

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 – Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка рецептуры раствора для обработки эластомера винтового забойного двигателя с целью повышения его ресурса

УДК 678.074-026.741:622.243.92.05

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Шульга Дмитрий Константинович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова В.Н.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Романюк В.Б.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент отделения общетехнических дисциплин	Черемискина М.С.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Ковалев А.В.	К.Т.Н.		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять базовые естественнонаучные, социальноэкономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные исследования с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы
P3	Проявлять профессиональную осведомленность о передовых знаниях и открытиях в области нефтегазовых технологий с учетом передового отечественного и зарубежного опыта
P4	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
P5	Быстро ориентироваться и выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами математического моделирования технологических процессов и объектов
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при разработке и реализации проектов
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности
P9	Разрабатывать и внедрять инновационные решения при строительстве скважин
P10	Обеспечивать технологический контроль и управление процессом бурения скважин
P11	Разрабатывать проектную документацию на строительство скважин в осложненных горно-геологических условиях

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 – Нефтегазовое дело
Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(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
2БМ73	Шульге Дмитрию Константиновичу

Тема работы:

Разработка рецептуры раствора для обработки эластомера винтового забойного двигателя с целью повышения его ресурса	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования: Эластомер ВЗД Область применения: Двигательная секция ВЗД
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>	1 Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений науки и техники в рассматриваемой области 2 Методика проведения экспериментальных исследований по изнашиванию и определению изменения структуры необработанных образцов и образцов после выдержки в растворах пяти солей 3. Результаты экспериментальных исследований 3.1 Результаты экспериментальных исследований изменения структуры эластомера после обработки 3.2 Результаты экспериментальных исследований изменения износостойкости эластомера на износ резанием и трением 4 Финансовый менеджмент 5 Социальная ответственность

	6 Заключение по работе
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Необходимость в графических материалах отсутствует
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент отделения нефтегазового дела, к.э.н., Романюк В.Б.
Социальная ответственность	Ассистент отделения общетехнических дисциплин Черемискина М.С.
Часть на иностранном языке	Старший преподаватель отделения иностранных языков Лысунец Т.Б.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Modern problems of downhole screw motors and their solutions	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова В.Н.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Шульга Дмитрий Константинович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ73	Шульге Дмитрию Константиновичу

Инженерная школа	Природных ресурсов	Отделение	Нефтегазового дела
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

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

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>В данном разделе ВКР необходимо представить: график выполнения работ, в соответствии с ВКР; трудоёмкость выполнения операций; нормативно-правовую базу, используемую для расчётов; результаты расчётов затрат на выполняемые работы; оценить эффективность нововведений и др. Раздел ВКР должен включать: методику расчёта показателей; исходные данные для расчёта и их источники; результаты расчётов и их анализ.</i>
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы расхода материалов, тарифные ставки заработной платы рабочих, нормы амортизационных отчислений, нормы времени на выполнение операций в ходе выполнения операций согласно справочников Единых норм времени (ЕНВ) и др.</i>
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставка налога на прибыль 20 %; Страховые взносы 30%; Налог на добавленную стоимость 18%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Расчет капитальных и текущих затрат и финансового результата реализации проекта</i>
<i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>График выполнения работ</i>
<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчет экономической эффективности внедрения новой техники или технологии</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<i>Организационная структура управления Линейный календарный график выполнения работ Графики динамики и сравнения показателей</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	07.03.2017
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Романюк В.Б.	к.э.н., доцент		27.03.2019г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Шульга Дмитрий Константинович		27.03.2019г

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ73	Шульге Дмитрию Константиновичу

Школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	Нефтегазовое дело
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал) и области его применения	Объектом исследования данной научно-исследовательской работы является резиновая смесь ИРП-1226. Суть работы заключается в изучении влияния различных растворов солей на износостойкость данной смеси к испытаниям трением и резанием. Исследуемая резиновая смесь используется для производства эластомерной обкладки статоров винтовых забойных двигателей отечественными производителями.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства 1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.	Представить требования, предъявляемые к сотрудникам лаборатории перед допуском к работе, а также нормы по компоновке рабочего места в лаборатории.
2. Профессиональная социальная безопасность 2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования 2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований 2.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	Проанализировать вредные и опасные факторы, влияющие на человека, возникающие при исследовании изменения износостойкости образцов резины ИРП-1226 в лабораторных условиях: отклонение показателей микроклимата, движущиеся машины и механизмы производственного оборудования, испарения токсичных и вредных веществ, недостаточная освещенность рабочей зоны, электрический ток. Проанализировать вредные и опасные факторы, влияющие на человека, возникающие на производстве: повышенный уровень шума и вибрации, запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны
3. Экологическая безопасность 3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду 3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду 3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду, а также необходимые мероприятия по защите окружающей среды.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: 4.1. Анализ вероятных ЧС, которые	Во время применения результатов исследования на производстве возможно возникновение ЧС.

может инициировать объект исследования 4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований 4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	<i>Необходимо привести превентивные мероприятия по предотвращению ЧС и разработать порядок действий при его возникновении.</i>
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Шульга Дмитрий Константинович		

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) – Нефтегазовое дело
 Уровень образования – магистратура
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения – осенний / весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06-07.06.2019
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01 марта 2019	1. Проведение литературного обзора по теме	20
08 марта 2019	2. Утверждение методики проведения исследований и обработки данных	5
22 апреля 2019	3. Изучение изменения износостойкости и структуры эластомера после его обработки в растворе соли	10
06 мая 2019	4. Анализ полученных экспериментальных данных, промежуточная аттестация выполнения диссертации	5
23 мая 2019	5. Предварительная защита диссертации	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Глотова Валентина Николаевна	К.Х.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения нефтегазового дела	Ковалев Артем Владимирович	К.Т.Н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа включает в себя: 98 страниц, 53 рисунка, 21 таблицу, 12 формул, 44 источника, 1 приложение.

Объект исследования – образцы резиновой смеси ИРП-1226.

Ключевые слова: эластомер, винтовой забойный двигатель, износостойкость, статор, растворы солей, двигательная секция.

Цель работы: разработка рецептуры раствора соли для обработки резиновой обкладки винтового забойного двигателя для повышения ее ресурса работы.

Задачи:

- провести обзор литературных источников по выбранному направлению исследований;
- определить изменение износостойкости резины ИРП-1226 после ее обработки в пяти различных растворах солей хлоридов;
- исследовать изменение структуры образцов после их обработки в растворах солей.

В данной магистерской диссертации были рассмотрены основные направления увеличения межремонтного срока эксплуатации винтового забойного двигателя. Было исследовано изменение устойчивости образцов резины ИРП-1226 к износу резанием и трением после обработки в растворах солей, а так же изменение структуры резины. По итогу работы была составлена пояснительная записка с выводами по результатам исследований.

Оглавление

Введение	12
1 Литературный обзор.....	13
1.1 Историческая справка о создании винтового забойного двигателя	13
1.2 Устройство винтового забойного двигателя.....	14
1.3 Принцип работы винтового забойного двигателя	17
1.4 Требования предъявляемые к современным ВЗД	17
1.5 Основные причины выхода из строя винтовых забойных двигателей	19
1.6 Анализ причин износа резиновой обкладки статора.....	20
1.7 Работы других исследователей по решению проблемы повышения ресурса наработки рабочей пары ВЗД.....	24
1.8 Решения проблемы преждевременного износа рабочих органов ВЗД.....	33
2 Методы исследований.....	36
2.1 Экспериментальная часть	36
2.2 Лабораторный стенд для испытания образцов на трение и режущее воздействие.....	37
2.3 Лабораторный стенд для исследования изменения структуры эластомера после обработки	39
2.4 Методика проведения исследований	41
3 Результаты экспериментальных исследований	44
3.1 Результаты экспериментальных исследований изменения структуры эластомера после обработки.....	44
3.1.1 Необработанные образцы резины ИРП-1226	44
3.1.2 Влияние раствора NaCl на изменение структуры образцов	44
3.1.3 Влияние раствора KCl на изменение структуры образцов	47
3.1.4 Влияние раствора MgCl ₂ на изменение структуры образцов	50
3.1.5 Влияние раствора CaCl ₂ на изменение структуры образцов	53
3.1.6 Влияние раствора BaCl ₂ на изменение структуры образцов	55
3.2 Результаты экспериментальных исследований изменения износостойкости эластомера на испытания резанием и трением.....	58
3.2.1 Износ образцов резины ИРП-1226 без обработки.....	58
3.2.2 Исследование влияния раствора NaCl на износостойкость	59
3.2.3 Исследование влияния раствора KCl на износостойкость.....	61

3.2.4 Исследование влияния раствора $MgCl_2$ на износостойкость	63
3.2.5 Исследование влияния раствора $CaCl_2$ на износостойкость	65
3.2.6 Исследование влияния раствора $BaCl_2$ на износостойкость	67
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	70
4.1 Планирование научно-исследовательских работ	70
4.1.1 Структура работ научного исследования.....	70
4.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	71
4.1.3 Разработка графика научного исследования	72
4.2. Бюджет научно-технического исследования	73
4.3 Экономическая эффективность внедрения новой технологии	78
4.4 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	80
5 Социальная ответственность	81
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	81
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	81
5.1.2 Требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя	82
5.2 Производственная безопасность	82
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов	83
5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя.....	87
5.3 Экологическая безопасность	89
5.3.1 Влияния процесса разработки проекта на окружающую среду	89
5.3.2 Влияния процесса реализации проекта на окружающую среду	89
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	90
5.4.1 Анализ возможных ЧС.....	90
5.4.2 Обоснование мероприятий по недопущению ЧС и действия в случае возникновения ЧС.....	91
5.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»	92
Заключение	93
Список использованных источников	95
Приложение А	99

Введение

Добыча углеводородного сырья является ведущей отраслью в экономике нашей страны. В настоящее время потребление продуктов нефтегазовой промышленности занимает лидирующие позиции и не может по ряду причин быть полностью заменено на альтернативные источники энергии. Поэтому необходимо увеличивать объемы бурения, с целью разработки старых месторождений и освоения новых.

Объемы бурения с использованием винтовых забойных двигателей (ВЗД) в России постоянно наращиваются, вследствие существующей потребности в применении высокомоментных долот с оптимальной частотой вращения до 150 об/мин, применением нового телеметрического оборудования, стремительного развития строительства горизонтальных, наклонно-направленных скважин и боковых стволов.

Так как наращивание объемов бурения с использованием ВЗД является актуальной проблемой необходимо добиться надежности его использования путем совершенствования конструкции. Если ресурс ВЗД по паспорту составляет порядка 300 часов при работе на воде, то фактические данные в различных регионах по отработке ВЗД колеблются от 20 до 370 часов в зависимости от геологических условий, параметров режима бурения.

Согласно статистике в 45% случаев выход двигателя из строя обусловлен износом эластомерной обкладки статора двигательной секции, которая в процессе бурения подвергается термическому, химическому и механическому воздействию.

Обработка эластомера раствором соли может повысить устойчивость данного элемента двигателя к износу, что позволит решить проблему увеличения ресурса отработки двигателей в производственных условиях. В данной работе рассматривается влияние пяти различных насыщенных растворов солей на повышение износостойкости резины ИРП-1226, используемой для производства обкладки статоров.

1 Литературный обзор

Цель данного раздела - рассмотрение существующих на сегодняшний день методов и технологий решения проблемы короткого срока наработки винтовых забойных двигателей из-за износа эластомерной обкладки статора. Для выполнения данного раздела научно-исследовательской работы были поставлены следующие задачи:

- отбор актуальных источников информации;
- представление существующих проблем винтовых забойных двигателей;
- изложение полученной информации об объекте исследования;
- рассмотрение методов повышения износостойкости резиновой обкладки статора ВЗД;
- обзор работ по данной теме других исследователей.

1.1 Историческая справка о создании винтового забойного двигателя

Применение гидравлических забойных двигателей начинается в СССР с 1922-1923 гг., когда М.А. Капелюшниковым был спроектирован первый промышленный образец одноступенчатого турбобура. Турбобур данной конструкции позволял бурить скважины без вращения колонны бурильных труб. Начиная с 40-х годов, многоступенчатые турбобуры становятся основным техническим средством для бурения скважин, позволявшим получать высокие темпы роста нефти и газа [5].

По мере роста средних глубин скважин, совершенствования зарубежной технологии роторного бурения и конструкции долот отечественная нефтяная промышленность начала сильно отставать по проходке за рейс. Отставание в этом показателе было вызвано техническими особенностями турбобуров, не позволявшими получать частоту вращения долота менее 400 об/мин с обеспечением необходимого крутящего момента и давлением насосов. По этой причине было невозможно применение современных низкооборотных долот,

и перед отечественной промышленностью поднялся вопрос о необходимости развития технологии низкооборотного бурения.

На то время наблюдалось сильное технологическое отставание роторного бурения от мирового уровня, так как не было буровых станков и бурильных труб подходящего технического уровня. Поэтому для перехода на технологию низкооборотного бурения выбран путь отказа от динамических машин, которыми являются турбобуры, в пользу объемных.

В 1966 г. во ВНИИБТ в результате многолетних научно-исследовательских работ по проектированию забойных гидравлических двигателей М.Т. Гусманом был предложен первый в мировой практике винтовой забойный двигатель (ВЗД), представлявший из себя обращенный насос Муано. Рабочие органы двигателя были выполнены на базе многозаходного героторного механизма, который выполняет функцию планетарного редуктора. За сорок пять лет эволюционного развития ВЗД превратились в эффективное техническое средство для привода долот при бурении и ремонта нефтяных и газовых скважин. Успешное применение винтовых забойных двигателей обусловлено, прежде всего, их уникальными энергетическими и техническими характеристиками, такими как жесткая характеристика работы двигателя и большой удельный момент [4].

1.2 Устройство винтового забойного двигателя

Винтовой забойный двигатель (ВЗД) является роторным механизмом объемного (гидростатического) действия, преобразующим энергию нагнетания промывочной жидкости во вращательное движение выходного вала. Практически любой современный винтовой забойный двигатель, применяемый для бурения наклонно-направленных скважин, имеет в своей конструкции несколько основных элементов: двигательная секция, шпиндельная секция, регулятор угла.

Двигательная секция – силовой узел двигателя рисунок 1, определяющий его главные технические характеристики: крутящий момент, мощность, частота

вращения, КПД. Основное предназначение – преобразование энергии потока жидкости во вращательное движение. В свою очередь двигательная секция делится еще на два элемента: статор и ротор. Статор – неподвижная часть, выполнена в виде металлического корпуса во внутренней поверхности имеющая эластомерную обкладку (резиновая смесь имеющая устойчивость к абразивному воздействию и сохраняющая работоспособность в среде промывочной жидкости). Ротор – подвижная стальная часть двигательной секции аналогичного профиля и имеющая число зубьев на один меньше, чем обкладка статора. Находясь в непрерывном контакте, зубья статора и ротора образуют камеры высокого и низкого давления. Поток бурового раствора, протекая через эти камеры, проворачивает винт ротора.

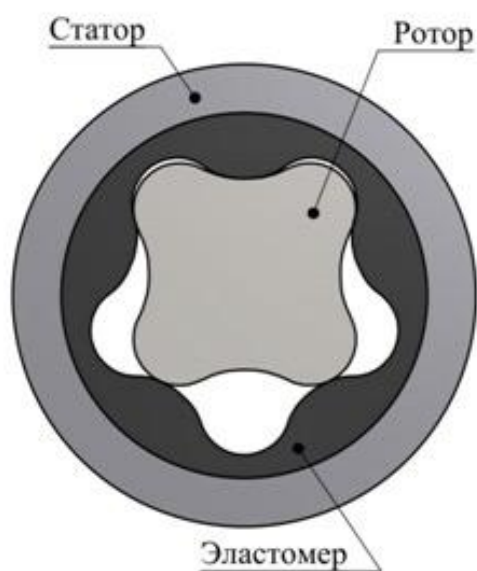


Рисунок 1 – Рабочая пара винтового забойного двигателя

Регулятор угла перекоса механизм, который предназначен для перекоса оси винтового забойного двигателя относительно нижней части бурильной колонны рисунок 2. В своем составе имеет два переводника: нижний и верхний; сердечник и армированную твердосплавными зубками зубчатую муфту.



Рисунок 2 – Регулятор угла ВЗД

Шпиндельная секция рисунок 3 предназначена для передачи крутящего момента и осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент. Состоит из корпуса с двумя опорами (осевой и радиальной), на которых закреплен вал. Крутящий момент вращения ротора передается через торсион на вал шпиндельного узла, который начинает вращаться и передавать момент уже рабочей части.



Рисунок 3 – Шпиндельная секция ВЗД

1.3 Принцип работы винтового забойного двигателя

По своему принципу действия винтовые забойные двигатели относятся к машинам объёмного действия. Это значит, что промывочная жидкость, подающаяся в двигатель от насосов, проворачивает ротор относительно статора под действием неуравновешенных сил. Зубья статора и ротора, находясь в непрерывном контакте, образуют замыкающиеся на длине шага статора герметичные рабочие камеры. Рабочая жидкость, поступающая на вход двигателя от буровых насосов, может пройти к долоту только в том случае, если ротор проворачивается внутри обкладки статора по его зубьям. Поворот ротора осуществляется под действием неуравновешенных гидравлических сил. При этом совершается планетарное движение: ось ротора обращается вокруг оси статора против часовой стрелки (переносное движение), а сам ротор поворачивается вокруг собственной оси по часовой стрелке (относительное движение) [2].

1.4 Требования предъявляемые к современным ВЗД

На основании многолетнего опыта использования гидравлических забойных двигателей (ГЗД) отечественными и зарубежными компаниями были определены технические требования, касающиеся характеристик двигателя, применяемых для изготовления материалов и геометрических параметров.

1. Технические характеристики ГЗД должны обеспечивать [5]:

- высокий КПД, для наиболее полного использования энергии потока промывочной жидкости;
- высокий крутящий момент, который обеспечит эффективную работу долота;
- для эффективного управления режимом бурения должна существовать пропорциональная зависимость между расходом промывочной жидкости и частотой вращения вала двигателя, а так же между перепадом давления и крутящим моментом;

– двигатель должен обеспечивать частоту вращения вала 80-200 об/мин при использовании шарошечных долот и 200-300 об/мин для долот с резцами PDC.

2. Элементы двигательной секции и остальные узлы двигателя должны быть выполнены из износостойких и коррозионностойких материалов обеспечивающих:

– возможность использовать промывочную жидкость любой плотности и вязкости, включая в случае необходимости в своем составе тампонирующие материалы и агрессивные добавки;

– работу двигателя при давлении окружающей среды до 100 МПа и при температуре до 150 °С;

– возможность изменять угол перекоса корпуса двигателя при бурении наклонно направленных и горизонтальных скважин;

– установку на двигателе опорно-центрирующих элементов при наклонно направленном и горизонтальном бурении;

– высокую стойкость двигателя, обеспечивающую стабильную работу и полную отработку долот;

– возможность применения при использовании газожидкостных смесей (пены, воздух, аэрированные буровые растворы).

3. Осевые и диаметральные габариты двигателя должны обеспечивать:

– возможность бурения долотами различного диаметра, в том числе и малогабаритными;

– обеспечение эффективной и безаварийной проводки наклонно направленных и горизонтальных скважин.

Вышеперечисленные требования характеризуют идеальный гидравлический двигатель. Анализ характеристик и конструкций, существующих на сегодняшний день различных гидравлических двигателей, позволяет сделать вывод, что ни один двигатель не соответствует в полностью всем перечисленным требованиям. Однако в наибольшей степени к ним приближены современные многозаходные винтовые забойные двигатели.

1.5 Основные причины выхода из строя винтовых забойных двигателей

На основании опыта применения ВЗД в бурении и капитальном ремонте скважин различными буровыми компаниями было установлено, что нарушение работоспособности двигателя наступает в основном ввиду следующих причин [17]:

- изнашивание рабочей пары;
- изнашивание узла шпиндельной секции;
- изнашивание шарнирного соединения;
- технологические причины выхода из строя: разъединение элементов роторной группы, разъединение резьб на корпусе, шламование рабочих органов, выхода из строя переливного клапана и др.;
- выход из строя по аварийным причинам: отрыв эластомерной обкладки от корпуса статора, слом торсиона, выходного и карданного валов [18].

Сравнительная диаграмма причин выхода ВЗД из строя в процентах приведена на рисунке 4.

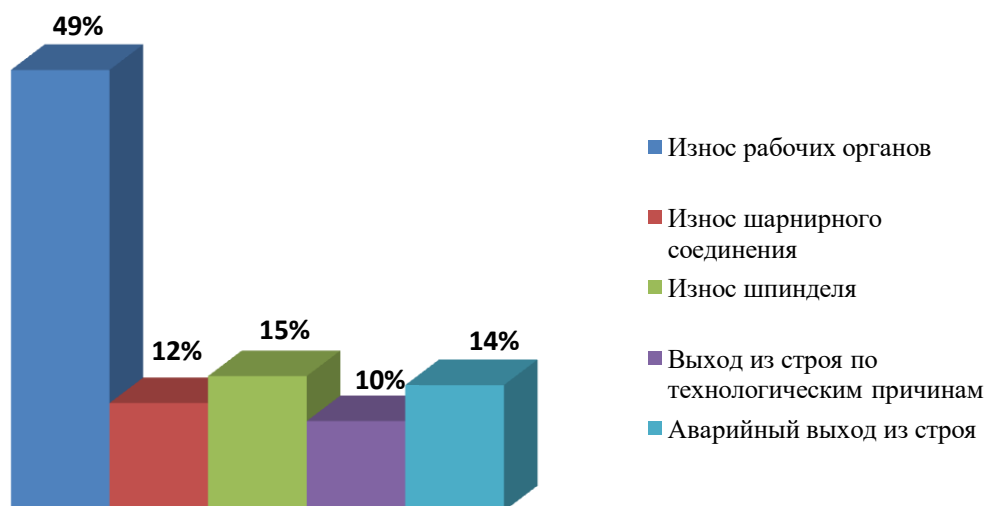


Рисунок 4 - диаграмма причин выхода ВЗД из строя

Кроме того было установлено, что износ рабочей пары составляет 45% через 100 часов работы двигателя. Из них наиболее интенсивный износ резиновой оболочки статора приходится на первые 60-80 часов работы в

скважине. Причины кроются в повышенном начальном диаметральном натяге, прочностных характеристиках взаимодействующих поверхностей рабочей пары (резина-сталь), а также в увеличении механических и гидравлических сопротивлений в рабочих органах при наработке винтовых поверхностей под действием радиальных сил [18]. Дополнительные спускоподъёмные операции вследствие этого приводят к увеличению затрат времени на строительство скважины на 5–10 %.

1.6 Анализ причин износа резиновой обкладки статора

При эксплуатации ВЗД рабочие органы подвергаются различным видам износа: гидроабразивному, фрикционному, усталостному, а также при воздействии повышенных температур и давлений – эрозионному и коррозионно-механическому [22, 28].

Основными причинами разрушения резиновой обкладки статора на основании данных с производства выделяют следующие:

- перегрузка двигателя крутящим моментом из-за повышенного перепада давления промывочной жидкости в РО;
- усталостное разрушение резиновой обкладки статора;
- износ рабочих поверхностей статора и ротора.
- разрушение эластомера под действием термического воздействия;

Во время торможения двигателя при действии очень большого перепада давления в рабочих органах, прихватах долота, нарушении технологии бурения происходит большая деформация зубьев резиновой обкладки статора, которая может привести к возникновению напряжений, превышающих предел прочности резины, ведущие к ее вырыванию (рисунок 5).



Рисунок 5 – Вид обкладки статора после вырывания резины

Износ рабочих поверхностей статора и ротора в процессе эксплуатации двигателя неизбежен. Однако по причине множества факторов износ может быть многократно ускорен и выход двигателя из строя произойдет раньше паспортного межремонтного периода. К таким факторам, негативно влияющим на ресурс рабочей пары и эластомер ВЗД, выделяют: агрессивный состав бурового раствора (высокое содержание углеводородной фазы, солей и др.); не соответствие температуры эксплуатации эластомера на забое, высокое содержание частиц абразива и твердой фазы [18, 6]. На рисунке 6 приведен пример износа элементов рабочей пары двигателя.

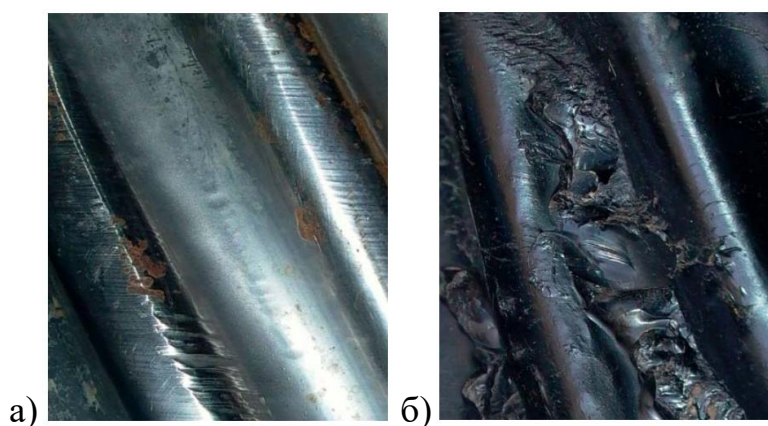


Рисунок 6 – Износ поверхностей рабочей пары: а) ротора; б) обкладки статора

Так же агрессивная среда помимо прямого действия на резиновую обкладку оказывает косвенное воздействие через износ ротора. Абразивный износ поверхности и действие агрессивной среды служат катализатором

процесса коррозии ротора ВЗД, который в результате износа начинает резать эластомер рисунок 7.



Рисунок 7 – Коррозионный износ ротора

Резина является вязкоэластичным материалом, часть механической энергии деформации преобразуется в тепловую энергию. Под действием постоянных циклических нагрузок со стороны ротора в эластомерной обкладке статора возникает эффект гистерезиса. Под действием этого эффекта после каждого цикла происходит выделение тепла. Тепло аккумулируется в центре резинового зуба статора, вследствие низкой теплопроводности резины и плохого отвода тепла к металлическому остову статора [1]. На рисунке 8 представлено распределение температур, полученное в результате исследований фирмой «Радиус-Сервис». Условия, при которых были получены данные значения температур следующие: расход промывочной жидкости 35 л/с, температура раствора 60 °С, перепад давления на двигателе 45 кгс/см², время испытания 30 минут.

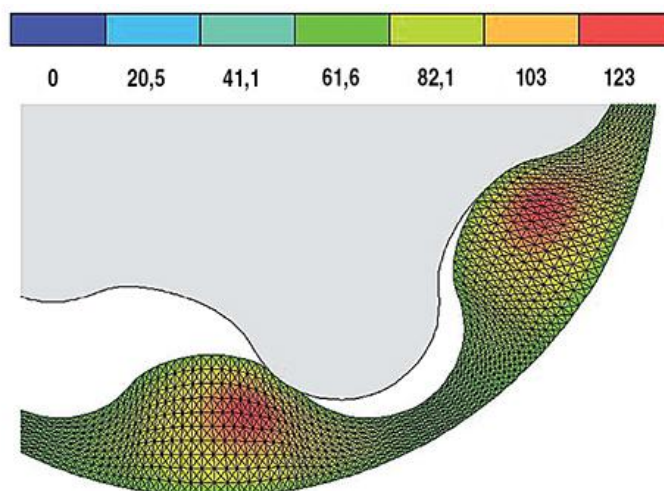


Рисунок 8 – Распределение температур при работе двигателя в резиновой обкладке статора

Из-за высоких температур в зубьях эластомерной обкладки резина начинает терять свои упругие свойства и становится хрупкой, после чего в ней могут образовываться трещины, которые разрастаются и приводят к отрыванию зуба. Результат самонагрева резиновой обкладки в поперечном сечении приведен на рисунке 9. [1]

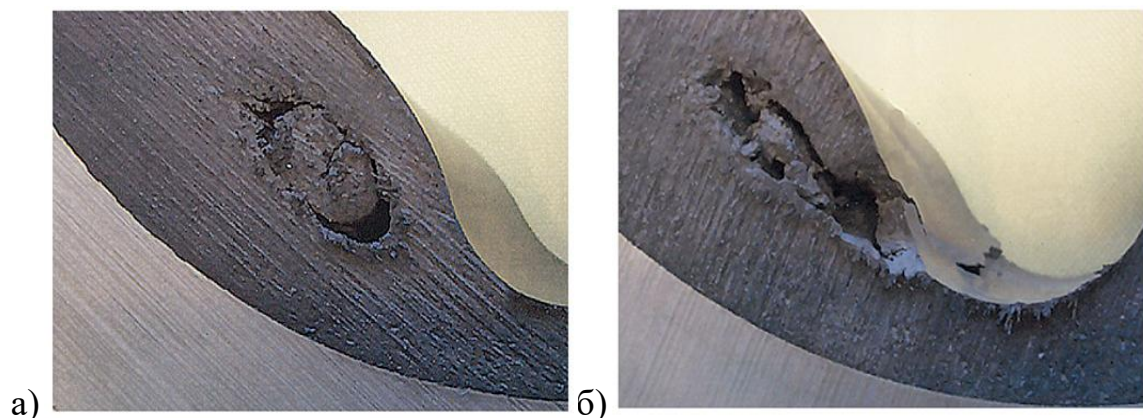


Рисунок 9 – а) начало разрушения эластомерной обкладки в центре зуба; б) развившееся разрушение резины

Еще одним фактором, негативно влияющим на срок службы двигателя, является неправильно подобранный диаметральный натяг при вулканизации резины, а так же его изменение в процессе наработки. Строго говоря, натяг оказывает влияние на рабочий объем винтового забойного двигателя. При слишком высоком натяге, напряжения в резине и потери трения значительно увеличиваются, и срок службы статора снижается. Низкие значения диаметрального натяга в результате износа приводят к значительному снижению КПД двигателя [10, 13].

Таким образом, на сегодняшний день существует множество проблем приводящих к преждевременному выходу эластомерной обкладки ВЗД из строя. Все перечисленные проблемы в совокупности требуют качественных методов решения.

1.7 Работы других исследователей по решению проблемы повышения ресурса наработки рабочей пары ВЗД

Балденко Д.Ф. и Коротаев Ю.А. в своих работах рассматривают различные направления по усовершенствованию конструкции ВЗД и увеличению моторесурса: увеличение длины рабочей пары; уменьшение массы ротора; применение статора с равномерной толщиной эластичной обкладки; оптимизация геометрических и конструктивных параметров рабочих органов; выбор резин других марок для изготовления эластомера [2].

Коротаев Ю.А. в диссертации "Исследование и разработка технологии изготовления многозаходных винтовых героторных механизмов гидравлических забойных двигателей" [19] и в статье "Современное состояние и перспективы развития отечественных винтовых забойных двигателей" [6] определил основные направления развития конструкции ВЗД. Они связаны с повышением нагрузочной способности двигателей, износостойкости деталей и узлов, увеличением межремонтного периода эксплуатации. Разрабатываемые пути повышения износостойкости пары трения «ротор-статор» направлены на совершенствование статоров с эластомерной обкладкой равной толщины и секционированием, увеличение активной части рабочих органов. За счет снижения максимальной толщины резиновой обкладки статора уменьшается количество вырабатываемого тепла, что приводит к минимизации усталости эластомера, обусловленной эффектом гистерезиса, а натяг в соединении «ротор-статор» меньше зависит от набухания эластомера и температуры [2, 3, 6, 26]. При этом такие мероприятия не всегда эффективны и влекут за собой снижение технологичности использования и значительно усложняют процесс изготовления, особенно малогабаритных ВЗД.

Осипов Д.А. в своей диссертационной работе "Гидромеханическое поведение и усталостная выносливость секции рабочих органов винтового забойного двигателя" [24] выделяет наиболее важным фактором, влияющим на срок службы статора - натяг в секции рабочих органов [8, 15]. Оптимальный

выбор натяга обеспечивает баланс между КПД двигательной секции, потерями на трение и сроком службы статора [24]. Увеличением натяга приводит к снижению объемных потерь и возрастанию механических. Строго говоря, натяг оказывает влияние на рабочий объем винтового забойного двигателя. При слишком высоком натяге, напряжения в резине и потери трения значительно увеличиваются, и срок службы статора снижается [10, 13, 14].

В настоящее время натяг в рабочей паре регулируется путем изготовления соответствующего сердечника пресс - формы и селективной сборкой рабочей пары [3]. В работе Шулепова В.А. [29] отмечается, что зубья статора вследствие наличия погрешностей профиля часто получаются тоньше номинальных, возникают погрешности натяга в зацеплении, что приводит к уменьшению запаса статора на износ и его выносливость. Это в свою очередь снижает долговечность героторного механизма. Решение проблем усовершенствования конструкции двигательной секции и повышения срока службы винтового забойного двигателя автор видит предложенном в своей работе методе неразрушающего контроля профиля статора по сердечнику пресс - формы. Данный метод дает возможность сделать оценку влияния погрешности изготовления на усталостную выносливость любого статора в условиях эксплуатации, а также провести корректировку профиля сердечника пресс-формы с учетом предполагаемой усадки резины для формирования обкладки статора. В конечном итоге появляется возможность подбора натяга, обеспечивающего оптимальный срок службы статора [29].

Также ведется разработка и реализация способа автокомпенсации износа в рабочих органах ВЗД. Карапетов Р.В. в работе "О возможности повышения износостойкости рабочих органов винтовых забойных двигателей за счет реализации эффекта автокомпенсации износа" [17] в основе предлагаемого способа выделяет использование, активированного трением, диффузионного взаимодействия эластичного материала статора с рабочей жидкостью с целью восстановления натяга в паре за счет изменения размера резинового элемента без вмешательства в работу гидромашины [17].

Фуфачев О.И. в статье "К вопросу повышения эксплуатационных характеристик винтовых забойных двигателей" [28] одним из возможных направлений повышения эксплуатационных и энергетических характеристик винтового забойного двигателя видит в совершенствовании конструкции статора за счет модернизации его эластомерного слоя, который формирует внутреннюю винтовую рабочую поверхность. В настоящий момент в конструкции винтовых забойных двигателей применяются статоры с цельнорезиновыми винтовыми зубьями. При действии температуры и давления бурового раствора внутри статора с цельнорезиновым зубом происходит искажение геометрий циклоидального профиля резиновой обкладки, что приводит к изменению натяга и расчетной геометрии зацепления в паре. Согласно расчетным работам Зотина В.Н. [14, 15], несоответствие расчетной геометрии зубчатого-зацепления в рабочих органах ВЗД вызывает высокий уровень объемных утечек промывочной жидкости, рост механических потерь на трение, саморазогрев резиновой обкладки. Все эти факторы в совокупности приводят к снижению КПД двигателя и сокращению его срока эксплуатации [28].

У статоров стандартной конструкции существует проблема аккумуляция тепла в центре резинового зуба статора в результате циклических нагрузок. В работе Плотникова "Тепловой расчет резиновой обкладки статоров винтовых забойных двигателей" [26] показано, что отвод тепла от обкладки стандартного статора в зоне максимальных деформаций винтового зуба недостаточен. Разогрев эластомера ухудшает его упруго-эластичные и физико-механические свойства, приводит к снижению долговечности и прочности. Перегрев резинового зуба статора может привести к термическому разрушению эластомерной обкладки

В статье Андоскина В.Н. Винтовые забойные двигатели фирмы «Радиус-Сервис» [1] говорится о том, что в результате проведенных опытно-конструкторских работ была освоена и разработана технология изготовления монолитной конструкции профилированного остова статора с равномерной

толщиной резиновой обкладки. Остов статора представляет собой стальную трубу с профилированной внутренней поверхностью. Внутренний профиль остова выполнен таким образом, чтобы обеспечить равномерную толщину эластомерной обкладки в пределах 5 – 12 мм, в зависимости от габарита забойного двигателя. Постоянная толщина резиновой обкладки статора существенно повышает энергетическую характеристику двигателя и его срок эксплуатации.

Зубья статора, образуя замкнутые винтовые полости, имеют одновременный контакт со всеми зубьями ротора. Голдобин Д.А. отметил, что в результате переносного вращения ротора появляется центробежная сила, которая прижимает ротор к обкладке статора. Эта сила при высокой частоте переносного вращения приводит к интенсивной поперечной вибрации, отрицательно влияющей на долговечность рабочей пары и двигателя в целом. В связи с этим выделяется еще одно направление повышение срока службы двигателя - снижение массы ротора для минимизации влияния инерционных нагрузок на зубья статора. Опыт изготовления винтовых забойных двигателей ООО «ВНИИБТ – Буровой инструмент» показывает, что массу ротора можно значительно уменьшить за счет использования тонкостенных стальных оболочек, получаемых методом пластического деформирования [11].

Разработанная впервые в мире под руководством А.М.Кочнева в Пермском филиале ВНИИБТ уникальная малозатратная технология изготовления из тонкостенных трубных заготовок винтовых оболочек позволяет использовать их для изготовления армированных статоров и облегченных роторов [21, 22]. Однако выяснилось что исследования по изготовлению армированных статоров с применением тонкостенных винтовых оболочек методом гидроштамповки ни за рубежом, ни в нашей стране не проводились. Технология и конструкция изготовления облегченных роторов была исследована недостаточно, в результате при производстве не обеспечивалась требуемая точность профиля зубьев, а применяемое оборудование не позволяло изготавливать винтовые оболочки различного

диаметра. Формующие сердечники быстро выходили из строя из-за низкой износостойкости зубьев. Все это сдерживает внедрение ВЗД новых конструкций с армированными статорами и облегченными роторами [21, 22].

Так же существует направление увеличения срока службы эластомерного слоя винтового забойного двигателя путем совершенствования режимов вулканизации резины. В патенте Коротких Н.И. и Коротаева Ю.А. [12] предложен способ вулканизации резиновой смеси ИРП-1226.

В процессе конструирования винтовых забойных двигателей рассматривались возможности использования в качестве обкладки статора различных материалов, однако эластомер оказался практически единственным, отвечающим как условиям эксплуатации, так и технологии изготовления [2]. Эластомер как технический материал отличается высокими эластичными свойствами, которые присущи каучуку - главному исходному компоненту резиновых композиций. При нормальной температуре эластомер находится в высокоэластичном состоянии, и его эластичные свойства сохраняются в широком диапазоне температур [23]. Однако в процессе эксплуатации винтового забойного двигателя разогрев эластомера, который происходит вследствие многократных циклических деформаций зубьев обкладки статора, является одной из главных причин разрушения резины. Балденко Д.Ф. в работе "Винтовые гидравлические машины. Том 2. Винтовые забойные двигатели" отметил, что для образцов ИРП-1226 экспериментально установлено: повышение температуры эластомера вследствие самонагрева и забойных условий, приводит к уменьшению статического модуля упругости на 25% при температуре 77° С. В то же время происходит снижение усталостной выносливости, что ведет к сокращению моторесурса двигателя при циклических нагрузках. Это объясняется влиянием температуры на структурные изменения в резине. При температуре самонагрева выше 165° С начинается деструкция эластомера ИРП-1226, которая сопровождается интенсивным газовыделением [2].

Так же в своей работе [2] Балденко Д.Ф. подчеркивает, что эластомерные изделия, так же как и большинство других материалов, работают в определенной среде. Даже та среда, которую считают привычной для живых организмов (воздух, атмосферные воздействия) не является инертной для эластомеров. Поэтому стойкость эластомеров к воздействию агрессивных сред является одним из главных показателей. Исследование условий эксплуатации рабочей пары показывает, что она работает в весьма сложных условиях, поэтому при проектировании ВЗД выбор эластомера для обкладки статора является одним из наиболее важных параметров.

В книге Корнева А.Е. "Технология эластомерных материалов" [23] выделяется физическое и химическое взаимодействие эластомера при его эксплуатации с агрессивной жидкой или газообразной средой. Физически агрессивные среды вызывают обратимые изменения свойств материала после удаления среды при отсутствии механического повреждения материала - это химически инертные углеводороды и их производные, используемые в качестве растворителей, масел, топлив, гидротормозных жидкостей и т.п. Химически агрессивные среды вызывают необратимые изменения структуры полимера - сульфидирующие, фторирующие агенты, водные растворы солей, альдегиды, амины, галогены и др. В химически агрессивных средах химическая стойкость резин обусловлена, прежде всего, типом каучука. Такое разделение условно: многие среды, например ряд органических кислот, могут быть одновременно химически и физически агрессивными средами, а возможность протекания химических реакций зависит от реакционной способности полимера и среды, температуры, давления и др.

Под влиянием агрессивной среды протекает химическая деструкция, сопровождающаяся разрывом химически нестойких связей и изменением молекулярной массы (ММ) полимера. При этом могут происходить следующие изменения в макромолекулах [22]:

- разрушение основной цепи макромолекул на части с меньшей ММ;

- деполимеризация (отщепление от конца макромолекулы молекулы или группы молекул мономера);
- превращение (внутренняя перегруппировка) группы атомов в составе макромолекулы при сохранении исходной степени полимеризации;
- структурирование (образование химических связей между макромолекулами) и др.

Большинство эластомеров способны «впитывать» в себя газы и легкие агрессивные жидкости. Эти свойства характеризуются величиной набухания эластомеров в определенных средах, которое оценивается в процентном изменении объема или массы. При отрицательных значениях этих величин следует говорить об экстракции или вымывании ряда веществ из эластомера чаще всего пластификатора [2]. Набухание эластомеров в растворителях зависит от их растворимости и в химически агрессивных средах может вызвать необратимые изменения механических свойств эластомера, таких как прочность и упругость за счет ослабления межмолекулярных связей. Как правило, долговечность резин снижается тем значительно, чем больше величина набухания.

Кроме того, в статье Епихина А.В., Мельникова В.В. "Исследование влияния дизельного топлива на резину эластомера винтового забойного двигателя в температурном интервале 25–90°С" отмечается, что набухание обкладки статора приводит к снижению коэффициента полезного действия винтового забойного двигателя за счет образования чрезмерно большого диаметрального натяга рабочей пары. Для работы двигателя потребуется создание большего момента, что в совокупности с падением упругости резины, приведет к быстрому разрушению эластомера [13]. При воздействии статических нагрузок на набухший эластомер происходит его более быстрый износ из-за снижения упругости и прочности. Также набухание негативно сказывается на устойчивости к циклическим нагрузкам вследствие снижения усталостной выносливости резины.

При эксплуатации резин в жидких средах помимо набухания одновременно протекают несколько процессов:

- вымывание из резины низкомолекулярных добавок - пластификаторов, стабилизаторов и др.;
- сшивание и деструкция макромолекул при повышенной температуре или химическом воздействии со средой;
- превращение пространственной сетки под воздействием химически агрессивной жидкости. [23]

В статье Бобров Б.С. и Виноградов О.С. "Деформативность термопластичных материалов при малоцикловом нагружении" [8] выделяют одной из главных особенностей эластомеров их способность существенно изменять механические свойства под воздействием внешних факторов механического и немеханического характера. Данные изменения зависят от соответствующих изменений структуры полимера и могут носить обратимый и необратимый характер.

Существенное изменение механических свойств эластомеров может происходить даже при кратковременной деформации. При этом одновременно с обратимыми могут протекать и необратимые изменения. Необратимые изменения могут быть следствием ряда химических и механохимических процессов. Они активируются механическим напряжением и приводят к довольно глубоким изменениям структуры. Необратимое разрушение структуры под воздействием механических сил тем больше, чем ниже скорость процессов релаксации. Это приводит к соответствующим изменениям свойств и структуры эластомера при многократных деформациях [8].

Воздействие тепла следует выделить одним из немеханических факторов, оказывающих влияние на свойства резины [26]. При кратковременном воздействии оно приводит к обратимым изменениям свойств и структуры, связанных с повышением энергии теплового движения. Одновременно с этим, продолжительное воздействие тепла может вызвать необратимые изменения. Особенно интенсивно они протекают в химически активных средах (кислород,

озон и др.). Необратимые изменения происходят также под влиянием влаги, различных видов источников излучения, света или суммарного воздействия всех этих факторов, например, при эксплуатации или хранении резины в атмосферных условиях. Данные необратимые изменения свойств и структуры полимеров называются старением.

При контакте полимеров с агрессивными средами происходит химическая деструкция. Она представляет собой сложный физико-химический процесс, включающий диффузию агрессивной среды в полимеры и последующие реакции превращения химически нестойких связей. Знание механизма деструкции полимеров в агрессивных средах позволяет прогнозировать эксплуатационные свойства полимерных изделий при контакте с агрессивными средами, а также находить способы увеличения стойкости резины к механическому износу.

На протяжении многих лет для изготовления эластомерной обкладки статоров отечественных винтовых забойных двигателей используется маслостойкая резиновая смесь ИРП-1226 повышенной износостойкости на основе бутадиен-нитрильного каучука. Анализ требований, предъявляемых к резиновой обкладке статора, показывает, что отечественная промышленность не располагала резинами, в полной мере удовлетворяющим условиям эксплуатации винтового забойного двигателя. В наибольшей степени по физико-механическим показателям удовлетворяет указанным требованиям резина ИРП-1226, которая была принята в качестве материала обкладки статора первых отечественных винтовых двигателей и применяется в настоящее время. Однако сейчас ИРП-1226 стала терять свою актуальность в связи с рядом причин [6]: низкая усталостная выносливость и морозостойкость; недостаточное время подвулканизации и высокая вязкость не позволяют ее качественно использовать в связи с возникшей потребностью увеличения длины рабочих органов винтового забойного двигателя; низкая устойчивость под воздействием высоких температур и при работе в агрессивных средах современных буровых растворах, в особенности на углеводородной основе.

Проблему разработки новых марок резиновых смесей для статора винтовых забойных двигателей рассматривала Коротких Н.И. в диссертационной работе "Разработка эластомерных композиций для буровой техники" [20]. В результате были разработаны составы резиновых композиций, обеспечивающие повышение надежности и долговечности статоров винтовых забойных двигателей и позволяющие применять ВЗД при строительстве высокотемпературных скважин. Однако результаты работы требуют проведения большого числа промышленных испытаний, для подтверждения эффективности применимости новых резиновых смесей и повышения срока службы двигателей в условиях эксплуатации. Следует отметить, что разработка новых эластомеров все же осуществляется недостаточно продуктивно [2, 6]. Проведение промысловых испытаний по применимости в конкретном двигателе той или иной марки резиновой смеси, не всегда целесообразны с экономической точки зрения.

1.8 Решения проблемы преждевременного износа рабочих органов ВЗД

На основании анализа работ различных исследователей по этой тематике в настоящее время исследуются следующие способы увеличения срока службы рабочей секции ВЗД:

1. Профилированный статор. За счет снижения максимальной толщины эластомерной обкладки статора уменьшается количество вырабатываемого и сохраняемого тепла. В совокупности это приводит к минимизации усталости эластомера, обусловленной эффектом гистерезиса. При тех же условиях проведения испытаний, что и для стандартной обкладки, фирмой «Радиус-Сервис» было зафиксировано общее снижение температуры обкладки статора. Температура в зубьях статора после 30 минут работы снизилась со 123 до 96 °С (рисунок 10).

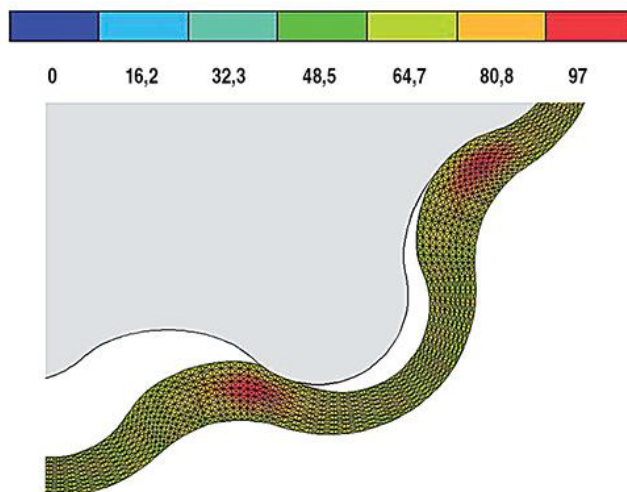


Рисунок 10 – Распределение температур при работе двигателя с профилированным статором

2. *Снижение массы ротора* приведет к минимизации влияния инерционных нагрузок на зубья статора. Масса ротора может быть значительно уменьшена за счет применения в процессе изготовления тонкостенных стальных оболочек.

3. *Совершенствование режимов вулканизации резины* позволит по сравнению со стандартным режимом вулканизации обеспечить повышение долговечности и надежности статоров за счет введения гибких режимов вулканизации и получения только положительных (соответствующих нормативным требованиям) свойств резиновой обкладки статора.

4. *Совершенствование геометрии рабочих органов ВЗД.* К данному пути решения относятся, увеличение активной части рабочих органов ВЗД, сохранение первоначального диаметрального натяга и его соответствие в процессе изготовления расчетному значению. Это позволит снизить напряжения, возникающие в резине во время работы двигателя, и сохранить КПД.

5. *Разработка новых марок резиновых смесей для статора винтовых забойных двигателей* позволит улучшить технические характеристики резиновых смесей и их износостойкость, следовательно, добиться увеличения ресурса работы самого двигателя.

Однако данные мероприятия, как было отмечено выше, не всегда эффективны и требуют повышения технологичности процесса изготовления рабочих органов забойных двигателей, что влечет за собой дополнительные материальные затраты. Так же использование данных способов не представляет возможным повышение ресурса уже изготовленных двигателей.

Под руководством старшего преподавателя Епихина А.В. студенты Томского политехнического университета установили, что при выдерживании образцов резины ИРП-1226 в растворе хлорида натрия был зафиксирован рост износостойкости на режущее воздействие и трение относительно образцов, выдерживавшихся в воде и образцов, не подвергавшихся никакой обработке. На основании этого было сформировано предположение, что обработка резиновой обкладки рабочей пары растворами солей может привести к ее армированию и повышению срока эксплуатации винтовых забойных двигателей. Данный путь увеличения срока эксплуатации предполагает совершенствование уже изготовленных резиновых смесей, добавляя в их структуру упрочняющие элементы – кристаллы соли.

Из цели научно исследовательской работы и проведения литературного обзора были поставлены следующие задачи:

- Определение разницы в скорости износа необработанных образцов резиновой смеси ИРП-1226 на износ трением и резанием и после их обработки в пяти различных растворах солей хлоридов;
- Обработка полученных экспериментальных данных;
- Исследование изменения структуры образцов после их обработки в растворах солей под действием температуры;
- Формулирование выводов по проделанной исследовательской работе

Выполнение поставленных задач позволит сделать вывод об эффективности данного пути повышения ресурса наработки рабочей пары винтового забойного двигателя и предложить дальнейшие направления исследований по повышению износостойкости эластомеров.

2 Методы исследований

2.1 Экспериментальная часть

На сегодняшний день из-за стремительного развития строительства горизонтальных и наклонно-направленных скважин, а также бурения боковых стволов объемы бурения с использованием винтового забойного двигателя (ВЗД) в России постоянно наращиваются. В настоящее время удельный вес проходки с применением ВЗД составляет порядка 70%. Успешное применение винтовых забойных двигателей обусловлено, прежде всего, их уникальными энергетическими и техническими характеристиками, такими как жесткая характеристика работы двигателя и большой удельный момент.

Одним из существенных недостатков ВЗД является его низкий ресурс работы. На основании опыта применения ВЗД в бурении и капитальном ремонте скважин различными буровыми компаниями было установлено, что нарушение работоспособности двигателя в 45% случаев наступает по причине износа резиновой обкладки рабочей пары. Дополнительные спускоподъемные операции вследствие этого приводят к увеличению затрат времени на строительство скважины на 5–10 %.

Основные исследуемые направления повышения ресурса эластомерной обкладки на сегодняшний день следующие - это изменение геометрии рабочих органов ВЗД, снижение массы ротора, совершенствование режимов вулканизации резины, профилированный статор, разработка новых марок резиновых смесей для статора винтовых забойных двигателей.

В данной работе предполагается увеличение срока эксплуатации резиновой обкладки статора за счет разработки рецептур растворов, позволяющих снизить агрессивное воздействие бурового раствора на эластомер и увеличивающих стойкость эластомерной обкладки к механическому износу со стороны ротора и частиц твердой фазы.

В строении резина имеет открытые поры. Поэтому в результате выдержки резины в агрессивной среде под термическим воздействием можно добиться ее

набухания и использование порового пространства для ее армирования, повысив износостойкость рабочей пары.

Целью работы является разработка рецептуры раствора для обработки эластомерной обкладки винтового забойного двигателя для увеличения межремонтного срока эксплуатации.

Объект исследования – образцы после обработки в пяти различных растворах хлоридов солей износостойкой резиновой смеси ИРП-1226, использующейся для производства обкладок статора большинства отечественных винтовых забойных двигателей.

Предмет исследования – изменение износостойкости эластомерной обкладки статора винтового забойного двигателя после обработки в растворах различных солей.

Резиновая смесь ИРП-1226 представляет собой маслостойкую резиновую смесь повышенной износостойкости. Технические характеристики смеси ИРП-1226 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики резиновой смеси ИРП-1226

	тип каучука	температура эксплуатации	твёрдость ед. по Шору	условная прочность, МПа	относительное удлинение на разрыв, %
ИРП-1226	Бутадиен-нитрильный каучук (БНКС)	от -20 до 100	70-80	9,8	125

2.2 Лабораторный стенд для испытания образцов на трение и режущее воздействие

Во время испытания образцов на трение и резание имитация работы силовой секции двигателя в среде бурового раствора проводилась с использованием вертикального сверлильного станка рисунок 11. Режим работы был установлен на 180 об/мин.



Рисунок 11 – Вертикальный сверлильный станок Prota E-1516B/230

Фиксация образцов, а так же их нахождение в среде полимер глинистого раствора во время проведения опытов проводилась при помощи металлического стакана рисунок 12. Образец резины устанавливался на дно стакана, и прикручивание цилиндрической крышки-зажима надежно предотвращало поперечные и вращательные перемещения образца во время испытаний на трение и режущее воздействие.

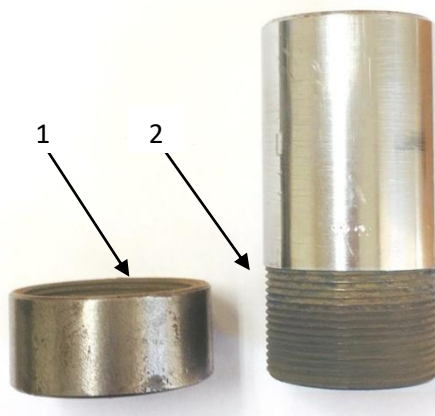


Рисунок 12 – Металлический стакан для фиксации образцов: 1 – дно стакана для установки образца, 2 – цилиндрическая крышка-зажим

Для имитации нагрузки трения возникающей в рабочей паре винтового забойного двигателя был использован металлический стержень с приваренной плоской насадкой диаметром 34 мм. Зазор между стенками стакана и насадкой стержня составляет 1 мм. Во время испытаний образцов резины стержень рисунок 13 закреплялся в шпиндель сверлильного станка.



Рисунок 13 – Стержень с плоской насадкой для испытания образцов на износ трением

Режущее воздействие на образцы резины обеспечивалось металлическим резцом рисунок 14. Длина режущей части, которая действует на образец резины, составляет 24 мм.



Рисунок 14 – Резец для испытания образцов на износ резанием

Таким образом, все элементы лабораторного стенда позволяют создавать циклическую вращательную нагрузку на образцы резины ИРП-1226. Возникающая нагрузка в металлическом стакане на образец со стороны инструмента имитирует трение и режущее воздействие в двигателе со стороны зубьев ротора на эластомерную обкладку двигателя.

2.3 Лабораторный стенд для исследования изменения структуры эластомера после обработки

Первичное исследование изменения структуры эластомера осуществляется с использованием бинокулярного микроскопа МБС-9 (рисунок 15). Каждый образец резины ИРП-1226 помещается на предметный столик,

освещение образца обеспечивается лампой накаливания, входящей в состав микроскопа. Увеличение окуляра составляет 8, объектива – 7, таким образом, общее увеличение микроскопа – 56.



Рисунок 15 – Бинокулярный микроскоп МБС-9

После первичного осмотра разрушенных и не подвергавшихся разрушению поверхностей образцов, были выявлены общие закономерности изменения структуры образцов в зависимости от времени выдержки. Для фиксирования полученных наблюдений далее использовался стереомикроскоп Leica EZ4, со встроенной в его конструкции фотокамерой (рисунок 16).



Рисунок 16 – Стереомикроскоп Leica EZ4 со встроенной камерой

Фиксирование изображений поверхностей образцов проводилось при общем увеличении микроскопа 350 (увеличение окуляра – 10, объектива – 35). Полученные фотографии выводились в программу LAZ EZ рисунок 17.

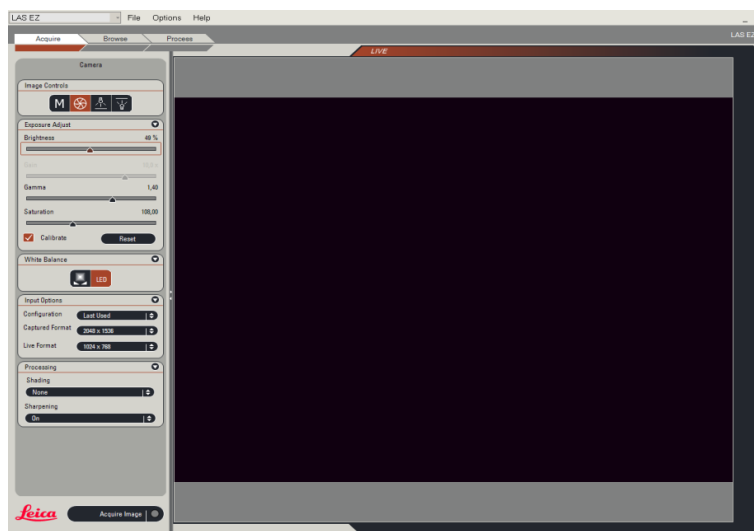


Рисунок 17 – Рабочее окно программы LAZ EZ для фиксирования изображения с микроскопа

2.4 Методика проведения исследований

Смысл эксперимента состоял в определении изменения износостойкости образцов резины ИРП-1226 на трение и износ в среде полимер глинистого бурового раствора после их обработки. Перед непосредственными испытаниями на трение и износ образцы выдерживались в пяти различных растворах солей хлоридов: NaCl, KCl, BaCl₂, MgCl₂, CaCl₂ в течении 5, 10, 15, 20 суток в печи (рисунок 18) при температуре 80° С.



Рисунок 18 – Сушильный шкаф ШС-80-01 для выдержки образцов при температуре 80° С

Концентрация соли каждого типа была выбрана до полного насыщения соляного раствора при температуре 80° С. Использованные на 100 мл воды количество грамм соли приведены в таблице 2.

Таблица 2 – концентрация солей на 100 мл воды, для насыщенного раствора при температуре 80° С

	NaCl	KCl	BaCl ₂	MgCl ₂	CaCl ₂
Масса соли г на 100 мл воды	38,1	50,9	52,2	65,8	147

На каждый раствор соли при различном времени выдержки образцов проводилось по 3 испытания на трение и резание, с целью получения более достоверных данных и возможности исключения грубых ошибок.

Для исследования изменения прочности эластомера на трение от времени выдержки была выбрана осевая нагрузка 8 кг, создаваемая подвешиваемыми грузами на рычаг управления сверлильного станка. В случае если разрушение не происходило в течение 5 минут, эксперимент для данного образца останавливался. Выбор этого времени обусловлен причиной закипания полимер глинистого раствора вследствие сильного нагрева поверхности взаимодействия образца резины и инструмента для имитации нагрузки трения.

Осевая нагрузка для имитации режущего воздействия в паре ротор-статор была выбрана 8 кг. Время воздействия на каждый образец составляло 1-1,5 минуты в связи с разной скоростью разрушения каждой серии образцов. В случае если один образец из серии получал критические разрушения сопровождающиеся вырыванием кусков резины, время на разрушение следующего образца сокращалось на 15 секунд. Это было сделано с целью получения более подробной информации о времени, с которого начинается процесс разрушения.

Испытание образцов на трение и износ резанием проводилось в среде полимер глинистого бурового раствора. Выбор данной среды обусловлен тем, что данный вид раствора является наиболее доступным и чаще всего применяется в практике строительства скважин. Состав раствора на 1 л воды:

- глинопорошок бентонитовый марки ПБМБ – 50 г.;
- полианионная целлюлоза (ПАЦ) – 2,5 г.

Полимер глинистый раствор для экспериментов замешивался в верхнеприводной мешалке Es-8300D рисунок 19. В емкость заливалось 2 литра воды, скорость вращения мешалки устанавливалась 1000 об/мин. Далее в емкость постепенно для предотвращения образования комков засыпалось 100 г бентонита и смесь перемешивалась в течение 20 минут. После постепенно добавлялась ПАЦ в количестве 5 г с целью сделать раствор более густым, и затем раствор так же перемешивался еще 20 минут.



Рисунок 19 – Верхнеприводная мешалка Es-8300D

Определение изменения структуры образцов эластомера после выдержки и испытания на износ проводилось с использованием двух бинокулярных микроскопов с увеличивающими способностями 56 и 350.

3 Результаты экспериментальных исследований

3.1 Результаты экспериментальных исследований изменения структуры эластомера после обработки

3.1.1 Необработанные образцы резины ИРП-1226

Увеличенное изображение образца резины ИРП-1226 не подвергавшегося предварительной термической обработке в среде соляного раствора представлено на рисунке 20. Поверхность образца чистая, блеск отсутствует.



Рисунок 20 – Поверхность реперного образца резины ИРП-1226

3.1.2 Влияние раствора NaCl на изменение структуры образцов

5 суток обработки

На внешней поверхности образца, которая не была подвержена разрушению, наблюдается невысокое содержание кристаллов соли в отдельных областях (рисунок 21а). В целом количество кристаллов соли на поверхности низкое.

В зоне разрушения наблюдается скопление крупных кристаллов соли (рисунок 21б). Поверхность разрушения образована вырыванием крупных кусков резины металлическим резцом. Блеск резины визуально такой же, как и у поверхности реперного образца, не подвергавшегося выдержке в растворе соли при повышенной температуре.

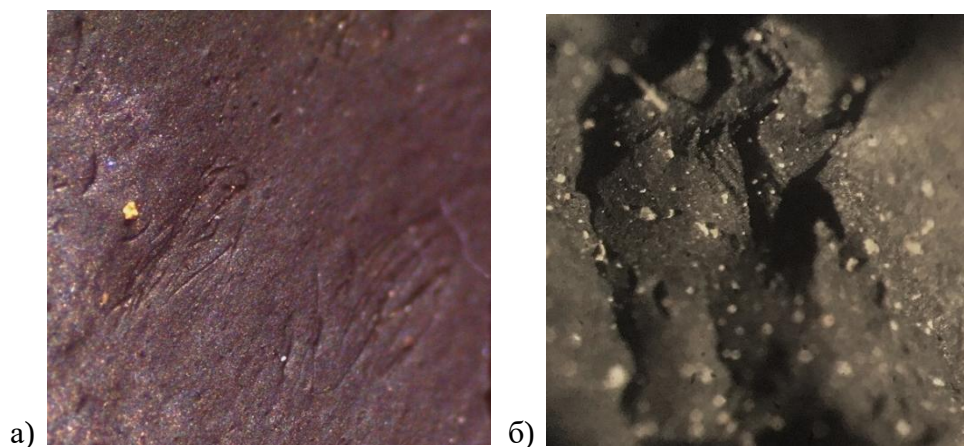


Рисунок 21 – NaCl 5 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения

10 суток обработки

В площади не подверженной разрушению, в отличие от образцов пяти дневной выдержки, наблюдается небольшое содержание невымытых кристаллов после разрушения в среде полимер глинистого раствора (рисунок 22а).

В площади зоны разрушения видны кристаллы соли, но менее ярко выражены, чем у пяти дневных образцов (рисунок 22б). Это объясняется тем, что при пяти дневной выдержке наблюдался вырыв резины. Просмотр осуществлялся с зоны вырывания, откуда кристаллы соли не вымывались.

В зоне скола (рисунок 22в) содержание крупных кристаллов соли меньше по сравнению с пяти дневными образцами. Это может объясняться их более интенсивным вымыванием в процессе испытания на износ резанием. Так же наблюдаются поры в самой резине, в которых содержатся кристаллы соли. Поверхность разрушения более грубая, содержит больше острых граней, что говорит о постепенной смене характера износа с режущего на скалывающий. Заметен большой блеск резины, чем у образцов с пяти дневной выдержкой и реперными образцами.

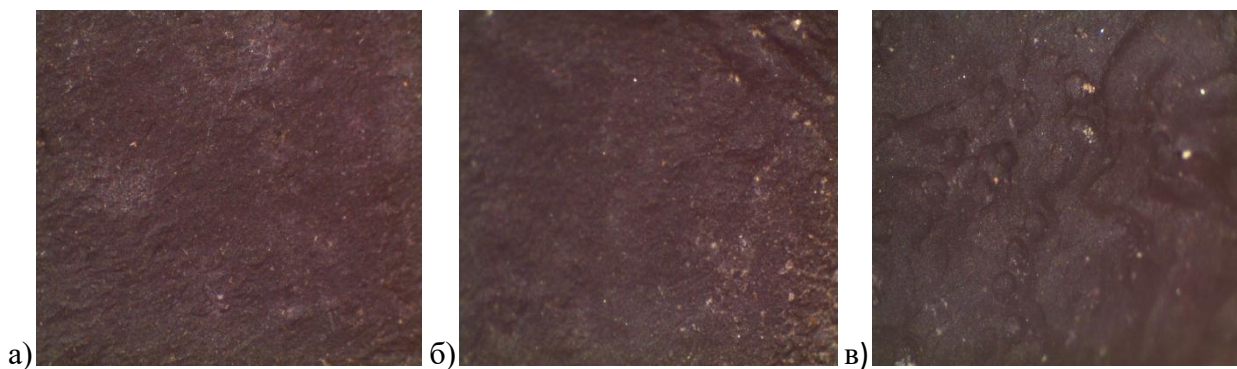


Рисунок 22 – NaCl 10 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения; в) в зоне скола

15 суток обработки

В площади не подверженной разрушению наблюдается более высокое содержание кристаллов соли на поверхности образцов по сравнению с образцами 10-ти дневной выдержки (рисунок 23а). Наблюдается больший блеск поверхности образца.

В площади разрушения по сравнению с 5 и 10 дневными образцами наблюдается значительное увеличение числа кристаллов соли и их размеров на поверхности эластомера (рисунок 23б).

В зоне скола (рисунок 23в) замечен рост количества и размеров кристаллов соли по сравнению с 5 и 10 дневными образцами. Разница в блеске поверхности не заметна. Характер разрушения схож с 10 дневными образцами – начинается преобладание скалывающего износа над режущим.

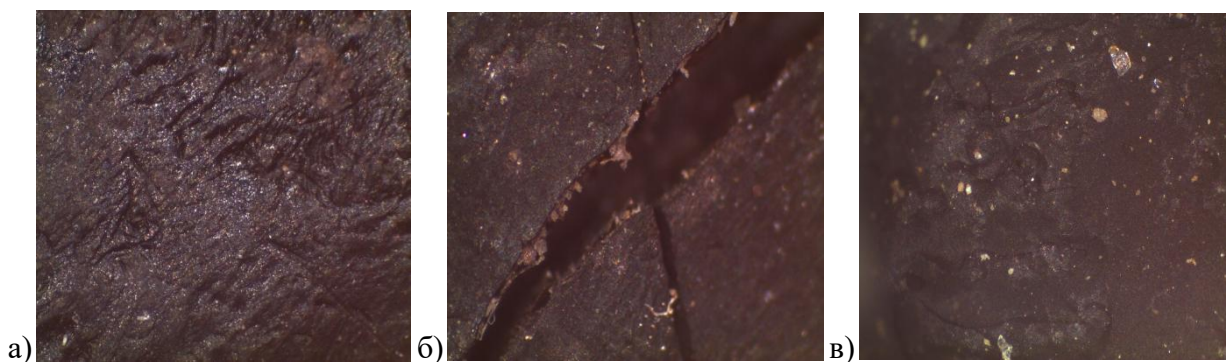


Рисунок 23 – NaCl 15 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения; в) в зоне скола

20 суток обработки

В зоне не подверженной разрушению, наблюдается сильный блеск поверхности эластомера по сравнению с образцами 5, 10, 15 дневной выдержки

(рисунок 24а). Наблюдается большее содержание кристаллов соли по сравнению с образцами предыдущих выдержек.

В зоне скола, так же как и у образцов 5, 10, 15 дневной выдержки, наблюдаются кристаллы соли. Однако резина имеет существенно больший блеск по причине более высокого содержания кристаллов соли различной степени дисперсности на образце (рисунок 24б). Поверхность разрушения гладкая и образована в результате скола небольших кусков резины.

В зоне трещины наблюдается скопление очень крупных кристаллов соли (рисунок 24в).

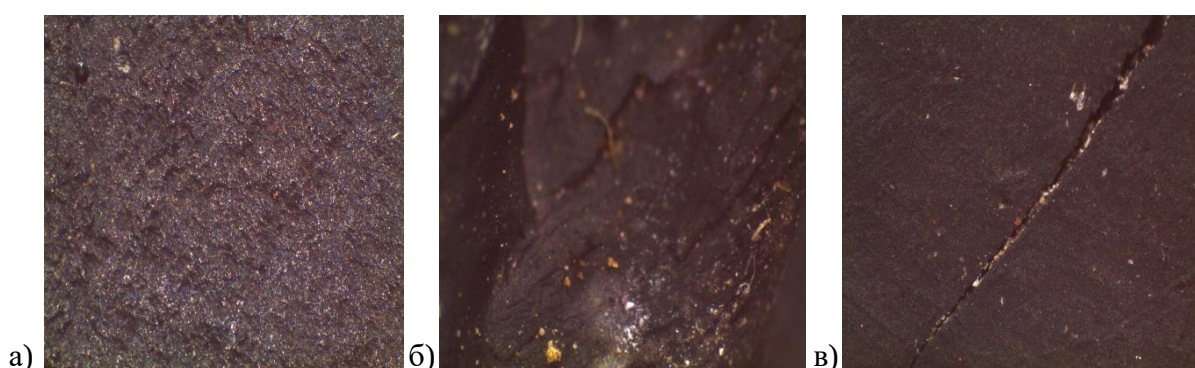


Рисунок 24 – NaCl 20 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне скола; в) в зоне трещины

Наблюдается тенденция роста количества кристаллов соли на поверхностях, не подвергавшихся испытаниям на износ трением и резанием с возрастанием времени выдержки образцов в среде раствора NaCl.

На поверхностях образцов подвергавшихся испытаниям наблюдается заметное увеличение блеска резины, а так же рост видимого количества кристаллов соли разного размера.

3.1.3 Влияние раствора KCl на изменение структуры образцов

5 суток обработки

На не разрушенной поверхности больше кристаллов соли, чем у NaCl и $MgCl_2$ при том же времени выдержки. Цвет поверхности эластомера более блестящий (рисунок 25а).

В зоне скола содержание крупных кристаллов соли примерно такое же, как и у образцов NaCl при 5 дневной выдержке (рисунок 25б).

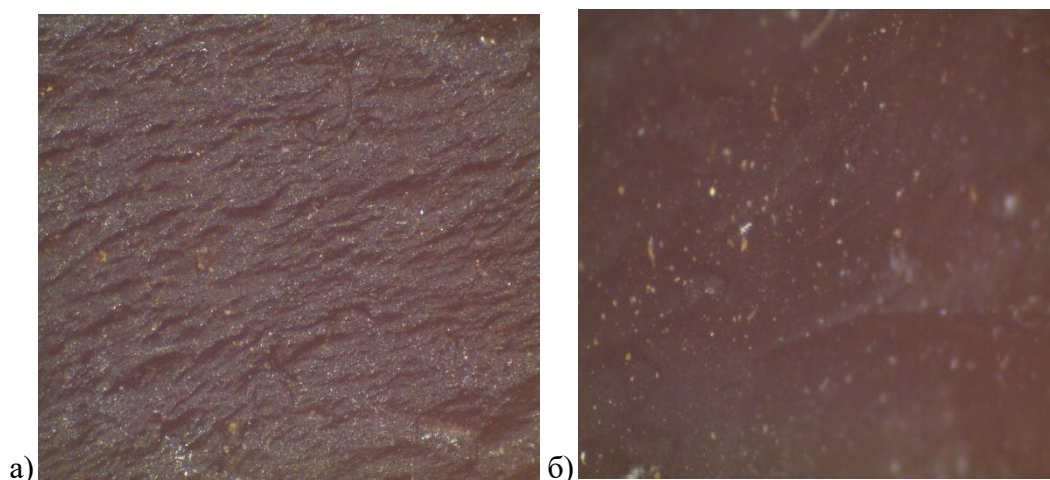


Рисунок 25 – KCl 5 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения

10 суток обработки

На не разрушенной поверхности визуально содержание кристаллов соли аналогично 5 дневным образцам, блеск поверхности эластомера примерно одинаковый (рисунок 26а).

На поверхности подвергавшейся износу кристаллов соли больше, чем у аналогичных образцов 5 дневной выдержке вне зоны скола (рисунок 26б).

В зоне скола (рисунок 26в) наблюдаются локальные скопления мелкодисперсных кристаллов соли. Заметен большой блеск поверхности образца. По содержанию острых граней в зоне скола характер разрушения начинает приобретать скалывающий характер.

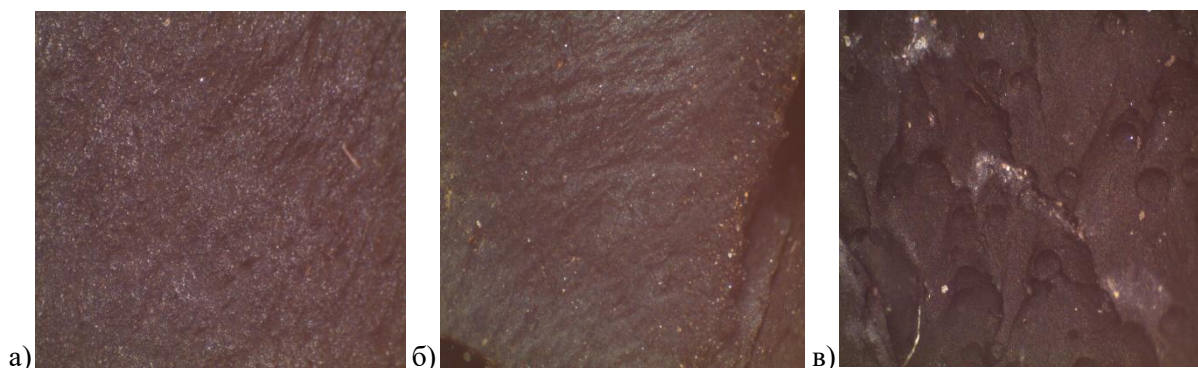


Рисунок 26 – KCl 10 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения

15 суток обработки

На не подвергавшейся воздействию поверхности эластомера заметно усиление блеска образца по сравнению с образцами 10 дневной выдержки. Видимые кристаллы соли не заметны (рисунок 27а).

В зоне разрушения заметны крупные кристаллы соли, а так же зоны налета кристаллов соли. Поверхность эластомера в сколе заметно менее блестящая, по сравнению с зоной, не подвергавшейся воздействию. Это может быть связано с тем, что кристаллы соли KCl проникают недостаточно глубоко внутрь образца, вследствие этого упрочнение происходило менее эффективно по сравнению с другими солями (рисунок 27б).

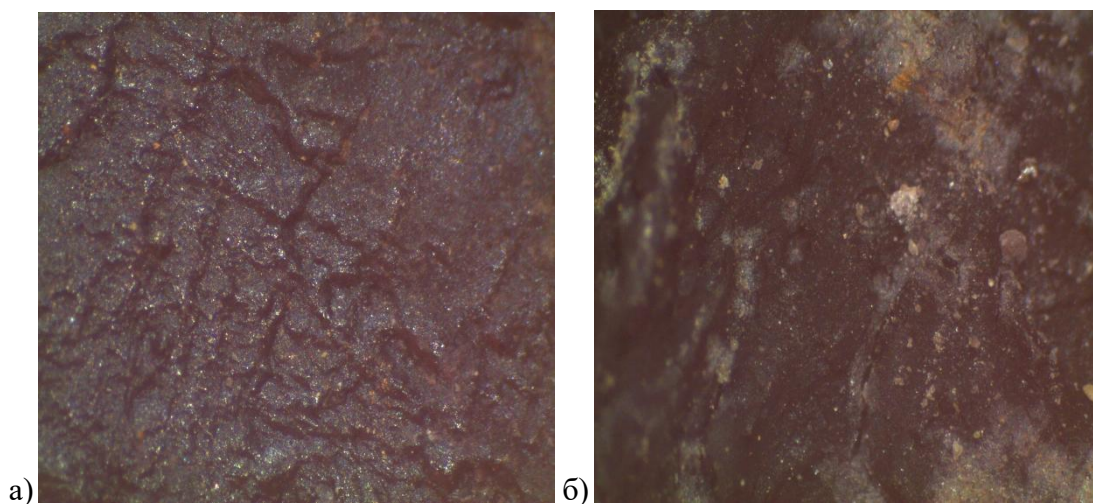


Рисунок 27 – KCl 15 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения

20 суток обработки

На поверхности, не подвергавшейся разрушению кристаллы соли не заметны. Образец более тусклый по сравнению с образцом KCl 15 дневной выдержки. Заметен сильный налет кристаллов соли на поверхности образца (рисунок 28а).

В зоне скола цвет образца более блестящий, чем у образца 15 дневной выдержки. Заметны крупные кристаллы соли (рисунок 28б).

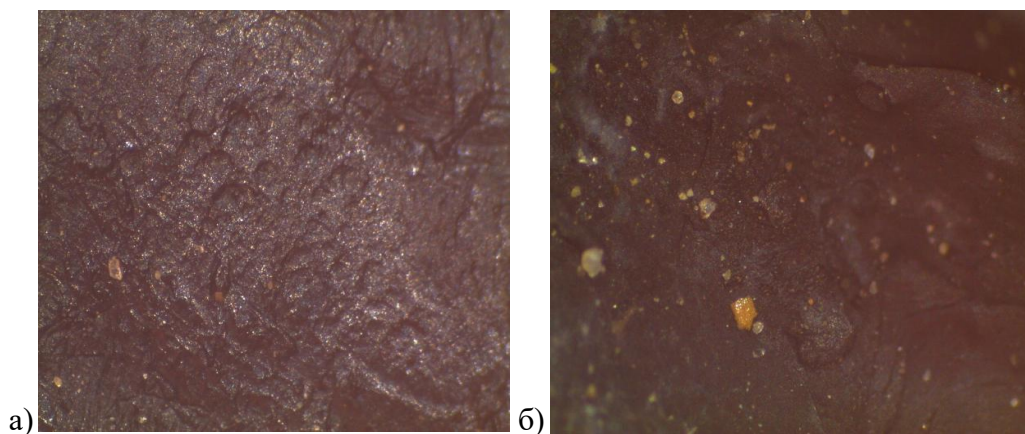


Рисунок 28 – KCl 20 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне скола

3.1.4 Влияние раствора $MgCl_2$ на изменение структуры образцов

5 суток обработки

В зоне образца неподверженной воздействию наблюдается небольшое содержание кристаллов соли (рисунок 29а). Блеск образца такой же, как у реперного.

В зоне скола, по сравнению с образцами NaCl 5 дневной выдержки, наблюдаются грубые кристаллы соли. Так же наблюдается более сильный блеск образца, указывающий на большее содержание мелкодисперсных кристаллов (рисунок 29б).

В зоне разрушения, где не произошел скол эластомера, содержание кристаллов соли примерно такое же, как и в зоне, не подвергавшейся разрушению (рисунок 29в).

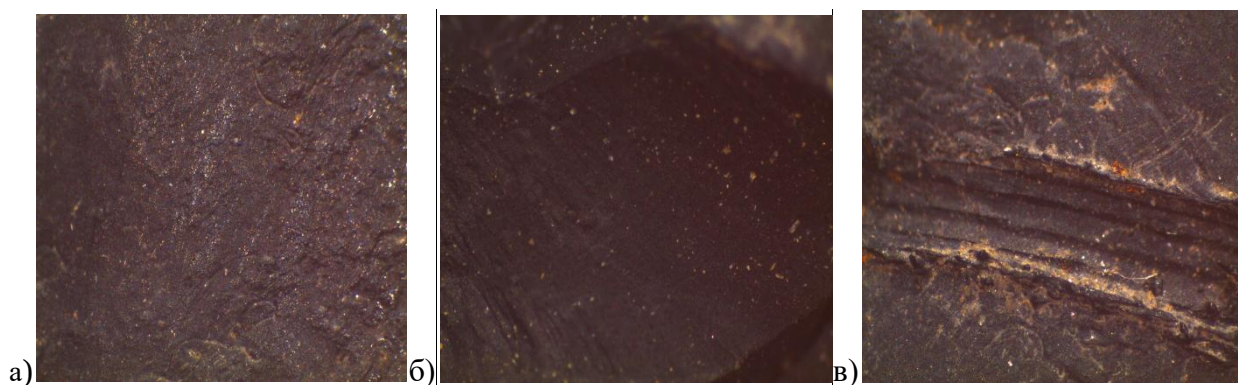


Рисунок 29 – $MgCl_2$ 5 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне скола; в) в зоне разрушения без скола

10 суток обработки

В зоне неподверженной разрушению наблюдается большой блеск образцов по сравнению с 5 дневными, что указывает на рост внедрения мелкодисперсных кристаллов в эластомер от количества дней выдержки. При этом также наблюдается значительное уменьшение количества видимых кристаллов соли на поверхности (рисунок 30а).

В зоне подверженной разрушению наблюдаются большое содержание мелкодисперсных кристаллов по всей поверхности образца (рисунок 30б).

В зоне скола (рисунок 30в) наблюдаются поры резины с кристаллами соли. Поверхность износа начинает приобретать скалывающий характер разрушения.

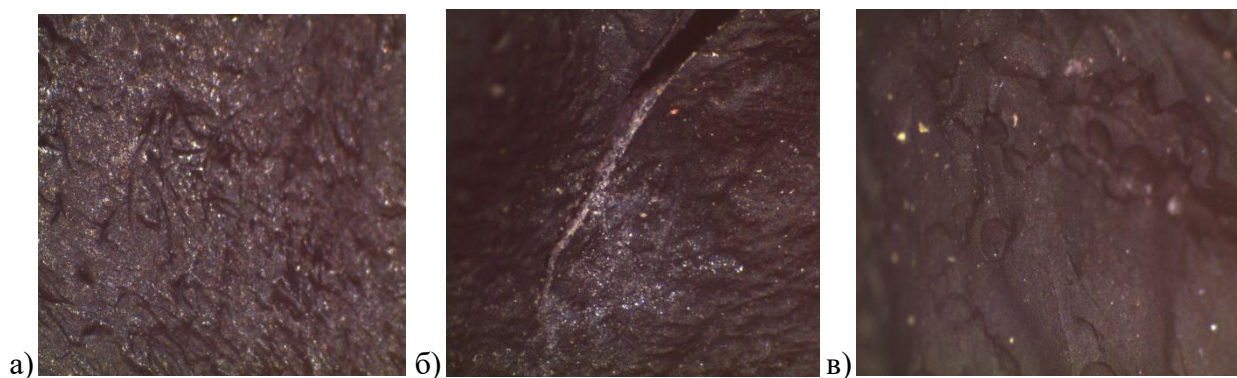


Рисунок 30 – $MgCl_2$ 10 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения; в) в зоне скола

15 суток обработки

В зоне неподверженной воздействию блеск более насыщенный, чем у образцов 10 дневной выдержки, кристаллы соли не заметны (рисунок 31а).

В зоне разрушения различимы кристаллы соли, однако их размер меньше чем на образцах 10 дневной выдержки. В трещинах наблюдается скопление крупных кристаллов соли, но меньших чем у $NaCl$ при схожем времени выдержки (рисунок 31б).

В зоне скола (рисунок 31в) находится намного большее число видимых кристаллов соли по сравнению с образцами 10-ти дневной выдержки.

Наблюдается еще большее преобладание скалывающего разрушения над режущим.

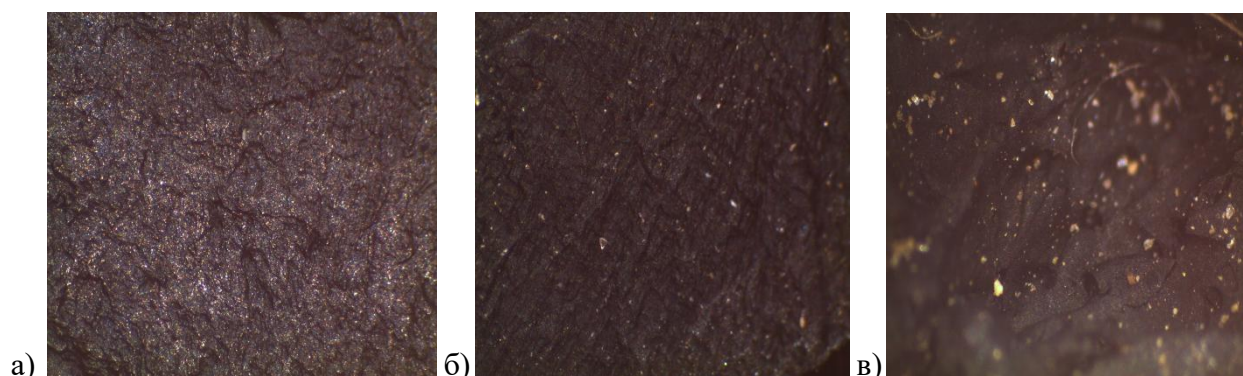


Рисунок 31 – MgCl_2 15 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения; в) в зоне скола

20 суток обработки

В зоне, не подвергавшейся разрушению, блеск образца мало различим с образцами 15 дневной выдержки. На поверхности наблюдается большее содержание видимых кристаллов соли (рисунок 32а).

В зоне воздействия блеск образца больше чем у образца 15 дневной выдержки. Кристаллы соли не различимы (рисунок 32б).

В зоне скола (рисунок 32в) наблюдаются поры резины с крупными кристаллами соли. Количество кристаллов соли значительно выше, чем в зоне скола у образца 15-ти дневной выдержки. Блеск поверхности примерно такой же, как у 15-ти дневных образцов.

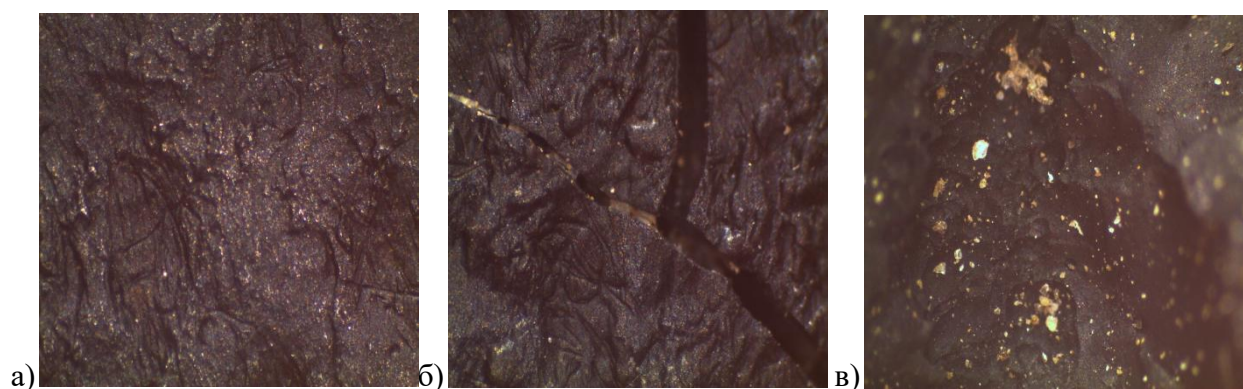


Рисунок 32 – MgCl_2 20 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения

3.1.5 Влияние раствора CaCl_2 на изменение структуры образцов

5 суток обработки

В неразрушенной области поверхность образца полностью покрыта кристаллами больше чем у остальных, блеска нет (рисунок 33а).

В зоне разрушения кристаллов соли примерно столько же, как и у остальных солей при аналогичном времени выдержки (рисунок 33б).

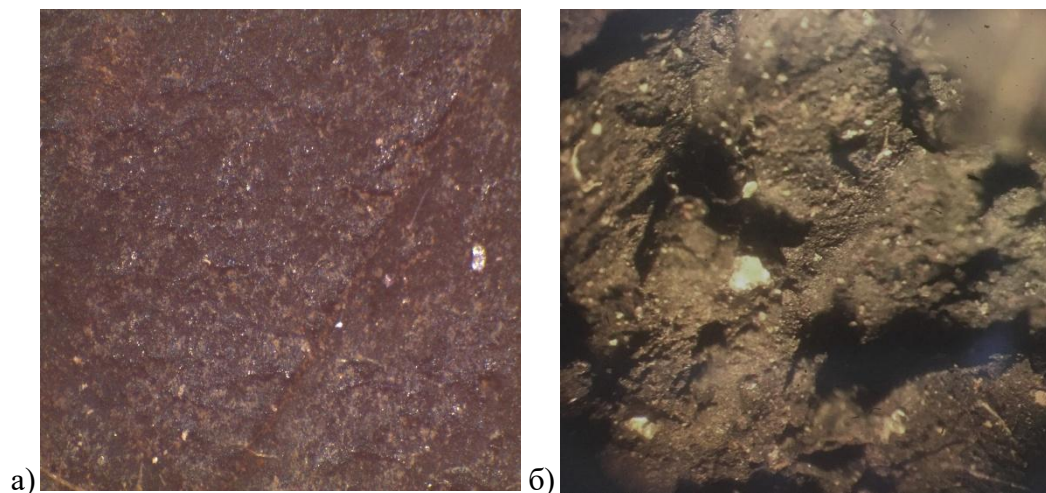


Рисунок 33 – CaCl_2 5 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения

10 суток обработки

Видимые различия между разрушенной поверхностью (рисунок 34а) и не разрушенной (рисунок 34б) не наблюдаются. В отличие от образцов 5 дневной выдержки появляется блеск на поверхности эластомера.

В разрезе образца в профиль видно, что на поверхности разреза содержится небольшое количество кристаллов соли. Так же в резине наблюдаются крупные поры круглой формы, в которых содержится небольшое количество кристаллов соли (рисунок 34в).

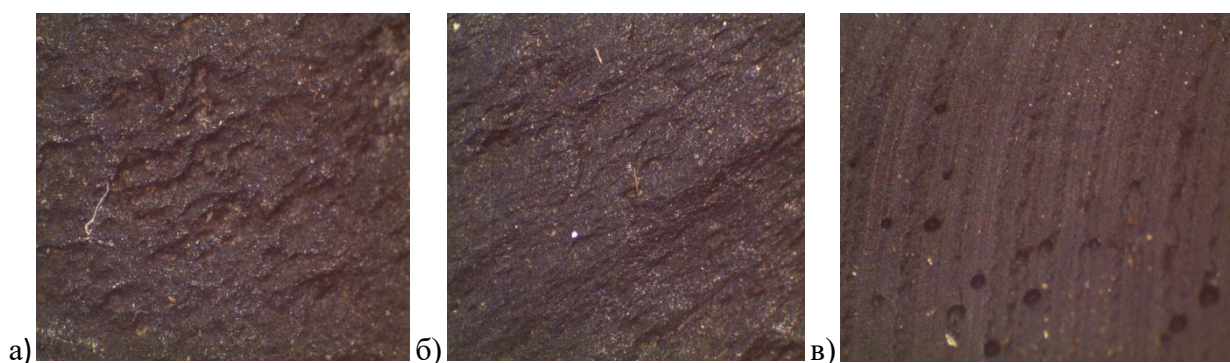


Рисунок 34 – CaCl_2 10 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения; в) в разрезе

15 суток обработки

В зоне, не подвергавшейся разрушению, наблюдается сильный налет кристаллов соли. Цвет более блестящий, чем у образцов 5 и 10 дневной выдержки (рисунок 35а).

На разрушенной поверхности так же наблюдается более сильный блеск и большее содержание видимых кристаллов соли (рисунок 35б).

В зоне скола наблюдаются видимые поры в резине, заполненные мелкодисперсными кристаллами соли (рисунок 35в). Блеск образца такой же, как и у 10-ти дневных.

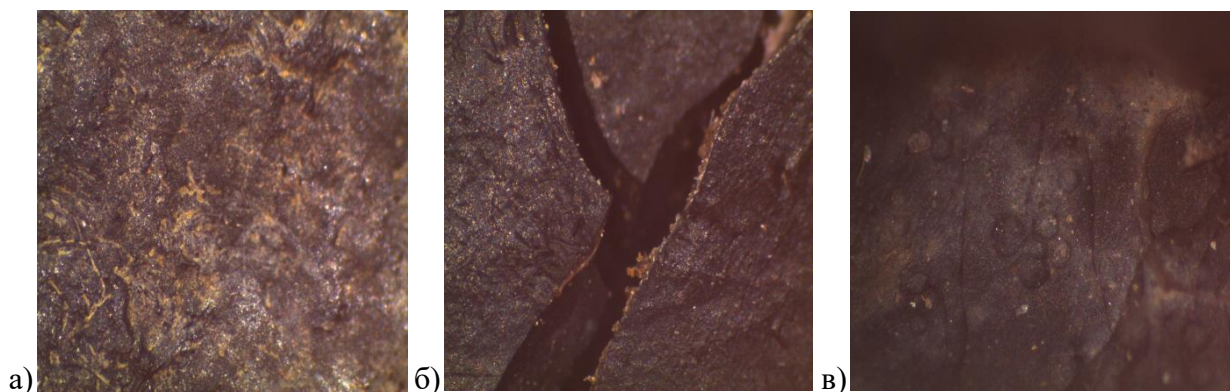


Рисунок 35 – CaCl_2 15 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения; в) в зоне скола

20 суток обработки

В неразрушенной области разница в блеске между образцами 15 дневной выдержки незаметна (рисунок 36а).

В зоне скола блеск поверхности эластомера более сильный по сравнению с областью скола образцами 5, 10, 15 дневной выдержки (рисунок 36б).

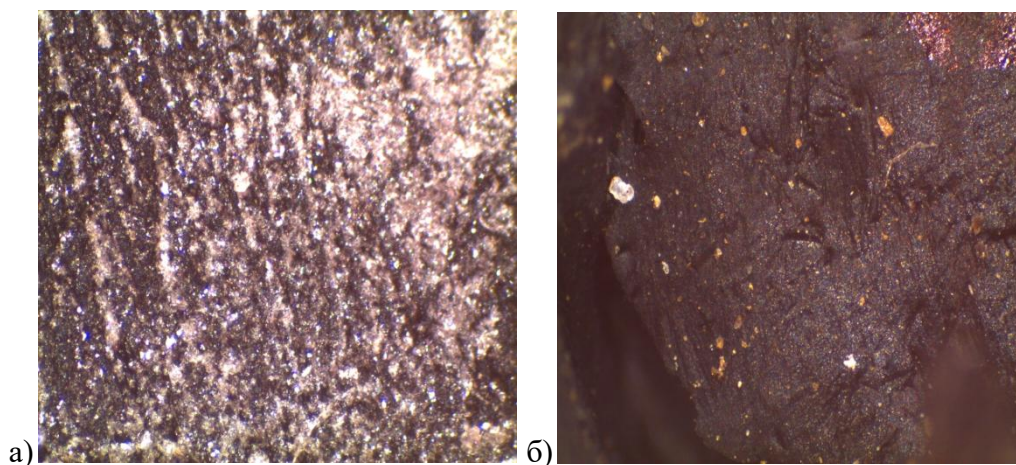


Рисунок 36 – CaCl_2 20 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения

3.1.6 Влияние раствора BaCl_2 на изменение структуры образцов

5 суток обработки

В зоне не подверженной разрушению наблюдаются слабо заметные кристаллы соли (рисунок 37а). Отсутствует блеск поверхности образца.

В зоне скола наблюдаются ярко выраженные крупные кристаллы соли (рисунок 37б). Разрушение произошло в результате вырывания крупных кусков резины.

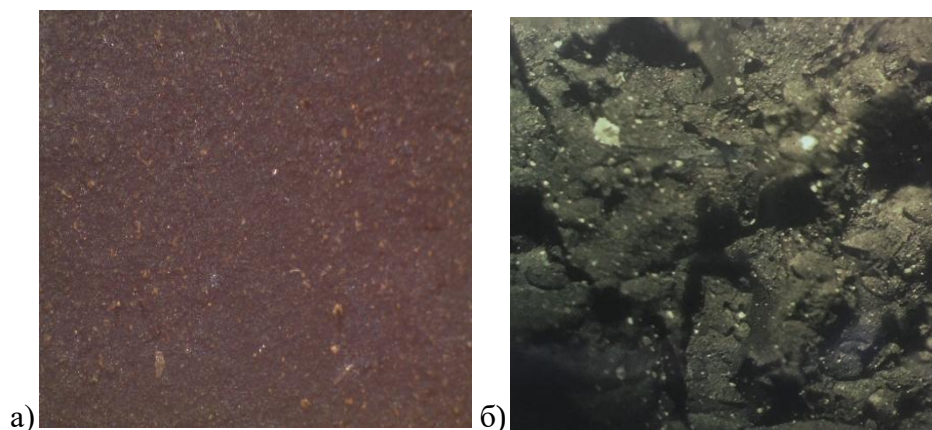


Рисунок 37 – BaCl_2 5 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне скола

10 суток обработки

Не разрушенная зона: кристаллов соли значительно больше, чем при 5 днях выдержки (рисунок 38а).

Кристаллов соли в области разрушения больше, чем у образцов 5 дневной выдержки вне зоны разрушения, но меньше чем в зоне скола у 5 дневных образцов (рисунок 38б).

В зоне скола (рисунок 38в) наблюдается небольшое содержание кристаллов соли, меньше чем у 5 дневных образцов. Поверхность разрушения более гладкая.

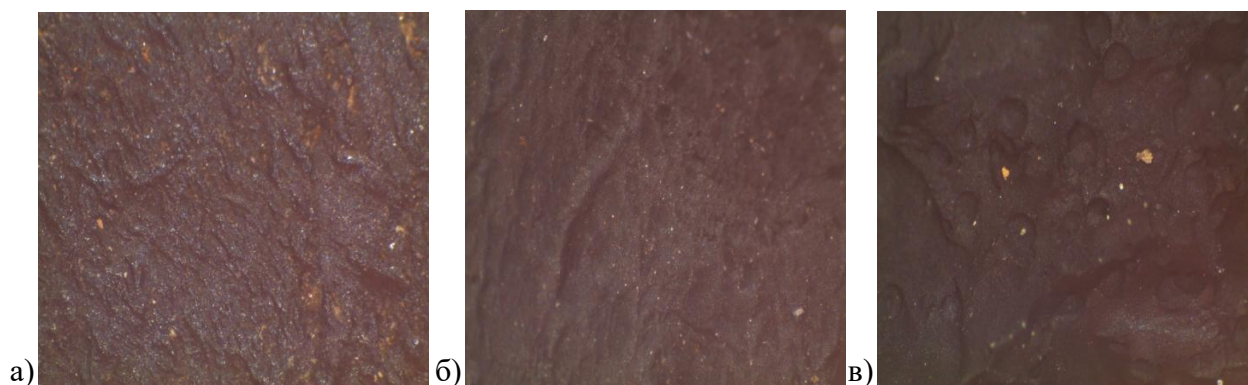


Рисунок 38 – BaCl_2 10 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения; в) в зоне скола

15 суток обработки

В неразрушенной области количество кристаллов соли визуально больше, чем у 10 дневных образцов (рисунок 39а).

В зоне не подверженной разрушению наблюдается больший блеск, чем в области, подвергавшейся воздействию (рисунок 39б). Это связано с тем, что кристаллы соли во время выдержки проникли в структуру эластомера. Но во время разрушения были вымыты с внешней поверхности образца полимер глинистым раствором.

В зоне скола (рисунок 39в) поверхность образца более гладкая, чем у 10 дневных образцов. На поверхности наблюдаются скопления небольших кристаллов соли. Общее содержание кристаллов соли значительно выше, чем у 10 дневных образцов.

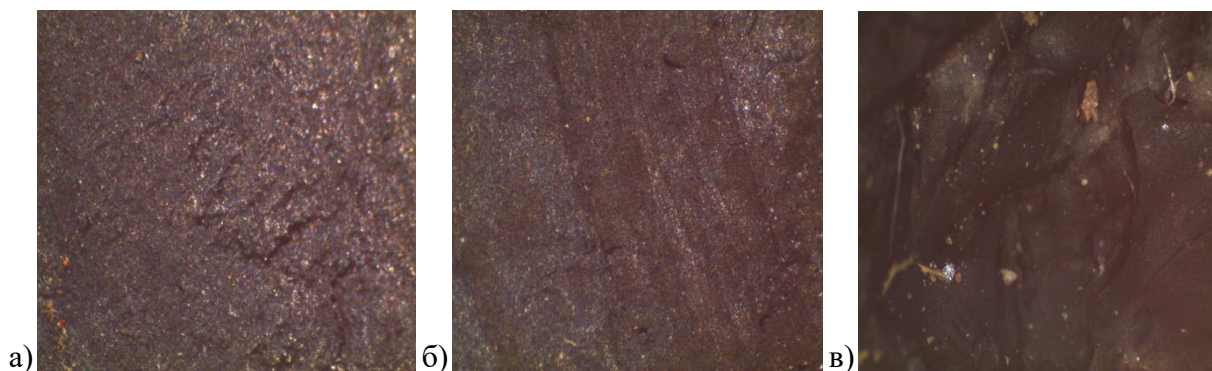


Рисунок 39 – BaCl_2 15 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения; в) в зоне скола

20 суток обработки

В неразрушенной области (рисунок 40а) наблюдается больший блеск, чем у образцов 15 дневной выдержки. Так же визуально больше количество видимых кристаллов соли на поверхности эластомера.

В зоне подвергавшейся воздействию (рисунок 40б) усиления блеска не наблюдается по сравнению с образцами 15 дней, однако кристаллов соли на поверхности эластомера больше.

В зоне скола (рисунок 40в) содержится большее количество кристаллов соли. Поверхность разрушения имеет заметно более сильный блеск. Так же наблюдаются поры резины, в которых находятся скопления соли.

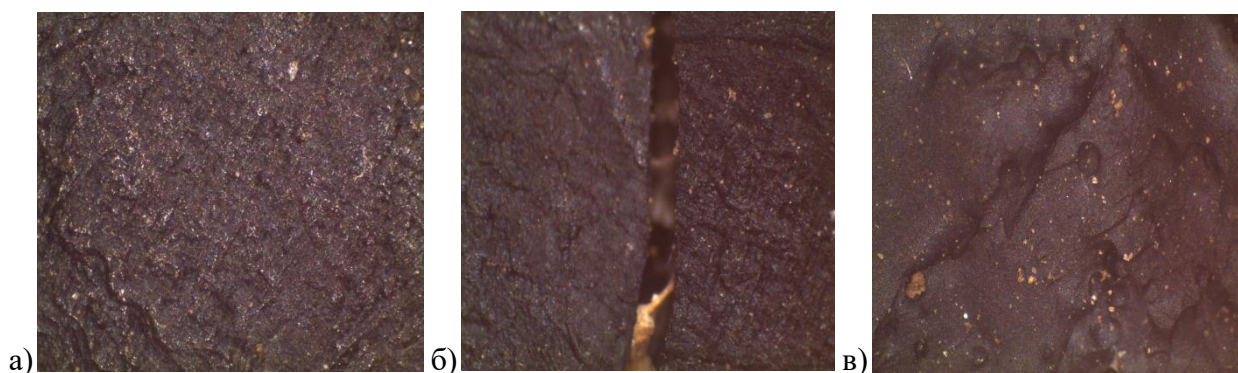


Рисунок 40 – BaCl_2 20 дней выдержки а) в зоне не подверженной разрушению; б) в зоне разрушения; в) в зоне скола

Таким образом, прослеживается четкая тенденция увеличения содержания кристаллов соли в структуре эластомера с увеличением времени выдержки. Наиболее четко данная тенденция прослеживается в период с 10 до 15 суток.

Так же заметна разница в текстуре на разрушенной поверхности образцов различных дней выдержки. Образцы с выдержкой 5 дней имеют шершавую тусклую поверхность, образованную в результате вырывания крупных кусков резины. С увеличением времени нахождения образцов в условиях повышенной температуры разрушенная поверхность становится более гладкой и блестящей из-за большего внедрения кристаллов соли в структуру эластомера. Резина теряет некоторую часть своих эластичных свойств и твердеет.

Вследствие этого характер разрушения постепенно менялся. Растяжение и вырывание кусков резины из исследуемых образцов сменялось скалыванием. Смена характера разрушения объясняется тем, что ионы соли проникают в межпоровое пространство образцов резины в процессе их выдержки в печи и после извлечения, соль начинает кристаллизоваться. Из-за этого структура становится тверже, но менее упругой.

3.2 Результаты экспериментальных исследований изменения износостойкости эластомера на испытания резанием и трением

Из предыдущих исследований старшего преподавателя национального исследовательского Томского политехнического университета Епихина А.В. и магистра Буленко Л.Ю. были получены результаты о значениях прочности образцов резиновой смеси ИРП-1226 на износ трением и резанием без обработки и после их обработки в среде насыщенных растворов следующих солей: NaCl, KCl, MgCl₂, CaCl₂, BaCl₂ в течении 5, 10, 15 и 20 суток при температуре 80° С.

3.2.1 Износ образцов резины ИРП-1226 без обработки

Для сравнения результатов эксперимента в качестве эталонных образцов были взяты образцы резиновой смеси ИРП-1226 не подвергавшиеся обработке. Износ происходил при той же нагрузке, что и для обработанных образцов.

На рисунке 41 приведены необработанные образцы после износа трением. Отчетливо видна кромка глубиной 1мм от вращения плоской насадки.

Целостность поверхности образца нарушена, следовательно, процесс разрушения начался.



Рисунок 41 - Необработанные образцы после износа трением

Результат имитации режущего воздействия на реперные образцы резины представлен на рисунке 42. Все три образца из серии получили значительный износ с углублением в образец от 0,5 мм до 2 мм. Время эксперимента для образцов составило 15 секунд.



Рисунок 42 – Образцы после износа резанием без обработки

3.2.2 Исследование влияния раствора NaCl на износостойкость

В таблице 3 представлена динамика изменения объема и массы образцов до обработки и после обработки в растворе NaCl.

Таблица 3 – среднее изменение массы и объема образцов после выдержки в растворе NaCl

	5 дней	10 дней	15 дней	20 дней
Среднее увеличение массы Δm сред., мм ³	0,181	0,220	0,360	0,142
Среднее увеличение объема ΔV сред., мм ³	1525,96	1467,85	1337,03	1218,54

Полученные данные представлены в виде графика на рисунке 43.

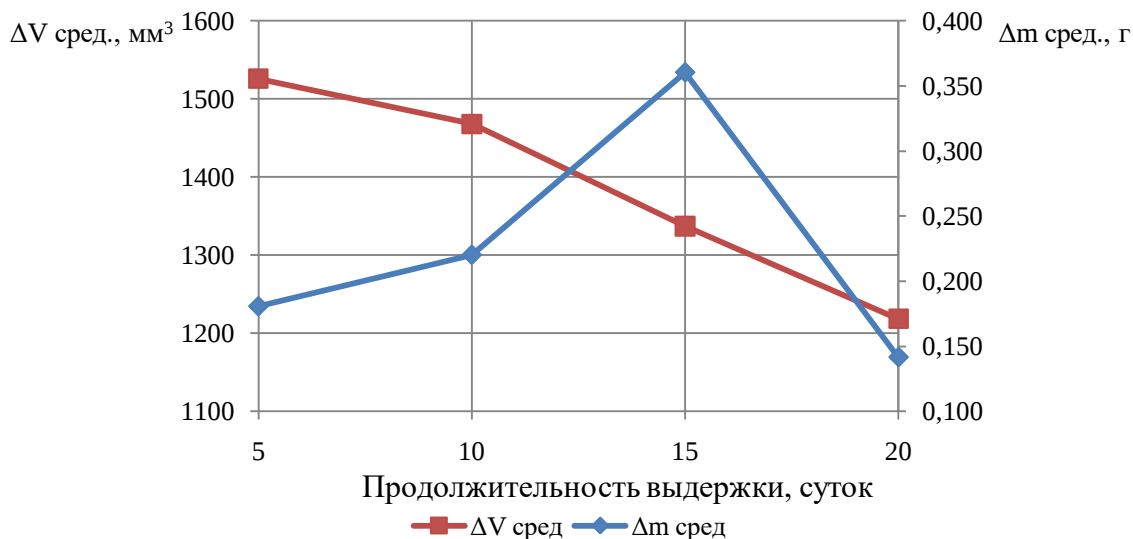


Рисунок 43 – Динамика изменения массы и объема образцов от времени выдержки в среде хлорида натрия

Сравнивая износ образцов без обработки и с обработкой в насыщенном растворе хлорида натрия можно отметить некоторые особенности. Упрочнение образцов к устойчивости на износ трением удалось добиться при выдержке от 10 суток. При испытании образцов на износостойкость к режущему воздействию было установлено, что наибольший рост прочности происходит в период времени выдержки с 5 до 10 суток. После 10 дней выдержки так же наблюдается рост износостойкости, но незначительный.

Наглядно данный вывод представлен на графике рисунок 44, который характеризует изменение объема разрушения в зависимости от времени обработки.

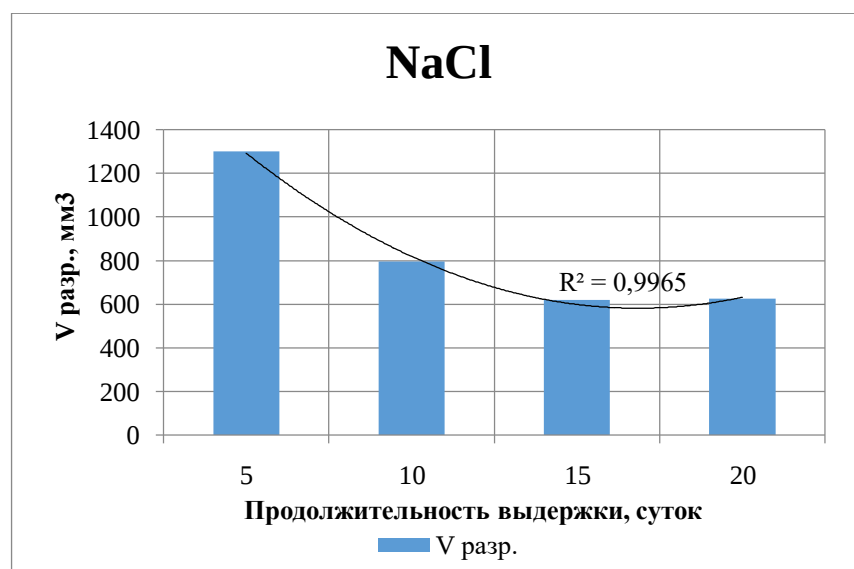


Рисунок 44 – Зависимость изменения среднего объема разрушения образцов от дней выдержки в растворе хлорида натрия

3.2.3 Исследование влияния раствора KCl на износостойкость

В таблице 4 представлена динамика изменения объема и массы образцов до обработки и после обработки в растворе KCl.

Таблица 4 – среднее изменение массы и объема образцов после выдержки в растворе KCl

	5 дней	10 дней	15 дней	20 дней
Среднее увеличение массы Δm сред., г	0,320	0,300	0,212	0,151
Среднее увеличение объема ΔV сред., мм ³	1209,20	1531,02	1448,8	437,35

Полученные данные представлены в виде графика на рисунке 45.

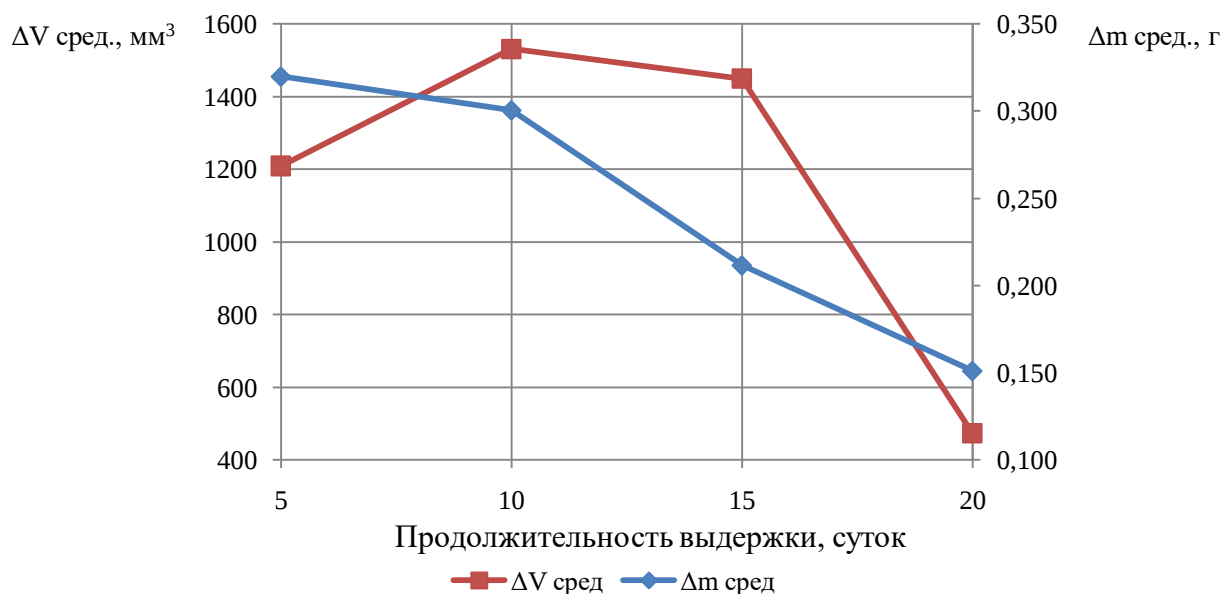


Рисунок 45 – Динамика изменения массы и объема образцов от времени выдержки в среде хлорида калия

Обработка экспериментальных данных по изучению повышения износостойкости образцов выдержанных в насыщенном растворе хлорида калия относительно реперных образцов позволяет сделать некоторые выводы. Так же как и при обработке в растворе NaCl, удалось добиться стойкость к износу трением при выдержке в растворе от 10 суток. Испытания на износостойкость к резанию показали недостаточно хорошее упрочнение образцов. С помощью обработки удалось добиться снижения средней скорости износа образца и глубины разрушения резцом. Особенно снижение скорости износа начинает быть заметным при выдержке от 10 суток, однако образцы при любом времени обработки получили значительные повреждения сопровождавшиеся вырыванием резины.

По графику на рисунке 46 можно отметить, что наибольшая износостойкость образцов наступает после 20 дней выдержки. Так же заметен небольшой рост среднего объема разрушения образцов с 10 на 15 сутки выдержки. Это может быть связано с тем, что резина стала более твердой и потеряла часть своей эластичности, что способствовало более быстрому износу при той же осевой нагрузке на образец. После 20 дней выдержки резина потеряла значительную часть своих упругих свойств и стала еще более твердой.

Заданного значения осевой нагрузки было недостаточно для развития стремительного износа образца. Для установления более точных причин скачкообразного изменения среднего объема разрушения необходимо проведение дополнительных серий испытаний при увеличенной осевой нагрузке.

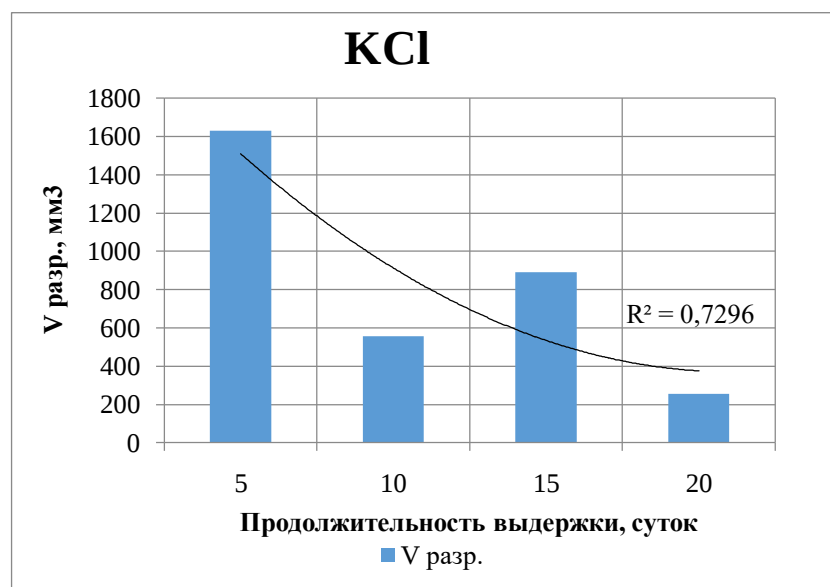


Рисунок 46 – Зависимость изменения среднего объема разрушения образцов от дней выдержки в растворе хлорида калия

3.2.4 Исследование влияния раствора $MgCl_2$ на износостойкость

В таблице 5 представлена динамика изменения объема и массы образцов до обработки и после обработки в растворе $MgCl_2$.

Таблица 5 – среднее изменение массы и объема образцов после выдержки в растворе хлорида магния

	5 дней	10 дней	15 дней	20 дней
Среднее увеличение массы Δm сред., мм ³	0,225	0,233	0,200	0,222
Среднее увеличение объема ΔV сред., мм ³	940,82	1669,16	1287,69	846,3

Полученные данные представлены в виде графика на рисунке 47.

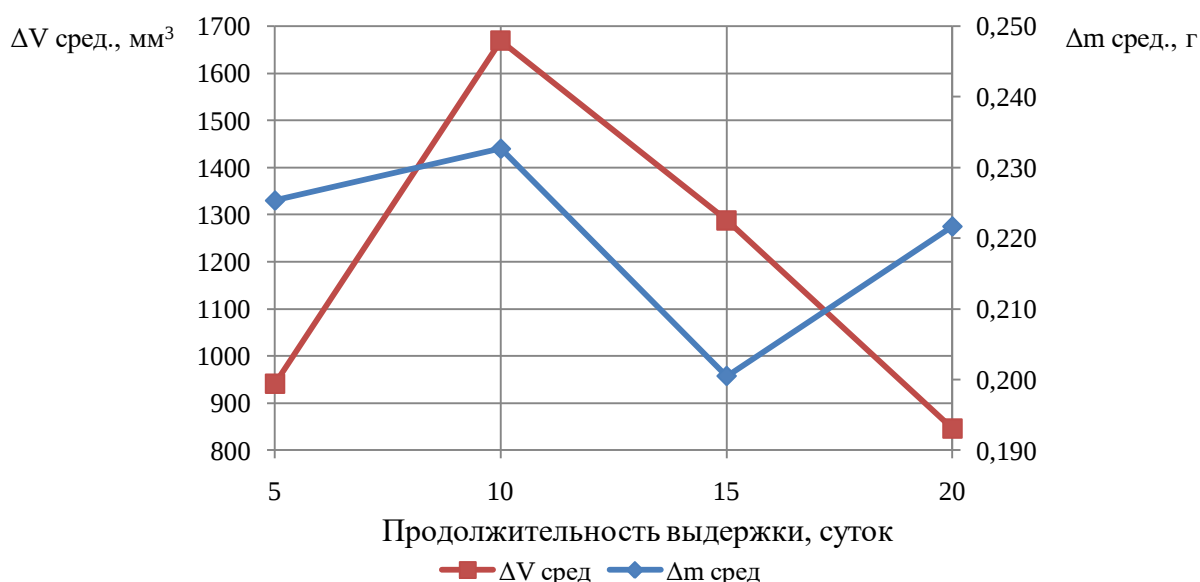


Рисунок 47 – Динамика изменения массы и объема образцов от времени выдержки в среде хлорида магния

Обработка образцов резины в насыщенном растворе хлорида магния позволила увеличить износостойкость к истирающей и режущей нагрузке. Отмечается рост сопротивления обработанных образцов к продавливанию, которое составило от 1-2 мм против 5-6 мм у реперных. Наибольший рост износостойкости к режущему и истирающему воздействию наблюдается у образцов после 10 суток выдержки. Последующая выдержка 15 и 20 суток так же приводит к постепенному снижению средней скорости износа образцов, но не столь интенсивному.

На графике рисунок 48 представлена зависимость среднего объема разрушения от количества дней выдержки в растворе соли $MgCl_2$. Наименьший объем разрушения наблюдается после 20 суток выдержки, т.к. резина не вырывается, а продавливается металлическим резцом вглубь.

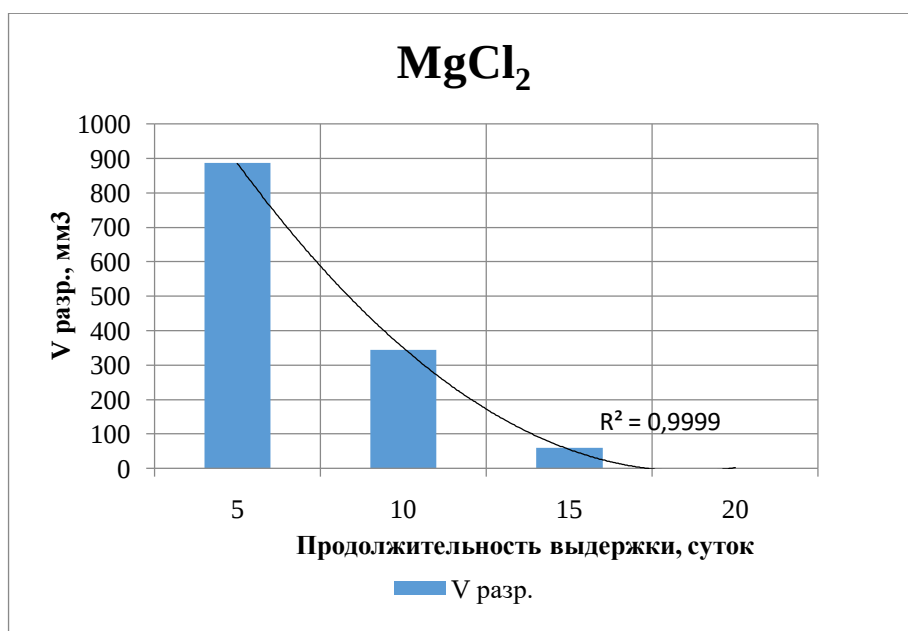


Рисунок 48 – Зависимость изменения среднего объема разрушения образцов от дней выдержки в растворе хлорида магния

3.2.5 Исследование влияния раствора CaCl_2 на износостойкость

В таблице 6 представлена динамика изменения объема и массы образцов до обработки и после обработки в растворе CaCl_2 .

Таблица 6 – среднее изменение массы и объема образцов после выдержки в растворе хлорида кальция

	5 дней	10 дней	15 дней	20 дней
Среднее увеличение массы Δm сред., мм ³	0,388	0,182	0,240	0,193
Среднее увеличение объема ΔV сред., мм ³	994,16	848,93	848,14	459,39

Полученные данные представлены в виде графика на рисунке 49.

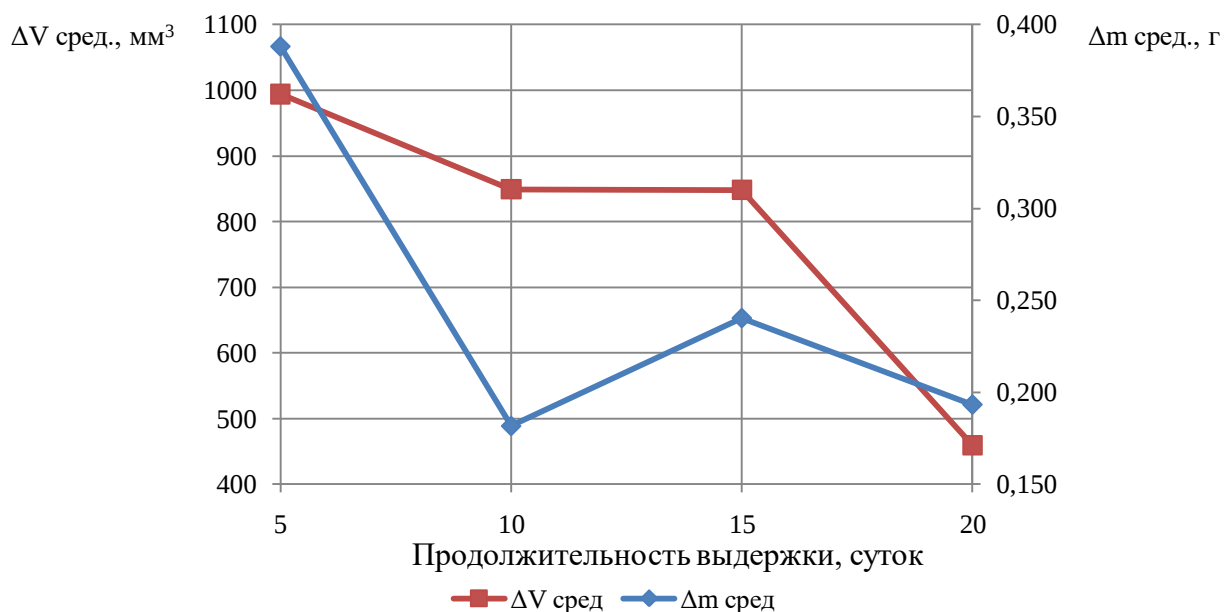


Рисунок 49 – Динамика изменения массы и объема образцов от времени выдержки в среде хлорида кальция

Полученные результаты испытаний износостойкости обработанных образцов резины позволяют отметить следующую особенность. Наилучшее упрочнение эластомера удалось добиться при его времени выдержки в растворе соли в течение 10 суток. При испытании обработанных 10 дневных образцов на износ трением отмечался незначительный износ поверхности резины без видимых следов упругой деформации. Испытание резанием привело к продавливанию образца в среднем на глубину от 0,5-1 мм с сохранением массы резины, против 5-6 мм у реперных образцов.

Средний объем разрушения рисунок 50 так же наименьший для образцов 10 дневной выдержки. Образцы, обрабатывавшиеся в растворе соли CaCl_2 , 15 дней разрушались более интенсивно. На 20 сутки наблюдался некоторый рост износостойкости, но образцы 10 суток оказались более стойкими к нагрузкам на трение и резание. Более того, после 20 дней выдержки резина значительно потеряла эластичность – образцы разрушались мелкими осколками.

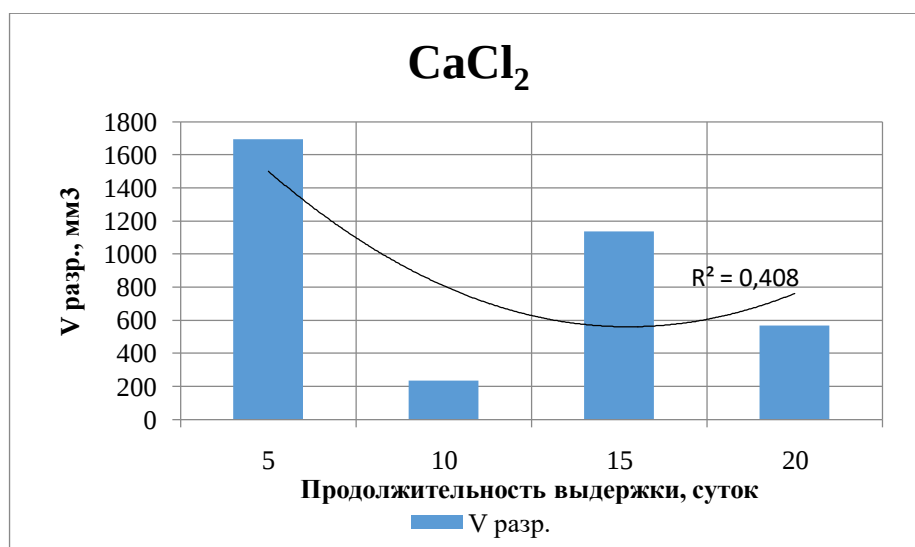


Рисунок 50 – Зависимость изменения среднего объема разрушения образцов от дней выдержки в растворе хлорида кальция

3.2.6 Исследование влияния раствора BaCl_2 на износостойкость

В таблице 7 представлена динамика изменения объема и массы образцов до обработки и после обработки в растворе BaCl_2 .

Таблица 7 – среднее изменение массы и объема образцов после выдержки в растворе хлорида бария

	5 дней	10 дней	15 дней	20 дней
Среднее увеличение массы Δm сред., мм ³	0,267	0,317	0,340	0,333
Среднее увеличение объема ΔV сред., мм ³	911,77	1397,53	937,87	848,32

Полученные данные представлены в виде графика на рисунке 51.

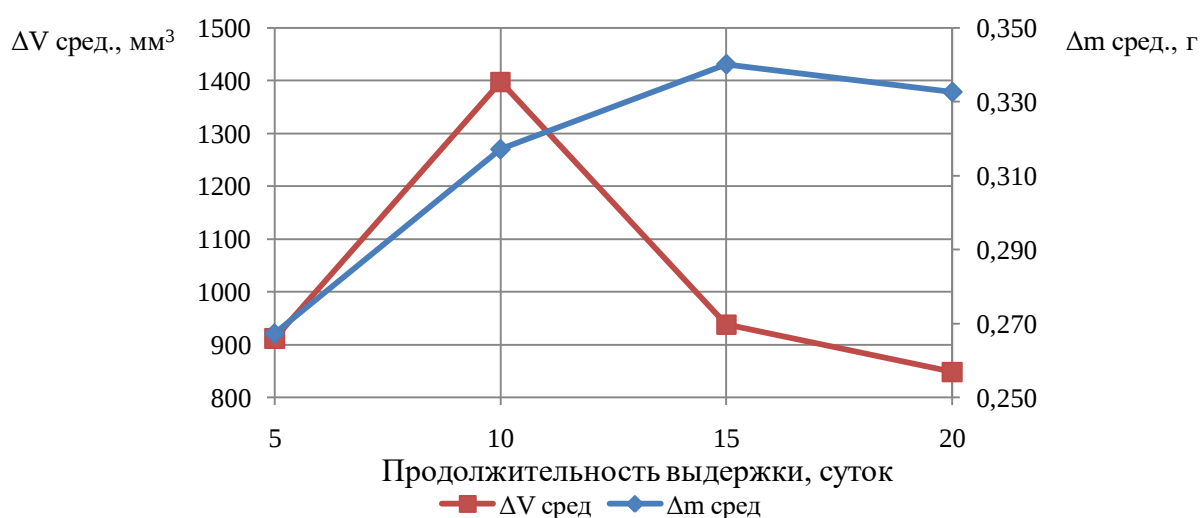


Рисунок 51 – Динамика изменения массы и объема образцов от времени выдержки в среде хлорида бария

По графику изменения среднего объема разрушения от количества дней выдержки рисунок 52, обработанные в растворе бария образцы дают наименьшее упрочнение резины среди всех остальных растворов на период выдержки 10 суток. Так же стойкость образцов на истирающее и режущее воздействие остается аналогичной и после 15 дней выдержки за исключением резко изменившегося характера разрушения. При разрушении резины обрабатывавшейся в течение 15 суток образуются крупные твердые куски. Выдержка длительностью 20 суток приводит к самому заметному снижению эластичности резины среди аналогичных образцов.

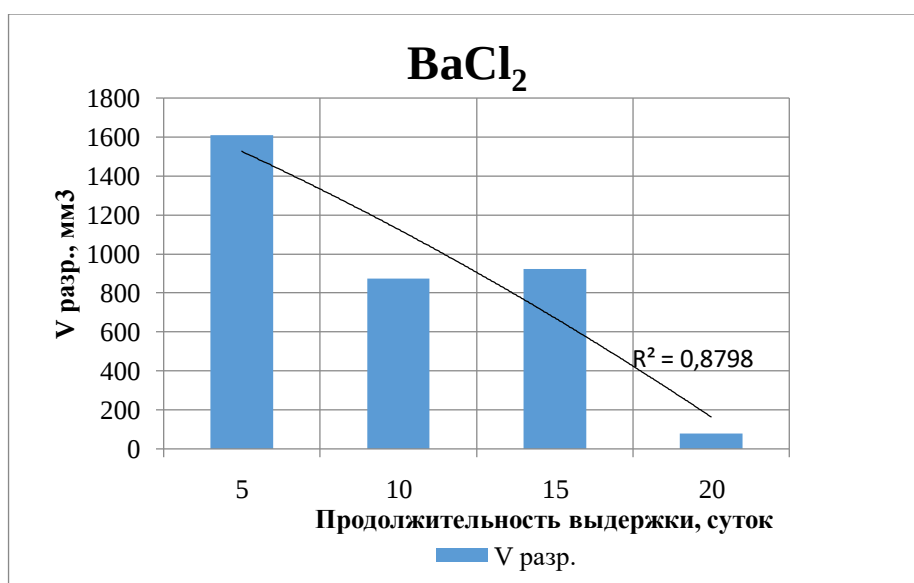


Рисунок 52 – Зависимость изменения среднего объема разрушения образцов от дней выдержки в растворе хлорида бария

Полученные данные в результате испытаний обработанных и необработанных образцов резины ИРП-1226 на износ трением и резанием позволяют сделать выводы об изменении износостойкости эластомера после его выдержки в растворах солей. Для наглядности результаты испытаний представлены в виде гистограмм рисунок 53.

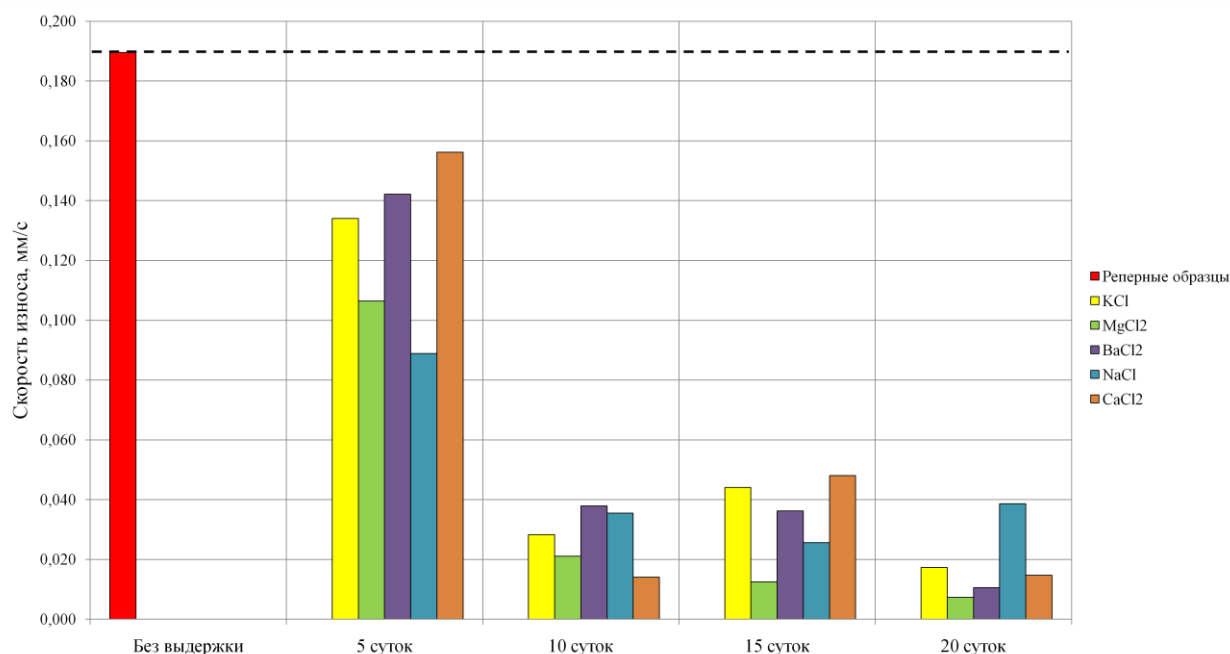


Рисунок 53 – Сравнительная диаграмма средней скорости износа в зависимости от времени выдержки образцов в растворах солей

Из полученных гистограмм видно, что упрочнение образцов резины наступает уже при длительности выдержки 5 суток в каждом растворе соли. При данном времени выдержки наблюдается наибольшее упрочнение у образцов, обработанных в среде хлорида натрия относительно образцов выдерживавшихся в других растворах солей. Так же при рассмотрении результатов экспериментов наблюдается, что каждый раствор имеет свое собственное время выдержки, при котором обеспечивается наибольшее упрочнение образцов резины. Так для раствора хлорида кальция время выдержки, обеспечивающее наибольший рост износостойкости 10 суток, для хлорида натрия – 15 суток, для растворов хлоридов калия, бария, магния – 20 суток.

Для большинства образцов при длительности выдержки от 15 суток наблюдается резкий рост твердости образцов и потеря эластичности резины, что является отрицательным эффектом. Установление количественных значений роста твердости требует проведения дополнительных исследований.

Графики изменения массы и объема образцов от времени выдержки позволяют сделать вывод о том, что наиболее интенсивное насыщение порового пространства эластомера кристаллами соли наступает при выдержке

10 суток для всех растворов солей применяемых для обработки образцов. Последующая выдержка приводит к снижению объема и массы образцов. Данное явление может быть вызвано слишком длительным температурным воздействием. Установление точных факторов приводящих к этому так же требует проведения дополнительных исследований.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Планирование научно-исследовательских работ

4.1.1 Структура работ научного исследования

При проведении исследовательских работ была сформирована рабочая группа, в состав которой входили студент-специалист (С) и научный сотрудник руководитель (НР).

Список запланированных этапов работ для проведения научного исследования, распределение должностей исполнителей видам работ приведено в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	НР
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	НР, С
	3	Календарное планирование работ по теме	НР
	4	Поиск и исследование литерных источников по выбранной тематике	С
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Изучение теоретических данных о причинах разрушения эластомерной обкладки винтового забойного двигателя (ВЗД)	С
	6	Дополнительные исследования по изучению износостойкости образцов ИРП-1226 после обработки в растворах солей	С
	7	Изучение изменения структуры образцов ИРП-1226 после обработки в растворах солей	НР, С
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных результатов исследований, формулирование выводов	НР, С
Оформление отчета по научно-исследовательской работе	9	Оформления пояснительной записки	НР, С

4.1.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Основную часть стоимости исследований в большинстве случаев составляют трудовые затраты. По этой причине необходимо определить трудоемкость выполнения работ каждым участником разработки проекта.

Определение трудоемкости носит вероятностный характер, т.к. зависит от большого количества трудно учитываемых факторов, и оценивается в человеко-днях. На практике для определения средней или ожидаемой трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (4.1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая или средняя трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

По рассчитанному значению ожидаемой трудоемкости работ определяется продолжительность выполнения участниками каждой работы в рабочих днях T_p . Вычисление данного параметра позволяет сделать обоснованный расчет заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет порядка 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

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

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – количество исполнителей, делающих параллельно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.1.3 Разработка графика научного исследования

Для разработки графика выполнения выпускной квалификационной работы наиболее удобной и наглядной его формой является построение ленточного графика в форме диаграммы Ганта. Для его построения длительность каждого этапа работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.3)$$

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.

Для определения коэффициента календарности используется формула:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.4)$$

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

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждому этапу работ T_{ki} округляются до целого числа и сводятся в таблицу 9.

Таблица 9 – Временные показатели проведения научной работы

№ Работ	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	$t_{\min}$, чел-дни		$t_{\max}$, чел-дни		$t_{\text{ож}}$, чел-дни					
	НР	С	НР	С	НР	С	НР	С	НР	С
1	2		4		2,8		2,8		4	
2	3		4		3,4		3,4		5	
3	3	3	4	4	3,4	3,4	1,7	1,7	3	3
4		10		14		11,6		11,6		17
5		7		11		8,6		8,6		13
6		5		7		5,8		5,8		9
7	14	14	18	18	15,6	15,6	7,8	7,8	12	12
8	7	7	9	9	7,8	7,8	3,9	3,9	6	6
9	14	14	22	22	17,2	17,2	8,6	8,6	13	13

На основании данных таблицы 9 строится календарный план-график в форме диаграммы Ганта таблица 10. Данный график строится с разбиением по месяцам и декадам за период времени написания НИР.

Таблица 10 – Календарный план график проведения НИР

№ работ	Исполнители	Т _{кп} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ										
			фев.		март			апрель			май		
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	НР	4											
2	НР	5											
3	НР	3											
	С	3											
4	С	17											
5	С	13											
6	С	9											
7	НР	12											
	С	12											
8	НР	6											
	С	6											
9	НР	13											
	С	13											

 – Научный руководитель;  – Студент-специалист

4.2. Бюджет научно-технического исследования

Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Основу сметного расчёта составляют затраты на материальные ресурсы, трудовые затраты на заработную плату и страховые взносы.

В данный расчет отнесем стоимость реагентов и расходных материалов, необходимых для проведения экспериментов. Затраты на материальные ресурсы отражены в таблице 11.

Таблица 11 – Затраты на материальные ресурсы

Наименование	Норма расхода материала, нат. ед.	Цена за единицу, руб./ нат. ед.	Стоимость материалов, руб.
Хлорид натрия (NaCl)	500 г	0,039	19,5
Хлорид калия (KCl)	500 г	0,1	50
Хлорид магния (MgCl ₂)	500 г	0,04	20
Хлорид кальция (CaCl ₂)	500 г	0,032	16
Хлорид бария (BaCl ₂)	500 г	0,087	43,5

Продолжение таблицы 11

Бентонитовый глинопорошок ПБМБ	1000 г	0,015	15
ПАЦ ВВ	200 г	0,240	48
Резина ИРП-1226	3 кг	206,45	619,35
Зубило для станка	1 шт.	200	200
Итого:			1031,35

Расходы на оплату труда исполнителям темы

В эту статью входит основная заработная плата работников непосредственно участвующих в выполнении работ по данной тематике исследований. Величина расходов по заработной плате определяется на основе трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Данная статья включает основную заработную плату работников, которые заняты выполнением научно-технического исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{\Pi} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} \quad (4.5)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

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

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

$$З_{\text{осн}} = T_p \cdot З_{\text{дн}} \quad (4.6)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (4.7)$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: 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..

Баланс рабочего времени приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Студент-дипломник
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные	104	104
- праздничные	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	-	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	175

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (4.8)$$

где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{tc});

k_d – 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_{tc});

k_p – районный коэффициент, для г. Томска – 1,3.

Результаты расчета основной заработной платы представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_{tc} , тыс. руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , тыс. руб.	$Z_{дн}$, тыс. руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, тыс. руб.
Научный руководитель	26,3	0,3	0,2	1,3	51,29	2,7	43	115,3
Студент- специалист	14,1	0	0	1,3	18,33	1,1	73	79,5
Итого $Z_{осн}$								194,8

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (4.9)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (принимается равным 0,12 – 0,15).

Результаты расчета дополнительной заработной платы приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет дополнительной заработной платы

Заработная плата	Научный руководитель	Студент
Основная зарплата, тыс. руб	115,3	79,5
Дополнительная зарплата, тыс. руб	13,8	9,5

Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (4.10)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды. В соответствии с Налоговым Кодексом РФ установлен размер страховых взносов равный 30% для учреждений, осуществляющих научную деятельность.

Результаты расчетов отчислений во внебюджетные фонды представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб.	Дополнительная заработная плата, тыс. руб.
Научный руководитель	115,3	13,8
Студент - специалист	79,5	9,5
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого	65,4	

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают затраты, которые не попали в предыдущие статьи расходов. К ним относятся печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии и т.д.

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма предудущих статей}) \cdot k_{\text{нр}} \quad (4.11)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (берется равным 0,16).

$$З_{\text{накл}} = (1,031 + 194,8 + 23,37 + 65,4) \cdot 0,16 = 45,54 \text{ тыс.руб}$$

Амортизационные отчисления

Сумма амортизационных отчислений определяется исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов и утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части. Расчет амортизационных отчислений можно свести в таблицу 16.

Таблица 16 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование объекта основных фондов	Количество	Балансовая стоимость, руб.		Годовая норма амортизации, %	Сумма амортизации, руб, за время исследования
		одного объекта	всего		
Сверлильный станок Prota 1516b/230	1	39199	39199	10	96,66
Сушильный шкаф ШС-80-01 СПУ	1	17700	17700	10	43,64
Лабораторная мешалка ES-8300	1	38500	38500	10	94,93
Микроскоп Leica EZ4	1	130000	130000	10	427,40
ИТОГО					662,63

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат на научно-исследовательскую работу (НИР) является основой для формирования общего бюджета затрат на проект. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблицу 17.

Таблица 17 – Бюджет затрат на НИР

Название статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	1031,35	
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	194800,0	
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	23370,0	
4. Отчисления во внебюджетные фонды	65400,0	
5. Накладные расходы	45539,0	16% от суммы статей 1-4
6. Амортизационные отчисления	662,63	
7. Бюджет затрат НТИ	330802,98	Сумма статей 1-6

4.3 Экономическая эффективность внедрения новой технологии

Экономическая эффективность внедрения новой технологии основывается на анализе конкурентных технических решений. Этот анализ позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки с существующими конкурентными решениями и определить направления будущего повышения эффективности.

На сегодняшний день существуют еще несколько решений проблемы износа резиновой обкладки статоров ВЗД, помимо изученного решения в данной работе. К ним относятся:

- разработка новых марок резиновых смесей для статора винтовых забойных двигателей – К1;
- профилированный статор – К2;
- увеличение активной части рабочих органов ВЗД – К3.

Для анализа конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения используется оценочная карта, представленная в таблице 18.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.12)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 18 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкуренто-способность			
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
1. Простота эксплуатации технологии	0,1	5	2	3	4	0,5	0,2	0,3	0,4
2. Надежность технологии	0,07	3	4	5	4	0,21	0,28	0,35	0,28
3. Энергоэкономичность изготовления	0,05	4	4	3	3	0,2	0,2	0,15	0,15
4. Потребность в ресурсах	0,09	5	4	3	3	0,45	0,36	0,27	0,27
5. Безопасность	0,04	5	5	5	5	0,2	0,2	0,2	0,2
6. Длительность производственного цикла	0,04	5	2	4	4	0,2	0,08	0,16	0,16
7. Качество повышения ресурса ВЗД	0,15	3	5	5	4	0,45	0,75	0,75	0,6
Экономические критерии оценки эффективности									
1. Конкурентоспособность продукта	0,12	4	3	4	3	0,48	0,36	0,48	0,36
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	3	2	5	4	0,15	0,1	0,25	0,2
3. Цена	0,15	5	2	3	4	0,75	0,3	0,45	0,6
4. Срок выхода на рынок	0,04	3	3	5	4	0,12	0,12	0,2	0,16
5. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	3	4	5	5	0,15	0,2	0,25	0,25
6. Финансирование научной разработки	0,05	4	3	5	4	0,2	0,15	0,25	0,2
Итого	1	Суммарная оценка				4,06	3,30	4,06	3,83
Примечание – Б _ф – обработка растворами солей; Б _{к1} – разработка новых марок резиновых смесей; Б _{к2} – профилированный статор; Б _{к3} – увеличение активной части рабочих органов ВЗД.									

Из таблицы 18 следует, что наибольшие показатели конкурентоспособности имеют исследуемая в данной работе технология увеличения срока эксплуатации винтового забойного двигателя и технология

производства профилированных статоров. Технология профилированных статоров уже достаточно хорошо изучена и применяется при производстве двигателей. Однако она имеет ряд существенных недостатков связанных со сложностью применения, высокой потребностью в ресурсах и ценой.

Потенциальных потребителей предлагаемая технология может привлечь тем, что ее можно применять для повышения ресурса работы уже изготовленных двигателей, что является уникальной особенностью среди представленных конкурентов. Помимо прочего она требует применения минимального количества оборудования, персонала, финансовых затрат и ресурсов. Существенным недостатком, который может отпугнуть потребителей является ее мало изученность. Исследования в данном направлении позволят решить этот вопрос, тем самым повысив надежность и качество обработок двигательных секций.

4.4 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В результате выполнения раздела был построен календарный план график проведения научно исследовательской работы.

Проведен расчет стоимости материалов, заработной платы исполнителей проекта, отчислений во внебюджетные фонды, накладных расходов, амортизационных отчислений. Бюджет затрат научно-исследовательского проекта составил 330802,98 рублей

Проведен анализ конкурентных технологий с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. В результате этого анализа было выявлено, что предлагаемое решение является конкурентоспособным на рынке. Были выявлены слабые стороны, устранение которых может вызвать доверие у потенциальных потребителей.

Была проведена оценка сравнительной эффективности исследования. По ее результатам выяснилось, что предлагаемое решение является наименее затратным и более ресурсоэффективным по сравнению с аналогами.

5 Социальная ответственность

В данной научно-исследовательской работе изучается влияние обработки резиновой обкладки статора винтового забойного двигателя пятью насыщенными растворами солей на износостойкость к механическому износу. Объектом исследования выступают образцы резиновой смеси ИРП-1226, которая используется для производства этого элемента оборудования отечественными производителями.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы могут быть использованы в цехах компаний, занимающихся производством, а так же компаниями, занимающимися ремонтом двигательной секции винтовых забойных двигателей. Дальнейшие пользователи - компании, оказывающие сервисные услуги в строительстве и капитальном ремонте скважин.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

В соответствии с квалификационным справочником должностей руководителей, специалистов и других служащих лаборантом может стать лицо имеющее среднее профессиональное образование без предъявления требований к стажу работы или начальное профессиональное образование и стаж работы по специальности не менее 2 лет.

Для допуска к самостоятельной работе с работником лаборатории должен быть проведен вводный инструктаж. Лаборант должен знать инструкции по охране труда, правила оказания первой медицинской помощи, а так же пройти инструктаж по применению средств защиты. При обнаружении лаборантом неисправностей в приборах, инструментах и средствах защиты он должен сообщить о них непосредственному руководителю.

Нормы Трудового кодекса РФ предполагают компенсацию за вредные условия труда работников химических лабораторий. Предприятия предоставляют работникам химических лабораторий: дополнительный отпуск,

доплаты, средства индивидуальной защиты [44]. Работники химических лабораторий пользуются правом на досрочное назначение трудовой пенсии по старости в возрасте: мужчины в 60 лет, женщины в 55 лет [44].

5.1.2 Требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя

Организация рабочего места исследователя должна соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.049-80 [30].

Конструкция всего оборудования, с которым лаборант в процессе исследовательской деятельности осуществляет непосредственный контакт, должна соответствовать его антропометрическим свойствам и соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.049-80 [30].

Специальные технические и санитарно-технические средства, входящие в конструкцию оборудования (вентиляторы, защитные экраны, ограждения и др.) не должны мешать выполнению экспериментальных исследований [30].

Конструкция сверлильного станка должна обеспечивать удобство работы с использованием средств индивидуальной защиты (защитные очки, трикотажные перчатки) [30].

Функциональное назначение органов управления должно быть обозначено надписями и (или) символами, которые располагаются в непосредственной близости от органов управления. Сами органы управления оборудованием должны выделяться цветом, формой или размером [30].

5.2 Производственная безопасность

Перечень вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого решения приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Разработка	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+		СанПиН 2.2.4.548-96 [42] ГОСТ 12.2.062-81 [31] ГОСТ 12.2.003-91 [32] ГОСТ 12.1.007-76 [33] СП 52.13330.2016 [34] ГОСТ 12.1.038-82 [35] ГОСТ 12.1.003-2014 [36] СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [37] ГОСТ 12.1.012-2004 [38] ГН 2.2.5.3532-18 [43] ГОСТ 12.1.005-88 [39]
2. Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования	+	+	
3. Испарения токсичных и вредных веществ	+		
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	
5. Электрический ток	+	+	
6. Повышенный уровень шума		+	
7. Повышенный уровень вибрации		+	
8. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны		+	
9. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны		+	

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Отклонение показателей микроклимата. Лаборатория - закрытое помещение, работа приборов в которой может вызвать повышение температуры и понижение влажности. Работы в лаборатории относятся к категории Ib по интенсивности энергозатрат. При работе в зимнее время года возможно снижение температуры в помещении. Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в СанПиН 2.2.4.548–96 [42].

Для защиты исследователя от возможного перегрева или охлаждения, при температурах воздуха выше или ниже допустимых, время пребывания на рабочем месте должно быть ограничено согласно требованиям СанПиН 2.2.4.548–96 [42].

Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования. Работы по исследованию износостойкости образцов резины проводятся на сверлильном станке Prota E-1516B/230, который является источником опасности для работника лаборатории. Во время работы существует риск

получения травмы в результате зацепления частей одежды или длинных волос за вращающийся механизм с частотой 180 об/мин. Существует вероятность получения травмы глаз из-за попадания в них стружки резины. Для минимизации воздействия опасных факторов в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.003–91[32] станок оборудован прозрачным защитным экраном и кожухом, предотвращающим несанкционированный запуск станка кнопкой.

Несмотря на защитные элементы конструкции во время работы необходимо использовать СИЗ: защитные очки и перчатки.

Испарения токсичных и вредных веществ. Для проведения исследований используются насыщенные растворы пяти солей: хлорид натрия (NaCl), хлорид калия (KCl), хлорид магния ($MgCl_2$), хлорид кальция ($CaCl_2$), хлорид бария ($BaCl_2$). Могут находиться в воздухе в виде мелких твердых частиц во взвешенном состоянии - аэрозоли.

Хлориды натрия, калия, магния и кальция относятся к 3 классу опасности - умеренно опасные [33]. Вещества не являются токсичными и не образуют опасные соединения с веществами в воздухе и водах. Могут вызвать слабое раздражение при попадании в глаза и на кожу.

Хлорид бария относится ко 2 классу опасности - высокоопасные, крайне токсичен. Попадание реактива с пылью в органы дыхания может вызвать воспаление бронхов и легких. Так же опасно попадание пыли и раствора на кожу и в глаза.

Предельно допустимые концентрации данных веществ в воздухе рабочей зоны представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Предельно допустимые концентрации используемых веществ в воздухе

Вещество	NaCl	KCl	$MgCl_2$	$CaCl_2$	$BaCl_2$
ПДК, мг/м ³	5	5	2	2	0,3
Класс опасности	3	3	3	3	2

Не допускается работа с данными солями без средств индивидуальной защиты: защитные очки, резиновые перчатки, респиратор, фартук прорезиненный. [40]

Недостаточная освещенность рабочей зоны затрудняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Так же вызывают апатию, сонливость, приводит к снижению интенсивности обмена веществ, ослаблению реакции.

Освещение рабочей зоны должно равномерным, быть постоянным во времени, без пульсации, иметь близкий к естественному освещению спектр. В лаборатории используется комбинированное рабочее искусственное освещение.

В соответствии с требованиями СП 52.13330.2016 [34] освещенность рабочих поверхностей должна составлять 500 лк при общем освещении 300 лк.

Электрический ток. При проведении исследований необходимо использовать электроприборы, которые могут привести к поражению электрическим током в случае неправильного монтажа, отсутствия заземления и нарушения техники эксплуатации.

Различают следующие виды воздействия, которые электрический ток оказывает на организм, проходя через него. Термическое - нагревает кровеносные сосуды, нервные волокна, внутренние органы, ткани вплоть до ожогов; электролитическое - разлагает кровь; биологическое - нарушает внутренние биологические процессы.

Значения токов и напряжений прикосновения, которые протекают через тело человека при нормальном режиме работы оборудования, установлены в ГОСТ 12.1.038-82 [35] и приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Допустимые напряжения прикосновения и токов

Род тока	U, В	I, мА
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Постоянный	8,0	1,0

Для обеспечения безопасности проведения работ электрооборудование должно быть заземлено согласно требованиям "Правил устройства электроустановок" [41].

Повышенный уровень шума. Источниками шума при реализации проектируемого решения являются различные механизмы: пневмосистемы буровой установки, дизельные агрегаты, буровая лебедка, насосы, вибросита.

Уровень шума, превышающий нормируемое значение, приводит к негативным изменениям в органах и системах и в целом оказывает вредное воздействие на организм. Длительное воздействие шума может привести к развитию потери слуха.

Согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» уровень шума не должен превышать 80 дБ [37].

Для снижения влияния шума на работника следует предусмотреть средства индивидуальной защиты: вкладыши, наушники. К коллективным средствам защиты можно отнести установку глушителей и кожухов, обеспечивающих звукоизоляцию и звукопоглощение.

Повышенный уровень вибрации. Источниками вибрации при реализации исследований на производстве являются неуравновешенные силы, которые появляются во время работы механизмов, машин и агрегатов.

Вибрация оказывает негативное влияние на нервную и опорно-двигательную систему. Работники подверженные воздействию вибрации могут ощущать укачивание, головокружение, нарушение координации движений. Постоянное воздействие вибрации на организм может способствовать развитию заболевания – вибрационной болезни.

Нормирование и методы измерения параметров вибрации регламентированы в ГОСТ 12.1.012-2004 [38].

Должны быть использованы следующие СИЗ от вибрации: перчатки, виброзащитная обувь. В качестве коллективных средств защиты могут быть использованы: виброфундамент, хомуты изолирующие вибрацию на напорных линиях буровых насосов, амортизационные подушки в соединениях блоков буровой, монтаж амортизаторов [40].

Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны. На производстве внедрения проекта существует постоянная потребность в приготовлении промывочной жидкости. Во время приготовления растворов, частицы сухих материалов могут наносить вред организму, проникая в органы дыхания. Должны быть предусмотрены средства индивидуальной защиты: противогазы или респираторы. В качестве средств коллективной защиты следует применять системы вентиляции.

Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны. При проведении работ в зимнее время может произойти обмороживание конечностей и открытых частей тела. Переохлаждение приводит к снижению иммунитета, возникновению простудных заболеваний, пневмонии.

При работах в холодное время года работникам на открытом воздухе предоставляются специальные перерывы для обогрева и отдыха, включаемые в рабочее время. Для Томской области допустимая продолжительность работы на открытом воздухе при температуре ниже -20 °С составляет 84 минуты.

Комплект средств индивидуальной защиты от холода должен включать в себя предметы: спецодежда, головной убор, рукавицы, обувь.

5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя

Для поддержания оптимальных параметров микроклимата в помещении лаборатории необходимо дополнительно использовать систему вентиляции и увлажнитель воздуха. Так как при проведении исследований в помещении находится источник тепловыделения, необходимо проводить измерения температуры в точках наиболее близкой и отдаленной от источника тепла. Частота измерений определяется требованиями СанПиН 2.2.4.548-96 [42]

В соответствии ГОСТ 12.2.003-91 [32] сверлильный станок помимо защитного экрана, оборудован кнопкой экстренной остановки. Станок так же соответствует требованиям пожаробезопасности ГОСТ 12.1.004-91.

Во время проведения испытаний с использованием солей концентрации вредных веществ в воздухе не превышают установленных ПДК. Рабочая зона оснащается системой вентиляции, поэтому вред здоровью лаборанта при правильном применении СИЗ и соблюдении правил безопасности исключается.

Работы по исследованию изменения износостойкости проводятся на сверлильном станке. Для минимизации недостаточной освещенности используются средства нормализации освещения - дополнительный источник света направленный на рабочий стол станка.

Для защиты от поражения электрическим током следует применять установленные коллективные средства защиты [40]: защитные ограждения, защитное отключение, изоляцию токоведущих частей, изоляцию рабочего места, защитное заземление всех электроустановок.

Борьба с шумом и вибрацией может проводиться в трех направлениях: конструктивными и технологическими мероприятиями, средствами звуко- и виброизоляции, а так же средствами индивидуальной защиты.

Снижение воздействия шума и вибраций работников может быть обеспечено рядом технологических мероприятий:

- подбор оптимального режима работы оборудования;
- регулярное применение смазочных материалов в подвижных соединениях.
- применение малошумных соединений и материалов;
- проведение регулярного технического обслуживания оборудования;
- снижение рабочих зазоров, подтяжка соединений.

При бурении скважины может происходить загазованность бурового раствора. Поэтому помимо использования коллективных и индивидуальных средств защиты необходимо организовать постоянную проверку загазованности рабочей зоны с помощью газоанализатора.

Для минимизации воздействия на рабочих неблагоприятных метеорологических условий, помимо использования СИЗ, могут быть проведены следующие конструктивные модернизации: оградительные щиты от

ветра на буровой, дистанционно открывающиеся двери с приемных мостков, автоматизация процессов спускоподъемных операций, термоизолирующие элементы конструкций.

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Влияния процесса разработки проекта на окружающую среду

Во время разработки проектируемого решения выделяются следующие источники загрязнения окружающей среды: образцы резиновой смеси ИРП-1226 с их отходами, а так же растворы солей хлоридов, используемых для обработки образцов резины.

Образцы резины с отходами после проведения испытаний могут быть отправлены на переработку. Использованные образцы ИРП-1226 могут считаться вторичными ресурсами, которые не несут угрозу загрязнения окружающей среды. Используемая резиновая смесь не оказывает в случае контакта негативного влияния на воду и при обычных температурных условиях не выделяет вредные вещества в атмосферу.

Соли хлоридов натрия, калия, магния, кальция и бария в порошкообразном состоянии способны насытить воздушное пространство аэрозолями в концентрациях превышающих ПДК приведенных в таблице 4. Однако количество сухих реагентов, применяемых в исследованиях, не позволит насытить воздушное пространство лаборатории частицами пыли выше установленных ПДК.

После обработки образцов существует необходимость утилизации жидких растворов солей. По причине их растворимости в воде и нейтральности к другим веществам отработанный раствор можно утилизировать сливом во внутреннюю канализацию.

5.3.2 Влияния процесса реализации проекта на окружающую среду

При реализации проекта на производстве - бурении скважин винтовым забойным двигателем, основными веществами загрязняющими атмосферу

являются оксиды азота, серы, углерода, предельные и ароматические углеводороды, пыль. Основные источники загрязнения - вскрытие продуктивных горизонтов, работа дизельных агрегатов.

Строительство скважин носит поэтапный характер, связанный с локальным увеличением во время бурения концентраций вредных веществ не выше нормированных. По этой причине воздействие на атмосферу при реализации проекта будет незначительным.

При эксплуатации винтового забойного двигателя происходит вскрытие водоносных пластов. ПДК вредных веществ, которые могут загрязнять пластовые воды. Для минимизации вредного воздействия на гидросферу предполагается проведение ряда мероприятий:

- постоянный контроль герметичности амбара;
- сооружение водоотводов и отстойников;
- строгое соблюдение спроектированной конструкции скважины, предполагающей изоляцию всех водоносных пластов;
- недопущение поступления бурового раствора в водосодержащие пласты;

В результате эксплуатации винтового забойного двигателя возникают промышленные отходы бурового раствора и шлама. Наиболее вредные по отношению к литосфере следующие вещества: нефть и ее продукты, хлорсодержащие соединения, карбонаты и гидроксиды калия и натрия. После завершения буровых работ необходимо провести рекультивацию нарушенной земли.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Анализ возможных ЧС

Наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций во время внедрения проектируемого решения, так как буровая установка относится к опасным производственным объектам.

При эксплуатации винтового забойного двигателя возможно возникновение следующих чрезвычайных ситуаций: перешедшее в открытое фонтанирование скважины газонефтеводопроявление (ГНВП); утечка вредных веществ из шламового амбара; пожар; взрывы горючесмазочных материалов; разрушение вышки буровой установки или элементов талевой системы.

Самая опасная и наиболее вероятная авария, которая наносит колоссальный ущерб окружающей среде и может повлечь возникновение человеческих жертв - открытое фонтанирование, возникшее в результате ГНВП. Данная чрезвычайная ситуация сопровождается неконтролируемым переходящим в возгорание выбросом пластового флюида под большим давлением из устья скважины. Ликвидировать возникшее возгорание и заглушить выброс крайне сложно из-за частой отдаленности производственного объекта.

5.4.2 Обоснование мероприятий по недопущению ЧС и действия в случае возникновения ЧС

В целях предотвращения данной аварии требуется постоянное соблюдение технологических требований. Необходимо поддерживать регламентируемое превышение забойного давления над пластовым, строго контролировать параметры режима бурения, периодически проверять исправность противовыбросового оборудования, не допускать длительной остановки бурения без промывки. Весь работающий персонал обязан осуществлять регулярный контроль за прямыми и косвенными признаками ГНВП. В случае проявления хотя бы одного из них необходимо немедленно предпринимать действия по предотвращению перехода в открытый фонтан: загерметизировать скважину, стравливать избыточное давление в скважине, очистить буровой раствор от пластового флюида.

В случае возникновения открытого фонтана, буровая вахта не принимает участие в ликвидации ЧС и должна быть немедленно эвакуирована на безопасное расстояние.

5.5 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В ходе выполнения раздела социальная ответственность был проведен анализ вредных и опасных производственных факторов, которые возникают при разработке рецептуры раствора для обработки эластомерной обкладки винтового забойного двигателя, а так же при эксплуатации полученного решения на производстве.

Согласно действующим стандартам и гигиеническим нормативам определены мероприятия по снижению воздействия вредных и опасных производственных факторов. При условии соблюдения работниками техники безопасности и использовании необходимых средств индивидуальной защиты, отсутствует угроза жизни и здоровью.

Был проведен анализ влияния объекта исследования на окружающую среду во время разработки и эксплуатации проектируемого решения. Проведение исследований по данной тематике является безопасным с точки зрения экологии и не несет вреда окружающей среде.

Местом применения результатов данной исследовательской работы является буровая установка, наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией является газонефтеводопроявление. Был рассмотрен комплекс превентивных мер предупреждению возникновения ЧС и действия при возникновении ЧС.

Заключение

При изучении изменения структуры образцов была выявлена тенденция роста количества кристаллов соли на поверхностях, подвергавшихся и не подвергавшихся испытанию на износ трением и резанием. Наблюдается разница текстуры в зоне разрушения образцов различных дней выдержки. Образцы без обработки и с минимальной выдержкой – 5 суток имеют грубую шершавую поверхность, которая образовалась отрывом крупных кусков резины. С увеличением длительности выдержки поверхность зоны разрушения разглаживалась и стала приобретать больший блеск из-за внедрения кристаллов соли в структуру эластомера. Разрушаемые куски резины становились более дисперсными, характер разрушения менялся с режущего на скалывающий. Смена характера разрушения обусловлена проникновением ионов соли в межпоровое пространство образцов резины в процессе их выдержки в сушильном шкафу. По этой причине образец становится тверже, но менее упругим.

Износ образцов на трение показал незначительное увеличение износостойкости к данному виду износа обработанных образцов относительно необработанных. Однако после выдержки более 10 суток в каждом растворе соли негативное воздействие истирания за время эксперимента не наблюдается.

Изучение изменения износостойкости на режущее воздействие показало, что упрочнение образцов наступает уже на 5 сутки для каждого раствора. По среднему объему разрушения образцов прослеживается общая зависимость роста износостойкости от времени обработки. При этом каждый раствор соли имеет собственное время выдержки, при котором наблюдается максимальное упрочнение образца. Для хлорида кальция – 10 суток, для хлорида натрия – 15 суток, для хлоридов калия, бария, магния – 20 суток. Наибольший рост износостойкости получили образцы, обработанные в растворе хлорида магния в течение 20 суток при температуре 80 °С.

По полученным результатам можно судить о перспективах данного направления исследования. Необходимо дополнительно изучить влияние разных концентраций конкретного раствора на упрочнение эластомера, провести испытания с увеличенной осевой нагрузкой, а так же изучить влияние других температур. Для получения более достоверных результатов о влиянии растворов солей на эластомер двигательной секции необходимо приближение лабораторных испытаний к реальным условиям работы винтового забойного двигателя.

Список использованных источников

- 1 Андоскин В.Н. Винтовые забойные двигатели фирмы «Радиус-Сервис» / В.Н. Андоскин, А.М. Выгузов, А.В. Кузнецов, Хайруллин Д.Н., Новинов Р.С. // Журнал «Бурение и нефть». – 2014. – №11. – С. 40-43.
- 2 Балденко Д.Ф. Винтовые гидравлические машины. Том 2. Винтовые забойные двигатели / Д.Ф. Балденко, Ф.Д. Балденко, А.Н. Гноевых. – М.: ООО "ИРЦ Газпром", 2007. – 470 с.
- 3 Балденко Д.Ф. Винтовые забойные двигатели: Новые конструкции и способы управления / Д.Ф. Балденко, Ф.Д. Балденко, А.П. Шмидт // «Нефтяное хозяйство». – 1997. № 1. – С. 13-17.
- 4 Балденко Д.Ф. Винтовые забойные двигатели. / Д.Ф. Балденко, Ф.Д. Балденко, А.Н. Гноевых – М.: Недра, 1999. – 374 с.
- 5 Балденко Ф.Д. Расчеты бурового оборудования. Учебное пособие. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2012. – С. 428
- 6 Балденко Д.Ф. Современное состояние и перспективы развития отечественных винтовых забойных двигателей. / Д.Ф. Балденко, Ю.А. Коротаев // Журнал «Бурение и нефть». – 2012. – №3. – С. 3-8.
- 7 Бартенев Г.М. Прочность и разрушение высокоэластических материалов. / Г.М. Бартенев, Ю.С. Зуев – М: Химия, 1964. – 388 с.
- 8 Бобров Б.С. Деформативность термопластичных материалов при малоцикловом нагружении. / Б.С. Бобров, О.С. Виноградов // «Механика полимеров». – 1976. – №2. – С. 7-10.
- 9 Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
- 10 Ганелина С.А. Резинометаллические детали гидравлических забойных двигателей. / С.А. Ганелина – М.: Недра, 1981. – 118 с.
- 11 Голдобин Д.А. Разработка и исследование винтовых забойных двигателей с облегченными роторами и армированными статорами: Автореф.

дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – М.: ОАО НПО «Буровая техника», 2011. – 23 с.

12 Патент РФ 2351730, МПК E21B4/02. Статор винтового забойного двигателя / Голдобин Д.А., Коротаев Ю.А., Коротаев С.Н., Фуфачев О.И. – № 2008104959/03; заявл. 08.02.2008; опубл. 10.04.2009. Бюл. № 10. – 7 с.

13 Епихин А.В. Исследование влияния дизельного топлива на резину эластомера винтового забойного двигателя в температурном интервале 25–90°С / А.В. Епихин, В.В. Мельников, А.А. Бер, К.М. Минаев // Экспозиция Нефть Газ : научный журнал. — 2016. — № 6 (52). — С. 68-70.

14 Зотин В.Н. Исследование напряженного состояния обкладки статора винтового забойного двигателя / В.Н. Зотин, А.М. Кочнев // Химическое и нефтяное машиностроение. –1986. – №5. –С. 20-21.

15 Зотин В.Н. Исследование полей напряжений в моделях винтового забойного двигателя методом фотоупругости // Применение методов лазерной интерферометрии для повышения качества изделий: Тез. докл. семинара. Миасс; 1983. – С. 44-45.

16 Зуев Ю.С. Разрушение эластомеров в условиях, характерных для эксплуатации. / Ю.С. Зуев. – М.: Химия, 1980. – 288 с.

17 Карапетов Р.В. О возможности повышения износостойкости рабочих органов винтовых забойных двигателей за счет реализации эффекта автокомпенсации износа// НТЖ Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2007. – №9. – С. 41-43.

18 Карапетов Р.В. Совершенствование конструкций винтовых забойных двигателей – одно из направлений повышения эффективности строительства и ремонта скважин / Р.В. Карапетов, С.Б. Бекетов. – М.: ОАО “СевКавНИПИгаз”, 2007. – 7 с.

19 Коротаев Ю.А. Исследование и разработка технологии изготовления многозаходных винтовых героторных механизмов гидравлических забойных двигателей. дис. ... доктора техн. наук. – Пермь, 2003. – 386 с.

20 Коротких Н.И. Разработка эластомерных композиций для буровой техники. дис. ... канд. техн. наук. – СПб, 2004. – 160 с.

21 Кочнев А.М. Обзор информации по забойным двигателям. / А.М. Кочнев, Б.В. Кочнева // «Нефтяное хозяйство». – 1979. – №8. – С. 59-61.

22 Кочнев А.М. Разработка гаммы винтовых забойных двигателей и результаты их применения при бурении и капитальном ремонте скважин / А.М. Кочнев, В.Б. Голдобин Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 1992. – №7. – С. 2-6.

23 Корнев А.Е. Технология эластомерных материалов / А.Е. Корнев, А.М. Буканов, О.Н. Шевердяев. – М.: Эксим, 2000. – 288 с.

24 Осипов Д.А. Гидромеханическое поведение и усталостная выносливость секции рабочих органов винтового забойного двигателя. дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2004. – 172 с.

25 Пашков Е.Н. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» / Е.Н. Пашков, И.Л. Мезенцева – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. – 24

26 Плотников В.М., Фуфачев О.И. Тепловой расчет резиновой обкладки статоров винтовых забойных двигателей // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 3–6.

27 Фуфачев О.И. Исследование и разработка новых конструкций рабочих органов винтовых забойных двигателей для повышения их энергетических и эксплуатационных характеристик. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2011. – 133 с.

28 Фуфачев О.И. К вопросу повышения эксплуатационных характеристик винтовых забойных двигателей. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 2008. – №1. – С. 59-61.

29 Шулепов В.А. Конструктивные и технологические методы повышения энергетических характеристик и долговечности героторных механизмов винтовых забойных двигателей. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2011. – 125 с.

30 ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования.

31 ГОСТ 12.2.062-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Ограждения защитные.

32 ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

33 ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

34 СП 52.13330.2016 Свод правил естественное и искусственное освещение. – М.: Стандартинформ, 2017. – 135 с.

35 ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

36 ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.

37 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы.

38 ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования.

39 ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

40 ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

41 Правила устройства электроустановок (ПУЭ) Издание 7. – М.: Госэнергонадзор, 2006. – 507 с.

42 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

43 ГН 2.2.5.3532-18 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны"

44 "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)

Приложение А
(справочное)

Modern problems of downhole screw motors and their solutions

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ73	Шульга Д.К.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Глотова В.Н	к.т.н		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Лысунец Т.Б.			

1 Literary review

The purpose of this section is to examine existing methods and technologies for solving the problem of short lifetimes of screw downhole motors due to wear of the elastomeric stator lining. The following tasks were assigned to perform this section of research work.

- Selection of relevant sources of information.
- Analysis of the existing problems of screw downhole motors.
- Presentation of information received about the object of study.
- Consideration of methods to improve the wear resistance of the rubber lining of the stator of the downhole motor.
- Literature Review.

1.1 Historical information about downhole screw motor

The hydraulic downhole motor is used in the USSR from 1922-1923. The first industrial design of a single-stage turbo-drill was designed by M.A. Kapelyushnikov. The turbodrill of this design allowed drilling wells without rotation of the drill pipe string. Multistage turbo-drills became the main technical means for drilling wells since the 1940s. They allowed obtaining high growth rates of oil and gas production.

Over time, the domestic petroleum industry began to lag far behind the passage per flight. The reasons for this were the growth of medium well depths, the improvement of foreign rotary drilling technology and the improvement of bit design. The lag in this indicator was caused by the technical features of the turbo-drills, which did not allow obtaining a bit rotation speed of less than 400 rpm with the necessary torque and pressure of the pumps. For this reason, it was impossible to use modern low-speed bits. The domestic industry has raised the issue of the need to develop low-speed drilling technology.

VNIIBT conducted long-term research work on the design of downhole hydraulic motors. In 1966, M.T. Guzman proposed the world's first screw downhole motor, which was a reversed Muano pump. The working parts of the engine were

made on the basis of a multi-pass rotary mechanism. This mechanism performs the function of a planetary gearbox. For forty-five years of evolutionary development, a downhole screw engine has become an effective technical tool for driving bits during drilling and repair of oil and gas wells. The successful use of downhole screw motors is due to their unique energy and technical characteristics, such as a rigid engine performance and high torque [4].

1.2 Downhole screw motor design

Downhole motor is a rotary mechanism of volumetric (hydrostatic) action. It converts the energy of the injection of flushing fluid into the rotational movement of the output shaft. Virtually any modern downhole screw motor is used for drilling directional wells. It has in its construction several basic elements: the motor section, the spindle section, the angle adjuster.

The motor section. This is the power unit of the engine, which determines its main technical characteristics: torque, power, speed, efficiency. The main purpose is to convert the energy of the fluid flow into rotational motion. In turn, the motor section is divided into two elements: the stator and the rotor. The stator is a fixed part, made in the form of a metal case in the inner surface with an elastomer lining. The elastomer lining is a rubber compound that is resistant to abrasion. It is able to maintain performance in the environment of washing liquid. The rotor is a movable steel part of the propulsion section of a similar profile. It has a number of teeth one less than the stator lining. The stator and rotor teeth are in continuous contact and form high and low pressure chambers. The flow of drilling fluid flows through these chambers, rotates the rotor screw.

The skew angle adjuster. The mechanism is designed to skew the axis of the downhole motor relative to the bottom of the drill string. It consists of two lower and upper sub, a core and a gear coupling reinforced with carbide teeth.

The spindle section is designed to transmit torque and axial load on the rock-breaking tool. It consists of a body with two supports (axial and radial). On these supports fixed shaft. The torque of rotation of the rotor is transmitted through the

torsion bar to the shaft of the spindle assembly, which begins to rotate and transmit the moment of the already working part.

1.3 Operation of a screw downhole motor

By their principle of action, downhole motors are applicable to volumetric machines. This means that the flushing fluid turns the rotor relative to the stator under the action of unbalanced forces. The flushing fluid is supplied to the engine from the pumps. The stator and rotor teeth are in continuous contact. They form hermetically closed working chambers closing along the stator pitch length. The working fluid enters the engine inlet from the drilling pumps and can reach the bit only if the rotor turns inside the stator lining along its teeth. The rotor is rotated by unbalanced hydraulic forces. Planetary movement occurs at the same time. The rotor axis revolves around the axis of the stator counterclockwise (portable movement), and the rotor rotates around its own axis clockwise (relative movement) [2].

1.4 Requirements for modern screw downhole motors

After many years of experience using hydraulic downhole motors (HDM), domestic and foreign companies have defined technical requirements. These requirements relate to engine performance, materials and geometry [5].

1. Technical characteristics of hydraulic downhole motors should provide the following points.

- High efficiency for the most complete use of the energy of the flushing fluid.
- High torque, which will ensure the effective operation of the bit.
- The motor should provide a shaft rotation speed of 80–200 rpm with roller cone bits and 200–300 rpm with PDC bits.

2. The elements of the engine section and the rest of the engine components must be made of wear-resistant and corrosion-resistant materials. These materials must provide the following requirements.

- The ability to use washing fluid of any density and viscosity, including, if necessary, in its composition plug materials and aggressive additives.

- The engine must operate at an ambient pressure of up to 100 MPa and at a temperature of up to 150 ° C.
- It should be possible to change the skew angle of the engine body when drilling directional and horizontal wells.
- Ability to install on the engine support-centering elements for directional and horizontal drilling.
- The engine must have high durability to ensure stable operation and complete bit testing.
- The possibility to use gas-liquid mixtures during drilling.

3. The axial and diametric dimensions of the hydraulic motor must comply with the technical requirements.

- The ability to drill with bits of various diameters, including small ones.
- Efficient and reliable wiring of directional and horizontal wells.

The above requirements characterize an ideal hydraulic motor. Analysis of the characteristics and designs of hydraulic engines that exist today makes it possible to conclude. No hydraulic motor fully complies with all listed requirements. However, modern multistage screw downhole motors are closest to them.

1.5 Main weaknesses of screw downhole motors

Now there is a great experience of using downhole screw engines in drilling and workover of wells by various drilling companies. It was found that the engine malfunction occurs mainly due to the following reasons [17]:

- wear of the working pairs;
- wear of the assembly spindle section;
- wear of the swivel joint;
- technological reasons for failure: separation of elements of the rotor group, separation of threads on the body, slurry of working bodies, failure of the overflow valve, etc.;

– breakdown due to breakdowns: tearing the elastomer plate from the stator housing, breaking the torsion bar, the output and propeller shafts [18].

The comparative diagram is shown in Figure 1 of the reasons for the output of screw downhole motors in percentages.

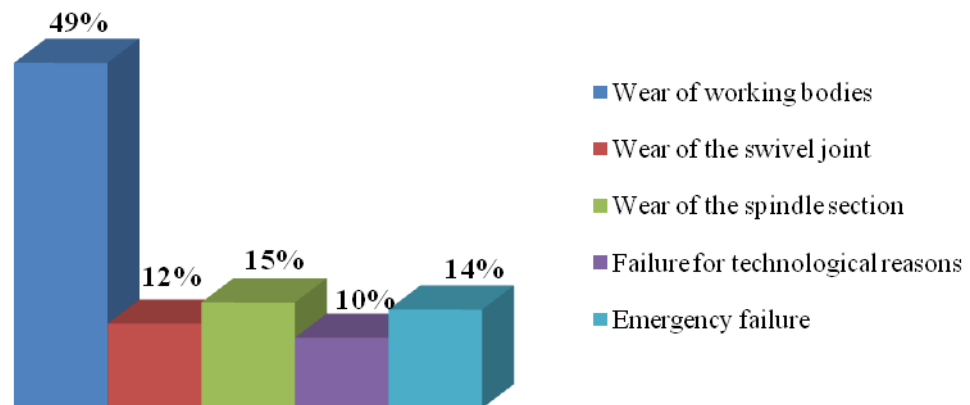


Figure 1 - Diagram of the reasons for the output of screw downhole motors

In addition, it was found that the wear of the working pair is 45% after 100 hours of engine operation. Of these, the most intensive deterioration of the rubber shell of the stator occurs in the first 60-80 hours of operation in the well. The reasons are in the increased initial diametrical tension, the strength characteristics of the interacting surfaces of the working pair (rubber-steel). Also one of the reasons is to increase the mechanical and hydraulic resistance in the working bodies when helical surfaces are produced under the action of radial forces [18]. Additional lifting operations lead to an increase in the time spent on building a well by 5-10%.

1.6 Analysis of the main causes of stator rubber wear

The working bodies of the downhole motor are subjected to various types of wear during operation. There are hydroabrasive, friction, fatigue, erosion and corrosion-mechanical at elevated temperatures and pressures.

On the basis of data from production, there are the several main causes of destruction of the elastomeric stator lining.

- Torque overloads the engine. This is due to the increased pressure drop of the flushing fluid in the working bodies.

- Destruction of the rubber stator lining due to fatigue.
- Wear of the working surfaces of the stator and rotor.
- Destruction of the elastomer under the influence of thermal effects.

When a downhole screw motor is braked, large deformation occurs on the teeth of the stator rubber plate. Deformation occurs when very large pressures drop in the working bodies, the sticking of the bit, the violation of drilling technology. This deformation can lead to stresses that exceed the tensile strength of the rubber. They lead to its pulling out (Figure 2).



Figure 2— View of stator lining after tearing rubber

Wear on the stator and rotor surfaces is unavoidable during engine operation. However, due to many factors, wear can be accelerated many times. Engine failure will occur before the passport overhaul period. Negative factors are the aggressive composition of the drilling fluid, the non-compliance of the operating temperature of the elastomer at the bottomhole, the high content of abrasive particles and the solid phase [18, 6]. These factors affect the life of the working pair and the elastomer of the screw downhole motor. Figure 3 shows an example of wear of the elements of the engine operating pair.

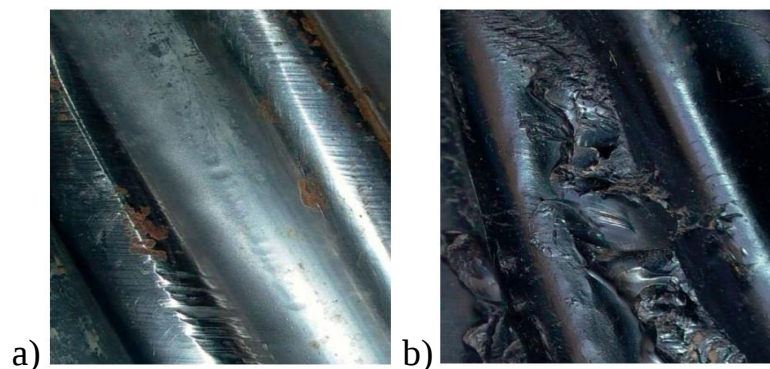


Figure 3 - Wear of the surfaces of the working pair: a) the rotor; b) stator plates

Aggressive environment has a direct and indirect effect on the rubber lining. Indirect impact is wear through rotor wear. Abrasive wear of the surface and the action of an aggressive environment serve as a catalyst for the corrosion process of the RCD rotor. A damaged rotor begins to cut the elastomer as a result of wear. This is shown in Figure 4.



Figure 4 - Corrosion wear of the rotor

Rubber is a viscoelastic material. This means part of the mechanical strain energy is converted into heat energy. Permanent cyclic loads act on the rotor side. The hysteresis effect occurs in the elastomeric stator lining. Heat is released after each cycle under the influence of this effect. Heat is accumulated in the center of the stator rubber tooth. This happens due to the low thermal conductivity of rubber and poor heat removal to the metal stator core [1]. Figure 5 shows the temperature distribution obtained as a result of research by Radius-Service. The conditions under which these temperature values were obtained are the following: the flush fluid consumption is 35 liters per second, the drilling fluid temperature is 60 ° C, the pressure drop on the downhole motor is 45 kgf / cm², the test time is 30 minutes.

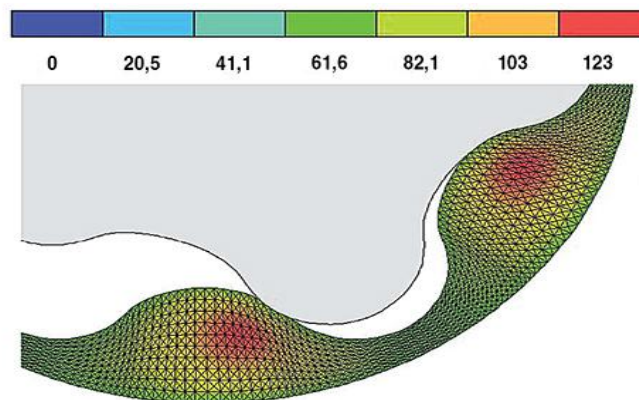


Figure 5 - Temperature distribution in the rubber stator lining

The rubber begins to lose its elastic properties and becomes brittle due to the high temperatures in the teeth of the elastomer plate. After that, it can form cracks that grow and lead to tooth tearing. The result of the self-heating of the rubber lining in cross section is shown in Figure 6 [1].

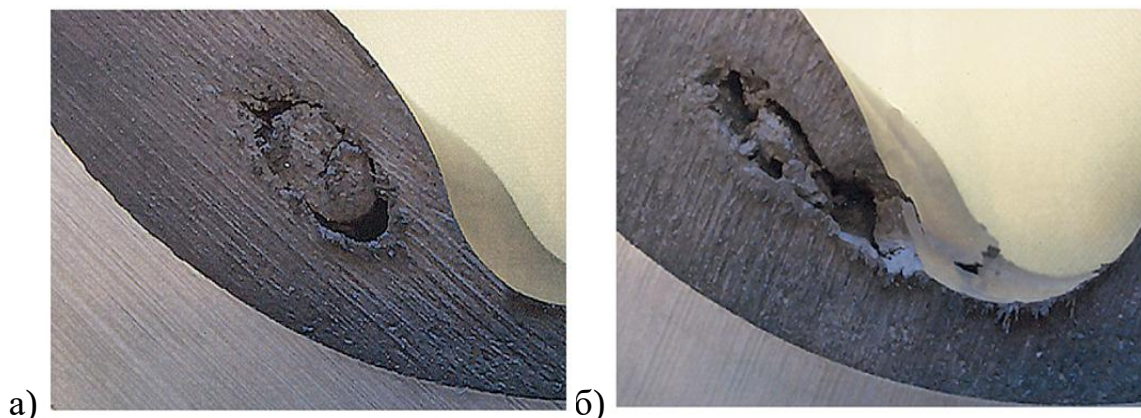


Figure 6 - a) the beginning of the destruction of the elastomer plate in the center of the tooth; b) the developed destruction of rubber

Thus, today there are many problems leading to premature failure of the elastomer facing of a downhole screw motor. All of these problems together require high-quality solutions.

1.7 Scientific work of scientists to solve the problem of increasing the resource of the operating time of a downhole motor

Kochnev AM, Goldobin V.B. noted in the article [22] that the working organs are subjected to various types of wear. There are hydroabrasive, frictional, fatigue, and also under the influence of elevated temperatures and pressures - erosion and corrosion-mechanical. The authors also identify the processes of stress relaxation and accumulation of residual deformation, which lead to a reduction in the interference between the stator and the rotor, as the reasons for the decrease in the efficiency of the motors.

Baldenko D.F. and Korotaev Yu.A. consider in their works different directions for improving the design of downhole motors and the ways of increasing their motor resources. In brief, they are increasing the length of the working pair; reduction of rotor mass; the use of a stator with a uniform structure of the elastic lining;

optimization of geometric and structural parameters of working bodies; choice of rubbers of other brands for the manufacture of elastomer. There are several main factors that negatively affect the resource of the working pair and the elastomer of the stator lining. These include the aggressive composition of the drilling mud (high content of hydrocarbon phase, salts, etc.); the elastomer operating temperature is not at the bottom [2].

Korotaev Yu.A. defined in the thesis [19] and the article [6] the main directions of the development of the screw downhole motors design. They are aimed at increasing the load capacity of engines, wear resistance of parts and components, increasing the overhaul period of operation. The ways to increase the wear resistance of the "rotor-stator" friction pair are designed to improve stators with an elastomeric coating of equal thickness and sectioning, an increase in the active part of the working members. Reducing the maximum thickness of the rubber lining of the stator reduces the amount of heat produced. This leads to a minimization of fatigue of the elastomer due to the effect of hyperstysis, and the interference in the "rotor-stator" connection is less dependent on swelling of the elastomer and temperature. On the other hand, such measures are not always effective and lead to a decrease in the processability of use and significantly complicate the manufacturing process, especially small-sized downhole motors.

Osipov D.A. notes in his thesis "Hydromechanical behavior and fatigue endurance of the working section of the screw downhole motor" [24] the most important factor affecting the service life of the stator is the interference in the section of the working bodies. The optimum choice of interference provides a balance between the efficiency of the motor section, the friction losses and the life of the stator [24]. The increase in the interference reduces the volume losses and increases the mechanical losses. Strictly speaking, the tension affects the working volume of the screw downhole motor. When the tension is high, stresses appear in the rubber and greatly increase the friction losses. The service life of the stator decreases with a too high tension.

Currently, the tension is adjusted in the working pair by manufacturing the corresponding core of the mold and selectively assembling the working pair [3]. Shulepov V.A. notes in his work [29] that the stator teeth due to the presence of profile errors often turn out to be thinner than nominal ones. There are errors in the interference in the meshing, which leads to a reduction in the stator's stock for wear and its endurance. This, in turn, reduces the longevity of the This, in turn, reduces the longevity of the rotary mechanism. The author sees a solution to the problems of improving the design of the motor section and increasing the service life of the screw downhole motor in the method of nondestructive testing of the stator profile on the core of the mold. This method makes it possible to evaluate the influence of the manufacturing error on the fatigue endurance of any stator under operating conditions. It is also possible to adjust the profile of the core of the mold taking into account the expected shrinkage of the rubber to form the stator lining. In the final analysis, it becomes possible to select the interference ensuring the optimum service life of the stator [29].

In addition, the method of auto-compensation of wear is developed and implemented in the working parts of the screw downhole motor. Karapetov R.V. [17] based on the proposed method, the use, friction-activated, of the diffusion interaction of the elastic material of the stator with the working fluid in order to restore the tension in the pair by changing the size of the rubber element without interfering with the operation of the hydraulic machine.

Fufachev O.I. considers in article [28] one of the possible directions for improving the operational and power characteristics of a screw downhole motor. It is the improving of the design of the stator by upgrading its elastomeric layer, which forms an internal screw working surface. At the moment, stators with all-rubber screw teeth are used in the design of screw downhole motors. When the temperature and pressure of the drilling fluid inside the stator with the whole-rubber tooth are affected, the geometries of the cycloidal profile of the rubber cover are distorted. This leads to a change in the tension and the design engagement geometry in the pair.

Rubber is a viscoelastic material, part of the mechanical deformation energy is converted into thermal energy. Heat accumulates in the center of the rubber tooth of the stator, as a result of low heat conductivity of the rubber and poor heat removal to the metal core of the stator [26]. Plotnikov V.M. showed in his paper [29] that the removal of heat from the standard stator's lining in the zone of maximum deformations of the screw tooth is insufficient. The heating of the elastomer deteriorates the resiliently-elastic and mechanical properties, resulting in lower durability and strength. Overheating of the rubber tooth of the stator can lead to thermal destruction of the elastomeric liner.

In the article by Andoskin V.N. [1] it is said that as a result of the conducted development work, the technology of manufacturing a monolithic construction of a profiled stator core was developed. This technology provides a uniform thickness of rubber coating. The stator frame is a steel pipe with a profiled inner surface. The inner profile of the core is designed in such a way as to provide a uniform thickness of the elastomeric coating within 5 - 12 mm, depending on the size of the downhole motor. The constant thickness of the rubber lining of the stator significantly increases the power characteristic of the engine. The amount of generated and stored heat is reduced by reducing the maximum thickness of the elastomeric stator plate. Together, this leads to a minimization of the fatigue of the elastomer due to the hysteresis effect.

The stator teeth have simultaneous contact with all the teeth of the rotor and form closed helical cavities. Goldobin D.A. noted that as a result of the portable rotation of the rotor there is a centrifugal force that presses the rotor against the stator plate. This force at a high frequency of portable rotation leads to intense transverse vibration and adversely affects the longevity of the working pair and the engine as a whole. In this regard, another direction that increases the life of the engine is highlighted. This is a reduction in the mass of the rotor to minimize the effect of inertial loads on the stator teeth. Experience shows the manufacture of screw downhole motors by the "LLC VNIIBT - Drilling Tools", - the mass of the rotor -

can be significantly reduced through the use of thin-walled steel shells obtained by the method of plastic deformation [11].

The unique low-cost manufacturing technology from thin-walled tubular blanks of screw sheaths was developed for the first time in the world under the guidance of A.M. Kochneva's in the Perm branch of VNIIBT. It allows using them for manufacturing reinforced stators and lightweight rotors [21, 22]. However, it turned out that the research on the production of reinforced stators with the use of thin-walled helical shells by hydraulic stamping was not carried out either abroad or in our country. The technology and construction of lightweight rotors has not been adequately researched. As a result, the required tooth profile accuracy was not ensured during production. Also, the equipment used did not allow the production of screw casings of various diameters. Forming cores quickly failed due to low wear resistance of the teeth. As a matter of fact, this prevents the introduction of downhole motors of new designs with reinforced stators and lightweight rotors [21, 22].

There is also a direction to increase the life of the elastomeric layer of the screw downhole motor by improving the vulcanization of rubber. In the patent Korotkikh N..I. and Korotaeva Yu.A. [12] have proposed a method for vulcanizing a rubber mixture IRP-1226. It provides, in comparison with the standard vulcanization regime, an increase in the durability and reliability of the stators. This is ensured by the introduction of flexible vulcanization regimes and obtaining only positive (conforming to regulatory requirements) properties of the rubber lining of the stator.

Baldenko D.F. held experimental studies on the samples of IRP-1226 in the work "Screw Hydraulic Machines, Volume 2. Screw Downhole Motors". It was found that an increase in the elastomer temperature due to self-heating and downhole conditions leads to a decrease in the static modulus of elasticity by 25% at a temperature of 77 ° C. At the same time, there is a decrease in fatigue endurance, which leads to a reduction in the motor's engine resource under cyclic loads. This is due to the influence of temperature on the structural changes in the rubber. The destruction of the elastomer begins at a self-heating temperature above 165° C IRP-1226, which is accompanied by intense gas evolution [2].

Most elastomers are able to "absorb" gases and light aggressive liquids. These properties are characterized by the swelling of elastomers in certain media, which is estimated as a percentage change in volume or mass. At negative values, these values are associated with the extraction or washing out of a number of substances from the elastomer, most often the plasticizer [2]. Swelling of elastomers in solvents depends on their solubility. Swelling can cause irreversible changes in the mechanical properties of the elastomer in chemically aggressive media, such as strength and elasticity due to the weakening of intermolecular bonds. As a rule, the longevity of rubbers decreases the more significantly, the larger the swelling value is.

In addition, the article Epikhin AV, Melnikov V.V. [13] notes that the swelling of the stator lining leads to a decrease in the efficiency of the screw downhole motor due to the formation of an excessively large diametrical interference of the working pair. The creation of a larger torque will be required to operate the engine. Together with the drop in the elasticity of the rubber, this will lead to a rapid destruction of the elastomer [13]. There is a faster wear due to reduced elasticity and strength when subjected to static loads on the swollen elastomer. Also, swelling adversely affects the resistance to cyclic loads due to reduced fatigue resistance of the rubber.

Over the years, an oil resistant rubber compound of increased wear resistance based on butadiene-nitrile caoutchouc IRP-1226 is used to manufacture the elastomeric coating of stators of domestic screw downhole motors. Analysis of the requirements for the rubber coating of the stator shows that the domestic industry did not have rubber that fully satisfied the conditions of operation of the screw downhole motor. To the greatest extent, the IRP-1226 rubber meets the specified requirements in terms of physical and mechanical properties. It was adopted as a material for the stator lining of the first domestic screw engines and is currently in use. However, now IRP-1226 began to lose its relevance due to a number of reasons [6]. There are low fatigue resistance and frost resistance, insufficient scorch time and high viscosity, low stability under the influence of high temperatures and when working in aggressive environments of modern drilling fluids, especially on a hydrocarbon base.

As there is no possibility to use it qualitatively in connection with the need to increase the length of the working bodies of the screw downhole motor.

Korotkikh N.I. considered the problem of developing new brands of rubber compounds for stator screw downhole motors in her thesis "Development of elastomeric compositions for drilling equipment" [20]. As a result, the compositions of rubber compositions were developed to ensure the reliability and durability of the stators of screw downhole motors and allow the use of screw downhole motors in the construction of high-temperature wells. On the other hand, the results of the work require a large number of industrial tests to confirm the effectiveness of the applicability of new rubber compounds and increase the service life of the engines under operating conditions.

1.8 Ways to solve the problem of premature wear of the working bodies of the screw downhole motor

Based on the analysis of the work of various researchers on this topic, the following methods are currently being investigated to increase the service life of the downhole screw section working section.

1. *Profiled stator*. By reducing the maximum thickness of the elastomer plate of the stator decreases the amount of heat generated and stored. Together, this leads to minimization of fatigue of the elastomer due to the hysteresis effect. Under the same test conditions as for the standard lining, Radius-Service recorded a general decrease in the temperature of the stator lining. The temperature in the stator teeth after 30 minutes of operation has decreased from 123 to 96 ° C (Figure 7).

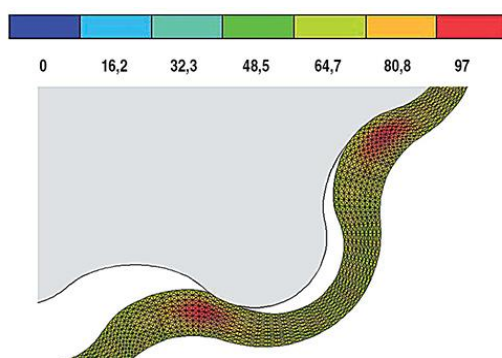


Figure 7 - Temperature distribution during the operation of a downhole motor with a profiled stator

2. *Reducing the mass of the rotor* will minimize the effect of inertial loads on the teeth of the stator. The mass of the rotor can be significantly reduced through the use of thin-walled steel shells in the manufacturing process.

3. *Improvement of rubber vulcanization* regimes will allow to increase the durability and reliability of the stators compared with the standard vulcanization mode. This will be achieved through the introduction of flexible modes of vulcanization and obtaining only the positive properties of the rubber stator lining.

4. *Improving the geometry of the working bodies* of the screw downhole motor. This solution includes the increase in the active part of the working bodies of the downhole motor, the preservation of the original diametrical tension and its compliance with the calculated value in the manufacturing process. This will reduce the stresses that occur in rubber while the engine is running, and maintain efficiency.

5. *The development of new brands of rubber mixtures* for the stator of a downhole motor will improve the technical characteristics of rubber compounds and their wear resistance, therefore, to increase the service life of the engine itself.

Under the guidance of a senior teacher Epihin A.V. students of Tomsk Polytechnic University found that by keeping rubber samples of IRP-1226 in a solution of sodium chloride, an increase in wear resistance to cutting and friction was recorded relative to samples kept in water and samples that had not undergone any treatment. Based on this, it was suggested that the treatment of the rubber lining of the working pair with salt solutions may lead to its reinforcement and increasing the service life of screw downhole motors. This way of increasing the service life involves the improvement of the already manufactured rubber compounds, by adding salt crystals to their reinforcing elements structure.