОСТ 632-80 отклонение толщины стенки от номинального значения,  $c = 0,875$ .

$$P_{\Pi} = \frac{2 \cdot 0,011 \cdot 830 \cdot 10^6 \cdot 0,875}{0,172} = 92,9 \text{ МПа}$$

Значение предельного давления должно быть больше рабочего перепада давления в двигателе,  $\Delta P = 6 \dots 8 \text{ МПа}$

$P_n > \Delta P$  условие выполняется

Рассчитаем прочность остова статора при воздействии осевой нагрузки, по следующему условию:

$$\sigma = \frac{F}{G} \quad (4.12)$$
$$\sigma \leq \frac{[\sigma]}{n}$$

где  $F$  - нагрузка, действующая на остов статора,  $F = 250 \text{ кН}$ ;

$\sigma$  - напряжение, возникающее в поперечном сечении при воздействии нагрузки  $F$ , МПа;

$[\sigma]$  - допускаемое напряжение,  $\sigma_m = 830 \text{ МПа}$ ;

$n$  - запас прочности,  $n = 1,45$ ;

$G$  - площадь поперечного сечения,  $\text{м}^2$ :

$$G = \frac{\pi(D^2 - D_B^2)}{4}, \quad (4.13)$$

где  $D$  - внешний диаметр остова статора, м;

$D_B$  - внутренний диаметр, м.

$$G = \frac{3,14 \cdot (0,172^2 - 0,150^2)}{4} = 0,005 \text{ м}^2$$

$$\sigma = \frac{250 \cdot 10^3}{0,005} = 50 \text{ МПа}$$

$$\sigma \cdot n \leq [\sigma]$$

$$50 \cdot 1,45 = 72,5 \leq 830 \text{ условие выполняется}$$

Из выше представленных расчетов можно заключить, что уменьшение толщины стенки корпуса, не ослабляет сечение остова, как при воздействии осевой нагрузки, так и при воздействии внутреннего давления.

### 3.3. Оценка технологичности

#### 3.3.1. Оценка металлоемкости модернизированной конструкции

Определим объём снижения металлоёмкости двигателя по следующей формуле:

$$V = (V_K + V_{yB}) \cdot z_1, \quad (4.14)$$

где  $V_K$  - объём толщины стенки корпуса двигателя, определяется по выражению (рис. 13):

$$V_K = \frac{3.14(r_1^2 - r_2^2) \cdot L}{2}, \quad (4.15)$$

где  $r_1$  - наружный радиус корпуса,  $r_1=0,086$  м;

$r_2$  - внутренний радиус корпуса,  $r_2=0,075$  м;

$L$  - длина активной части корпуса,  $L=1,96$  м.

$$V_K = \frac{3.14(0,086^2 - 0,075^2) \cdot 1,96}{2} = 0,0055 \text{ м}^3$$

$V_{yB}$  - объём толщины стенки в упорной втулке:

$$V_{yB} = \frac{\pi(r_1^2 - r_2^2) \cdot L}{2}, \quad (4.16)$$

где  $r_1$  - наружный радиус упорной втулки,  $r_1=0,075$  м;

$r_2$  - внутренний радиус упорной втулки,  $r_2=0,072$  м;

$L$  - длина активной части корпуса,  $L=1,96$  м.

$$V_{BV} = \frac{3.14(0,075^2 - 0,072^2) \cdot 1,96}{2} = 0,004\text{м}^3$$

$z_1$  - число зубьев статора,  $z_1 = 8$ .

$$V = \frac{(5,5 \cdot 10^{-5} + 4 \cdot 10^{-6}) \cdot 10}{1} = 0,0055\text{м}^3$$

Определим массу снижения металлоёмкости из выражения:

$$m_M = \rho \cdot V_M, \quad (4.17)$$

где  $\rho$  - плотность материала,  $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$

$V_M$  - общий объём снижения металлоёмкости,  $V_M = V = 0,0055\text{м}^3$

$$m_M = 7850 \cdot 0,0055 = 43,175\text{кг}$$

Определим процентное соотношение снижения металлоёмкости:

$$m_{\%} = \frac{m_M}{m_D} \cdot 100\%, \quad (4.18)$$

где  $m_D$  - полная масса двигателя,  $m_D = 878\text{кг}$

$$m_{\%} = \frac{43,175}{878} \cdot 100\%$$

$$m_{\%} \approx 4,9\%$$

### 3.3.2. Оценка ресурса модернизированной конструкции

Для серийных забойных двигателей по статистическим данным средняя наработка на отказ рабочих органов составляет порядка 100 - 120 часов. В большей своей части за эту наработку темп износа резиновой обкладки статора равен одному миллиметру. Определим максимальный зазор, который возможно ликвидировать с применением предлагаемой конструкции с учётом прочности на отрыв резиновой обкладки из выражения:

$$x = \frac{\sigma_c \cdot r \cdot (E_{BT} + E_c)}{E_{BT} \cdot E_c}, \quad (4.19)$$

$$x = \frac{0,7 \cdot 10^6 \cdot 0,075 \cdot (5,5 \cdot 10^6 + 4 \cdot 10^6)}{5,5 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^6} \approx 2 \text{ мм}$$

Таким образом предлагаемая конструкция позволит увеличить ресурс двигателя до появления зазора в 2мм, т.е. в двое, а средняя наработка на отказ будет равна:

$$T_{\text{ср}} = \frac{x_2 \cdot T}{x_1}, \quad (4.20)$$

где  $x_1$  - Темп износа за межремонтный период серийных двигателей,  $x_1$  — 1 мм;

$x_2$  - Темп износа за межремонтный период двигателя предлагаемой конструкции,  $x_2$  — 2 мм;

$T$  - Средняя наработка на отказ серийных двигателей,  $T=240$  часам;

$$T_{\text{ср}} = \frac{2 \cdot 120}{1} = 240 \text{ часов.}$$

В заключении можно сделать выводы:

1. Предлагаемый забойный двигатель отличается простотой конструкции, что позволяет производить модернизацию имеющихся серийно выпускаемых двигателей непосредственно в цехах капитального

ремонта рабочих пар.

2. В сочетании с высоким уровнем технологичности ремонтных работ, возможно, добиться значительного увеличения ресурса двигателей в целом.

3. В результате проделанной работы наглядно видно как изменилась в лучшую сторону средняя наработка на отказ, а также темп износа резиновой обкладки статора, улучшилась прочность, уменьшился коэффициент трения.

### **3.4. Модернизация шпиндельной секции ВЗД**

В конструктивном исполнении известно два типа изготовления шпиндельной секции винтового забойного двигателя:

- Открытые - рабочие компоненты, детали узла охлаждаются и смазываются потоком промывочной жидкости;
- Маслонаполненные - данный тип исполнения подразумевает наличие герметизированного шпинделя, конструкция которого представляет масляную ванну с избыточным давлением, как правило, на 10-20 атм. выше давления окружающей среды.

Серийно изготавливаемые двигатели в России имеют шпиндельную секцию открытого типа.

За время мировой эксплуатации ВЗД известно 3 типа исполнения карданного вала - элемента, преобразующего планетарное движение двигательной секции в соосное вращение вала шпинделя и, соответственно, долота. А также для передачи момента силы на выходной вал:

Цельный карданный вал - используется на «прямых» винтовых забойных двигателях, без регулятора угла. Данная конструкция применима для бурения вертикальных скважин различного назначения (рис.29.1) [10,11,21,33].



Рисунок 28.1 - цельный карданный вал - Гибкий карданный вал

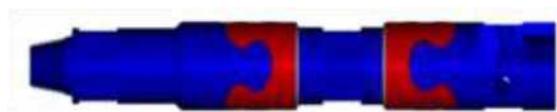


Рисунок 28.2 - гибкий карданный вал

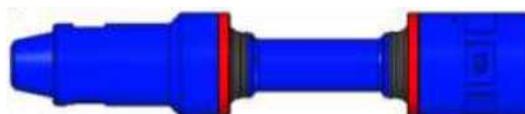


Рисунок 28.3 - Лепестковый шарнирный карданный вал [34]

Рассмотрим способ улучшения характеристик ВЗД путем подбора материала для гибкого вала

Расчет гибкого вала ВЗД диаметром 195 мм ( $i = Z_p/Z_c = 9/10$ ;  $D_k = 135$  мм;  $e = 4,9$  мм;  $t = 751$  мм;  $S = 18,52$  см<sup>2</sup>;  $S_k = 113,8$  см<sup>2</sup>). Режимные параметры: частота вращения  $n = 129$  об/мин ; крутящий момент  $M = 12$  кН • м; перепад давления  $P = 11$  МПа. Нарботка на отказ  $h = 250$  ч.

Пояснение:

- Перед  $i$  - отношение чисел зубьев РО;
- Перед  $D_k$  - контурный диаметр РО (диаметр окружности впадин зубьев статора);
- Перед  $e$  - эксцентритет;
- Перед  $S$  - площадь живого сечения РО;
- Перед  $S$  - площадь проекции контактных линий;
- Перед  $t$  - шаг винтовой поверхности ротора.

Диаметр вала определяем по условию статической прочности.

$$\tau = \frac{M_{max}}{W_p} = \frac{16M_{max}}{\pi d^3} \leq \frac{\tau_T}{k_{ст}}$$

принимая  $M_{max}$  равным тормозному моменту  $M_T = 1,5M = 1,5 \cdot 5$  кН\*м; коэффициент запаса  $k_{ст} = 2$  и предел текучести высококачественной стали гибкого вала для ориентировочных расчетов  $\tau_T = 500$  Мпа:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16M_T * K_{ст}}{\pi * \tau_T}} = \sqrt[3]{\frac{16 * 1,5 * 12000 * 2}{3,14 * 500 * 10^6}} \approx 71,6 \text{ мм.}$$

Окончательно принимаем  $d=72$  мм.

Длину ГВ с учетом его размещения в расточке ротора назначаем  $l=2$  м.

В результате безразмерные коэффициенты  $d/e=72/4,9 \approx 14,69$ ;  $l/e=2000/4,9 \approx 408,2$ ;  $l/d=2000/72 \approx 27,78$  соответствуют оптимальным диапазонам.

Геометрические характеристики сечения ГВ:

- Площадь  $S_{ГВ} = \pi d^2/4 = 3,14 * 7,2^2/4 = 40,69 \text{ см}^2$ ;
- Осевой момент сопротивления  $W = \pi d^3/32 = 3,14 * 7,2^3/32 = 36,62 \text{ см}^3$ ;
- Полярный момент сопротивления  $W_p = \pi d^3/16 = 3,14 * 7,2^3/16 = 73,25 \text{ см}^3$ ;
- Осевой момент инерции  $I = \pi d^4/64 = 3,14 * 7,2^4/64 = 131,85 \text{ см}^4$ .

Зная заданный перепад давления  $P$  в рабочем органе ВЗД и пренебрегая перепадом давления в долоте и давлением на забое, находим осевое усилие на ГВ:

$$F_{ГВ} = F_{р0} = P(S_k + z_2 S) = 11 * 10^6 (113,8 * 0,0001 + 18,52 * 0,0001 * 9) = 308,528 \text{ кН.}$$

$$\text{Среднее напряжение сжатия: } \sigma_M^{сж} = \frac{F_{ГВ}}{S_{ГВ}} = \frac{308528}{0,004069} = 75,82 \text{ МПа}$$

$$\text{Амплитуда цикла сжатия: } \sigma = \frac{F_{ГВ} * e}{W} = \frac{308528 * 4,9}{0,03662} = 41,28 \text{ МПа}$$

Принимаем, что форма упругой оси ГВ описывается уравнением кубического полинома.

$$U = \frac{12e}{l^3} EI = \frac{12 * 4,9 * 2,1 * 10^5 * 131,85 * 10^4}{2^3 * 10^9} = 2035,1 \text{ Н.}$$

Изгибающий момент в опасном сечении на конце вала

$$M_{И} = U \frac{l}{2} = 2035,1 * \frac{2}{2} = 2035,1 \text{ Нм}$$

Перекашивающий момент на роторе:

$$M_{\Pi} = \frac{(D_k - 4e)t^2}{4\pi} P = \frac{(0.135 * 4 * 0.0049) * 0.751^2}{4 * 3.14} * 11 * 10^6$$

$$= 57001,82 \text{ Н} * \text{м}$$

Амплитуда напряжений от изгиба:

$$\sigma_a^i = \frac{3ed}{l^2} E = \frac{3 * 0.0049 * 0.072}{2^2} * 2.1 * 10^5 = 55,57 \text{ МПа}$$

Суммарная амплитуда цикла нормальных напряжений:

$$\sigma_a = \sigma_a^{\text{сж}} + \sigma_a^i = 41,28 + 55,57 = 96,85 \text{ МПа.}$$

Касательные напряжения:

$$\tau = \frac{M}{W_p} = \frac{12000}{73,25 * 10^{-6}} = 163,8 \text{ МПа.}$$

Среднее эквивалентное напряжение:

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_T^{\text{сж}^2} + 4\tau^2} = \sqrt{75,82^2 + 4 * 163,8^2} = 336,3 \text{ МПа}$$

Коэффициент асимметрии цикла:

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma_T - \sigma_a}{\sigma_T + \sigma_a} = \frac{336,3 - 96,85}{336,3 + 96,85} = 0,55$$

Число циклов переменных напряжений (наработка циклов на отказ):

$$N = 60z_1nh = 60 * 10 * 129 * 250 = 1.935 * 10^7.$$

Коэффициент коррозионной выносливости стали:

$$C_\sigma = 0,26 - 0,03(\lg N - 6) = 0,26 - 0,03(7,29 - 6) = 0,22.$$

Требуемый предел прочности стали ( $k_y=1,5$ )

$$\sigma_B = \frac{1,5\sigma_a}{C_\sigma} + \sigma_T = \frac{1,5 * 96,85}{0,22} = 996,64 \text{ МПа.}$$

На основе расчета на выносливость для ГВ принимаем марку стали 40ХН2МА ( $\sigma_B=1100$  МПа;  $\sigma_T=970$  МПа)

Для проверки ГВ на продольную устойчивость определяем критическую осевую силу:

$$F_{\text{кр}} = \frac{9\pi^2 EI}{l^2} = \frac{9 * 3,14^2 * 2,1 * 10^{11} * 131,85 * 10^{-8}}{2^2} = 6142 \text{ кН.}$$

Расчет на устойчивость проводим для тормозного режима, в котором перепад давления в РО и сжимающие усилия в ГВ достигают максимального

значения. Принимаем, что в тормозном режиме  $F_{ГВ.т} \approx 2F_{ГВ} = 2 * 308528 = 617,056$  кН.

Определяем коэффициент запаса устойчивости:

$$\frac{F_{кр}}{F_{ГВ.т}} = \frac{6142}{617,056} = 9,95$$

При повышенных крутящих моментах или особых коррозионных свойствах среды для изготовления ГВ может быть использован титановый сплав, обладающий пониженным модулем упругости и плотностью при высоких прочностных характеристиках: модуль упругости  $1,1 * 10^5$  Мпа, плотность  $4500 \text{ кг/м}^3$ , предел прочности  $850-1000$  Мпа. Переход на титановый сплав при прочих равных условиях позволяет в два раза снизить изгибающие напряжения и в результате увеличить запас усталостной прочности ГВ.

### **Социальная ответственность**

Понятие «социальная ответственность» на данном этапе развития общества получило широкое распространение во всех сферах деятельности человека. Обычно социальная ответственность рассматривается как одно из выражений ответственности в обществе. Ответственность как способ взаимодействия различных сил в обществе (отдельные индивиды, организации, органы управления) связана с выполнением каких-либо обязанностей, предъявлением на этой основе требований к соответствующему лицу или организации, а также применением санкций в случае невыполнения.

Таким образом, социальная ответственность -это особое морально-правовое и социальное отношение конкретного лица (в нашем случае Работодателя) к обществу (Рабочему классу), характеризующиеся выполнением нравственного долга и правовых норм и аспектов деятельности.

В данном разделе более подробно рассмотрим роль социальной ответственности в нефтегазовой отрасли в частности в сфере бурения нефтяных и газовых скважин. А именно, рассмотрение пунктов связанных с исключением несчастных случаев; защитой здоровья работников; снижением вредных воздействий на окружающую среду; экономным расходованием

невозобновимых природных ресурсов. В качестве объекта исследования рассматривается технологический процесс по использованию винтовых забойных двигателей для строительства скважин в различных геологических условиях, различных по своей специфике, профилю и назначению.

Таким образом, в роли объекта выступает весь комплекс производственно технических мероприятий, необходимый для бурения нефтяных и газовых скважин.

#### **4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Работникам, выезжающим для выполнения работ вахтовым методом в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности из других районов согласно Трудовому кодексу Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) [38]: устанавливается районный коэффициент и выплачиваются процентные надбавки к заработной плате в порядке и размерах, которые предусмотрены для лиц, постоянно работающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях; предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в порядке и на условиях, которые предусмотрены для лиц, постоянно работающих:

- в районах Крайнего Севера – 24 календарных дня;
- в местностях, приравненных к районам Крайнего Севера – 16 календарных дней [38].

Рабочей зоной являются полевые условия на компрессорной станции магистрального газопровода. Эргономические требования к рабочему месту на рассматриваемых площадках регламентируются системой стандартов безопасности труда ГОСТ 12.2.049-80 [39] при работе с производственным оборудованием и ГОСТ 12.2.033-78 [40] при выполнении работ стоя.

## 4.2. Производственная безопасность

В процессе трудовой деятельности на человека могут влиять вредные и опасные производственные факторы. К вредным относят факторы, вызывающие заболевания, к опасным – травмы.

В таблице 4.1 представлены опасные и вредные факторы при ведении работ на винтовом забойном двигателе. На подготовительном этапе выполняется доставка и подготовка необходимого оборудования и специалистов.

Идентификация потенциальных опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ) проводилась с использованием ГОСТ 12.0.003-2015 [41].

Таблица 4.1 – Возможные опасные и вредные производственные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Подготовительный этап	Ремонт ВЗД	
1. Повышенный уровень шума;	+	-	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [42]
2. Повышенный уровень общей вибрации;	+	+	ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования [43]
3. Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе;	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [44]
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.	+	-	ПОТ Р М-016-2001, РД 153-34.0-03.150-00; ПУЭ-7[45]
5. Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего;	+	+	ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [46]
6. Повышенная температура трубопроводной обвязки;	+	-	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Классификация и общие требования безопасности [47]
7. Отсутствие или недостаток естественного	+	+	СП 52.13330.2011 Актуализированная

света; недостаточная освещенность рабочей зоны.			редакция СНиП 23-05-95* [48]
---	--	--	------------------------------

### **4.3. Анализ опасных и вредных производственных факторов**

#### *1. Повышенный уровень шума*

Шум на рабочей площадке буровой установки неизбежен. Источником возникновения является работа винтового забойного двигателя в скважине, передающего шум и вибрацию по всей длине бурильной колонны на роторный стол. Помимо этого, работа дизельных двигателей является основным источником шума на буровой установке.

1.1. Возможные последствия от действия фактора на организм человека.

Шум, возникающий в результате работы производственного оборудования, превышающий допустимые нормативные значения, пагубно воздействует на центральную нервную и вегетативную систему человека и органы слуха. Длительное воздействие шума, превышающего нормативные показатели, могут повлечь заболевания человека шумовой болезнью — нейросенсорная тугоухость. Таким образом, можно выделить основные негативные последствия на человека под действием избытка шума: потери слуха, некоторых нервных заболеваний, снижения продуктивности в работе и некоторых случаях потери жизни.

1.2. Обоснования мероприятий по защите персонала предприятия, основанные на действиях нормативной документации.

Рассмотрим данный фактор с точки зрения ГОСТ 12.1.003-83 [49].

Шум на рабочем месте не должен превышать 80 дБ. Запрещается даже кратковременное пребывание в зонах с октавными уровнями звука, превышающими давление в 135 дБ.

Защитные мероприятия: при проектировании, разработке технологических процессов, изготовлении и эксплуатации машин, следует принимать необходимые меры по снижению шума, воздействующего на персонал во время работы, до значения не превышающих допустимые. Для уменьшения шума на объекте используются как индивидуальные (наушники,

вкладыши, шлемы), так и коллективные средства защиты. К коллективным средствам защиты относятся: пневмоударники, звукоизоляция (минеральная вата, войлок) и звукопоглощение, а также предусматривается установка кожухов и глушителей.

## *2. Повышенный уровень общей вибрации*

Источниками вибрации на буровой установке являются те же механизмы и оборудование, что и источниками шума: винтовые забойные двигатели, дизельные двигатели, компрессоры и др.

2.1. Возможные последствия от действия фактора на организм человека.

Обеспечение вибрационной безопасности на буровой площадке подразумевает создание условия, при которых воздействие данного фактора не будет предшествовать ухудшению состояния рабочего персонала, в том числе к профессиональным заболеваниям, снижению комфортности труда.

Помимо негативного влияния на человека, вибрации может влиять на нарушение в работе механизированных инструментов, машин и оборудования буровой установки, а также строительных конструкций. Это может повлечь за собой возникновение аварийных ситуаций и, в конечном счете, неблагоприятных воздействий на человека, получение им травм.

2.2. Обоснования мероприятий по защите персонала предприятия, основанные на действиях нормативной документации.

Соблюдение требований техники безопасности по данному фактору регламентируется ГОСТ 12.1.012-2004 [50].

На рабочем месте бурильщика во время долбления наибольшая вибрация отмечена на установке роторного бурения — до 123 дБ в октавной полосе 31,5 Гц. На установках, осуществляющих бурение турбобуром, параметры среднеквадратичной колебательной скорости ниже допустимого уровня и зачастую не превышают его. В целом наиболее высокие уровни вибрации, до 90—123 дБ, отмечены в полосах частот 8—63 Гц. Максимальные значения среднеквадратичной колебательной скорости в децибелах

изменялись в различных полосах частот: при роторном бурении от 111 до 120 дБ, при турбинном — от 85 до 112 дБ. Определение величин вибрации на рабочем месте бурильщика и площадке буровой установки в период спускоподъемных операций показало, что на всех буровых установках средние величины вибрации в диапазоне частот 8—63 Гц превышают допустимые уровни. При работе АКБ-3 (автоматический ключ буровой) возникали вибрации пола буровой площадки, превышающие допустимые уровни, в диапазонах среднегеометрических частот от 8 до 63 Гц на 6—14 дБ, сравнительно близкие по своим значениям к вибрациям, создаваемым на различных типах установок. Значительное превышение вибрации над допустимыми величинами имеется в проходах у силовых агрегатов различных типов буровых установок [51].

Уровни общей вибрации на буровых установках после монтажа не должны превышать допустимые по ГОСТ "Вибрация. Общие требования безопасности" и регистрируются в акте приемочной комиссии. При гигиенической оценке вибраций нормируемыми параметрами являются средние квадратичные значения виброскорости  $v$  (и их логарифмические уровни  $L_v$ ) или виброускорения для локальных вибраций в октавных полосах частот, а для общей вибрации - в октавных или третьоктавных полосах. Таким образом, согласно ГОСТ нормируемый диапазон частот вибрации устанавливается:

- для локальной вибрации в виде октавных полос со среднегеометрическими частотами: 8; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000 Гц;
- для общей вибрации в виде октавных или 1/3 октавных полос со среднегеометрическими частотами: 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0 Гц [50].

Для борьбы с вибрацией на объекте производят балансировку, установку амортизаторов, виброфундамент, увеличивают массу основания. При коллективных средствах защиты используют амортизационные подушки в

соединениях блоков, оснований, эластичные прокладки, виброизолирующие хомуты на напорных линиях буровых насосов. В качестве индивидуальных средств защиты применяются: специальные виброгасящие коврики под ноги у пультов управления различными механизмами, виброобувь и виброрукавицы. Помимо этого, вибрация при частоте 16 Гц не должна превышать амплитуду 0-28 мм.

### *3. Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе*

Производственная деятельность на буровой ведется круглосуточно и круглогодично, следовательно, влияние как высоких, так и низких температур на организм рабочего персонала неизбежно. Помимо этого, как правило основная масса буровых работ ведется в условиях крайнего Севера.

3.1. Возможные последствия от действия фактора на организм человека.

Данный факт способствует частому заболеванию рабочего персонала: повышение температуры тела; простуда; болезни дыхательных путей и др. Безопасность и здоровья персонала на рабочем месте очень важный показатель для компаний, для этого необходимо соблюдать требования и нормативы рабочего процесса на открытом воздухе.

3.2. Обоснования мероприятий по защите персонала предприятия, основанные на действиях нормативной документации.

Труд всех работающих в условиях крайнего Севера по профессиям, связанных с бурением нефтяных и газовых скважин, по микроклиматическому признаку регламентируется в соответствии с Р 2.2.2006-05 [52].

Согласно данного документа, наиболее подходящим климатическим регионом (поясом), характеризующимся следующими показателями температуры воздуха (средняя зимних месяцев) и скорости ветра (средняя из наиболее вероятных величин в зимние месяцы), является климатический пояс 16 (TV) - 41 °С и 1,3 м/с.

Таким образом, к допустимым климатическим условиям труда относится -15,1 °С (без перерывов на обогрев) и -18,1 °С (с перерывами); к

вредным условиям труда относится температурный интервал  $-23,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (без перерывов на обогрев) и  $-29,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (с перерывами); к опасным относится  $-27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (без перерывов на обогрев) и  $-35,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (с перерывами на обогрев) [52].

Так как большинство производственных помещений буровой установки не защищены от окружающей среды, рассмотрим температурные интервалы для помещений:

Оптимальные температурные границы для категории Пб:

- Холодное время года, температура воздуха -  $17-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; температура поверхностей -  $16-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; относительная влажность воздуха -  $60-40\%$ ; скорость движения воздуха -  $0,2\text{ м/с}$ .

- Теплое время года, температура воздуха -  $19-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; температура поверхностей -  $18-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; относительная влажность воздуха -  $60-40\%$ ; скорость движения воздуха -  $0,2\text{ м/с}$ .

- Допустимые границы величин показателей микроклимата на рабочем месте для категории Пб:

- Холодное время года, температура воздуха, диапазон ниже оптимальных значений -  $15-16,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , диапазон выше оптимальных величин -  $19,1-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; температура поверхностей -  $14-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; относительная влажность воздуха -  $15-75\%$ ; скорость движения воздуха, для диапазона температур ниже оптимальных величин, не более -  $0,2\text{ м/с}$ , для диапазона температур выше оптимальных величин, не более -  $0,4\text{ м/с}$ .

- Теплое время года, температура воздуха, диапазон ниже оптимальных значений -  $16-18,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , диапазон выше оптимальных величин -  $21,1-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; температура поверхностей -  $15-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; относительная влажность воздуха -  $15-75\%$ ; скорость движения воздуха, для диапазона температур ниже оптимальных величин, не более -  $0,2\text{ м/с}$ , для диапазона температур выше оптимальных величин, не более -  $0,5\text{ м/с}$ . (СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4.) [53].

Для предупреждения заболеваний необходимо предусмотреть укрытия рабочих мест, индивидуальные средства защиты (спецодежда), необходимые перерывы в работе. За вредность выплачиваются компенсации.

4. *Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.*

4.1. Анализ опасного фактора, который может создать аварийную ситуацию.

Данный фактор опасен практически во всех сферах производственной деятельности. В настоящие дни применение электрического тока на буровых установках, является одним из основных критерием ее работоспособности, следовательно, получение травм такого рода возможно практически в любой ситуации. В качестве источников опасности могут выступать -открытые токопроводящие элементы буровой установки, прикосновения к которым могут повлечь как серьезные ожоги и повреждения, так и летальный исход; отсутствия защитного заземления; отсутствие специальной защитной обуви и перчаток при обслуживании модулей буровой установки, подключенных к токоведущим линиям.

4.2. Возможные последствия от действия фактора на организм человека.

Воздействие электрического тока на человека подразделяется на 4 категории:

1. Термическое воздействие - проявление ожогов отдельных участков тела человека, нагревом органов до высоких показателей температуры, как следствие их функциональное расстройство.

2. Электролитическое воздействие - разложение жидкостей тела (кровь, вода, лимфа) на отдельные ионы, как следствие нарушение их свойств и физико-химического состава.

3. Биологическое - проявляется в виду раздражения отдельных частей тела, судороги мышц, нарушение внутренних биологических процессов.

4. Механическое - отделение и разрыв тканей организма [54].

4.3. Обоснования мероприятий по защите персонала предприятия, основанные на действия нормативной документации.

Предупреждение электротравматизма на объектах достигается выполнением следующих мероприятий:

- проектирование, монтаж, наладка, испытание и эксплуатация электрооборудования буровых установок должны проводиться в соответствии с требованиями ПОТ Р М-0162001, РД 153-34.0-03.150-00, а также ПУЭ-7 [45].
- обеспечение недоступности прикосновения к оголенным токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- применение блокировочных устройств;
- применение защитного заземления буровой установки;
- применение изолирующих, защитных средств (резиновые перчатки, боты, инструмент с изолированными ручками) при обслуживании электроустановок;
- допускать к работе специально обученных лиц, имеющих группу по электробезопасности не ниже IV. Помимо, «Правил по охране труда и эксплуатацией электроустановок», действия буровой бригады на буровой установке регламентированы «Правилами безопасности в нефтяной и газовой промышленности», утвержденными постановлением Госгортехнадзора России от 05.06.2003 (с изм. в 2013г.) [55].

Производственная площадка буровой установки относится к классу с повышенной опасностью поражения электрическим током, по следующим критериям:

- 1) помещения с токопроводящими полами (наличие железобетонных, металлических, кирпичных и иных типов токопроводящих напольных покрытий), буровая установка представляет металлическую конструкцию с металлическими полами и перекрытиями;
- 2) условия, когда человек может одновременно прикоснуться к металлическим корпусам электрооборудования и к заземленным металлоконструкциям зданий. На буровой установке множество металлических конструкции, в том числе и бурового оборудования, подключенных к электричеству.

*5. Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые, жидкие или газообразные объекты, наносящие удар по телу работающего*

Буровая установка представляет сложный и массивный рабочий объект, состоящий из множества механизмов и различных технических узлов. Получение травм возможны ввремя СПО, падения с высоты различных предметов, а также деталей буровой установки и ее отдельных элементов, недостатки в содержании рабочего места, отсутствие ограждений движущихся частей бурового оборудования, применение опасных приемов труда и т.д. Наличие множества подвижных элементов в конструкции установки (буровые насосы, привода, лебедки, ротор и др.), являются чрезвычайно опасными для здоровья рабочих, в случае несоблюдения техники безопасности на объекте.

5.1. Возможные последствия от действия фактора на организм человека.

Данные механические воздействия могут повлечь значительный ущерб здоровью персонала буровой установки, нередко случаи летального исхода в результате нарушения норм и требований безопасности.

5.2. Обоснования мероприятий по защите персонала предприятия, основанные на действиях нормативной документации.

Основным нормативным документов для обеспечения безопасной работы в нефтегазовой отрасли являются Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности ПБ-08-624-03 (15) [55]. В данном документе детально прописаны все

требования, необходимые для обеспечения безопасности на рабочей площадке. Рассмотрим некоторые из них: для исключения падения посторонних предметов на рабочего с высоты, применяемые крепления всех приспособлений и устройств, устанавливаемых на вышках, должны исключать их самопроизвольное раскрепление и падение. Приспособления и устройства должны быть застрахованы от падения. Для исключения падения свечей бурильных труб буровые установки должны быть оснащены приспособлением (поясом) для А-образных мачт и вышек с открытой

передней гранью, предотвращающих падение устанавливаемых (установленных) за палец свечей.

Для устранения причин возникновения механических травм необходимо все работы проводить согласно правилам безопасности, на производственном объекте.

Кроме того, необходимо:

- оградить вращающиеся части механизмов;
- обеспечить машинные ключи страховочными канатами;
- проводить своевременно инструктажи по технике безопасности.
- при ремонте должны вывешиваться знаки, оповещающие о проведении ремонтных работ;
- весь рабочий персонал должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты (касками, спецодеждой, рукавицами и т. д.);
- проведение проверки состояния ремней, цепей, тросов и их натяжения;
- проведение плановых и внеплановых проверок пусковых и тормозных устройств;
- при работе на высоте рабочий должен быть обеспечен страховым поясом.

Буровая вышка должна быть обеспечена маршевыми лестницами (угол падения их не более  $60^\circ$ , ширина 0,7 м). Между маршами лестниц следует устроить переходные площадки. Расстояние между ступеньками по высоте не более 25 см, они должны иметь уклон внутрь  $2-5^\circ$ . С обеих сторон ступени должны иметь планки или бортовую обшивку, высотой 15 см. Пол должен быть сделан из рифленого металла, исключающего возможность скольжения.

Все грузоподъемные механизмы грузоподъемностью свыше 1 тонны должны быть поставлены на учет в Ростехнадзор и испытаны в присутствии непосредственного начальника и представителя Ростехнадзора.

Испытание включают в себя:

- внешний осмотр;
- статическое испытание;
- динамическое испытание.

В конструкции грузоподъемных механизмов обязательно должны быть предусмотрены системы защиты (блокировка, дублирование и т.д), которые также подлежат испытанию.

#### *6 Повышенная температура трубопроводной обвязки*

Работы на буровой ведутся со множеством вращающихся и движущихся механизмов, которые в результате действия нагреваются и способны повысить температуру в помещении, помимо этого, соприкосновение персонала с нагревательными элементами, например, дизельных двигателей, могут вызвать ожоги.

6.1. Возможные последствия от действия фактора на организм человека.

На буровой установке в результате нарушений техники безопасности возможно получение любого типа ожога, но к данному фактору относятся два вида ожогов:

1. Термический ожог. Такие травмы в зоне действия бурового оборудования возможно получить от прямого контакта с:

а) огнем, например, в случае ЧС на буровой, с последующим возгоранием. Данный вид ожога опасен в виду вероятности повреждения жизненноважных органов (дыхательных путей, лица и др.). Оказание первой помощи при ожогах требует устранение материалов одежды, что в свою очередь может повлечь распространению инфекции;

б) горячим паром; в зимнее время года использование пара на буровой установке является обязательным параметром, так как практически все буровое оборудование находится на открытом пространстве и подвержено замерзанию, пар используется для отогрева узлов и агрегатов буровой

установки. Ожоги паром как правило диагностируются неглубоким повреждением кожных тканей, возможно повреждение дыхательных путей;

в) горячими предметами; в процессе эксплуатации буровой установки, в частности: дизельных двигателей, приводных механизмов и др., эти элементы подвержены нагреву до больших температур, в результате контакта с такой поверхностью возможно получение ожогов, как правило, сопровождающихся вздутием кожных покровов.

2. Химический ожог. Повреждение связано с прямым попаданием на тело человека агрессивных химических веществ, на буровой это чаще всего химические вещества (кислоты, щелочи, соли тяжелых металлов), необходимые для приготовления бурового раствора [56].

6.2. Обоснования мероприятий по защите персонала предприятия, основанные на действиях нормативной документации.

Согласно Правил безопасности в нефтяной и газовой промышленности [55], температура наружных поверхностей технических устройств и кожухов теплоизоляционных покрытий не должна превышать температуру самовоспламенения наиболее взрывопожароопасного продукта, а в местах, доступных для обслуживающего персонала, должна исключать возможность ожогов, именно этим нормативным документом регламентируется обеспечение безопасности относительно данного фактора, так как обеспечение исправного и защищенного рабочего места не представляет опасности для персонала, при соблюдении техники безопасности.

Защитные мероприятия: в результате получения ожога, требуется охладить ожоговое место под слабой струей проточной воды (запрещено использование снега, льда и др.); использовать препараты для профилактики ожогов на водной основе (мази, спреи); если ожог представляет опасность для жизни человека, необходимо в срочном порядке доставить его в больницу.

*7. Отсутствие или недостаток естественного света; недостаточная освещенность рабочей зоны.*

Работы на буровой ведутся круглосуточно, как на открытом пространстве (стол ротора, мостки), так и в закрытых помещениях (насосный блок, центральная система грубой очистки). Как правило недостаток освещения касается двух представленных случаев.

7.1. Возможные последствия от действия фактора на организм человека.

Недостаточно хорошее освещение в рабочей зоне сказывается на усталость персонала, человек в таких условиях работает менее продуктивно, повышается потенциальная опасность возникновения аварийной ситуации и несчастных случаев. Помимо этого, недостаток освещения может повлечь профессиональные заболевания, например, такие как спазм аккомодации и близорукость. Естественное освещение имеет большое значение при работе. Образованное в результате взаимодействия прямого и отраженного света диффузное освещение помещений создает благоприятное распределение яркости, что оказывает положительное действие на зрение.

7.2. Обоснования мероприятий по защите персонала предприятия, основанные на действиях нормативной документации.

Освещение рабочих мест должно отвечать требованиям, изложенным в СП 52.13330.2011 (СНиП 23-05-95\*) [48].

Освещение должно равномерно распределять яркость, быть постоянным во времени, без пульсации, иметь спектр близкий к естественному. На буровой используется естественное и искусственное освещение, а также предусмотрено и аварийное.

Нормы освещенности на рабочих местах должны иметь следующие значения:

- |                                      |                           |
|--------------------------------------|---------------------------|
| - стол ротора - 40 лк;               | Насосное помещение:       |
| - полатя верхового рабочего - 10 лк; | - пусковые ящики - 50 лк; |
| - приемный мост - 30 лк.             | - буровые насосы - 25 лк. |

### ***Расчет системы искусственного освещения***

Рабочее освещение нормируется по СП 52.13330.2016 [57] в зависимости от разряда зрительной работы, контраста объекта с фоном и характеристикой фона. Рабочее освещение создаёт равномерную освещённость, исключает возможность образования резких теней, блескости, обеспечивает правильную цветопередачу, является экономичным, надёжным и удобным в эксплуатации.

Аварийное освещение предусмотрено на случай отключения рабочего освещения для продолжения работ или для эвакуации людей. Освещенность в первом случае составляет не менее 2 лк, во втором – не менее 0,5 лк. Для охранного освещения (не менее 0,5 лк) используется часть светильников рабочего освещения.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения. Высота рабочей поверхности  $h_{рп} = 0,7$  м; требуемая норма освещенности 300 лк. Коэффициент отражения стен  $R_c = 50 \%$ , потолка  $R_n = 50 \%$ .

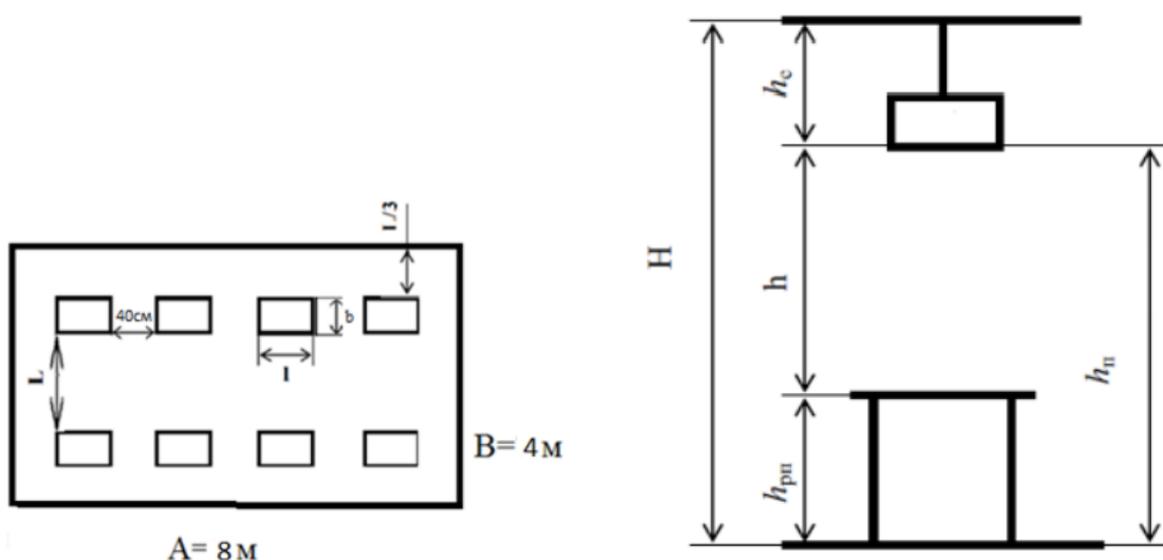


Рисунок 29 – Схема освещения рабочей зоны

Выбираем светильники типа ШОД мощностью 40 Вт,  $\lambda = 1,144$  из таблицы 9 в руководстве

Приняв расстояние светильников от перекрытия  $h_c = 0,5$  м (свес), получаем:

$$h = H - h_{рп} - h_c = 3 - 0,7 - 0,5 = 1,8 \text{ м}$$

$$L = \lambda \cdot h = 1,144 \cdot 1,8 = 2,0592 \text{ м}$$

$$\frac{L}{3} = \frac{2,0592}{3} = 0,6864 \text{ м}$$

где  $h_{\text{рп}}$  – высота рабочей поверхности над полом, м;

$L$  – расстояние между соседними светильниками или рядами, м;

$h$  – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью, м

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 4 светильника типа ШОД мощностью 40 Вт (с длиной  $l = 1,228$  м; шириной  $b = 0,284$  м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 40 см.

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении  $N$  будет равно:

$$N = n_{\text{ряд}} \cdot n_{\text{св}} = 2 \cdot 8 = 16$$

Проверяем соответствие размеров

$$A = 3 \cdot 0,4 + 2 \cdot \frac{L}{3} + 4 \cdot l$$

$$A = 3 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,6864 + 4 \cdot 1,228 = 7,4848$$

$$B = L + 2 \cdot \frac{L}{3} + 2 \cdot b$$

$$B = 2,0592 + 2 \cdot 0,6864 + 2 \cdot 0,284 = 4$$

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 4}{1,8 \cdot (8 + 4)} = 1,48 \approx 1,5$$

По таблице 5 из руководства «Коэффициенты использования светового потока светильников с люминесцентными лампами» определяем:

$$\eta = 42\% \text{ или } \eta = 0,42$$

Определяем световой поток лампы:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N_{\text{л}} \cdot \eta}$$

$K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, равен 1,5;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения, для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1

$$\Phi = \frac{300 \cdot 8 \cdot 4 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{16 \cdot 0,42} = 2357,143 \text{ Лм}$$

По таблице 6 из руководства «Основные характеристики люминесцентных ламп». Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛД 40 Вт с потоком 2300 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\text{л.расч.}}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq \frac{2300 - 2357,143}{2300} \cdot 100\% = -2,48\% \leq +20\% - \text{входит в диапазон}$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 40 \cdot 16 = 640 \text{ Вт.}$$

Коллективные средства защиты (КСЗ) в соответствии с СП 52.13330.2016

1. Наличие светильников (взрывозащищенных).
2. Постоянная во времени освещенность
3. Яркость светильников (отсутствие прямой и отражённой блескости).

#### 4.4. Экологическая безопасность

Учитывая, что нефтяная промышленность в силу своей специфики является отраслью загрязнителем, где все технологические процессы могут вызывать нарушение экологической обстановки, необходимо уделять большое внимание охране окружающей среды.

Вредные воздействия на окружающую среду и природоохранные мероприятия представлены в табл. 4.4.

Таблица 4.2. - Вредные воздействия на окружающую среду и природоохранные мероприятия

Природные ресурсы, компоненты окружающей среды	Вредные воздействия	Природоохранные мероприятия
Земля и земельные ресурсы	Уничтожение и повреждение почвенного слоя сельхозугодий и других земель (уничтожение в результате работы спец. техники и др.)	1. Рациональное планирование мест и сроков проведения работ. 2. Соблюдение нормативов отвода земель. 3. Рекультивация земель.
	Загрязнение почвы нефтепродуктами, химреагентами и другими веществами.	1. Сооружение поддонов, отсыпка площадок для техники. 2. Вывоз, уничтожение и захоронение остатков нефтепродуктов, химреагентов.
	Засорение почвы производственными отходами и мусором.	1. Вывоз и захоронение производственных отходов (металлолом, шлам) и мусора.
	Создание выемок и неровностей.	1. Засыпка выемок.
	Уничтожение сельскохозяйственной растительности.	1. Оплата потрав.
Лес и лесные ресурсы. Уничтожение, повреждение и загрязнение почвенного покрова. Лесные пожары.	Порубка древесная при сооружении площадок, коммуникаций, жилых поселков	1. Уборка и уничтожение порубочных остатков. 2. Оборудование пожароопасных объектов, создание минерализованных полос 3. Использование вырубленной древесины.
Оставление недорубов, захламление лесосек.	Мероприятия по охране почв (см. графу "Земля и земельные ресурсы").	1. Попенная оплата. 2. Соблюдение нормативов отвода земель в залесенных территориях.

Вода и водные ресурсы. Загрязнение производственными водами (буровой раствор, нефтепродукты, минеральные воды). Загрязнение бытовыми стоками.	Механическое и химическое загрязнение водоотводов в результате стаяивания отвалов. Загрязнение подземных вод при смещении водоносных горизонтов.	1. Сооружение водоотводов, накопителей и отстойников. 2. Очистные сооружения для буровых стоков и бытовых стоков (канализационные устройства, септики).
	Отвод, складирование и обезвреживание сточных вод	1. Рациональное размещение отвалов, сооружение специальных эстакад, засыпка выработок в русле.
Недра.	Нарушение естественных свойств геологической среды.	1. Ликвидационный тампонаж буровых скважин.
	Некомплексное изучение недр.	1. Тематические и научно-исследовательские работы по повышению комплексности изучения недр. 2. Оборудование и аналитические работы на сопутствующие компоненты, породы вскрытия и отходы будущего производства.
	Неполное использование извлеченных из недр полезных компонентов.  Застройка месторождений, их затопление.	1. Ведение работ, позволяющих извлечь из недр как можно больше полезных компонентов. 2. Геологические работы с целью проверки "стерильности" зон застройки и организация рудных отвалов и складов, хранение образцов и проб.
Воздушный бассейн.	Выбросы пыли и токсичных газов.	1. Мероприятия предусматриваются в случае непосредственного вредного воздействия.
Животный мир.	Распугивание, нарушение мест обитания животных, рыб и других представителей животного мира, случайное уничтожение. Браконьерство.	1. Проведение комплексных природоохранных мероприятий, планирование работ с учетом охраны животных. 2. Профилактическая работа.

#### 4.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) - это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, а также значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности.

Исходя из природы возникновения чрезвычайной ситуации, существует классификация:

- |                      |                             |
|----------------------|-----------------------------|
| 1. геологические     | 4. природные пожары         |
| 2. метеорологические | 5. массовые заболевания[58] |
| 3. гидрологические   |                             |

К наиболее вероятным производственным чрезвычайным ситуациям в нефтегазовом комплексе относятся:

- Пожары;
- Открытые фонтаны;

Рассмотрим один из самых опасных и вероятный случаев.

**Пожары.** Опасность пожаров и взрывов на производственных объектах нефтегазодобывающей промышленности характерна для всех технологических процессов начиная от добычи нефти, газа или конденсата и заканчивая их переработкой. Вероятность возникновения этих явлений, возможные масштабы и последствия их воздействия на здоровье и жизнь работающих зависят от объемов и свойств горючих материалов и веществ, условий поступления, распространения и накопления их в воздухе.

По взрывоопасности и пожароопасности объекты нефтяной и газовой промышленности относятся к категории «А». Согласно НПБ 105-03 к взрывоопасности категории «А» относятся производства на которых применяются:

- 1) вещества, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, воздухом и друг с другом (химические реагенты для приготовления бурового раствора: калий, натрий и др.);
- 2) горючие газы, нижний предел воспламенения которых равен 10% и меньше по отношению к объему воздуха (метан);
- 3) жидкости, с температурой вспышки паров до 28 °С, исключительно при условии, что указанные газы и жидкости могут образовывать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем объем помещения на 5 % (спирт метиловый, этиловый, пропиловый) [59].

Причины взрывов и пожаров могут быть различны:

- 1) пропуски дизельного топлива, разливы нефтепродуктов и горючих веществ;
- 2) нарушение герметичности выхлопных коллекторов двигателей, неисправность искрогасителей;
- 3) применение открытого огня, курение, проведение сварочных работ вблизи мест хранения нефти, горюче-смазочных материалов, сгораемых конструкций и горючих веществ;
- 4) неисправности электрооборудования, вызывающие искрение, короткое замыкание, нагрев проводов;
- 5) прокладка силовой осветительной сети с нарушениями;
- 6) перегрузка электрических приборов, оборудования.

Во избежание возникновения взрывов и пожаров необходимо выполнять следующие требования:

- 1) территория вокруг буровой в радиусе 50 м должна быть очищена от травы, валежника, листьев;
- 2) площадки вокруг наземных сооружений должны быть выровнены и не иметь препятствий для передвижения людей и пожарного транспорта;
- 3) топливная емкость для двигателей внутреннего сгорания, а также смазочные материалы должны располагаться не ближе 15 м от буровой;

4) запрещается пользоваться на буровой факелами, спичками, свечами, керосиновыми факелами. На территории буровой запрещается разведение костров, сжигание мусора, выжигание травы. Курение разрешается только в специально отведенных для этого местах, оборудованных емкостью с водой и надписью: "Место для курения";

5) электрические машины, оборудование, приборы, применяемые во взрывоопасных местах, должны отвечать требованиям "Правил изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования";

6) во избежание разрушений, загораний и взрывов при прямых ударах молнии должна устанавливаться молниезащита в соответствии с РД 34.21.122-87 [60]. Запрещается во время грозы производить работы на буровой вышке, а также находиться на расстоянии ближе 10 м от заземляющих устройств молниезащиты;

7) для борьбы с проявлениями вторичных воздействий молний, а также статического электричества технологическая аппаратура и трубопроводы, содержащие горючие пары и газы, должны заземляться. Сопротивление заземляющих устройств допускается до 100 Ом. Кроме того, для предупреждения возможности возникновения пожара при установке нефтяных ванн проводят тщательную работу по подготовке всего оборудования для безопасных работ, обращая особое внимание на устранение очагов пожара под полом буровой, в зоне ствола скважины и в лебедке. Под ведущей трубой обязательно должен быть установлен шаровой или обратный клапан, при этом категорически запрещается отвинчивать ведущую трубу с клапаном. Бурильная колонна должна быть разъединена выше клапана. При использовании нефтяных ванн должны соблюдаться меры, исключаящие возможность выбора и разлива нефти. Если нефтяная вышка устанавливается в ночное время, то место проведения работ освещается прожекторами. Трубы, по которым нефть наливается в емкость и перекачивается в скважину, надежно заземляются, пролитая нефть засыпается песком. Около подъездных путей к буровой установке и около нее устанавливаются щиты с надписями о

необходимости строгого соблюдения правил пожарной безопасности. Дизельное топливо и нефтепродукты для приготовления раствора хранятся не ближе 40 м от буровой[61].

### **Меры по повышению устойчивости объекта к данной ЧС.**

Для непосредственного надзора за противопожарным состоянием на буровой перед началом бурения должна быть создана пожарная дружина из членов буровой бригады. Оборудование должно соответствовать ГОСТ 12.2.003-91 [62].

Все производственные, подсобные и жилые помещения должны иметь подъездные пути и не должны располагаться вблизи емкостей с горючими материалами и складов лесоматериалов.

Территория буровой должна быть очищена от мусора и не следует допускать замазучивания территории. В целях предотвращения пожара на буровой запрещается:

- располагать электропроводку на буровой вышке в местах ее возможного повреждения буровым инструментом;
- хранение ГСМ в металлических емкостях ближе 20 метров от буровой установки.

Буровая установка должна быть обеспечена средствами пожаротушения.

Противопожарные щиты располагаются: в насосной - у входа на буровую, в котельной, в роторном сарае и на складе ГСМ. В двадцати метрах от культбудки должен быть оборудован инвентарный пожарный щит.

Каждый пожарный щит укомплектован следующим образом:

Огнетушитель	- 2 шт.
лопата	- 2 шт.
багор	- 2 шт.
топор	- 2 шт.
ведро	- 2 шт.
ящик с песком	- 1 шт.
кашма 2 <sup>х</sup> 2 м	- 1 шт.
бочка с водой 200 л	- 1 шт.

Для исключения возгорания по причине короткого замыкания в электромеханизмах должны использоваться предохранители.

В электросетях необходимо использовать провода с достаточно большим сечением, чтобы исключить возможность возгорания от перегрева.

Для курения и разведения огня отводятся специальные места.

Для проведения сварочных работ оборудуется сварочный пост. Сварочные работы проводятся согласно требованиям представленных в ГОСТ 12.3.003-86 [63].

Для исключения возможного возгорания от статического электричества производится установка защитного заземления.

Буровая установка должна быть оборудована следующими средствами пожаротушения:

- 1) двумя пожарными стояками диаметром 50-60 мм, установленными в 15-20м от помещений насосной и со стороны мостков буровой в 75-100м от водопровода;
- 2) тремя пожарными рукавами и двумя переводниками диаметром 50 - 60 мм (длина одного рукава не менее 20 м);
- 3) огнетушителями ОВП(8) в количестве 8шт, ящиками с песком емкостью 0,5м<sup>3</sup> (4шт), пожарными щитами, оборудованными лопатами, ломами топорами, баграми, ведрами.

В данном разделе были проанализированы возможные вредные и опасные факторы, которые способны нанести ущерб здоровью человека и окружающей среде. Соблюдение необходимых мер безопасности позволит снизить влияние данных факторов на здоровье работника и предупредить возникновение ЧС.

С целью обеспечения безопасности сотрудника производится контроль за источниками негативного воздействия, за соблюдением основных правил и использованием индивидуальных и коллективных средств защиты. Также все сотрудники должны регулярно проходить проверку знаний правил безопасности и поведения в ЧС.

# ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

## Введение

Целью исследования диссертации является модернизация и усовершенствование статора, для получения высоких показателей в бурении, увеличения срока службы и межремонтного периода, при этом, в плане экономической эффективности по сравнению с аналогом - получение наименьших затрат при спускоподъемных операциях.

В данной главе проведена оценка перспективности и успешности научно-исследовательской работы по расчёту и подбору необходимого технологического оборудования. Для достижения цели необходимо решить задачи такие как:

- анализ конкурентных технических решений
- планирование научно-исследовательских работ;
- расчет бюджета затрат;
- определение ресурсной эффективности исследования.

## Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов являются коммерческие организации, специализирующиеся в нефтегазовой отрасли, в частности – буровые компании. Для данных предприятий актуальным является решение задачи по увеличению эффективности бурения скважин в осложненных условиях на новых и уже разрабатываемых месторождениях.

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка

Размер компании	Направление деятельности		
	Проектирование	Разработка и подбор оборудования	Выполнение проектов строительства
Мелкие	+	-	-
Средняя	+	+	-
Крупная	+	+	-

Проектирование и разработка основного и вспомогательного оборудования играет не мало важную роль для бурения скважин, так как от

правильно подобранного оборудования и его рабочих параметров, зависит межремонтный период стоимость оборудования.

### **Планирование научно-исследовательских работ**

Структура порядка планирования комплекса предполагаемых работ имеет следующий вид:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Каждый вид выполняемых работ должен выполнять работник, занимающий соответствующую должность.

Данный раздел подразумевает составление списка этапов работы в рамках проведения научного исследования, распределение исполнителей по категориям работ представлено в таблице 2.

Таблица 5.2 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	Выбор направления исследований	Научный руководитель
	Подбор и изучение литературы по теме	Студент-Магистрант
	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, Магистрант
Теоретические и экспериментальные исследования	Поиск теоретических данных о воздействии солей хлоридов на эластомеры	Студент-Магистрант
	Проведение экспериментов по изнашиванию реперных и обработанных растворами солей образцов резины ИРП- 1226	Студент-Магистрант
Обобщение и оценка результатов	Оценка результатов исследования	Научный руководитель, студент- Магистрант
Оформления отчета по проведенным исследованиям	Написание пояснительной записки	Научный руководитель, студент- Магистрант

### **Определение трудоемкости выполнения работ**

В подавляющем большинстве случаев основная часть стоимости

исследования – это трудовые затраты, поэтому необходимо определить трудоемкость работ, соответствующих каждому из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого значения трудоемкости  $t_{ожі}$  применяется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (1)$$

где  $t_{ожі}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

На основе ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , которая учитывает параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Данное вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одинаковую работу на данном этапе, чел.

### **Разработка графика проведения научного исследования**

Наиболее наглядной и удобной формой графика проведения научного исследования является диаграмма Ганта. Данная диаграмма является

горизонтальным ленточным графиком, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ необходимо перевести из рабочих дней в календарные дни по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{кал}} = 365$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$  – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48,$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляем до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в таблицу 3.

Таблица 5.3 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T. ppp$	Длительность работ в календарных днях $T. к I$		
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ож}$ , чел-дни					
	Науч. рук.	Студент-Магистрант	Науч. рук.	Студент-Магистрант	Науч. рук.	Студент-Магистрант	Науч. рук.	Студент-Магистрант		
Составление и утверждение технического задания	2		5		3,2		3		4	
Выбор направления исследования	4		7		5,2		5		7	
Подбор и изучение литературы по теме		16		21		18		9		13

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T. p pp$		Длительность работ в календарных днях $T. к l$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ож}$ , чел-дни		Науч. рук.	Студент-Магистрант	Науч. рук.	Студент-Магистрант
	Науч. рук.	Студент-Магистрант	Науч. рук.	Студент-Магистрант	Науч. рук.	Студент-Магистрант				
Календарное планирование работ по теме	3	3	4	4	4,6	4,6	2	2	3	3
Поиск теоретических данных о воздействии солей хлоридов на резину		7		11		8,6		4,3		6
Проведение экспериментов по изнашиванию реперных и обработанных растворами солей образцов резины ИРП-1226		20		25		22		11		16
Оценка результатов исследования	7	7	9	9	7,8	7,8	3,9	3,9	6	6
Написание пояснительной записки	14	14	22	22	17,2	17,2	8,6	8,6	13	13

Таблица 5.4 - Календарный план график проведения НИР по теме

№	Вид работ	Исполнители	Т <sub>р</sub> , кал. дни	Продолжительность выполнения работ												
				Фев.		Март			Апрель			Май				
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания	Руков.	4	■												
2	Выбор направления исследования	Руковод.	7	■	■											
3	Подбор и изучение литературы по теме	Студент	13			□										
4	Календарное планирование работ по теме	Руков. Ст.дипл	3				■	□								
5	Поиск теоретических положений о воздействии на полимерные цепи	Студент-Магистрант	6					□								
6	Проведение экспериментов по разрушению полимеров с помощью определенных деструкторов	Студент-Магистрант	16						□							
7	Оценка результатов исследования	Руковод.	6									■	□			
8	Написание пояснительной записки	Руков. Ст.дипл	13										■	□		

■ - Научный руководитель □ - студент-Магистрант.

### Бюджет научно-технического исследования

### Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Сюда отнесем стоимость реагентов и расходных материалов, необходимых для проведения экспериментов. Материальные затраты отражены в таблице 5.

Таблица 5.5 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Хлорид натрия	гр	500	39	39
Хлорид калия	гр	500	210	210
Хлорид магния	гр	500	195	195
Хлорид кальция	гр	500	310	310
Хлорид бария	гр	500	525	525
Бентонит	кг	1	250	250
ПАЦ ВВ	гр	200	1050	1050
Резина ИРП-1226	м <sup>2</sup>	1,5	880	880
Итого:			3459	

### Определение общих затрат на ремонт забойного двигателя

Для экономической оценки новой конструкции винтового забойного двигателя рассчитаем общие затраты, связанные с ремонтом двигателя по формуле:

$$\sum Z = Z_{PM} + Z_{TP}, \quad (5)$$

где  $Z_{PM}$  – затраты, связанные с ремонтом двигателя;

$Z_{TP}$  – затраты, связанные с транспортировкой двигателя.

Для определения затрат на ремонт за базу приняты данные опытного производства Пермского филиала ВНИИБТ. Нормы времени, затраченные на ремонт одной рабочей пары справочные.

Затраты на проведение ремонтных работ определим по формуле:

$$Z_{PM} = \sum (N_i \cdot T_i) + Z_{эл} + Z_M, \quad (6)$$

где  $N_i$  – норма времени на выполнение операций  $i$ -м производственным рабочим участвующим в ремонтных работах.

$T_i$  – тарифная ставка  $i$ -го рабочего;

$Z_{эл}$  – затраты на электроэнергию во время ремонтных работ,

$Z_M$  – затраты на расходные материалы.

Основными потребителями электроэнергии участка ремонта являются:

1. Пресс ДБ2238АМ.
2. Дробеструйная установка УДС.00.00.000.
3. Установка осушки воздуха А500У - 02.

4. Станок для обработки роторов 7165 - 00.00.00.
5. Протяжной станок 7540Мод.
6. Вальцы ВН - 2111.
7. Токарный станок - Турбонар 1А983.
8. Автоклав АВТМ - 1600х3000х12,5.
9. Смеситель клея СРК - 3 - 1.

Расход электроэнергии определяется как произведение потребляемой мощности каждого токоприёмника на трудоёмкость выполнения операции и определяется по формуле:

$$W = \sum (P_i \cdot T_i), \quad (7)$$

где  $P_i$  - потребляемая мощность  $i$ -го токоприёмника;

$T_i$  - трудоёмкость выполнения операции с применением  $i$ -го токоприёмника.

Трудоёмкость и потребляемая мощность каждого потребителя электроэнергии участка ремонта справочные.

$$W = 3 \cdot 13 + 2 \cdot 13 + 1,25 \cdot 22 + 0,7 \cdot 45 + 0,83 \cdot 30 + 0,2 \cdot 10 + 0,17 \cdot 10 + 0,5 \cdot 40 = 190,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Тогда затраты на электроэнергию во время ремонтных работ равны:

$$Z_{эл} = W \cdot t, \quad (8)$$

Где  $t$  - цена  $i$ -го кВт электроэнергии,  $t = 5,72$  руб. (апрель 2022 года)

$$Z_{эл} = W \cdot t = 190,6 \cdot 5,72 = 1090,232 \text{ руб.}$$

Тогда затраты на расходные материалы равны: 3459 руб.

Определим затраты на проведение ремонтных работ в целом:

$$Z_{рм} = \sum (N_i \cdot T_i) + Z_{эл} + Z_M \rightarrow$$

$$(3,26 \cdot 8,7 + 0,17 \cdot 9,65 + 10,08 \cdot 10,32) + 1090,232 + 3459 = 4683,26 \text{ руб.}$$

Найдем затраты на транспортировку забойного двигателя по формуле:

$$Z_{тр} = C_1 \cdot L, \quad (9)$$

где  $C_1$  - стоимость перевозки одной тонны груза на один километр автотранспортом по тарифной сетке, принятой в ООО «Повоз» груз до 1.5 тонн

(масса двигателя 878 кг),  $C_i - 10$  руб.;

$L$  - расстояние от ремонтного цеха базы славянка до байкитской буровой,  
 $L - 110$  км.;

$$Z_{TP} = 10 \cdot 110 = 1100 \text{ руб.}$$

По формуле определим общие затраты, связанные с ремонтом одного забойного двигателя:

$$\sum Z = Z_{PM} + Z_{TP} = 4683,26 + 1100 = 5586,86 \text{ руб.}$$

Для определения общих затрат, связанных с ремонтом новой, предлагаемой конструкции винтового забойного двигателя воспользуемся выражением:

$$\sum Z = Z_{PM.H} + Z_{TP.H}, \quad (10)$$

где  $Z_{PM.H}$  – затраты, связанные с ремонтом новой конструкции двигателя

$$Z_{PM.H} = \sum (N_i \cdot T_i) + Z_{эл} + Z_{M.H}$$

$Z_{M.H}$  – затраты на расходные материалы новой конструкции равны:

$$Z_M = 12,4 \cdot 235 + 9 \cdot 15 + 0,3 \cdot 262 + 0,6 \cdot 225 = 3262,6 \text{ руб.}$$

$Z_{TP.H}$  – затраты, связанные с транспортировкой новой конструкции двигателя, определяемые из выражения:

$$Z_{TP.H} = Z_{TP}, \quad (11)$$

Тогда общие затраты на ремонт новой конструкции будут равны:

$$\begin{aligned} \sum Z_H &= Z_{PM.H} + Z_{TP.H} = \sum (N_i \cdot T_i) + Z_{эл} + Z_{M.H} + Z_{TP} \rightarrow \\ \sum Z_H &= 4486,86 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Следовательно разность между общими затратами при ремонте старой конструкции и новой равна:

$$\Delta Z = \sum Z - \sum Z_H = 4683,26 - 4486,86 = 196,4 \text{ руб.}$$

### **Рентабельность внедрения нового двигателя**

Для определения затрат на операции спуска и подъема за базу приняты данные по скважине №73ЭГ Юрубченской площади.

Затраты на спускоподъемные операции, связанные с заменой отработанной двигательной секции забойного двигателя по данным ЗАО «Бузулукбурсервис» составляют 71398руб.

Таким образом, экономия от внедрения винтового забойного двигателя предлагаемой конструкции на скважине №7ЭГ Юрубченской площади составит 71398 рублей за каждый ремонт.

Так же по данным ПАО «Востсибнефтегаз» ЗАО «Красноярскгеофизика», срок службы рабочих органов серийного винтового забойного двигателя марки Д2-172М составляет 100-120 ч.

В данной работе был произведен расчет на прочность и долговечность. В итоге получили, что срок службы усовершенствованного двигателя составляет 230-260 ч., что влечет за собой снижением стоимости на спускоподъемные операции в 2.3 раза. Следовательно экономия на СПО равна:

$$\text{Э} = \text{СПО} - \frac{\text{СПО}}{2,3} = 40355.4 \text{ руб.}$$

### **Основная заработная плата исполнителей темы**

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, а также рабочих опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется на основе трудоемкости выполняемых работ и действующей системы тарифных ставок и окладов. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 -30 % от тарифа или оклада.

Настоящая статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением научно-технического исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{п} = Z_{осн} + Z_{доп} \tag{5}$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{\text{осн}}$ ).

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = T_p \cdot Z_{\text{дн}} \quad (6)$$

где  $T_p$ - продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. ;

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (7)$$

где  $Z_m$  - месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  - количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дней  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная рабочая неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно - технического персонала, раб. дн.

Таблица 5.6 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Студент-Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные - праздничные	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48	72
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	175

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + K_{\text{пр}} + K_{\text{д}}) \cdot K_p, \quad (8)$$

где  $Z_{\text{тс}}$  - заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$K_{\text{пр}}$  - премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{\text{тс}}$ );

$K_{\text{д}}$  - коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 - 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях - за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15- 20 % от  $Z_{\text{тс}}$ );

$k_p$  - районный коэффициент, равный 1,3 для г. Томска.

Таблица 5.7 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	Зтс, тыс. руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	Зм, тыс. руб.	Здн, тыс. руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, тыс. руб.
Научный руководитель	24,855	0,3	0,2	1,3	51,69	2,9	33	96,01
Студент-Магистрант	6,117	0	0	1,3	7,95	0,5	57	29
Итого Зосн								125,01

### Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления от затрат на оплату труда работников по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, медицинского страхования, пенсионного фонда.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (9)$$

где  $k_{внеб} = 30\%$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд – 22%, фонд обязательного медицинского – 5,1% и социального – 2,9 % страхования), в соответствии со статьей 425 НК РФ. А также отчисления в фонд страхования от несчастных случаев – 0,2%.

Таблица 5.8 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб.	Дополнительная заработная плата, тыс. руб.
Научный руководитель	96,01	19,2
Студент - Магистрант	29	5,8
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
Итого	37,75	7,55

### Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Для научно-исследовательской работы рассчитанная величина затрат является основой для формирования общего бюджета затрат проекта, который защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции при формировании договора с заказчиком.

Таблица 5.9 - Расчет бюджета затрат НТИ

Название статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	3459,00	-
2. Затраты на транспортировку и ремонт	4486,86	-
2. Затраты на спуско-подъемные операции	71398,00	-
4. Затраты по основной заработной плате участников научно-исследовательского проекта	125010,00	-
5. Затраты по дополнительной заработной плате участников проекта	25002,00	-
6. Отчисления во внебюджетные фонды	45300,00	-
7. Накладные расходы	28555,36	16% от суммы 1-4
8. Бюджет затрат научно-технического исследования	303211,22	Сумма ст. 1-5

На основании проведенных расчетов, можно резюмировать следующее:

1. Применение новой конструкции двигательной секции винтового забойного двигателя способствует увеличению межремонтного периода в 2.3 раза.
2. Масса серийного двигателя составляет 878 кг., а модернизированного 813,5 кг., разница получается порядка 7,3%, что значительно влияет на экономии материала.
3. Бюджет проекта составляет 303211,22 руб.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе:

1. Проведен анализ причин преждевременного выхода из строя (ВЗД). Исходя из причин отказа двигателей в процентном соотношении, приходящемся на каждую составную часть ВЗД, установлено, что наиболее частыми причинами отказа в работе двигателя, являются проблемы, связанные с двигательной и шпиндельной секциями;

2. Подобрана и рассчитана альтернативная конструкция для двигательной секции ВЗД. В результате применения профилированный обкладки статора уменьшился износ эластомера и, соответственно, искажение его геометрии, увеличился ресурс статора и уменьшилась вероятность термического растрескивания. Так же на основе данной конструкции была рассчитана наработка на отказ, и среднее время остановок увеличилось почти в 2,3 раза. Данное техническое предложение способствует снижению металлоемкости конструкции на 4,9%, что позволяет снизить затраты не только на простой оборудования, а также сэкономить на его изготовлении;

3. Для шпиндельной секции был произведен подбор материала для гибкого вала, исходя из коэффициента запаса устойчивости действующих критических сил на вал винтового забойного двигателя. 1-ый сплав метала (10X17H13M2T) наиболее распространен на месторождениях Роснефти, 2-ой (ti-6al-4v) в Америке, 3-ий (40XH2MA) предложен как конструктивное решение. Переход на данный сплав при прочих равных условиях позволяет снизить изгибающие напряжения и увеличить запас усталостной прочности ГВ.

## Список литературы

1. Д.Ф. Балденко, Ф.Д. Балденко, А.Н. Гноевых. Винтовые забойные двигатели. - М.: Недра, 1999.
2. История создания винтовых забойных двигателей. Статья. Электронный ресурс: <http://vseoburenii.com/istoriya-sozdaniya-vintovyih-zaboynyih-dvigatelay>.
3. Труды ВНИИБТ/ОАО НПО «Буровая техника №2.-М.: «Современные тетради», 2008
4. А.И. Булатов, А.Г. Аветисов, Справочник инженера по бурению, т. 1 - М.: Недра, 1999г
5. Паспорт винтового забойного двигателя ДРУЗ-172РС.7.8 №5455, Пермь, фирма «Радиус-Сервис», 2017 г.
6. Каталог продукции NGT гидравлические забойные двигатели, Пермь, фирма «NGT», 2017
7. MICON Downhole-Tools GmbH. Positive displacement motors (PDM). Nienhagen, Germany, 2017
8. Винтовые забойные двигателя. Издание №7. Руководство по эксплуатации. Акционерное общество «Пермнефтемашремонт» г. Краснокамск, 2015
9. Технологии ННБ, телеметрии и каротажа во время бурения. Краткий справочник. Schlumberger, 2015
10. Каталог продукции ВНИИБТ «Винтовые забойные двигатели», Пермь, фирма ООО «ВНИИБТ Буровой инструмент», 2016
11. Каталог продукции Радиус Сервис «Гидравлические забойные двигатели», Пермь, фирма ООО «Радиус Сервис», 2017
12. В.Н. Андоскин, С.П. Астафьев, М.А. Пушкарев, А.С. Глинкин, М.В. Фадеев. Героторный механизм винтовой гидромашины. Патент на полезное изобретение № 2228444.
13. Паспорт ДРУ2-172РС.865ПС №2174. Двигатель с регулятором угла. Пермь, 2012

14. Инструкция по эксплуатации ДР-178.7/8.55. ООО «Радиус Сервис», Пермь, 2012
15. В.В. Лебедев. Бурение горизонтальных скважин. Учебник инженера по бурению горизонтальных скважин. 2013 г.
16. Винтовые забойные двигатели (Руководство по эксплуатации) Редакция 1. Пермь, 2010 г.
17. А.В. Вервекин, В.М. Плотников, В.И. Молодило. О повышении эффективности бурения нефтяных и газовых скважин гидравлическими забойными двигателями. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 2013
18. Регламент эксплуатации и отбраковки ВЗД 120-240 мм ООО «ДримНефть». Служба наклонно-направленного бурения, г. Иркутск, 2018 г.
19. В.И. Молодило. Способ контроля режима работы винтового двигателя в забойных условиях: а.с. 1653390. СССР, с приоритетом 12.01.1989 г.
20. А.В. Веревкин. К вопросу автоматизации процесса бурения нефтяных и газовых скважин винтовыми забойными двигателями. Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2014
21. В.Г. Заливин, А.А. Суренков. Современное состояние и перспективы развития отечественных винтовых забойных двигателей. Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН №2, 2014
22. Сведения о наработке винтовых забойных двигателей СННБ ООО «ДримНефть»
23. Таблица наработки и отказов ВЗД 172мм СННБ ООО «ДримНефть» г. Нижневартовск, г. Иркутск. Цех по ремонту и обслуживанию ВЗД. 2017-2018 г.
24. Отчеты о расследовании происшествий СННБ ООО «ДримНефть» г. Иркутск, 2017-2018
25. Отчеты о расследовании происшествий ДНББ ООО «Smith Siberian Service», 2016

26. Протоколы промысловых испытаний винтовых забойных двигателей ДГР-172. ООО «Газпромнефть-Восток», ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент»

27. Статистика эксплуатации ВЗД ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент». Характерные повреждения деталей ВЗД. Пермь, 2016

28. Мельников В.В., Епихин А.В. Анализ влияния температуры промысловой жидкости на характеристики резины эластомеров винтовых забойных двигателей// Проблемы геологии и освоения недр: Труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией. Том II; Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. - С. 350-352.

29. Мельников В.В. Оценка негативного влияния высоких забойных температур на элементы конструкции скважины и буровое оборудование// Творчество юных - шаг в успешное будущее: Материалы VIII Всероссийской научной студенческой конференции с элементами научной школы имени профессора М.К. Коровина. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. - С. 202-205.

30. Мельников В.В. Анализ опыта изучения влияния температуры на характеристики резины эластомеров винтовых забойных двигателей // Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии: Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии» с элементами научной школы. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. - С. 615-619.

31. Журналы бурения скважин на ДНГКМ. ООО «ДримНефть», 2017-2018 г.

32. Технологии защиты и восстановления роторов винтовых забойных

двигателей. Статья. Электронный ресурс: [http://www.plackart.com/plnews/263-repair\\_rotor.html](http://www.plackart.com/plnews/263-repair_rotor.html)

33. Кортаев Ю.А. Исследование и разработка технологии изготовления многозаходных винтовых героторных механизмов гидравлических забойных двигателей: диссертация. доктора технических наук Кортаева Юрия Арсеньевича. - Пермь, 2003. - 386 с.

34. Конструкции ВЗД. ВЗД и ЗИП. Каталог. Электронный ресурс: <http://www.machtec.ru/catalog/detail/59>, ООО «МашТех-Интернэшнл», 2018

35. Подшипники для винтовых забойных двигателей. Каталог. ООО «СпецТехМаш», Пермь, 2017

36. Технические характеристики ВЗД. Узлы и агрегаты. Сервис винтовых забойных двигателей. Группа компаний ООО «РИНАКО». Электронный ресурс: <http://www.bsk-rinako.ru/drillmotor> Москва, 2017

37. Шпиндельная секция. Винтовой забойный двигатель. Каталог. Электронный ресурс: <http://zavodunm.ru/product/index/>

38. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018);

39. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.

40. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.

41. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

42. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

43. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.

44. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

45. «Правила по охране труда и эксплуатацией электроустановок» от 24.07.2013г. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Москва.
46. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
47. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Классификация и общие требования безопасности.
48. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*»
49. ГОСТ 12.1.003-83 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности»
50. ГОСТ 12.1.012-2004 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования
51. Шум и вибрация на рабочем месте. Бурение. Электронный ресурс: <https://ecouniver.com/8422-shum-i-vibraciya-na-rabochem-meste-burilshhika.html>.
52. Р 2.2.2006-05 «Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условия труда».
53. СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4. «Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы»
54. Лекция. Ожоги, отморожения, электротравмы. Электронный ресурс: <http://медпортал.com/terapiya-anesteziologiya-intensivnaya/klassifikatsiya-ozogov-glubineploschadi.html>.
55. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» Утверждены Приказом Ростехнадзора от 12.03.2013 № 101 (ред. от 12.01.2015).

56. ГОСТ 12.1.005-88. «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарногигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
57. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.
58. Мир знаний. Что такое ЧС? Электронный ресурс:  
<http://mirznanii.com/a/298567/chtotakoe-chrezvychaynye-situatsii>
59. Нормы пожарной безопасности НПБ 105-03 "Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности" (утв. приказом МЧС РФ от 18 июня 2003 г. N 314).
60. РД 34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений»
61. ЧС природного техногенного и социального характера и защита от них / учебник под ред. Михайлова Л.А. Питер, 2008
62. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ «Оборудование производственное. Общие требования безопасности»
63. ГОСТ 12.3.003-86 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Работы электросварочные. Требования безопасности»

## Приложение (А)

### Раздел 1 Research and improvement of screw downhole motors

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ05	Кондауров Олег Олегович		

Консультант школы отделения (НОЦ) школы ИШПР ОНД:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Саруев Л.А.	д.т.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ШБИП ОИЯ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОИЯ	Матвеевко И.А.	д.ф.н		

## About the downhole drilling motors

The downhole motor apply the reverse pumping principle first established by Rene Moineau. A circulating drilling fluid is pumped through the positive displacement motor, converting the hydraulic power of the fluid into mechanical power to drive the drill bit independently of drill string rotation. There is a direct proportionality between the flow rate and the speed of the downhole drilling motors. An increase of the flow rate leads to an increase of rotational speed of the drilling motors. Similarly, there is a direct proportionality between the torque on the drill bit and the differential pressure drop across the motor. The monitoring of differential pressure and flow rate at the drill rig provides reliable information about the current torque and speed of the bit. The PDMs are equipped with an adjustable bend housing (ABH), which allows to set the downhole drilling motor to a certain angle.

The motors are driven in two modes:

- Sliding (without string rotation) In sliding mode, the downhole drilling motor drills without string rotation. The bend housing on the motor points constantly in the same direction. The rotating bit is continuously deflected from the borehole axis in that direction, which causes the bit to follow a curve. The radius of the curve is affected by the ABH angle (Fig. 1).



Fig. No.1 - Sliding Mode - curvature drilling

- Rotary (with string rotation) In rotary mode the drill string, inclusive drilling motor, is rotating. The adjustable bend housing of the motors is also rotating in the borehole. The motor drills nearly a straight hole. By combining straight and curve

sections, any desired bore path can be realized (Fig.2).



Fig. No. 2 - Rotary Mode - straight drilling

The downhole drilling motor is a powerful and reliable positive displacement motor. The motor generates an optimum balance of rotational speed and high torque to drive a variety of drill bits at speeds that maximize tool life and performance. Motors are designed to minimize stalling while providing the maximum torque to the drill bit. Drillings motors are used in applications such as straight hole drilling, directional (steerable) drilling, horizontal drilling, hole opening, and re-entry (workover).

### **Downhole motors description**

All drilling motors are comprised of five major components:

- Dump Valve (or Crossover Sub)
- Safety Catch Sub (optional)
- Power Section
- Coupling Assembly
- Bearing Assembly

### **Crossover Sub / Dump Valve**

In a standard motor setup, a crossover sub is used to connect the motor to the drill string. The crossover sub allows the stator to connect to the drill string since the drill string has a different thread than the stator.

Optionally, a dump valve can be used instead of the crossover sub. The dump valve assembly enables the drill string to fill with mud from the annulus while tripping into the hole and enables the drill string to drain while tripping out of the

hole. The valve uses a spring-loaded piston to close the ports separating the inside of the tool from the annulus surrounding the tool. When drilling fluid is not circulating, the spring holds the piston in the up, or open-port, position. This allows the fluid to enter or exit the drill string through the ports and bypass the motor.

### **Safety Catch Sub (optional)**

The safety catch sub is located between the power section and the crossover sub (or dump valve). It prevents leaving the rotor and internal motor components in the hole in the unlikely case of external connection failure in the motor string. It is generally used for extremely harsh drilling applications and where added precautions are required.

### **Power Section**

The power section is the portion of the motor that converts hydraulic horsepower into mechanical horsepower, resulting in drill-bit rotation. The power section consists of only two parts, the rotor and the stator. When assembled, these two components form a continuous seal along their contact points.

The rotor is an alloy steel bar with a helical (multi-lobed) pattern. It is chromed plated to reduce friction, wear, and corrosion. The rotor may have an axial bore and a nozzle to allow some of the drilling fluid to bypass the power section and increase the flow-rate to the bit.

The stator is a length of tubular steel lined with an elastomer compound that is shaped with a helical pattern to mate with the rotor. The stator has one extra lobe than the rotor which creates a cavity between the rotor and stator. The drilling fluid fills this cavity and the hydraulic energy of the fluid causes the rotation of the rotor.

### **Coupling Assembly**

The coupling assembly is attached to the lower end of the rotor and transmits motor rotational torque and speed to the drive shaft and bit. The coupling assembly converts the eccentric motion of the rotor to the concentric motion of the drive shaft. Additionally, the flexible coupling allows for placement of a bend point in its

external housing for steerable motors. Bent-housing angles range from 0 to 3° and may be either fixed or rig-adjustable.

### **Bearing Assembly**

The bearing assembly supports the motor drive shaft. The motor drive shaft has an integral bit box where the drilling thrust and rotational power is transferred to the drill bit. Drilling parameters, such as weight on bit (WOB), circulation rate, and bit pressure drop, can directly affect the bearing assembly. Our bearing assemblies utilize two types of bearings: thrust and radial. Motor uses a stacked multiple ball-and-race design for the thrust bearings. The thrust bearings support the downward force resulting from the WOB and the loads from the combination of hydraulic thrust and weight loads from internal components. The thrust stack is a full contact design which has the additional benefit of providing radial support to the drive shaft. Radial support bearings support the radial loads on the drive shaft and regulate the flow of drilling fluid through the bearing assembly. Diverted fluid cools and lubricates the radial and thrust bearings. Motor uses radial bearings with tungsten carbide tiles imbedded in a tungsten carbide chip matrix for maximum wear resistance.

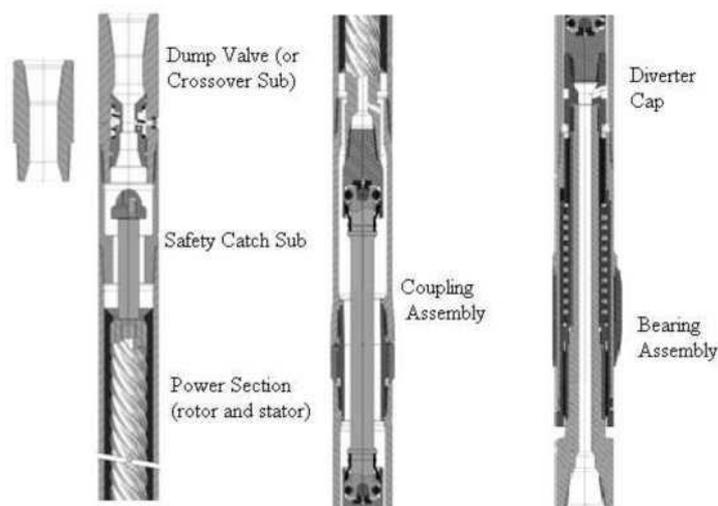


Fig. No. 3 - Downhole motors description

### **Adjustable bend housing installation**

The Adjustable Bend Housing (ABH) is located between power section and bearing assembly. It enables the PDM to be set on a desired tilt angle to achieve the

predicted build-up-rate for each drilling purpose.

Adjustment of a PDM angle is described in the following steps. The figures illustrate how to adjust the angle.

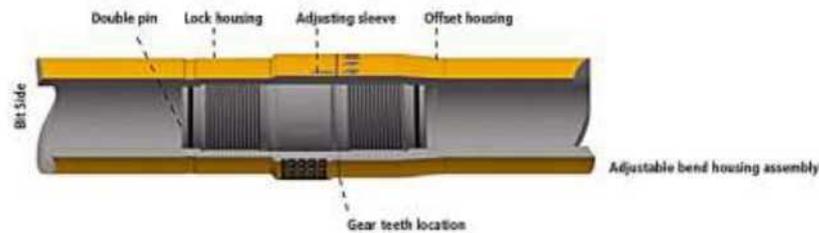


Fig. No. 4 - Adjustable bend housing

### Step 1: Break out lock housing

Mark position with e.g. crayon. Break the lock housing; unscrew the thread until the gap between the shoulders of the lock housing and the adjusting sleeve is approximately 15 mm.

#### Note:

While unscrewing the lock housing, the gear tooth system between adjusting sleeve must remain engaged. While breaking the lock housing it may happen that, the gear tooth system between offset housing and adjusting sleeve is disengaged. This must be avoided to prepare the thread connection between offset housing and double pin coming loose.

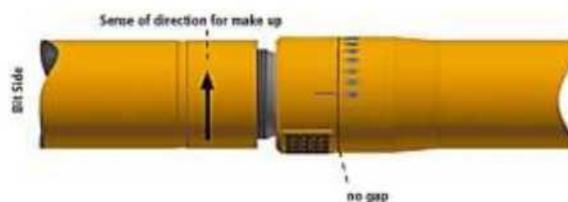


Fig. No. 5 - Break out lock housing

### Step 2: Disengage gear tooth system

Move the adjusting sleeve in direction to the lock housing, until the gear teeth of the adjusting sleeve are completely disengaged.

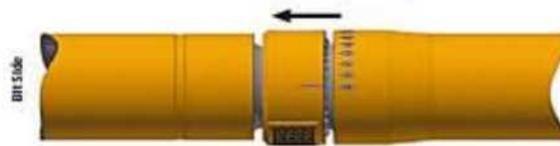


Fig. No. 6 - Disengaging gear tooth system

### Step 3: Adjusting the ABH angle

Mark the designed angle with e.g. crayon. After that, turn the adjusting sleeve to this position, always in the direction which gives the shortest way from old to new position, until the groove on the adjusting sleeve matches the designated angle of the offset housing.

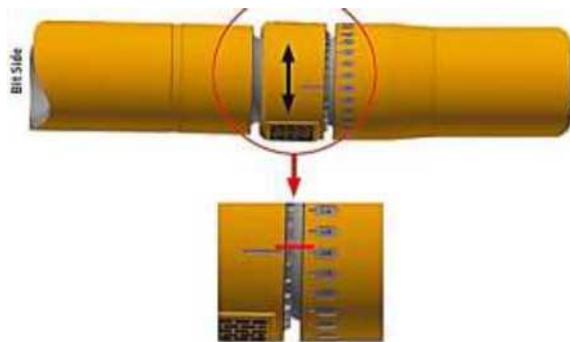


Fig. No. 7 - Adjustment of ABH angle

### Step 4: Engaging gear teeth back to adjusting sleeve

Move the adjusting sleeve in direction to the offset housing, until the gear teeth of the adjusting sleeve are completely engaged to the gear teeth of the offset housing.



Fig. No. 8 - Engaging teeth back to adjusting sleeve

### Step 5: Make up lock housing

Make up the lock housing.

**Note:**

Ensure that the gear tooth system does not slip out of engagement while making up adjusting sleeve and offset housing. Check matching after makeup procedure.



Fig. No. 9 - Make up lock housing

### **Failure analysis of chromium plated rotor of downhole drilling motors**

Coating failure and penetration of holes into the base metal of rotor are among the main causes of rotor failure. There are more factors causing these problems, such as: kind of material the stator is made of, type of rotor coating, composition of drilling mud, temperature and working pressure. Solid particles floating in the mud, the space between rotor and stator are among other influencing factors. A rotor is often made of CK45 medium carbon steel or 17-4PH stainless steel. These materials have a good erosion resistance in different environments. Rotor is protected by a hard coating resistant to friction and has. On the other side, stator is made of some kind of elastomer, which can resist friction and is able to stand the damage imposed by hydrocarbon.

Drilling mud may be water-base, oil-base, or emulsion-base. At first, drilling mud was used for drilling carriers with the purpose to bring them to the surface; however, with the development of drilling industry, the functions of drilling mud and its quality have been increased and varied. In any case, the mud contains additives some of which affect the efficiency and usefulness of rotor and stator. To challenge the problems of corrosion and mechanical damage (erosion and friction) caused by drilling mud, hard chromium coating was widely used as a method of protection. Modern technological processes such as High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) thermal spray are widely spread. Although these processes are more expensive their protection last longer when used instead of other types of coatings. High hardness, good resistance to friction has made the chrome coating an applicable

and desired in oil industry tools. In these cases of application, coating thickness is different than chromium coating for decorative purposes. Chloride in drilling mud causes holes on smooth surface of rotor and brings about rough edges acting as destruction places on the edges of stator. Cuttings caused by this mechanism on the surface of stator highly decrease the efficiency of sealing between rotor and stator and finally may stop the motor at low differential pressure. Usually the hard-electroplated chromium coating is deposited along with a flat sub-layer (mostly nickel) in order to prevent direct contact of the base metal with corrosive-erosive environment, especially with that of chloride composition, hydrogen sulfite, or carbon dioxide which may cause corrosion and mechanical damage. Also, friction, mechanical stresses like stroke and distortion and influence of chemicals mentioned above may cause holes or local failure in the thin layer of the chrome coating.

### Experimental

The rotor material used in this investigation was steel with hard chromium coating. In order to study the structures of rotor samples, the usual metallographic investigations have been performed by light and scanning electron microscope (SEM). SEM was used for further and more careful investigation of affected surfaces and damage of hard chrome coating.

### Results and Discussion

Chemical composition of rotor is given in Table 1.

*Table 1: Chemical analysis of rotor, in wt. %*

C= 0.035	Cr= 17.24	Co= 0.039	Nb= 0.235	W= 0.010	P= 0.031
Si= 0.366	Ni= 3.510	Cu= 4.050	Al= 0.003	Ti= 0.011	Fe = Bal.
Mn= 0.484	Mo= 0.261	Sn= 0.030	V= 0.005	S= 0.030	

The results of the chemical analysis showed that according to AISI 630 standard this steel is of 17-4PH type which belongs to martensitic stainless steels and contains 3- 5 Cu and 0.15-0.45 wt.% Nb and is hardened by copper and niobium nano-sized precipitates formed in the dendritic matrix during aging. The

microstructure of this steel in aged condition is martensitic with alpha ferrite as shown in Figure 10.

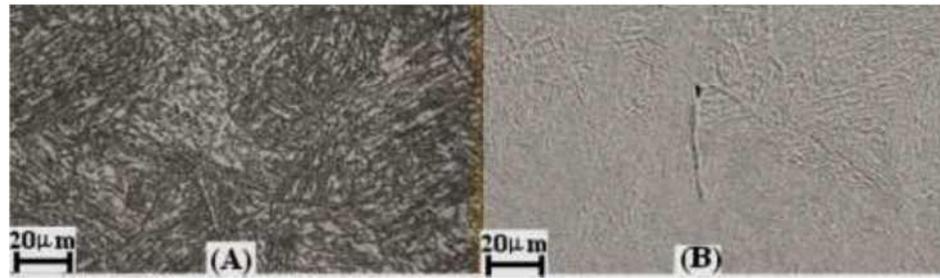


Fig. No. 10 - Microstructure of rotor; A) light microscope; B) SEM

These hardened stainless steels were used for the first time in 1940 and since then they have been widely used for different applications especially for production of different tools due to their low distortion, high resistance against erosion and friction, excellent welding capability and relatively high hardness. Previous studies have shown that at aging temperatures above 570 °C a layered structure is formed in 17-4 PH steel, which might be due to the appearance of reversed austenite or the recrystallized ferrite in the tempered martensite. Aging in the temperature range of 480-620 °C causes an increase of strength and brittleness due to precipitation of copper-rich phase. If the temperature of aging increases above 600 °C the non-homogenous formation of copper-based precipitates in the matrix and also transformation of some martensite occurs along martensitic plates. The microstructure obtained by SEM and maps of elements distribution showed that the rotor coating contained chrome, whereas the sublayer of nickel did not exist (Figure 11).

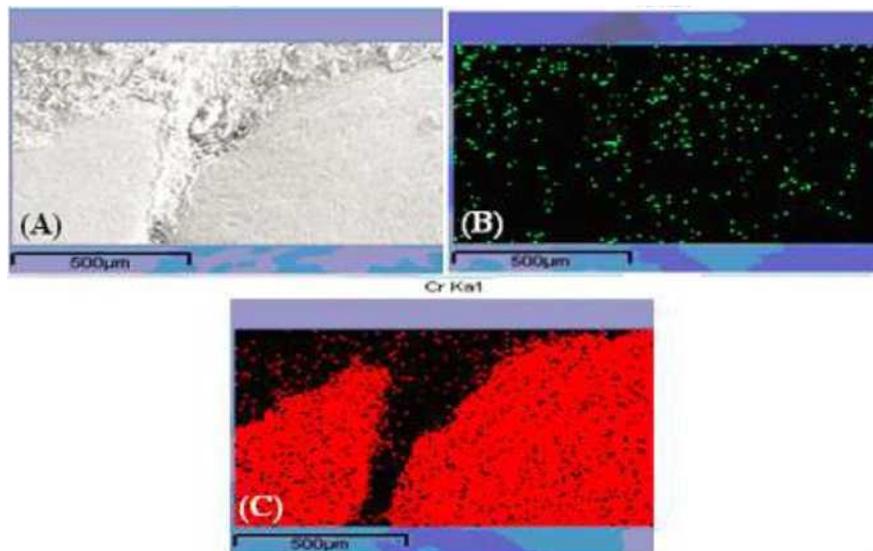


Fig. No. 11 - SEM. Microstructure of rotor. A) failed surface; B) map

The coating thickness has been measured as 80 to 100 microns. On the other hand, the interspace between the coating and the base metal was not observed (Figure 12). This can be the reason for the lower hardness of the coating, i.e. less than 33-35 HRC. Also, coating was not continuous along its length since at different places of the rotor it has been broken due to the chemical corrosion and the process of formation of holes which in some cases has reached the sub-layer of the steel (Figure 12.1).

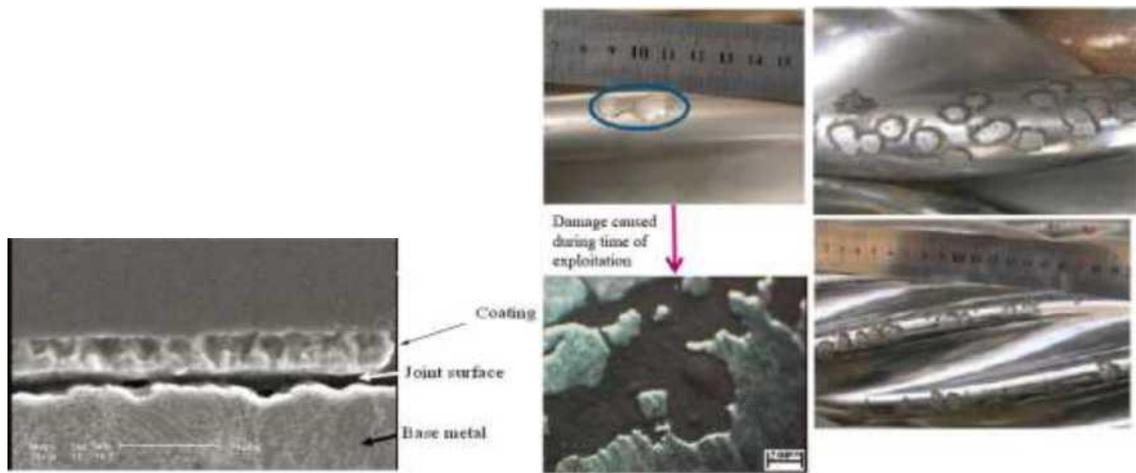


Fig. No. 12-12.1 - SEM. The cross-section of rotor with coating / Macro and micrographs of the surface damage on rotor including avulsion and holes

Formation of these holes is the result of the reaction of the steel with drilling mud containing corrosive materials like chlorides. Previous studies have shown that the hard chrome coating does not possess the necessary resistance against corrosive environments containing chloride. In addition, the chemical elements and their compounds like sodium, potassium, carbon gases and hydrogen sulfide, as well as erosive particles like silica always exist in the drilling mud and their amount depends on the drilling location. It is clear that the chrome coating is always exposed to corrosive factors like these. Figure 13 shows some areas of rotor affected under the influence of friction imposed by the pressure of drilling mud or because of the collision of hard chrome coating with solid particles existing in drilling mud. Cracks appearing mainly in the radial direction may be observed.

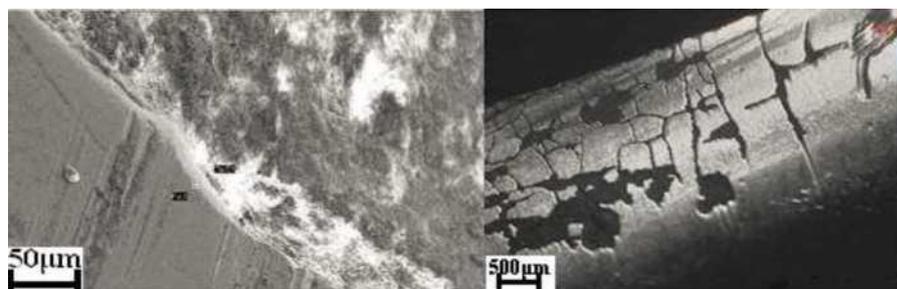


Fig. No. 13 - Cracks on coating due to friction

Thus, two main factors affecting the surface of coating may be distinguished as:

- chemical (corrosion by chemical elements and their compounds),
- mechanical (erosion and friction attributed to solid particles in the drilling mud).

An attempt has been made to measure the size and volume fraction of corrosive particles (Figure 14).

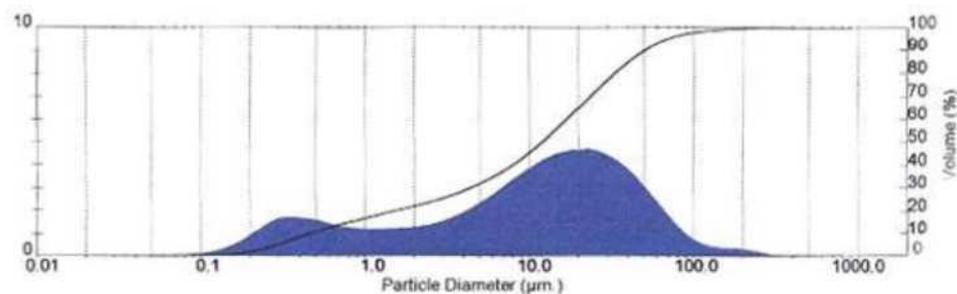


Fig. No. 13 - Distribution of the size of solid particles in drilling mud. Full line indicates the volume particles

It may be seen that the size distribution of particles is quite irregular showing two maxima, one at approximately 0.3 microns (with the share of 20%) and another at approximately 20 microns (with the share of 50%), whereas particles of 300 are present in negligible amount. It may be supposed that particles with size of 20 microns are the main factor causing destruction of the rotor surface. In order to solve this problem the coating of hard tungsten carbide was tried and its behavior examined. However, on rotor with tungsten carbide coating failure in the form of pits as a result of corrosion may be seen in Figure 14.



Fig. No. 14 - Surface failure of rotor coated with WC. Friction cuttings and initiation of formation of pits into the base metal due to coating thinning

With the prolonged time of exploitation, these pits may spread into the base metal causing its failure (Figure 15). Considering the results of the tungsten carbide coating, it is clear that the degree of protection has not been improved compared to the chromium coating.



Fig. No. 15 - Surface failures of rotor coated with WC. Friction cuttings and the beginning of hole penetration into the base metal due to coating thinning. The figure on the right is enlarged detail of the left figure

### **Conclusion**

Results of this study indicate that:

1. There are small and big cracks on the chromium coating causing penetration of the corrosion agents into the base metal where pits are formed;
2. Two main factors affecting the surface of coating may be distinguished as: chemical (corrosion by chemical elements and their compounds), and mechanical (erosion and friction attributed to solid particles in the drilling mud);
3. Microscopic studies showed that chromium coating does not have the necessary resistance to chemical and mechanical parameters, which may be found in the drilling mud. This behavior is the consequence of the poor consistency of coating with the base metal, low thickness of coating and relatively low resistance to corrosive environment;
4. The attempt with tungsten carbide as a coating did not show better results.