

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
Направление подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
Кафедра теоретической и прикладной механики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Компенсационная канатная муфта для электроприводных насосных агрегатов УДК 621.65-83-231.322

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е31	Лушников Александр Валерьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Манабаев К.К.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Антонова И.С.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Невский Е.С.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПМ	Пашков Е.Н.	к.т.н.		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
Направление подготовки / профиль 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» /
«Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»
Уровень образования бакалавриат
Кафедра теоретической и прикладной механики
Период выполнения весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2017
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.05.17	<i>Теоретическая часть. Построение расчётной модели</i>	45
24.05.17	<i>Расчётная часть</i>	45
27.05.17	<i>Устранение недочётов в работе</i>	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Манабаев К.К.	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПМ	Пашков Е.Н	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Общекультурные компетенции		
P1	Способность применять базовые и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук для обеспечения полноценной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1; ОК- 9; ОК-10)1, Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий	Требования ФГОС (ОК-7; ОК- 11; ОК -13; ОК-14, ОК-15), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.2, п. 5.2.8 , п. 5.2.10), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования, уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.	Требования ФГОС (ОК -5; ОК -6; ОК -8), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.16), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Способность эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей, уметь проявлять личную ответственность	Требования ФГОС (ОК-4; ПК- 9; ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.11), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, осведомленность в вопросах охраны здоровья, безопасности жизнедеятельности и труда на нефтегазовых производствах	Требования ФГОС (ОК-2; ОК- 3; ОК-5; ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.12; п. 5.2.14, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке; анализировать существующую и разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности на предприятиях машиностроительного, нефтегазового комплекса и в отраслевых научных организациях	Требования ФГОС (ОК-14; ОК-15; ОК-16), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.13), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
Р7	Умение использовать методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности с целью моделирования объектов и технологических процессов в нефтегазовой отрасли, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования машиностроительной продукции	Требования ФГОС (ПК-7; ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р8	Умение обеспечивать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий машиностроительного производства, осваивать новые технологические процессы производства продукции, применять методы контроля качества новых образцов изделий, их узлов, деталей и конструкций	Требования ФГОС (ПК-1; ПК- 3; ПК-26) , Критерий 5 АИОР (п. 5.2.5; п. 5.2.7; п. 5.2.15), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р9	Способность осваивать вводимое новое оборудование, проверять техническое состояние и остаточный ресурс действующего технологического оборудования, в случае необходимости обеспечивать ремонтно-восстановительные работы на производственных участках предприятия	Требования ФГОС (ПК-2; ПК- 4; ПК-16), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.7, п. 5.2.8), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р10	Умение проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов, применять методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий	Требования ФГОС (ПК-18), Критерий 5 АИОР (п.5.2.4, п. 5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р11	Умение проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений, выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении изделий нефтегазового производства	Требования ФГОС (ПК-6; ПК- 12; ПК-14; ПК-15; ПК-24), Критерий 5 АИОР (п.5.2.3; п. 5.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Р12	Умение применять стандартные методы расчета деталей и узлов машиностроительных изделий и конструкций, выполнять проектно-конструкторские работы и оформлять проектную и технологическую документацию соответственно стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования.	Требования ФГОС (ПК-21; ПК- 22; ПК-23), Критерий 5 АИОР (п. 5.2.1; п. 5.2.9), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов
Направление подготовки / профиль 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» /
«Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»
Кафедра теоретической и прикладной механики

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
4Е31	Лушников Александр Валерьевич

Тема работы:

Компенсационная канатная муфта для электроприводных насосных агрегатов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	07.03.2017, № 2305/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Анализ напряжённо-деформированного состояния компенсационной канатной муфты при передаче крутящего момента от электродвигателя магистрального насосного агрегата. Материалы канатной муфты: полумуфты и крепёжные втулки – сталь 40Х, канат – сталь 12Х18Н9. Крутящий момент электродвигателя в момент пуска 16 кНм.
---------------------------------	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>1. Аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений науки и техники в рассматриваемой области. 2. Построение расчётной модели канатной муфты и моделирование процесса передачи момента с последующим прочностным расчётом в программном комплексе ANSYS. 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 4. Социальная ответственность. 5. Выводы по работе.</p>
--	--

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
---	--

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
--	--

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Антонова Ирина Сергеевна, доцент кафедры менеджмента, к.э.н.
«Социальная ответственность»	Невский Егор Сергеевич, ассистент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности

<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>
--

<p>Реферат (английский язык)</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>06.02.2017</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Манабаев К.К.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е31	Лушников Александр Валерьевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 104 с., 39 рис., 19 табл., 22 источника, 1 прил.

Ключевые слова: магистральный насосный агрегат, компенсационная канатная муфта, канат, крутящий момент, напряжённо-деформированное состояние.

Объектом исследования являются муфты, предназначенные для передачи крутящего момента, демпфирования вибраций и компенсации отклонений валов в процессе работы насосного агрегата.

Цель работы – проверочный расчет с последующим анализом напряжённо-деформированного состояния канатной муфты, которая подвергается действию крутящего момента от вала электродвигателя, в программном комплексе ANSYS.

Задачи:

- изучить существующие муфты, выявить их достоинства и недостатки;
- рассмотреть виды расцентровки и методы центровки агрегатов;
- разработать расчётную модель канатной муфты;
- провести моделирование напряжённо-деформированного состояния муфты под действием крутящего момента.

В дипломной работе рассмотрена классификация муфт, их устройство и принцип действия. В программном комплексе SolidWorks построена расчётная модель канатной муфты, проведено моделирование действия крутящего момента на канатную муфту в программном комплексе ANSYS и определено напряжённо – деформированное состояние муфты.

Пояснительная записка выпускной квалификационной работы выполнена в тестовом редакторе Microsoft Word 2013. Создание расчётной модели канатной муфты осуществлялось в программном комплексе SolidWorks, моделирование напряжённо-деформированного состояния модели происходило в программном комплексе ANSYS.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы следующие ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
- ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования.
- ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Общие требования.
- ГОСТ 12.0.004-90 «Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения».
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов».

Оглавление

Введение.....	11
Обзор литературы.....	13
1. Классификация муфт	15
1.1. Глухие муфты	16
1.2. Жёсткие компенсирующие муфты.....	19
1.3. Муфты компенсирующие упругие.....	24
1.4. Сцепные муфты.....	32
1.5. Муфты универсальные компенсирующие.....	36
1.6. Подбор и расчёт муфт.....	38
2. Расцентровка валов в агрегатах.....	40
2.1. Виды и причины расцентровки	40
2.2. Методы и приспособления для центровки	42
3. Магистральный насосный агрегат.....	46
3.1. Характеристика нефтеперекачивающего магистрального насосного агрегата АНМ 3600-230.....	46
3.2. Патентно-информационный поиск муфт с использованием канатов.....	48
4. Расчёт канатной муфты	51
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	64
5.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований	66
5.2. Планирование научно-исследовательских работ	71
5.3. Определение ресурсоэффективности проекта	80
6. Социальная ответственность	83
6.1. Описание рабочего места на предмет возникновения опасных и вредных факторов, вредного воздействия на окружающую среду	87
6.2. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	88
6.3. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды	90

6.4. Охрана окружающей среды	92
6.5. Защита в чрезвычайных ситуациях	94
6.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	95
Заключение	97
Список использованных источников	98
Приложение А	100

Введение

В настоящее время промышленные муфты имеют широкую и разнообразную область применения. Использование муфт в различных областях породило их многообразие. Их можно подразделить на два типа: соединительные муфты и приводные муфты.

Соединительные муфты выполняют функции соединения труб, кабелей, канатов и тросов.

Приводные муфты являются важным элементом привода, которые во многом влияют на время исправной эксплуатации и надёжность машины. Поэтому, выбор и подбор муфт составляет одну из важных задач предприятия. Основным предназначением муфт этого типа является передача крутящего момента. Кроме того, они способны компенсировать несоосность валов, уменьшать влияние динамических нагрузок, а также выполнять функцию демпфирования вибраций и толчков в процессе работы.

Выбор муфты должен базироваться на предварительных расчётах, которые помогут правильно подобрать муфту. Правильно подобранная муфта, при условии выверки соосности, позволит значительно продлить технологический ресурс привода и увеличить период времени между проведением технического обслуживания.

Следует отметить, что уменьшение вибраций относится к числу актуальных и приоритетных проблем, которые требуют решения. Одним из представителей компенсирующих муфт, которая позволяет частично решить важную проблему, является предложенная модель компенсационной канатной муфты. Муфта, установленная между двигателем и насосом, работает при больших частотах вращения, следовательно, для демпфирования динамических и уменьшения пусковых нагрузок, целесообразно применять в конструкции муфты упругие элементы. В компенсационной канатной муфте демпфирующая способность достигается за счёт применения в конструкции металлического упругого элемента – стального троса.

Целью дипломной работы является исследование и анализ напряжённо-деформированного состояния канатной муфты, которая подвергается действию крутящего момента от вала электродвигателя, с помощью программного комплекса ANSYS.

Объектом исследования являются муфты, предназначенные для передачи крутящего момента, демпфирования вибраций и компенсации отклонений валов в процессе работы насосного агрегата.

Предметом исследования – компенсационная канатная муфта.

Обзор литературы

Создание новых машин или улучшение характеристик существующих машин во многом зависит от повышения долговечности составляющих их деталей. Одними из таких деталей являются муфты.

В настоящее время существует значительное число муфт различного исполнения, по этой причине возникают трудности в составлении единой классификации муфт. Авторы работ [1,2,3] приводят свою классификацию, которые имеют отличительные особенности. Но из всех классификаций составленными авторами прослеживается общее разделение на подгруппы постоянных, управляемых и самоуправляемых муфт.

В работе [4] особое внимание уделено рассмотрению упругих компенсирующих муфт. Автор работы отмечает универсальность данного типа муфт, которая заключается в одновременном снижении динамических нагрузок в процессе работы машины и компенсации перекосов и смещений осей соединяемых валов. Автор выделяет две основные характеристики муфт – податливость и демпфирующую способность, заключающуюся в поглощении части энергии за счёт деформации упругого элемента.

Вопросы уменьшения вибрации и смещений при работе агрегата также затронуты в работах [5,6,7]. Подлежит обсуждению пластинчатая муфта, которая используется в конструкции пакеты упругих пластин. В последнее время актуальной является задача обеспечения плавности передачи крутящего момента в момент запуска двигателя. Как показывает обзор литературы данная задача не решена в полной мере. Решением проблемы может быть применение канатной муфты, которая за счёт содержания в конструкции металлического упругого элемента – каната, сможет обеспечить плавность передачи вращения за счёт деформации каната в сочетании с демпфированием вибрации и компенсации отклонений валов.

Существуют конструкции канатных муфт, предлагаемые в [8,9], однако, следует отметить отсутствие в литературе экспериментальных данных, что

является существенным недостатком, поэтому экспериментальные исследования представляют интерес. В работе [10] указывается, что проведённые экспериментальные исследования моделей муфт показали большие возможности при работе в условиях расцентровки и надёжность работы муфты (радиальная – до 6 мм, угловая – до 5°, осевая – до 12 мм).

В данной дипломной работе исследуется напряжённо-деформированное состояние (НДС) канатной муфты с помощью программного комплекса метода конечных элементов ANSYS, которое сводится к оценке и анализу НДС наиболее слабого звена в конструкции муфты – отрезков стальных канатов. В заключении работы будет сделан вывод о работоспособности муфты в рассматриваемом агрегате. Использование метода конечных элементов в среде ANSYS позволяет определить напряжения, которые будут возникать в рассматриваемом теле, однако, степень точности и достоверность данных зависит от размеров конечного элемента.

1. Классификация муфт

В настоящее время существует множество разнообразных видов и конструкций муфт. Это связано с широкой областью применения муфт, условиями их работы и функциями, которые они должны обеспечивать. В общем случае муфты можно подразделить на два типа: соединительные муфты и приводные муфты.

Соединительные муфты выполняют функции соединения труб, кабелей, канатов и тросов. Они обеспечивают герметичность, прочность соединения, защищают от коррозии.

Основным предназначением приводных муфт является передача крутящего момента, без потерь и изменения направления. Кроме того, они способны компенсировать несоосность валов, уменьшать влияние динамических нагрузок, а также выполнять функцию демпфирования вибраций и толчков в процессе работы. В свою очередь приводные муфты имеют несколько классификаций [1].

1) По принципу действия:

- постоянные муфты – осуществляется постоянное соединение валов между собой, в течение всего времени эксплуатации машины;
- управляемые сцепные муфты – с помощью подачи команд системе управления, возможно осуществлять сцепление и расцепление валов в процессе работы;
- самоуправляемые муфты – срабатывают автоматически, разъединяя или соединяя валы при изменении определённого режима работы машины.

2) По характеру работы:

- жёсткие муфты – передают вращающий момент вместе с вибрациями, удары и толчки;
- упругие муфты – обеспечивают передачу крутящего момента и уменьшают действие динамических нагрузок, демпфируя вибрации и толчки, с

помощью присутствия в их конструкции упругих элементов (пружин, резиновых втулок и др.).

Также механические приводные муфты можно подразделить на следующие подгруппы:

- глухие (втулочные, фланцевые);
- компенсирующие (зубчатые, цепные);
- упругие (втулочно-пальцевые, с торообразной оболочкой, со «звёздочкой»);
- сцепные (кулачковые, фрикционные);
- предохранительные (фрикционные, с разрушающим элементом).

1.1. Глухие муфты

Глухие муфты относятся к постоянным муфтам. Муфту называют глухой, потому что при соединении двух валов она обеспечивает полное совпадение их геометрических осей. Является самым распространённым видом муфт. Но наибольшее распространение из них получили втулочные и фланцевые муфты, которые более подробно будут рассмотрены ниже.

Втулочные муфты

Втулочная муфта представляет собой втулку, которая установлена с зазором на концы соединяемых валов. Требование полной соосности, характерное для этого типа муфт, обеспечить достаточно трудно, поэтому между втулкой и валами делают небольшие зазоры. Принцип действия основан на передаче вращающего момента от ведущего вала к ведомому втулкой через штифты или через шпонку. Штифты установлены в отверстия, просверленные диаметрально сквозь втулку и концы валов.

Применяется для передачи небольших вращающих моментов, для соединения валов диаметром до 100 мм. Наружный диаметр муфты принимают в 1,5 – 1,6 раз больше диаметра вала. Длину муфты 3 – 5 диаметра вала. Диаметр штифта обычно принимают 0,25 диаметра вала. Материалами для

изготовления втулочной муфты являются сталь 30, сталь 45, для втулок больших диаметров применяют СЧ21, СЧ24.

Для втулочной муфты производят прочностной расчёт шпоночного соединения на смятие и срез. Для определения напряжений используют следующие условия прочности (1,2).

$$\sigma_{см} = \frac{2T}{z \cdot h \cdot l_p \cdot d} \leq [\sigma_{см}], \quad (1)$$

$$\tau_{ср} = \frac{2T}{b \cdot l_p \cdot d} \leq [\tau_{ср}], \quad (2)$$

где T – передаваемый крутящий момент, Н·мм;

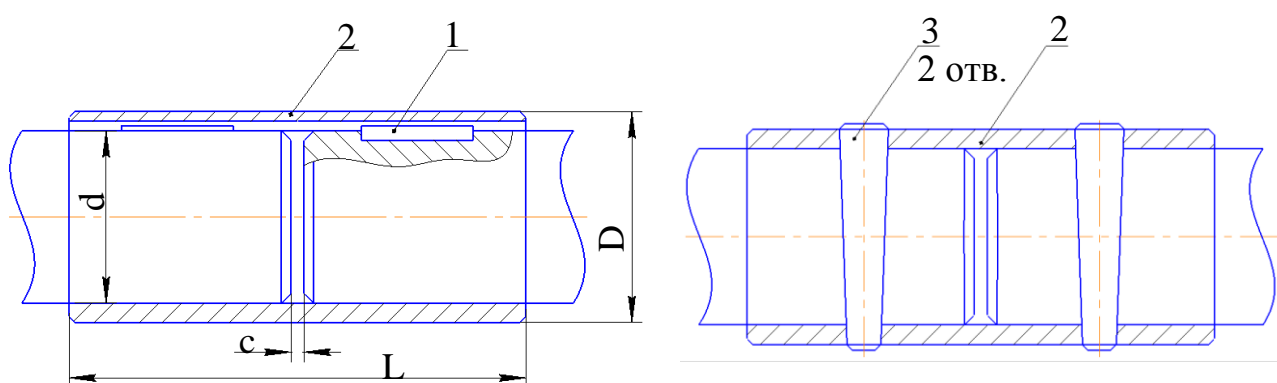
z – количество шпонок;

h, b – высота и ширина шпонки, выбираемые в зависимости от d вала, мм;

l_p – рабочая длина шпонки, мм;

$[\sigma_{см}], [\tau_{ср}]$ – допускаемые напряжения на смятие и срез материала шпонки, МПа.

Достоинством муфты являются низкая стоимость, простая конструкция и малые габариты. Недостатки связаны с неудобством монтажа и демонтажа муфты, которое требует больших осевых смещений соединяемых агрегатов.



1 – шпонка; 2 – втулка; 3 – штифт; с – зазор; L – длина втулки.

Рисунок 1 – Втулочная муфта

Фланцевые муфты

Фланцевая муфта состоит из двух одинаковых полумуфт с фланцами. Фланцы между собой соединены болтами. Причём, половину болтов устанавливают с зазором, а другую – без зазора. Центрирование полумуфт осуществляют болты, установленные без зазора. После затяжки болтов фланцы прижимаются друг к другу. Принцип действия муфты заключается в следующем: крутящий момент с валов на полумуфты передаётся с помощью шпоночного соединения. После этого, крутящий момент с первой полумуфты на вторую передаётся стержнями болтов, поставленных без зазора, и силами трения во фланцах. Фланцевые муфты просты по конструкции, могут передавать большие моменты, надёжны в работе, легки в монтаже. Недостаток – необходима строгая соосность валов и перпендикулярность соприкасающихся торцевых поверхностей полумуфт к оси вала. Иначе это может привести к изгибу вала, появлению дополнительных нагрузок на опоры и биению. Материал, используемый для изготовления полумуфт – сталь 40, 35Л, для больших размеров муфт чугун СЧ30.

Муфты проверяют расчётом на прочность для шпоночных соединений и болтов. При постановке болтов с зазором момент передаётся за счёт сил трения поверхностей полумуфт, производят проверочные расчёты болтов на растяжение (3), а при постановке болтов без зазора проверяют расчётом болтов на срез (4).

$$\sigma_p = \frac{8T \cdot K_p}{D_0 \cdot f \cdot z \cdot \pi \cdot d_0^2} \leq [\sigma_p], \quad (3)$$

$$\tau_{cp} = \frac{8T \cdot K_p}{\pi \cdot D_0 \cdot z \cdot d_0^2} \leq [\tau_{cp}], \quad (4)$$

где T – передаваемый крутящий момент, Н·мм;

K_p – коэффициент режима работы;

D_0 – диаметр расположения болтов, мм;

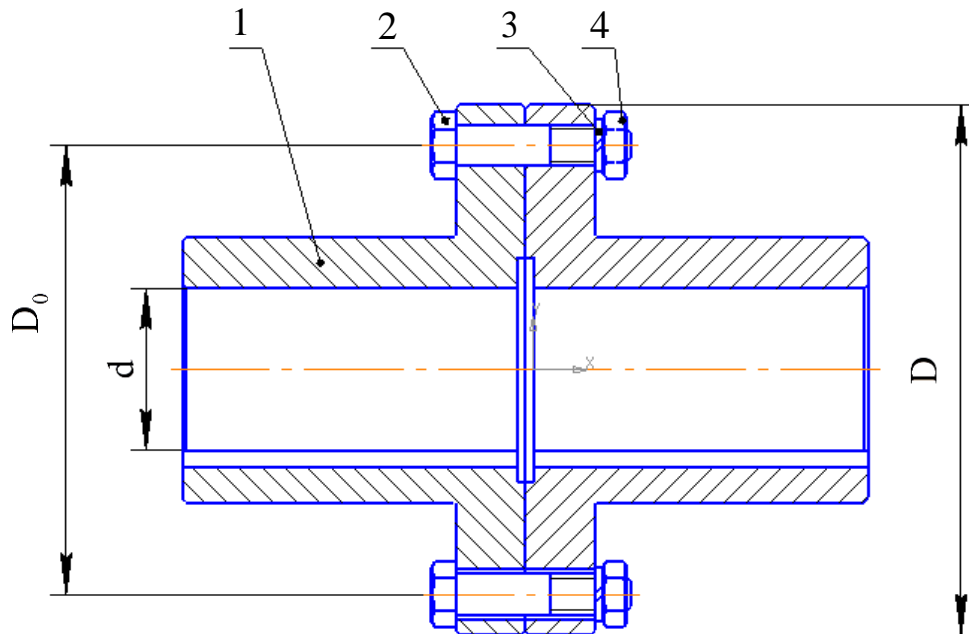
f – коэффициент трения, $f = 0,1 - 0,2$;

z – количество болтов, $z = 4 - 8$;

d_0 – внутренний диаметр резьбы болта, мм;

$[\sigma_p], [\tau_{cp}]$ – допускаемое напряжение материала на растяжение и срез болта

$[\sigma_p] = 50 \div 100$ МПа, $[\tau_{cp}] = 50 \div 90$ МПа.

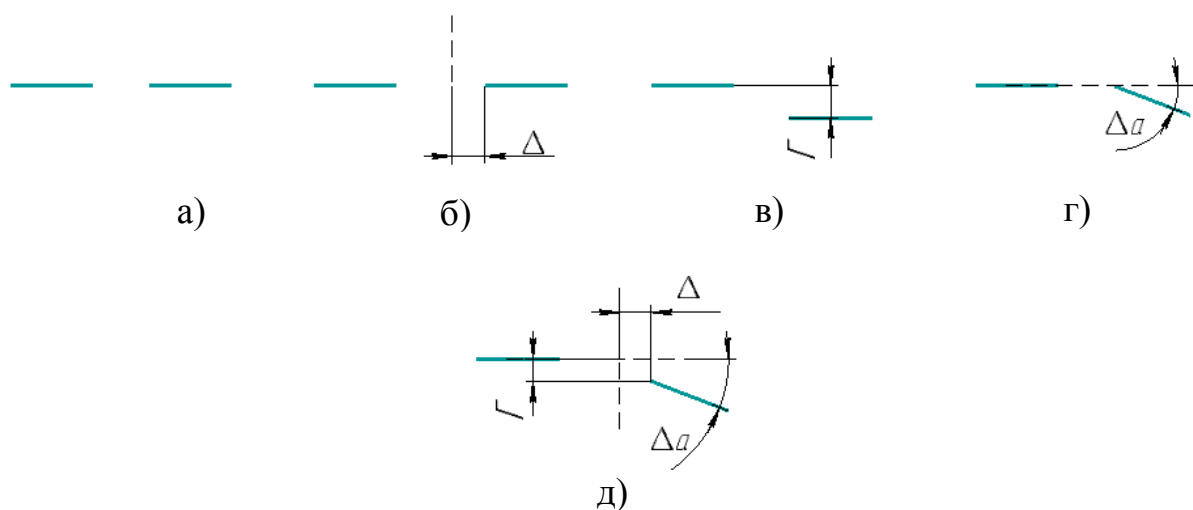


1 – полумуфта; 2 – болт; 3 – шайба; 4 – гайка

Рисунок 2 – Фланцевая муфта

1.2. Жёсткие компенсирующие муфты

Машины обычно выполняют из отдельных узлов по технологическим и экономическим причинам, соединяя их муфтами. Однако не всегда удаётся произвести точную установку валов из-за ряда причин: установки машины на нежёстком (деформируемом) основании, неточности изготовления и монтажа, упругих деформаций валов под нагрузкой, расцентровки валов при работе агрегатов, в результате тепловых деформаций. Вследствие этого возникают различные отклонения от номинального положения валов [11].



а) номинальное расположение; б) осевое смещение; в) радиальное смещение;
 г) угловое смещение; д) комбинированное смещение

Рисунок 3 – Виды смещений от номинального расположения валов

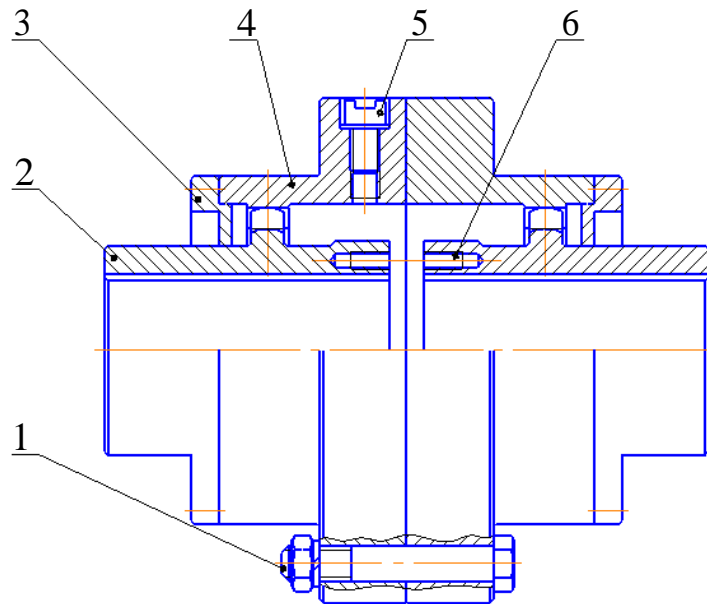
Компенсирующие муфты относятся к группе постоянных муфт. Предназначены для соединения валов с небольшими смещениями осей. Компенсирующие муфты в сравнении с глухими муфтами, приводят к взаимной соосности валов за счёт подвижности жёстких деталей, а не деформирования опор и валов. Тем самым, вызванные несоосностью валов, дополнительные нагрузки на валы и подшипники уменьшаются. Также при использовании компенсирующих муфт понижаются требования к точности расположения валов. Выделяют четыре вида отклонений валов от номинального (рисунок 3). Но на практике, как правило, единичные смещения валов встречаются редко. Наиболее часто встречаются комбинированное смещение валов.

Среди группы жёстких компенсирующих муфт широкое применение нашли зубчатые и цепные муфты.

Зубчатые муфты

Зубчатые муфты применяют для передачи вращающего момента от 1000 до 63000 Нм между горизонтальными валами диаметром до 200 мм. Обеспечивают надёжную, устойчивую работу муфты, передачу больших

моментов, в сочетании с высокими компенсирующими свойствами по всем видам несоосности и малыми габаритными размерами. Коэффициент полезного действия равен 98-99%.



1 – болт; 2 – втулка; 3 – крышка; 4 – обойма;
5 – отверстие для подвода масла; 6 – контрольные пояски

Рисунок 4 – Зубчатая муфта

Зубчатая муфта состоит из двух одинаковых втулок 2 (ступиц), которые имеют внешние зубчатые венцы. Втулки насажены на концы валов с помощью шпоночного соединения. Двух одинаковых обойм 4 с внутренними зубчатыми венцами. Втулки и обоймы входят в зубчатое зацепление. Обоймы соединены между собой болтами 1, поставленные в отверстие без зазора. К зубчатым обоймам винтами крепятся крышки 3, со встроенными резиновыми уплотнениями, которые удерживают жидкую смазку внутри муфты. В одной обойме делается отверстие 5, которое служит для подвода смазки внутрь муфты. Отверстие для смазки закрывается резьбовой пробкой. Внутреннее пространство муфты заполняется жидкой смазкой высокой вязкости для уменьшения износа зубьев и повышения коэффициента полезного действия (КПД) муфты. Для контроля соосности валов на втулках расположены пояски

6. Резьбовые отверстия – для крепления стоек индикатора. Операцию центрирования обоймы осуществляют по вершинам зубьев втулок.

Передача вращающего момента между обоймами и втулками происходит через зубчатое зацепление, а передача момента между обоймами – с помощью болтового соединения. Компенсация осевых, радиальных и угловых смещений валов обеспечивается за счёт радиальных и осевых зазоров зубчатого зацепления. Зубья имеют бочкообразную форму, обеспечивая при этом большую компенсацию углового перекося. При работе муфты интенсивно изнашивается боковая поверхность зубьев. Поэтому для повышения износостойкости зубьев зубья втулки и обоймы подвергают термообработке (улучшение), а муфту заполняют смазкой. Детали зубчатых муфт изготавливают кованными из углеродистых сталей типа 45, 40Х или литыми из стали 45Л.

Основным критерием работоспособности муфты является износ поверхностей зубьев. Проводят проверочный расчёт на смятие (5).

$$\sigma_{см} = \frac{T \cdot K_p}{D_0^2 \cdot b} \leq [\sigma_{см}], \quad (5)$$

где T – передаваемый крутящий момент, Н·мм;

K_p – коэффициент режима работы;

D_0 – делительный диаметр зубьев, мм;

b – длина зуба, мм;

$[\sigma_{см}]$ – допускаемое напряжение смятия, $[\sigma_{см}] = 12 \div 15$ МПа.

Цепные муфты

Цепные муфты применяют для передачи момента от 16 до 16000 Нм, для валов до 140 мм. В зависимости от размеров муфты допускают отклонения валов: радиальное – до 0,16–0,8 мм, угловое – до 1°. Цепные муфты компенсируют радиальные и угловые смещения валов за счёт осевых, радиальных и боковых зазоров между зубьями звёздочки и элементами, а также зазоров в самой цепи.



Рисунок 5 – Цепная муфта

Конструкция цепной муфты представляет собой две практически одинаковые полумуфты, которые устанавливаются на ведущий и ведомый валы, соединённые между собой однорядной или двухрядной цепью. Соединённые цепью полумуфты составляют силовой блок муфты. Силовой блок муфты закрывается разъемным кожухом (крышкой), состоящим из нижней и верхней части. Две части кожуха крепятся болтами, шайбой и гайкой. В одной из частей крышки делается отверстие с резьбой для подачи смазки в полость кожуха, которая закрывается пробкой. Для предотвращения утечки смазки и попадания пыли в узел трения, в кожухе предусмотрены пазы. В пазы устанавливаются уплотнительные кольца и прокладка. Чтобы исключить проворачивание кожуха относительно полумуфт, в одну из них устанавливается фиксирующий винт, который при сборке зайдёт в специальное углубление одной части кожуха. Принцип действия цепной муфты заключается в передаче нагрузки зуба ведущей звёздочки на цепь, а далее с цепи на зуб ведомой звёздочки. Применение двухрядной цепи обеспечивает повышенные компенсирующие возможности. Из-за наличия больших зазоров эти муфты не применяют в реверсивных приводах, так как при изменении направления вращения будут происходить удары. Полумуфты изготавливают из стали 45 и 45Л с твёрдостью рабочих поверхностей зубьев полумуфт 40-45 HRC.

Ввиду сложного закона распределения усилий по зубьям звёздочек проведение расчёта вызывает затруднение. Цепь выбирается на основе опытных данных [14]. Сила, с которой вал действует на муфту, рассчитывают по формуле (6).

$$F_m = \frac{600 \cdot T}{d_d}, \quad (6)$$

где T – передаваемый крутящий момент, Н·мм;

d_d – делительный диаметр звёздочки, мм.

Достоинства: простота конструкции, малые габариты и масса, удобство обслуживания и монтажа, надёжность работы и компенсирование радиальных и угловых отклонений валов.

Недостатки: наличие мёртвого хода (заключается в степени износа цепи и звёздочек), наличие угловых зазоров, не рекомендуется применять в реверсивных передачах.

1.3. Муфты компенсирующие упругие

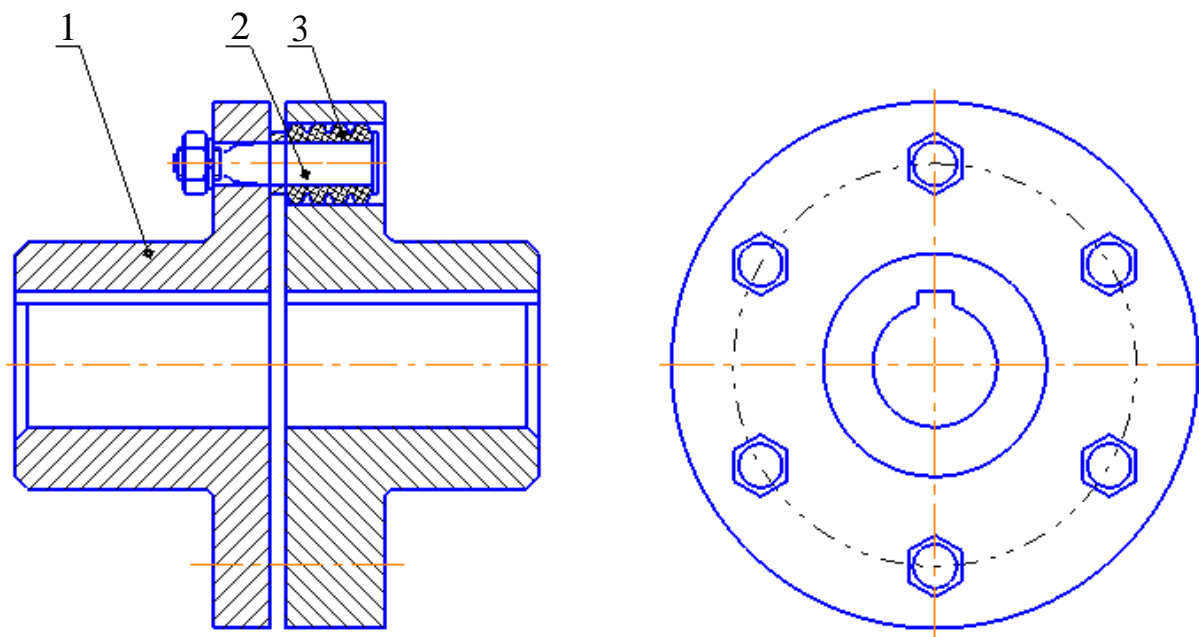
Компенсирующие упругие муфты предназначены для предохранения соединения валов от вибраций и амортизации колебаний, уменьшения динамических нагрузок, смягчения ударов и толчков в процессе работы и позволяют несколько скомпенсировать несоосность валов. Допускают радиальное смещение валов до 0,4 – 0,6 мм, угловое смещение до $1,5^\circ$. Муфты данного типа являются универсальными, из-за того, что в их конструкции присутствуют упругие элементы. Упругий элемент в конструкции муфты выполняет несколько функций: осуществляет передачу крутящего момента от одной полумуфты к другой; уменьшает динамические нагрузки; компенсирует несоосность валов. Вследствие этого, можно назвать основные характеристики упругих муфт: величина обратной жёсткости – податливость и демпфирующая способность (способностью поглощать часть энергии за счёт деформирования упругого элемента). Различают упругие компенсирующие муфты с неметаллическими и металлическими упругими элементами.

В качестве материала неметаллического элемента чаще всего используется резина. Муфты с использованием резины получили широкое применение благодаря своей сравнительной простоте конструкции, высокой податливости и хорошей демпфирующей способности, дешевизне изготовления и простоте монтажа и обслуживания. Вследствие невысокой прочности (малой долговечности) резины по сравнению с металлом, эти муфты имеют большие габаритные размеры. Также муфты не рекомендуется эксплуатировать при повышенных температурах. Поэтому, из выше сказанных достоинств и недостатков, муфты с неметаллическими упругими элементами чаще используют при передаче низких и средних крутящих моментов.

Муфты с металлическими упругими элементами требуют к себе большего внимания, в сравнении с неметаллическими. Часто используются стальные пружины, пластины и пакеты пластин, стержни. Муфты с использованием металлических элементов имеют большую долговечность, обладают большей нагрузочной способностью, меньшие габариты, хорошо работают в условиях большого диапазона изменения температур. Однако, в силу обладания большей жёсткости они менее эффективны в демпфировании и амортизации ударных нагрузок. Сложны по конструкции и изготовлению, дороже в цене, требовательны к уходу при эксплуатации. Рассмотрим несколько типов конструкций упругих компенсирующих муфт с различными упругими элементами.

Муфты упругие втулочно – пальцевые

Муфты упругие втулочно – пальцевые в силу простоты конструкции получили широкое применение в приводах при передаче вращающих моментов от 6,3 до 16000 Нм, для соединения валов диаметрами 10 – 160 мм.



1 – полумуфта; 2 – стальной палец; 3 – резиновая втулка

Рисунок 6 – Упругая втулочно – пальцевая муфта

Конструкцию муфты составляют две полумуфты 1, установленные на концы валов с помощью шпоночного соединения. Полумуфты соединены между собой стальными пальцами 2, которые закреплены в одной из полумуфт посадкой на конус гайками. На стальные пальцы надеты гофрированные резиновые втулки 3, для смягчения ударов. Материалом полумуфт служит чугун СЧ 40, сталь 30 или 35Л. Пальцы изготавливаются из стали 45. Резиновые втулки имеют небольшую толщину, поэтому амортизирующая способность муфты невелика, компенсируются незначительные смещения валов. Допускают осевое смещение валов – до 5 мм, радиальное – до 0,6 мм, угловое – до 1° .

В процессе передачи крутящего момента первая полумуфта (ведущая) с пальцами давит на гофрированные резиновые втулки, а втулки – на боковые поверхности отверстий второй полумуфты (ведомой). Пальцы при этом изгибаются, а втулки сжимаются. Именно для повышения демпфирующей способности, резиновые втулки делают гофрированными. Наличие несоосности приводит к износу резиновых втулок. Однако за счёт простоты конструкции, надёжности работы, лёгкости замены слабого упругого элемента – резиновой

втулки, обеспечили муфте достаточно широкое применение. Для муфты производят проверочные расчёты на изгиб пальцев (7) и смятие упругих элементов (8).

$$\sigma_{из} = \frac{T \cdot K_p \cdot l}{0,1 \cdot d^3 \cdot z \cdot D_0} \leq [\sigma_{из}], \quad (7)$$

$$\sigma_{см} = \frac{2T \cdot K_p}{z \cdot D_0 \cdot l \cdot d} \leq [\sigma_{см}], \quad (8)$$

где T – передаваемый крутящий момент, Н·мм;

K_p – коэффициент режима работы;

l – длина втулки, мм;

d – диаметр пальца, мм;

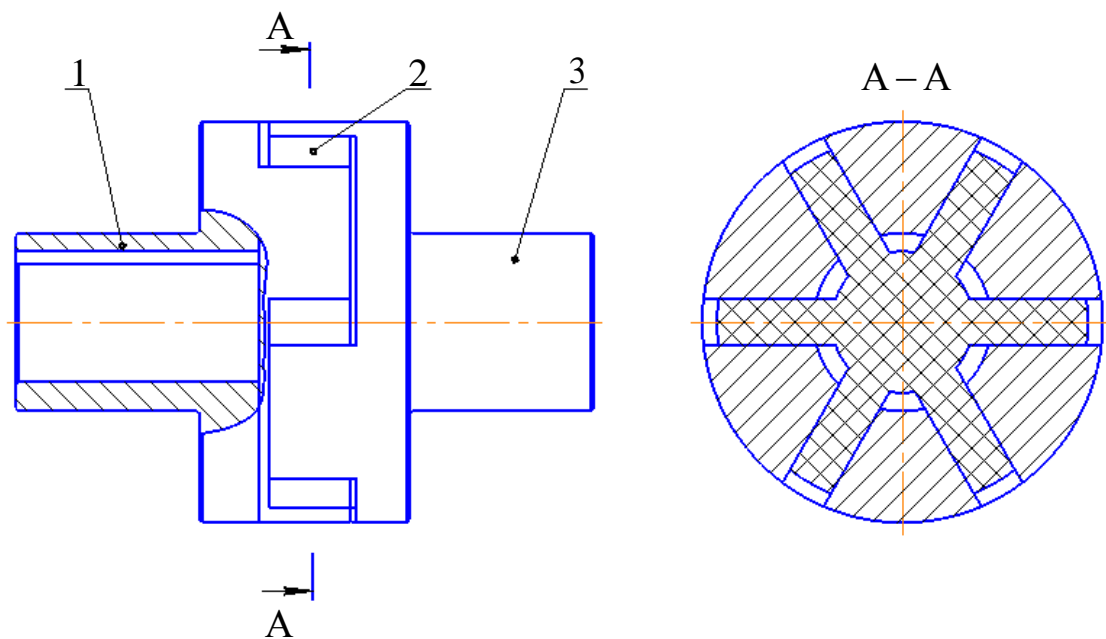
z – число пальцев;

D_0 – диаметр расположения центров пальцев, мм;

$[\sigma_{из}], [\sigma_{см}]$ – допускаемое напряжение материала на изгиб пальцев и смятие втулки, $[\sigma_{из}] = 60 \div 80$ МПа, $[\sigma_{см}] = 2 \div 4$ МПа.

Упругая муфта со звёздочкой

Упругие муфты со звёздочкой применяются для обеспечения функций упруго – компенсирующих муфт, при передаче крутящего момента от 2,5 до 400 Нм, для диаметров валов 12 – 45 мм. Наличие упругого элемента – звёздочки позволяет несколько скомпенсировать радиальные и угловые смещения валов (радиальные – до 0,5 мм; угловые – до 1,5°).



1, 2 – полумуфты; 3 – упругая звёздочка

Рисунок 7 – Упругая муфта со звёздочкой

Муфта состоит из двух полумуфт 1 и 2 (ведущей и ведомой), с внутренней стороны которых расположены торцевые кулачки треугольного или трапецеидального сечения. Кулачки входят во впадины промежуточного тела – упругой звёздочки 3 из технической резины, располагаемую между двумя полумуфтами. Использование упругого элемента накладывает ограничение эксплуатации муфты в диапазоне температур от минус 30 до плюс 90°С. (Допускается кратковременное нагревание до 120°С). При передаче момента работает только половина зубьев. По степени нагрузки муфты звёздочки делаются с разным количеством лепестков. При малых нагрузках используют звёздочки, оснащённые 4 лепестками, а больших – увеличивают до 6. Полумуфты изготавливаются из Ст3.

Оценку работоспособности муфты проводят прочностным расчётом звёздочки на смятие (9).

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{8000 \cdot T \cdot K_p}{(D_3^2 - d_3^2) \cdot H \cdot z} \leq [\sigma_{\text{см}}], \quad (9)$$

где T – передаваемый крутящий момент, $\text{Н} \cdot \text{мм}$;

K_p – коэффициент режима работы;

D_3 – наружный диаметр звёздочки, мм ;

d_3 – внутренний диаметр расположения кулачков, мм ;

z – число лепестков звёздочки;

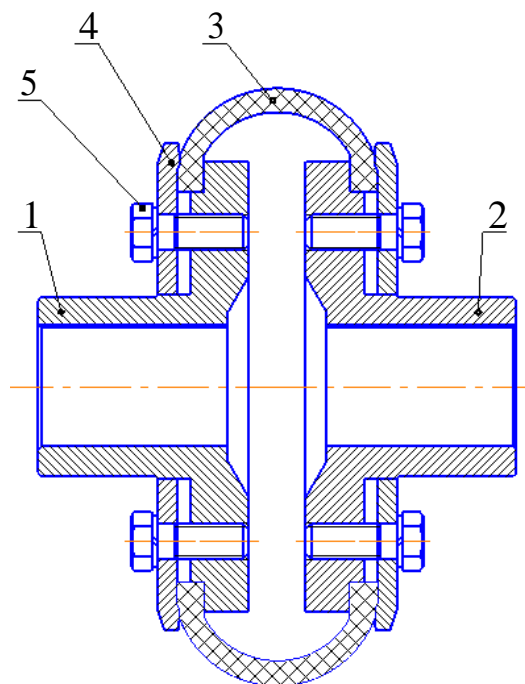
H – высота кулачков, мм ;

$[\sigma_{\text{см}}] = 2 \div 10 \text{ МПа}$.

Достоинства: просты по конструкции, лёгкость разборки и сборки, компактность и надёжность в работе. Недостатки: необходимость сдвига валов или полумуфт в осевом направлении на толщину резиновой звёздочки, небольшие диаметры валов и передаваемые моменты.

Упругая муфта с торообразной оболочкой

Муфта с торообразной оболочкой предназначена для передачи крутящих моментов от 20 до 40000 Нм, для валов диаметром 14 – 240 мм. Различают муфты с выпуклой и вогнутой торообразной оболочкой. Выпуклые обладают меньшей массой, имеют большую податливость по сравнению с вогнутыми, но передают на 20% меньший момент. Высокая податливость обеспечивает компенсацию всех видов отклонений валов. Однако, наличие даже небольших смещений в пределах допустимых, приводит к появлению напряжений в оболочках, их усталостному разрушению и понижению срока эксплуатации.



1,2 – полумуфты; 3 – оболочка; 4 – прижимное кольцо; 5 – винт

Рисунок 8 – Упругая муфта с торообразной оболочкой

Конструктивно муфта с выпуклыми торообразными оболочками состоит из ведущей 1 и ведомой 2 полумуфт, соединёнными между собой резиновой или резинокордной оболочкой 3. Оболочка прижимается к полумуфтам с помощью двух колец 4 и винтов 5. Резинокордный упругий элемент изготовлен из резины, который армирован нитями корда, слоями. Армирование оболочки позволяет увеличить срок службы оболочки до 6 – 7 раз. Для машин с малыми нагрузками используют резиновый упругий элемент (без корда). Он проще в изготовлении и ниже в стоимости. Материал полумуфт чугун СЧ40 или Ст3.

Достоинства: высокое компенсирование отклонений валов (радиальное смещение – 3– 4 мм; осевое – до 5 мм; угловые – до 3°). Недостатки связаны с большими радиальными габаритами муфты.

Наиболее слабым элементом в муфте является её оболочка, поэтому производят расчёт по условию прочности оболочки на сдвиг (10).

$$\tau = \frac{2000 \cdot T \cdot K_p}{\pi \cdot D_1^2 \cdot b} \leq [\tau], \quad (10)$$

где T – передаваемый крутящий момент, Н·мм;

K_p – коэффициент режима работы;

D_1 – диаметр между верхними точками прижимных колец, мм;

b – толщина оболочки, мм;

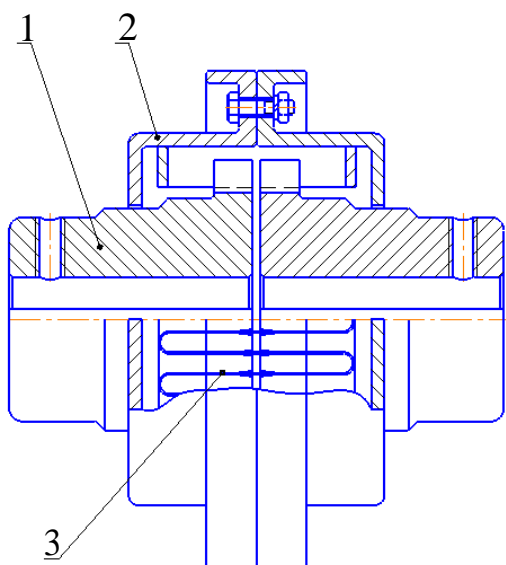
$[\tau]$ – допустимые касательные напряжения сдвига в оболочке,

$[\tau] = 0,45 \div 0,5$ МПа.

Упругая муфта со змеевидной пружиной

Муфта состоит из ведущей и ведомой полумуфт с зубьями 1, между которыми уложена пружина змеевидной формы 3. Кожух 2, состоящий из двух частей, осуществляет осевую и радиальную фиксацию пружины (удерживает в рабочем положении), защищает муфту от пыли и служит резервуаром для смазочного материала. Пружина изгибается под действием нагрузки, вступает в контакт с зубьями. Длина пружины увеличивается, уменьшается длина её активной части и жёсткость пружины увеличивается. Части кожуха соединяются винтами. Муфты способны передавать большие вращающие моменты, имеет небольшие размеры, но дорогостоящая.

Могут компенсировать радиальные смещения валов 0,5 – 3 мм, осевые – 4 – 20 мм и угловые до $1^\circ 15'$. Материалы полумуфт – сталь 45, 45Л; пружин – пружинные стали 65Г, 60С2.



1 – полумуфты; 2 – кожух; 3 – пружина

Рисунок 9 – Муфта со змеевидной пружиной

1.4. Сцепные муфты

Сцепные муфты относятся к типу управляемых сцепных муфт. Они предназначены для сцепления и расцепления валов. Некоторые виды сцепных управляемых муфт позволяют соединять или разъединять валы на ходу при работающем двигателе. Применяются в коробках передач и других механизмах при необходимости изменения режима работы [13]. По принципу передачи вращения сцепные муфты можно разделить на кулачковые муфты – передача вращающего момента происходит за счёт зацепления; и фрикционные муфты – момент передаётся за счёт сил трения.

Сцепные муфты должны обеспечивать при передаче вращающего момента быстроту и лёгкость соединения и разъединения валов, плавность и надёжность сцепления, обладать высоким КПД, иметь малый нагрев муфты и износ при частых переключениях, относительно небольшие габариты.

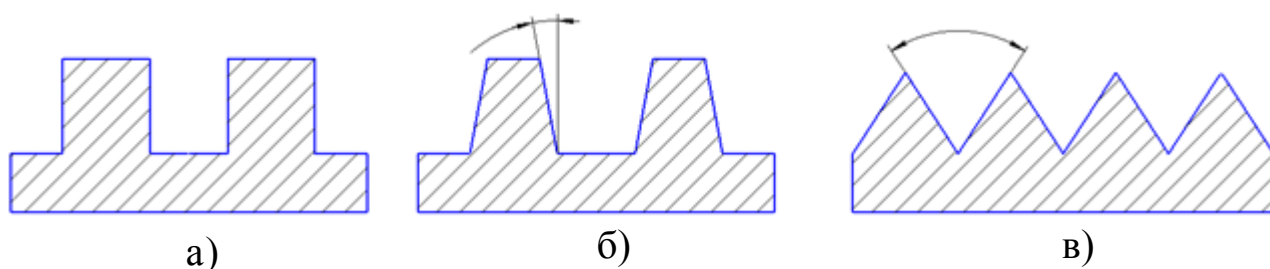
Кулачковые муфты

Кулачковые муфты представляют собой две полумуфты, имеющие выступы на торцевых поверхностях – кулачки. Одна полумуфта подвижная, а другая – нет. Подвижная часть перемещается вдоль вала по направляющей шпонке с помощью механизма управления. При соединении муфты кулачки одной полумуфты входят во впадины другой полумуфты, создавая жёсткое зацепление, тем самым передавая момент. Включение муфты производят при выключенном двигателе или при скоростях не более 1 м/с, во избежание ударов.



Рисунок 10 – Кулачковая муфта

Основные рабочие органы – кулачки могут изготавливаться разного профиля в зависимости от передаваемой нагрузки. Для больших нагрузок – прямоугольный профиль; средних – трапецеидальный; малые – треугольный.



а) прямоугольный профиль; б) трапецеидальный профиль;
в) треугольный профиль

Рисунок 11 – Профили кулачков

Достоинства: имеют простую конструкцию, сравнительно небольшие габариты и массу.

Недостатки: не допускают проскальзывания, требуют строгой соосности валов. Смещение от соосности приводит ухудшает работу муфт и приводит к быстрому износу. Как правило, невозможность включения на ходу.

Рекомендуемый материал кулачковых полумуфт - легированная сталь 20Х или 20ХН (с цементацией и закалкой). Размеры кулачковых муфт принимают конструктивно. Затем после принятия размеров проводят проверочные расчёты на прочность и износостойкость.

Кулачковые муфты имеют широкий спектр применения, начиная от ленточных конвейеров, центробежных компрессоров и насосов, электродвигателей и генераторных установок, и заканчивая тяжелыми мельницами, дробилками и подъемниками.

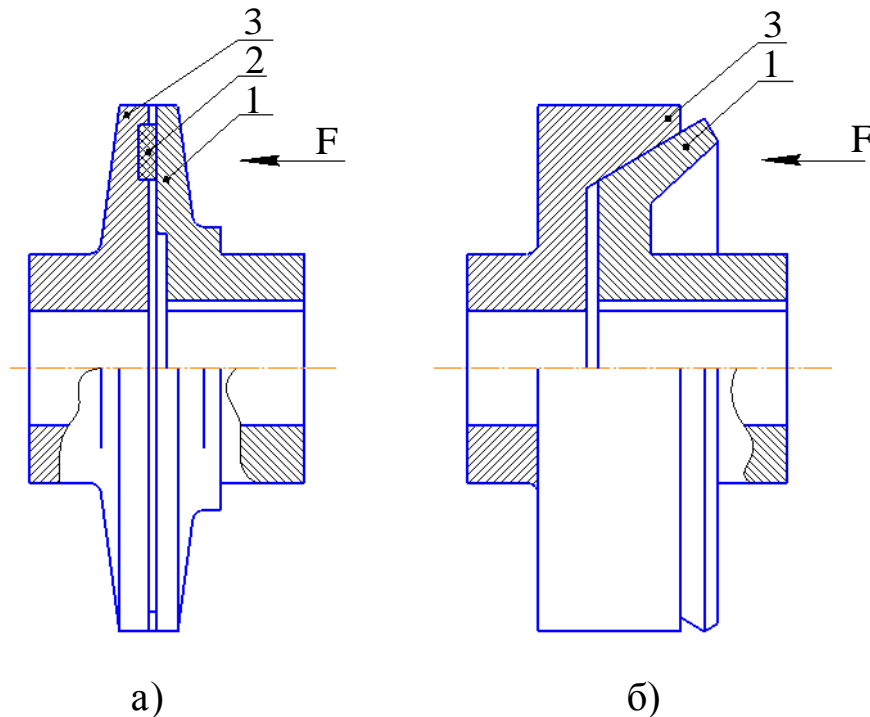
Фрикционные муфты

Фрикционные муфты передают вращающий момент за счёт сил трения рабочих поверхностей муфты. Предназначены для плавного соединения валов на ходу и медленного или быстрого разъединения. При работе муфты плавность соединения муфты обеспечивается в момент касания полумуфт, за

счёт относительного проскальзывания рабочих поверхностей. Вал разгоняется равномерно, без ударов. Когда движение устанавливается проскальзывание муфты прекращается, муфта и вал вращаются с одной и той же скоростью.

Фрикционные муфты обладают предохраняющей функцией: при возникновении перегрузки муфта начинает пробуксовывать.

Фрикционные муфты по количеству и форме поверхностей трения подразделяют на: дисковые, многодисковые, конусные и цилиндрические.



а)

б)

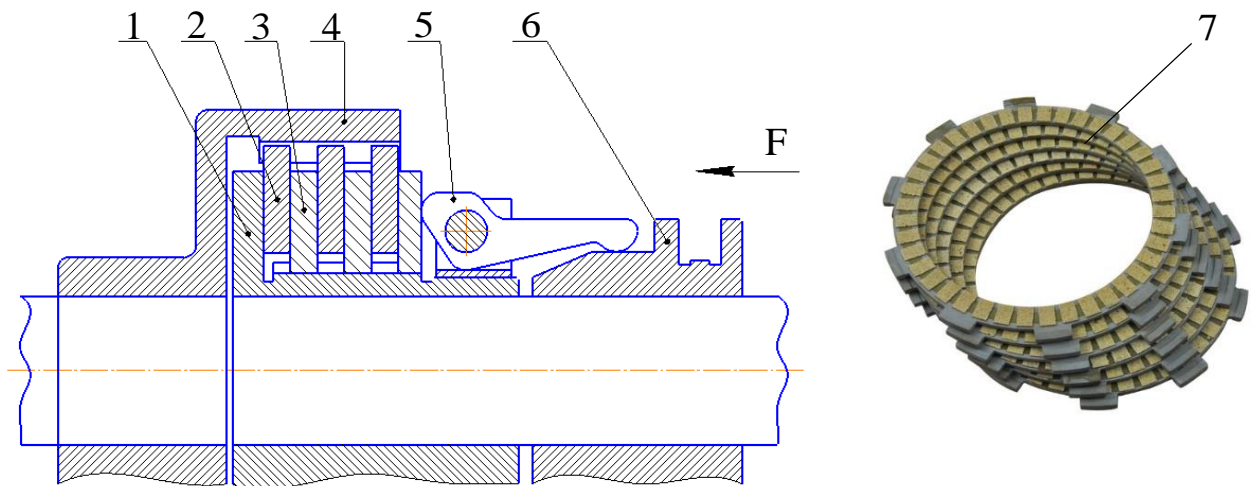
а) дисковая муфта; б) конусная муфта

1,3 – полумуфта; 2 – фрикционная прокладка, F – направление прижимной силы

Рисунок 12 – Фрикционные муфты

В однодисковой муфте одна полумуфта неподвижна, а другая имеет осевое перемещение для поджатия к первой полумуфте. Материал сталь 45, 40X или чугун СЧ35.

Конические муфты требуют меньших усилий для прижатия, но большей точности соосности валов.



1 – втулка; 2 – наружные диски; 3 – внутренние диски; 4 – полумуфта;
5 – кулачок; 6 – механизм включения муфты и втулки, 7 – фрикционные диски

Рисунок 13 – Многодисковая фрикционная муфта

Многодисковая муфта (рисунок 13) имеет широкое применение, особенно в станкостроении. Состоит из втулки 1 и полумуфты 4, наружных 2 и внутренних 3 дисков, кулачков 5, механизма включения муфты и подвижной втулки 6 [21]. Наружные диски соединяются с первой полумуфтой, а внутренние – со втулкой. Передача момента осуществляется за счёт сил трения, возникающими между поверхностями дисков. Муфта включается с помощью механизма включения муфты, действующей на подвижную втулку 6. При включении подвижная муфта смещается по направлению стрелки, и зажимает диски. Сила трения между дисками приводит во вращение ведомый вал.

Прижимную силу дисков можно регулировать. Сила может создаваться гидравлическим путём, механическим, электромагнитным или пневматическим. При передаче больших моментов муфты оснащают гидравлическим, пневматическим или электромагнитным управлением. Механические для мелких и средних моментов. Для повышения силы трения на рабочие поверхности дисков наносят фрикционный слой или крепят накладки 1. Фрикционные материалы для рабочих поверхностей: закалённая сталь по металлокерамике (спечённые порошки железа, свинца, меди, графита и др.),

сталь или чугун по фрикционным накладкам. Для увеличения передаваемого вращающего момента можно увеличить число пар поверхностей трения.

Число ведущих дисков берут не больше 11, так как прижимная сила на последние диски постепенно уменьшается.

Достоинства: плавное включение и выключение; предохранительные свойства. Недостатки: непригодность в тех случаях, когда требуется строгое совпадение угловых скоростей соединяемых валов.

По условию эксплуатации фрикционные муфты бывают со смазыванием рабочих поверхностей и без смазывания. Муфты со смазыванием передают меньший вращающий момент, но имеют большую долговечность, так как уменьшается износ поверхностей, увеличивается отвод теплоты.

Фрикционные муфты должны обладать надежностью сцепления, высокой износостойкостью и теплостойкостью контактирующих поверхностей (способностью выдерживать высокие температуры без разрушения и сохранения свойств). Материал трущихся поверхностей выбирается в зависимости от давления (11).

$$p = \frac{F}{A} = \frac{2T \cdot k}{f \cdot D_m \cdot z \cdot A} \leq [p], \quad (11)$$

где F – осевая сила, Н;

T – вращающий момент, Н·мм;

k – коэффициент запаса сцепления, $k = 1,3 - 1,5$;

D_m – средний диаметр контакта, мм;

f – коэффициент сцепления;

z – число пар поверхностей трения;

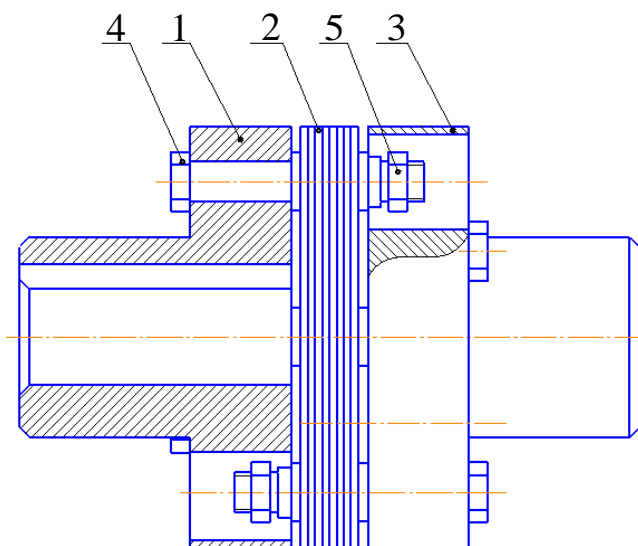
A – площадь поверхности трения;

$[p]$ – допускаемое давление, МПа.

1.5. Муфты универсальные компенсирующие

Универсальные компенсирующие муфты – это муфты, которые могут компенсировать одновременно два или три вида отклонений валов. Муфты

универсальные компенсирующие (УКМ) с дисковыми гибкими элементами применяются для соединения валов насоса и электродвигателя, при передаче крутящего момента от 160 до 25000 Нм, уменьшения динамических (вибрационных) нагрузок насосных и компрессорных агрегатов в системах добычи, переработки, транспорта нефти, газа и воды [17].



1, 3 – полумуфты; 2 – упругие пластины; 4 – болт; 5 – гайка

Рисунок 14 – Универсальная компенсирующая муфта

Гибкими упругими элементами являются многослойные пакеты упругих пластин. Пластины демпфируют вибрации роторной системы и снижают тем самым виброактивность всего насосного агрегата. Они имеют высокую упругость и способность рассеивать энергию от вибрации. В качестве материала упругих пластин применяется тонколистовая нержавеющая сталь. Муфта может работать при значительной расцентровке без увеличения вибрации. В процессе эксплуатации муфта не требует к себе повышенного внимания: она не требует смазки в течение всего срока эксплуатации.

Производитель ООО «Ротор» отмечает [17], упругая компенсирующая муфта может снизить вибрацию насосов в несколько раз, также отмечается, что она может повысить срок службы нагруженных узлов (подшипников, торцевых или сальниковых уплотнений валов) в два раза.

Характеристики муфты УКМ: расчётный срок службы 50000 часов; допускает радиальную расцентровку валов до ± 4 мм; угловую до $\pm 2^\circ$; осевую до ± 4 мм.

Также к универсальным компенсирующим муфтам можно отнести: зубчатую муфту, которая компенсирует все виды смещений валов за счёт подвижности зубьев обойм относительно зубьев втулок; цепную муфту, которая компенсирует радиальные и угловые смещения за счёт подвижности зубьев звёздочек полумуфт относительно цепи.

1.6. Подбор и расчёт муфт

Муфты характеризуются следующими параметрами:

- вращающим моментом;
- диаметрами соединяемых валов;
- габаритными размерами и массой муфты;
- предельной частотой вращения (зависит от прочности деталей, износостойкости, нагрева рабочих элементов и других критериев)

При работе муфты необходимо учитывать действующие на неё следующие нагрузки:

- полезный передаваемый момент;
- ударные и вибрационные нагрузки в процессе работы;
- инерционные нагрузки в период неустановившегося движения машины;
- нагрузки от деформации упругих элементов муфты.

Для долговременной работы муфты необходимо произвести правильный выбор. Большинство муфт стандартизованы, хотя они также могут изготавливаться на заказ по заявке проектных организаций и заводов.

Основными характеристиками при подборе муфт по ГОСТу, справочнику или каталогу является передаваемый вращающий момент, учитывающий условия работы муфты и диаметры соединяемых валов.

Таким образом, расчётный передаваемый момент муфты будет рассчитываться по формуле [14,15]:

$$T_{\text{расч}} = k \cdot T_{\text{ном}} \quad (12)$$

где $T_{\text{ном}}$ – номинальный момент, передаваемый муфтой;

k – коэффициент динамичности (режима работы муфты), учитывающий дополнительные динамические нагрузки на муфту.

При ориентировочных расчетах с приводом электродвигателя k приближенно принимают:

- для машин с небольшими разгоняемыми массами и спокойной работе (конвейеры, транспортеры, металлорежущие станки) $k = 1,0 - 1,5$;
- для машин со средними разгоняемыми массами и средней переменной нагрузкой (поршневые компрессоры, строгальные станки, мельницы) $k = 1,5 - 2,0$;
- для машин с большими разгоняемыми массами и ударными нагрузками (молоты, прокатные станы, шаровые мельницы) $k = 2,5 - 3,0$.

Часто муфты изготавливают индивидуально. При выборе конструкции муфты учитывают ее назначение, особенности конструкции механизма, условия эксплуатации, характер нагрузки.

После выбора муфты проводят проверку на прочность наиболее слабых элементов муфты. Проверяют, чтобы номинальный момент муфты был выше максимального крутящего момента электродвигателя. Иначе, могут произойти неисправности работы муфты, разрушения составных элементов, трещины, потеря смазки и масла.

2. Расцентровка валов в агрегате

Агрегатом принято называть совокупность механизмов и машин, которые предназначены для решения технической задачи. Например, компрессорный агрегат обеспечивает подачу сжатого воздуха, насосный агрегат – подачу жидкости. Одним из распространённых дефектов в работе агрегатов является расцентровка роторов агрегата.

2.1. Виды и причины расцентровки агрегатов

Центровкой называется взаимное положение центров двух валов, измеренное без соединительной муфты. Если оси двух валов совпадают (соосны), составляют одну прямую линию, то центровка обеспечивается. А если не совпадают, то центровка не обеспечивается – это называется расцентровкой валов агрегата. В общем случае качество центровки определяется правильностью монтажа линии вала агрегата, контролируемая по центрам опорных подшипников вала. Расцентрованные валы можно соединить в единый вал, используя соединительные муфты, что часто делают на практике. Однако, любая расцентровка будет вызывать повышенные вибрации и нагрузки на соединённые валы. Нагрузки будут воздействовать также на муфту и подшипники, что приведёт к их повышенному износу.

Выделяют два основных вида расцентровки [13]:

- параллельная (радиальная);
- угловая.

Очень часто на практике не встречаются одиночные виды смещения, а встречаются их комбинации – параллельная и угловая.

Отклонение от соосности валов приводит к возникновению нежелательных последствий: повышенная вибрация; преждевременный износ муфт (перегрев, ослабление); износ подшипников; износ уплотнений, что приведёт к увеличению выхода из строя подшипников из-за проникновения грязи и вытекания смазочного материала; преждевременный износ фундаментов, на котором установлен агрегат; увеличивается износ деталей

машин, составляющих агрегат; возрастает потребление энергии двигателем до 20%.

Параллельное смещение валов – это параллельное смещение осей двух центрируемых роторов относительно друг друга. Классический случай возникновения данного вида расцентровки на практике – при проведении монтажных работ произошло смещение одного и опорных подшипников в сторону. Здесь будет комбинированная расцентровка, но большую роль будет играть параллельное смещение. Дело в том, что угол излома при смещении подшипника обычно не является существенным (не превышает одного градуса), а сдвиг валов в точке центровки может равняться одному миллиметру и более, что скажется существенно на работе агрегата.

Угловая расцентровка - это перекося оси в месте соединения валов на некоторый угол. Встречающиеся в практике случаи расцентровки валов практически всегда являются сложными, комбинированными, включающими в себя одновременно основные элементы обоих видов расцентровки. По итогам проводимой диагностики по спектрам вибросигналов выявляется наиболее сильно проявляющаяся себя расцентровка, по которой и дается диагноз и рекомендации к устранению.

Одним из способов выявления углового смещения является проведение измерений зазоров между валами в нескольких точках по окружности.

При изготовлении деталей очень сложно выдержать размеры с точностью, которая бы обеспечила соосность при соединении. Поэтому при установке машин на общей плите их валы центрируют, то есть регулируют их положение с помощью прокладок. При поставке агрегатов этой работой занимается завод – изготовитель.

Допустимые отклонения валов зависят от их быстроходности и массы вращающихся деталей. Обычно, чем выше стоимость агрегата, тем более жесткие требования предъявляются к соосности валов.

Существует достаточно много причин появления смещений валов в процессе работы оборудования. Это перекося оборудования в результате

изменения сезонного изменения температуры; изменение режима работы агрегата, процесс износа частей агрегата; расслабление креплений и другие.

Но как бы не хотелось, уставить валы так, чтобы они составляли одну прямую линию, не удастся. Так как при изготовлении реальных деталей машин всегда присутствуют погрешности изготовления. Поэтому для того, чтобы соединить несоосные валы и уменьшить влияние нагрузок применяют компенсирующие муфты. Они способны соединять валы с некоторым взаимным смещением и передавать крутящий момент от привода к рабочему органу. Возникающие при этом смещении нагрузки компенсируются за счёт упругих элементов муфты.

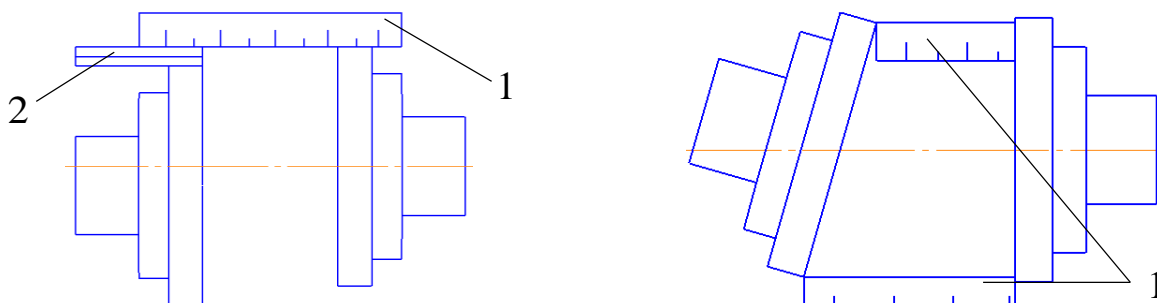
2.2. Методы и приспособления для центровки

Общие методы проведения центровки:

- с помощью линейки и щупов;
- радиально – осевой метод;
- метод обратных индикаторов;
- лазерный метод.

Муфтовое соединение – это место, где происходит передача энергии от привода к исполнительному органу. Следовательно, при несоосности будет возникать вибрация и разрушающие усилия. Все выше указанные методы имеют общее то, что измерения проводятся на валах и полумуфтах.

1) С помощью линейки и щупов



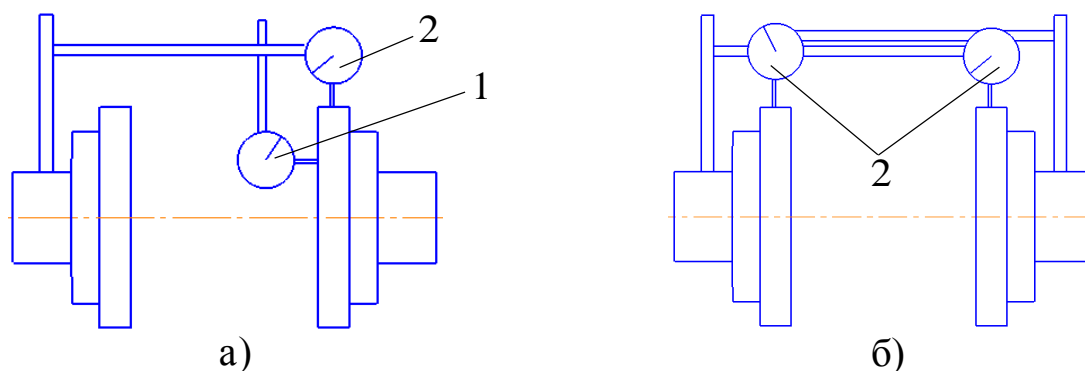
1 – линейка; 2 – щуп

Рисунок 15 – Измерение параллельного и углового смещения

Используется для достижения грубой центровки. С помощью края линейки и набора щупов измеряется смещение, как показано на рисунке 15. Угловое смещение измеряется щупами, штангенциркулями, линейками. Измеряются зазоры в двух противоположных точках, для определения направления и величины наклона валов.

2) Методы с использованием индикаторов.

Методы с использованием индикаторов включают два вида: радиально – осевой метод и метод обратных индикаторов.



1 – индикатор осевого измерения; 2 – индикатор радиального измерения

Рисунок 16 – а) Радиально – осевой метод; б) Метод обратных индикаторов

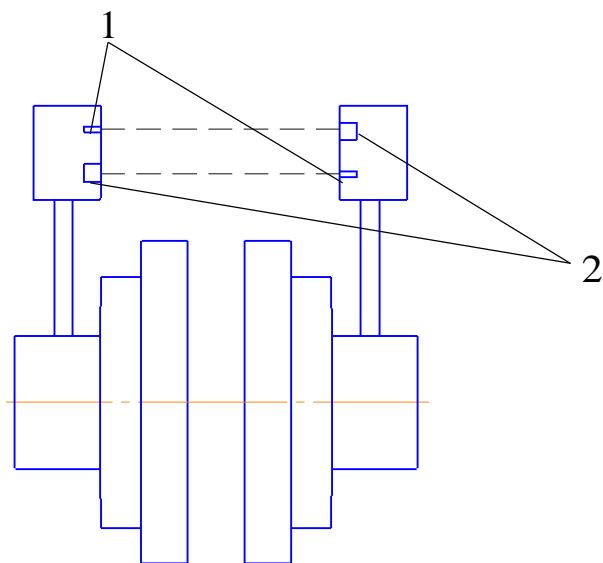
Радиально – осевой метод даёт хорошую точность центровки. При использовании метода одно измерение делается по окружности полумуфты для определения смещения вала. Другой индикатор измеряет в осевом направлении на фланце, определяет угловое смещение вала.

Метод обратных индикаторов сразу даёт информацию о смещении и об угловом положении валов. При использовании метода проводятся два измерения по окружности муфты в двух точках для получения информации о смещении валов.

3) Лазерный метод

В данном методе используются лазерные лучи и электронные детекторы. Лазерные системы для центровки состоят из излучателей, приёмников, а также электронного блока, производящий расчёт центровки. Лазерные системы объединяют в себе излучатель и приёмник (рисунок 17).

Система непрерывно отображает значения несоосности и сразу обновляет показания при перемещении установки. Последнее поколение лазерных систем имеет точность до 0,001 мм.



1 – излучатель; 2 – приёмник

Рисунок 17 – Лазерный метод

Методика центровки агрегата.

Соосность горизонтальных валов определяют центрированием по полумуфтам. Перед тем как установить центровочное приспособление полумуфты должны быть разъединены, чтобы не было касаний между полумуфтами. Затем проверяют свободное проворачивание каждого из роторов и убеждаются в отсутствии задеваний. Устанавливают центровочное приспособление и производят замеры по точкам. Осевые и радиальные зазоры измеряют в исходном положении, после поворота на 90° , 180° , 270° в направлении рабочего вращения привода. Проводят замеры в каждом положении между полумуфтами. Возвращают валы в исходное положение и проверяют первоначальные измерения. После измерения результаты заносят в круговую диаграмму (рисунок 18). Далее находят средние значения измерений (13). Проверяют правильность измерений путём суммирования результатов, полученных на противоположных сторонах муфты. Суммы должны быть между собой равны (14).

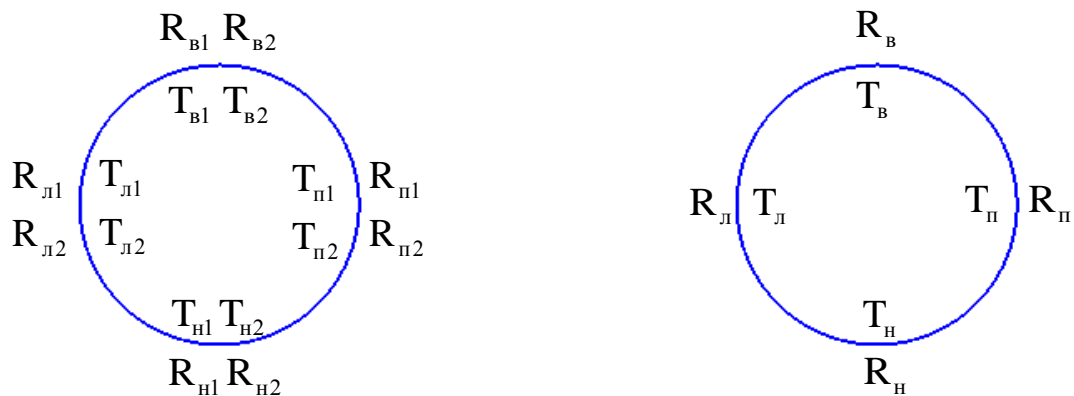


Рисунок 18 – Круговая диаграмма измерений и средних значений

Расчёт средних значений измерений и проверка измерений:

$$R_i = \frac{R_{i1} + R_{i2}}{2}; T_i = \frac{T_{i1} + T_{i2}}{2} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} R_B + R_H &= R_{П} + R_{Л} \\ T_B + T_H &= T_{П} + T_{Л} \end{aligned} \quad (14)$$

В случае неудовлетворительных результатов проводят перемещение опор валов. Обычно для агрегата, состоящего из электродвигателя и насоса, перемещают электродвигатель. Перемещение в вертикальной плоскости осуществляют с помощью подкладок из металлических пластин, габариты которых соответствуют опорной поверхности лапы двигателя.

В горизонтальной плоскости электродвигатель перемещают специальными болтами, которые установлены на раме. Требуемую точность центровки также можно достичь при помощи гидравлических домкратов. После перемещения двигателя снова переходят к измерениям на приспособлении. При этом устанавливают центровочную скобу в положение, соответствующее измерению корректируемой величины расцентровки со стороны большего значения. Далее перемещать опоры двигателя, чтобы измеряемый параметр уменьшался на величину, которая соответствует фактической расцентровке (15).

$$E_y = \frac{R_B - R_H}{2}; E_x = \frac{R_{П} - R_{Л}}{2}; S_y = \frac{T_B - T_H}{2}; S_x = \frac{T_{П} - T_{Л}}{2}. \quad (15)$$

где $E_y(S_y), E_x(S_x)$ – радиальная и торцевая расцентровка в вертикальной и горизонтальной плоскости.

3. Магистральный насосный агрегат

3.1. Характеристика нефтеперекачивающего магистрального насосного агрегата АНМ 3600-230

Нефтеперекачивающая станция (НПС) представляет собой совокупность сооружений и оборудования, предназначенных для осуществления транспортировки нефти по магистральному трубопроводу. Всё оборудование на НПС можно подразделить на основное и вспомогательное.

К основному оборудованию относятся непосредственно магистральные насосы и их приводные двигатели, а к вспомогательному относят то, оборудование, которое обеспечивает нормальную эксплуатацию основного: система смазки, энергоснабжение, вентиляция, отопление и т.д.

Приводной электродвигатель, соединённый с насосом составляют насосный агрегат.

В качестве двигателей на НПС используются синхронные и асинхронные электродвигатели.

В качестве насосов в магистральных агрегатах используются центробежные насосы, которые отвечают требованиям: большие подачи при сравнительно высоких напорах, надёжность непрерывной эксплуатации, простота конструкции и технического обслуживания.

Агрегат АНМ 3600-230 предназначен для транспортировки по магистральным трубопроводам нефти с температурой до 50°C, кинематической вязкостью не более 3см² / с, с содержанием механических примесей по объёму не более 0,05% и размером не более 0,4мм [19].

Насос НМ 3600-230 представляет собой устройство, в котором подводимая внешняя механическая энергия преобразуется в энергию перекачиваемой жидкости. Насос серии НМ 3600-230 – горизонтальный, одноступенчатый спирального типа с двухсторонним подводом жидкости к рабочему колесу [19]. Корпус спирального типа выполнен разъёмным в горизонтальной плоскости и состоит из двух половин. Такая конструкция

позволяет быстро и легко разобрать насос без отсоединения трубопроводов. В верхней части корпуса имеется отверстие для выпуска воздуха при заполнении объёма насоса перекачиваемым флюидом, а в нижней части расположено отверстие для слива при его разборке. Там же, в нижней части корпуса насоса расположены входной и напорный патрубки, опорные лапы.

Ротор насоса состоит из вала с установленным на него рабочим колесом. Рабочее колесо является основным элементом ротора насоса, посредством которого энергия от электродвигателя преобразуется в гидравлическую энергию флюида.

В качестве привода для данного магистрального насоса применяется синхронный электродвигатель СТДП-2500-2УХЛ4. Двигатель выполнен во взрывозащищённом исполнении, имеет замкнутый цикл охлаждения, осуществляется с помощью встроенных воздухоохладителей. Взрывобезопасность обеспечивается автоматическим отключением от всех источников электроэнергии при снижении избыточного давления воздуха в системе продувки ниже установленного предела. Обозначение УХЛ4 говорит о климатическом исполнении электродвигателя – для макроклиматического района с умеренным и холодным климатом. Технические характеристики агрегата АНМ 3600-230 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики АНМ 3600-230 [18,19]

Показатели насоса/двигателя	НМ 3600-230
Подача, м ³	3600
Напор, м	230
Допускаемый кавитационный запас, м	38
Частота вращения, об/мин	3000
Мощность, кВт	2204
КПД	0,88
Габаритные размеры, мм	2220x2135x1435
Масса, кг	4790

Электродвигатель	СТДП-2500-2УХЛ4
Мощность, кВт	250
Частота вращения, об/мин	3000
Напряжение, кВ	6
Род тока	переменный
Количество полюсов	2
Габаритные размеры агрегата, мм	5955x2135x1800
Общая масса агрегата, кг	17840

3.2. Патентно-информационный поиск муфт с использованием канатов

В процессе исследования муфт был проведён патентно-информационный поиск компенсирующих муфт с использованием упругого элемента – каната.

Патент на полезную модель № 2492370, муфта компенсирующая, автор патента Корчагин Денис Сергеевич [10]. Компенсирующая муфта изображена на рисунке 19.

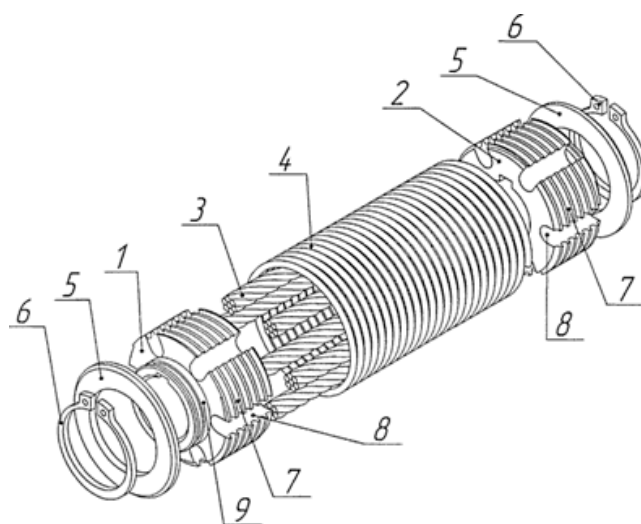


Рисунок 19 – Конструкция компенсирующей муфты

Муфта содержит две одинаковые полумуфты 1 и 2, упругие элементы из отрезков гибкого стального троса 3, цилиндрическую винтовую пружину 4, шайбы 5, пружинные упорные кольца 6. Пружина 4 накручивается на втулки 1

и 2 по винтовым канавкам 7, выполненным на наружной цилиндрической поверхности втулок 1, 2 таким образом, чтобы пазы 8 втулок оказались расположены соосно. Пазы 8 расположены равномерно по окружности втулок 1, 2. Отрезки троса 3 вставляются в соосно расположенные пазы 8 так, что, после установки шайб 5 на цилиндрические выступы 9 на торцах втулок 1, 2 и фиксации их пружинными упорными кольцами 6, между шайбами 5 и торцами тросов 3 остаются зазоры. В собранной муфте пружина 4 крайними витками упирается в шайбы 5. Концы отрезков гибкого стального троса 3 обслуживаются для предотвращения раскручивания проволок троса при работе муфты.

Основными достоинствами данной муфты являются: компенсирование всех видов смещений валов; при периодически изменяющейся нагрузке и вибрациях муфта способствует снижению динамических нагрузок и затуханию колебаний, за счёт поглощения части энергии, вызываемое трением стальных проволок троса при его деформациях.

Патент на полезную модель № 140756, упругая муфта, авторы патента Корчагин Денис Сергеевич, Битюцкий Иван Борисович [11]. Упругая муфта изображена на рисунке 20.

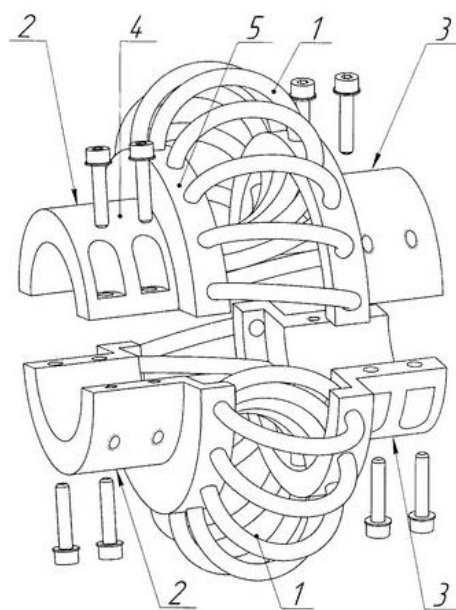


Рисунок 20 – Конструкция упругой муфты

Упругая муфта состоит из двух полумуфт 2,3, которые выполнены разъёмными в плоскости, проходящей через ось соединяемых валов. Полумуфты состоят из полуцилиндров 4 и фланца 5 с отверстиями для крепления каната 1. Канат 1 навит по спирали, проходя через отверстия во фланцах. Витки каната зажимают спрессовыванием в отверстиях фланцах.

Данная конструкция муфты обеспечивает все функции предыдущего патента, но стоит отметить, что главным отличием является выполнение муфты разъёмной. Это позволяет избежать осевого перемещения валов при монтаже и демонтаже муфты.

Таким образом, в ходе патентно-информационного поиска было установлено, что существуют различные идеи и разработки муфт с использованием канатов. Но нет информации об экспериментальном использовании муфт. Отличительной особенностью данной дипломной работы является то, что с помощью моделирования и расчёта канатной муфты в программных комплексах SolidWorks и ANSYS, мы сможем сделать вывод о работоспособности конструкции канатной муфты в конкретном агрегате.

4. Расчёт канатной муфты

В процессе эксплуатации нефтеперекачивающие насосные агрегаты подвержены воздействию динамических нагрузок. С целью уменьшения вредного влияния вибрации и обеспечения плавности передачи момента в момент запуска электродвигателя была предложена модель канатной муфты (рисунок 22). Модель канатной муфты рассчитывалась на прочность в программном комплексе метода конечных элементов ANSYS (ПК МКЭ ANSYS). Моделирование и расчёт канатной муфты производится для нефтеперекачивающего насосного агрегата АНМ 3600-230.

Данный агрегат состоит из приводного электродвигателя СТДП-2500-2УХЛ4 и нефтяного магистрального насоса НМ3600-230, масса агрегата составляет 17840 кг. Расчётный момент, создаваемый двигателем, в момент пуска двигателя рассчитывался исходя из номинальной мощности двигателя 2500 кВт, и составляет 16 кНм.

Исходными данными для расчёта были приняты:

- | | |
|---|---------------|
| 1. Мощность электродвигателя, кВт | 2500 |
| 2. Частота вращения вала, об/мин | 3000 |
| 3. Материал полумуфт и крепёжных втулок | Сталь 40Х |
| 4. Материал каната | Сталь 12Х18Н9 |

Свойства материалов

В изготовлении муфты используются следующие материалы, представленные в таблице 2.

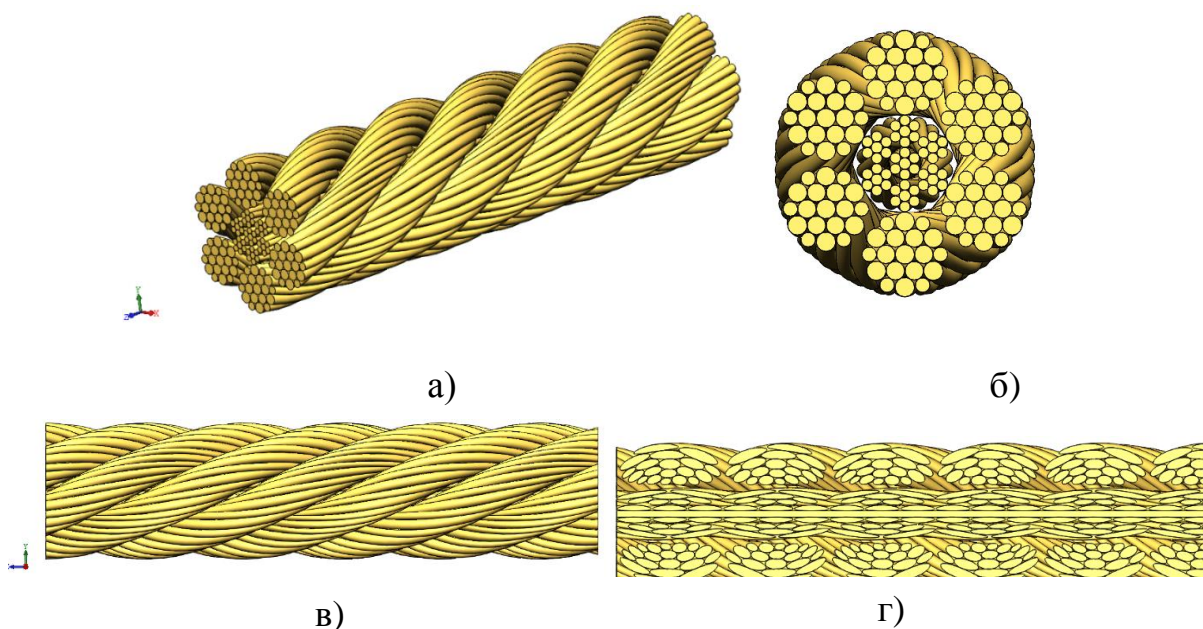
Таблица 2 – Свойства материалов каната, полумуфт и крепёжных втулок

Марка стали	Модуль Юнга, МПа	Коэффициент Пуассона	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа
40Х	$2,14 \cdot 10^5$	0,29	250	530
12Х18Н9	$2,05 \cdot 10^5$	0,3	230	560

Модель стального каната (рисунок 21 а, б, в, г) диаметром 33 мм, участвующего в соединении полумуфт, был создан программном комплексе SolidWorks согласно ГОСТ 14954 – 80. Длина каната 135 мм. Конструкция каната $6 \times 19(1 + 6 + 6 / 6) + 7 \times 7(1 + 6)$. В структуру каната входит металлический сердечник (Рисунок 22), состоящий из 7 прядей, каждая из которых содержит 1 центральную проволоку и 6 проволок в слоях. На стальной сердечник навиваются 6 прядей, содержащая 19 проволок в каждой. Центральные проволоки и проволоки в слоях прядей имеют разные диаметры (таблица 2).

Таблица 2 – Конструкция каната ГОСТ 14954 – 80.

Диаметр каната	Диаметр проволоки сердечника, мм		Диаметр проволоки в пряди, мм			
	центральной (7 шт.)	в слоях (42 шт.)	центральной (6 шт.)	первый слой (36 шт.)	второй наружный слой (36 шт.)	
33	1,4	1,3	2,4	2,3	1,8	2,4



а) общий вид каната; б) профиль строения каната; в) вид сверху; г) продольное сечение каната

Рисунок 21 – Стальной канат

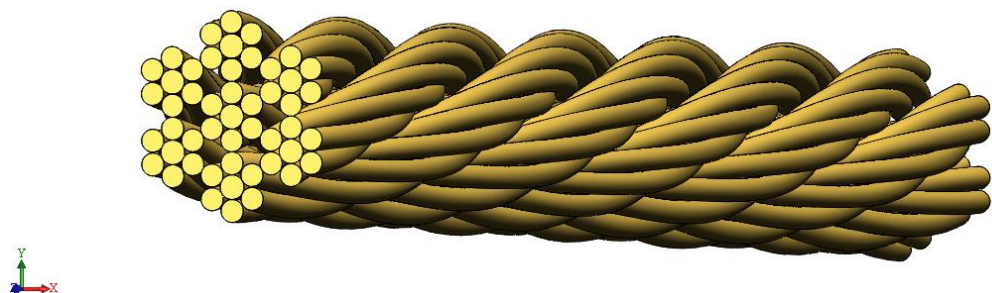


Рисунок 22 – Металлический сердечник каната

Геометрическая модель канатной муфты создавалась в программном комплексе SolidWorks, представленная на рисунке 23. Геометрическая модель состоит из ведущей 1 и ведомой 2 полумуфт, которые установлены на валах электродвигателя и насоса, четырёх упругих металлических элементов – канатов 3, а также восьми крепёжных втулок 4, необходимых для закрепления концов каната.

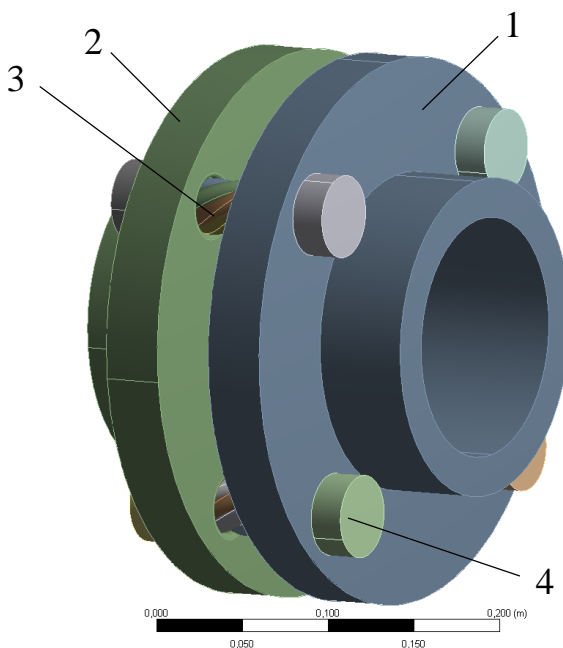


Рисунок 23 – Геометрическая модель канатной муфты

Расчёт канатной муфты проводился в несколько этапов:

1. Разработка схемы нагружения (рисунок 24), из которой видно, что на цилиндрическую поверхность А ведущей полумуфты 1, указанной на рисунке в виде линии, действует крутящий момент, равный моменту в момент запуска электродвигателя, а к внутренней цилиндрической поверхности Б ведомой

полумуфты 2, указана линией, жёстко фиксируется на валу насоса без возможности перемещения.

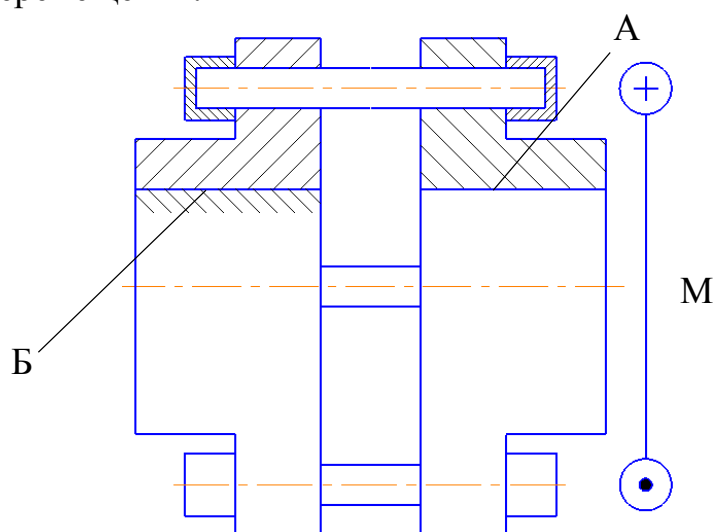


Рисунок 24 – Схема нагружения канатной муфты

2. Задание граничных условий.

Согласно пункту 1 необходимо обозначить граничные контуры и назначить граничные условия для дальнейшего численного моделирования. Примем обозначения граничных поверхностей (рисунки 25 и 26).

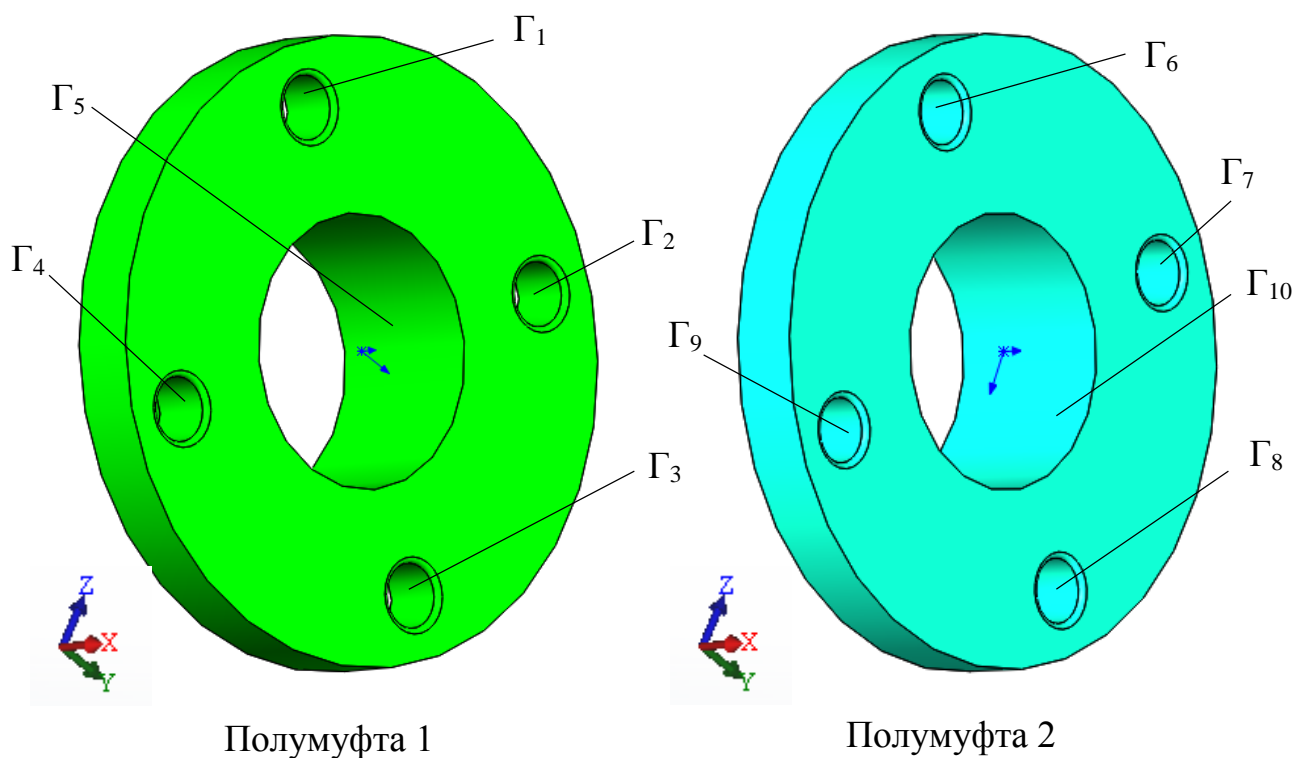


Рисунок 25 – Внутренние граничные контуры модели канатной муфты

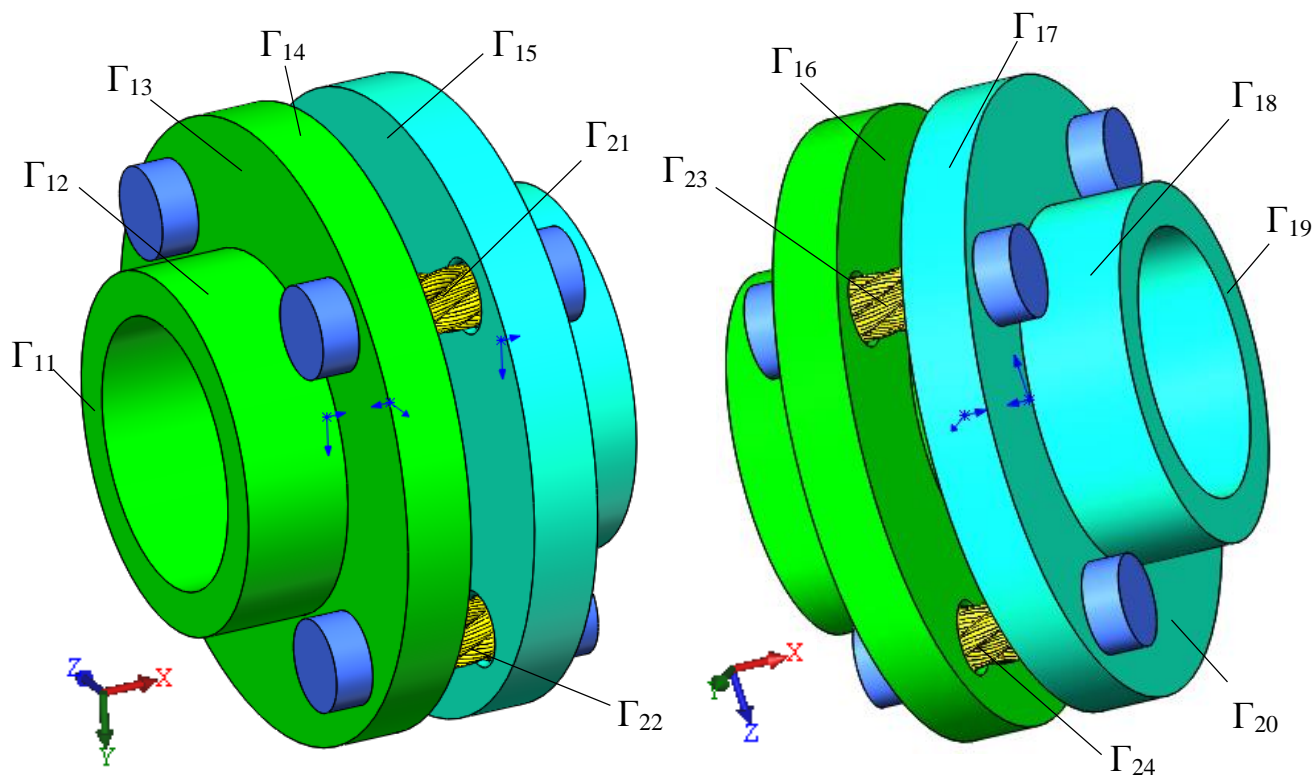


Рисунок 26 – Внешние граничные контуры модели канатной муфты

На поверхностях $\Gamma_1 - \Gamma_4, \Gamma_6 - \Gamma_9, \Gamma_{11} - \Gamma_{24}$ задавались условия:

$$\sigma_{ij}(x) = 0, \quad i, j = 1, 2, 3, \quad x \in \Gamma_1 - \Gamma_4, \Gamma_6 - \Gamma_9, \Gamma_{11} - \Gamma_{24}.$$

где $x(x, y, z)$ – координаты точки поверхности или её некоторой части.

На поверхности Γ_{10} :

$$\begin{cases} u_i(x) = 0, \\ \sigma_{ij}(x) = 0, \end{cases} \quad i, j = 1, 2, 3, \quad x \in \Gamma_{10}.$$

На поверхности Γ_5 задавались условия:

Будем считать, что между валом электродвигателя и цилиндрической поверхностью Γ_5 полумуфты отсутствует проскальзывание, тогда на поверхности Γ_5 задается нагрузка в виде крутящего момента от вала электродвигателя $M = 16$ кНм. Момент рассчитывался по формуле (16).

$$M = \frac{2P \cdot 30}{\pi \cdot n}, \quad (16)$$

где P – мощность электродвигателя, Вт;

n – частота вращения электродвигателя, об/мин.

3. Задание типа контактов для расчётной модели

В расчётной модели на контактирующих поверхностях муфты «виток каната – крепёжная втулка» задавался один тип контакта – жёсткая заделка (рисунок 27). Такой тип контакта обусловлен тем, что крепёжная втулка напрессовывается на концы канатов и обжимается для его удержания. Контакты каната и полумуфт, локальные контакты прядей каната между собой, задавались жёсткой заделкой (рисунок 28).

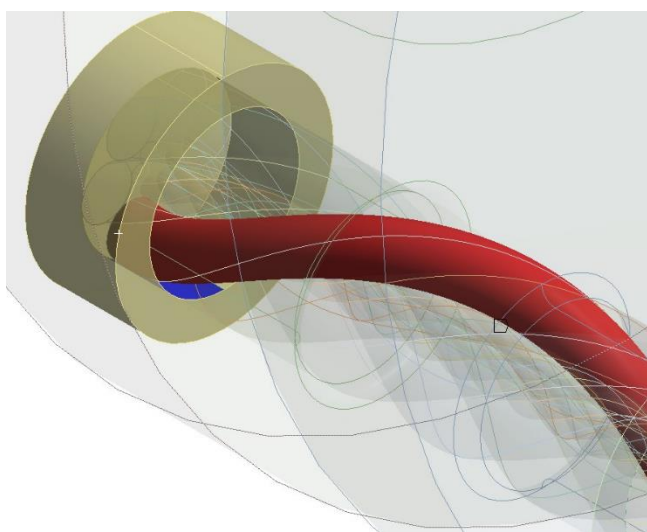


Рисунок 27 – Пример контактной пары «виток каната – крепёжная втулка»

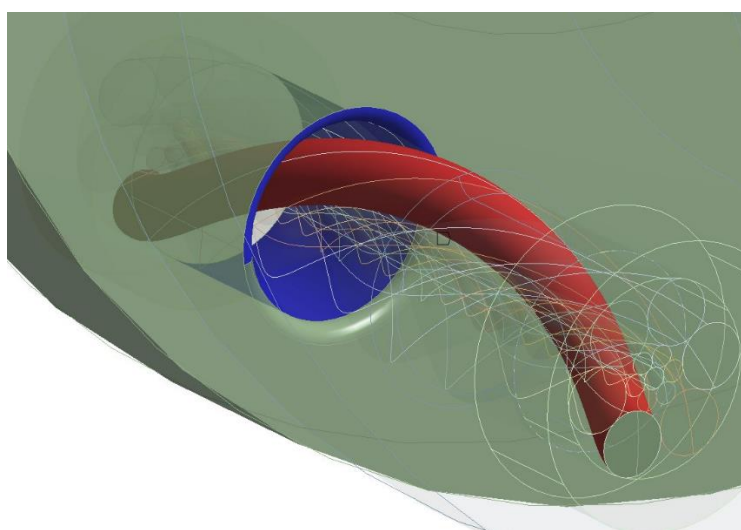


Рисунок 28 – Пример контактной пары «виток каната – полумуфта»

4. Создание конечно – элементной сетки модели

Сетка создавалась путём дискретизации расчётной модели на конечные элементы (рисунок 29). Размер грани конечного элемента для полумуфт и крепёжных втулок назначался равным 10 мм, а для канатов – 7 мм. Размер грани конечного элемента для каната принят меньше, чем для других деталей сборки, так как в данном исследовании важна точность расчёта каната. Тип конечного элемента для каната представляет собой гексаэдр, а для полумуфт и крепёжных втулок – тетраэдр.

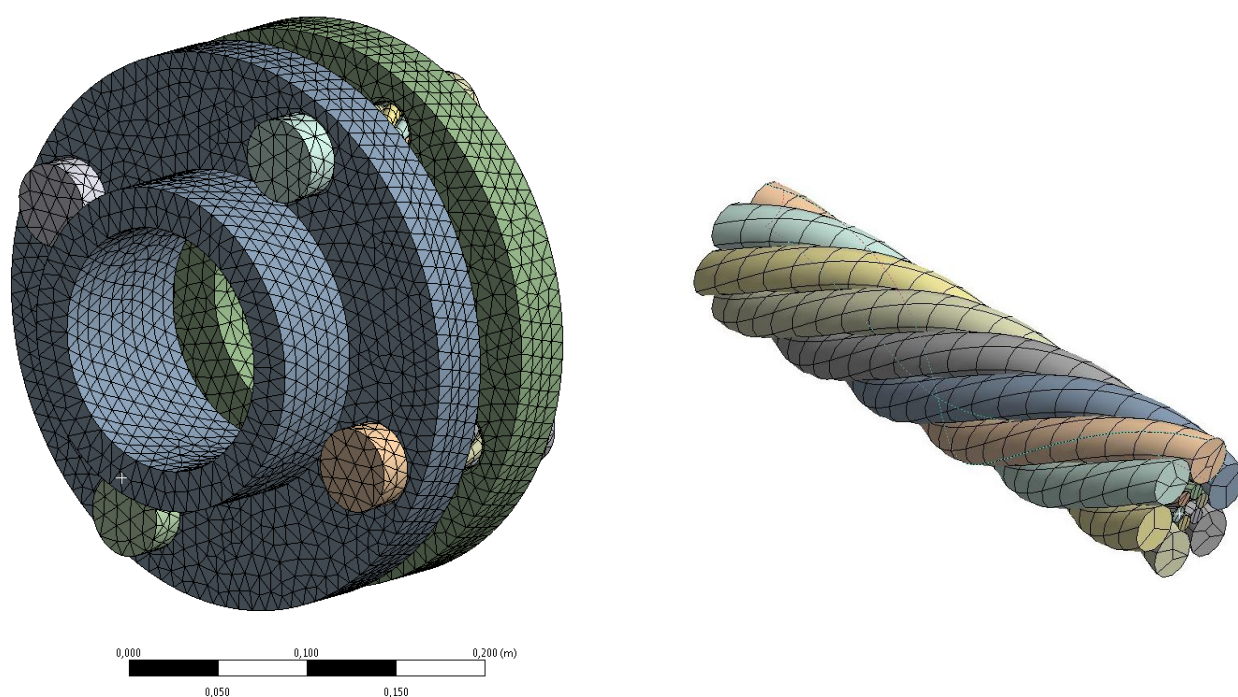


Рисунок 29 – Конечно-элементная модель канатной муфты

5. Задание граничных условий в ПК МКЭ ANSYS.

Согласно представленной ранее схеме нагружения (пункт 1) и граничным условиям (пункт 2) в ПК МКЭ ANSYS были выбраны следующие поверхности и нагрузки: на цилиндрическую поверхность Γ_5 (рисунок 30) ведущей полумуфты приложен крутящий момент, равный величине $M=16$ кНм, а на внутреннюю цилиндрическую поверхность Γ_{10} ведомой полумуфты задано условие жёсткой заделки.

Расчет происходил при помощи ANSYS Mechanical со следующими начальными параметрами:

- 1) расчет проводился при температуре 22°C и изменения температуры не задавалось;
- 2) не учитывалась физическая нелинейность материалов;
- 3) задача решалась в упругой постановке, без учета линейной вязкоупругости материалов и влияния длительного нагружения на процесс решения.

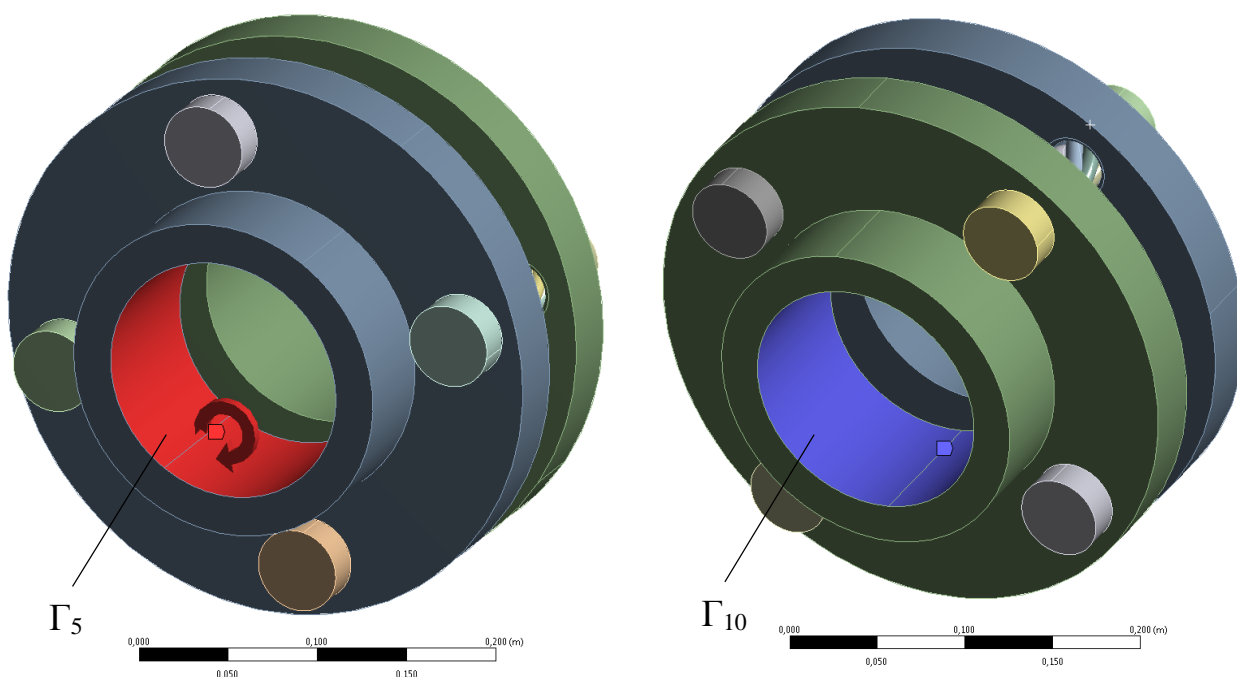


Рисунок 30 – Граничные условия, применяемые к модели

Анализ результатов

В реальной ситуации канатная муфта будет подвержена действию динамических нагрузок от вала электродвигателя, как в моменты эксплуатации, так и в моменты запуска. Существуют известные методы перехода решения задач от динамической постановки к статической [20].

Допустимые значения нагрузки в динамике превышают значение допустимой нагрузки в статике. В динамической постановке для материала каната допустимое значение напряжения по пределу текучести составляет $\sigma_T = 230$ МПа, с учётом коэффициента динамичности конструкции в $n = 2$,

величина допустимых напряжений в статической постановке будет составлять $[\sigma] = \sigma_T / n = 115 \text{ МПа}$.

Из картин полей напряжений, представленных на рисунках 31 и 32, видно, что величина эквивалентных напряжений в канатах составляет $\sigma = 109 \text{ МПа}$. Эквивалентные напряжения рассчитывались по критерию Мизеса:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}. \quad (17)$$

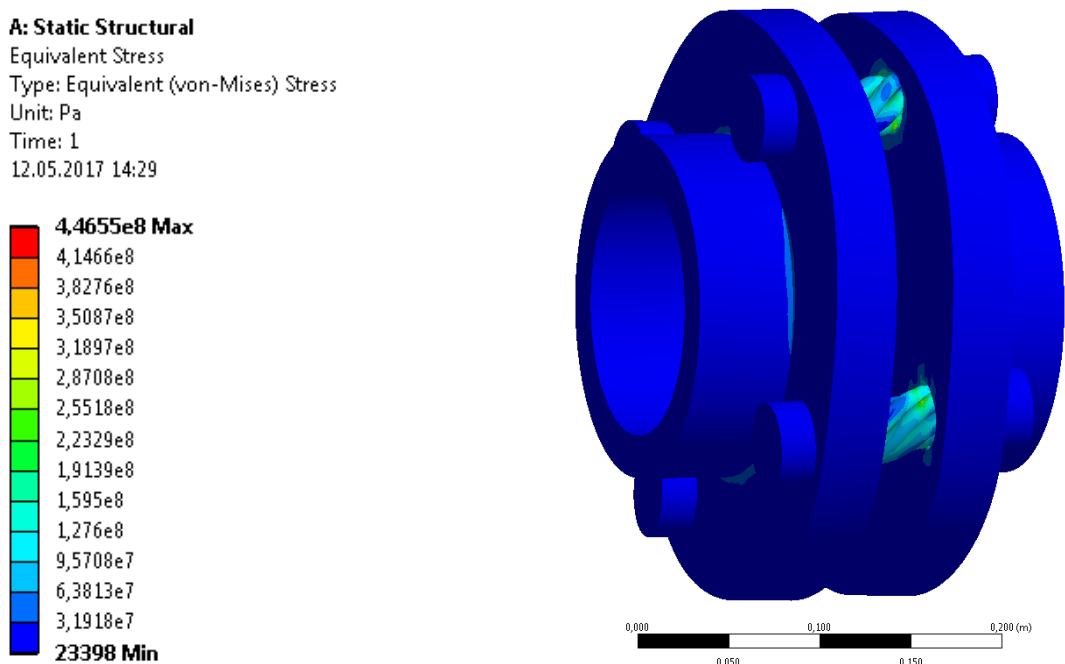


Рисунок 31 – Картина распределения полей эквивалентных напряжений по критерию Мизеса

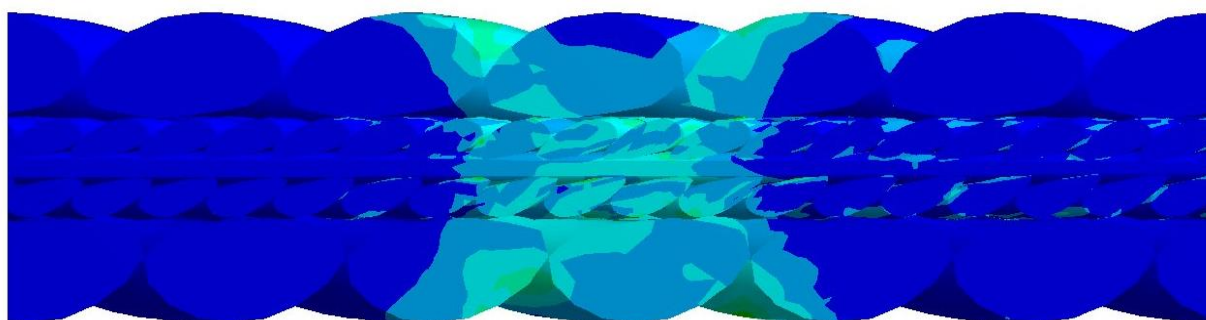


Рисунок 32 – Напряжения в прядях каната

Напряжения, возникающие в теле каната вблизи отверстий, составляют порядка 95 МПа (рисунок 33). На рисунке 34 представлена картина распределения полей эквивалентных напряжений в отверстиях полумуфты, напряжения составляют 117 МПа.

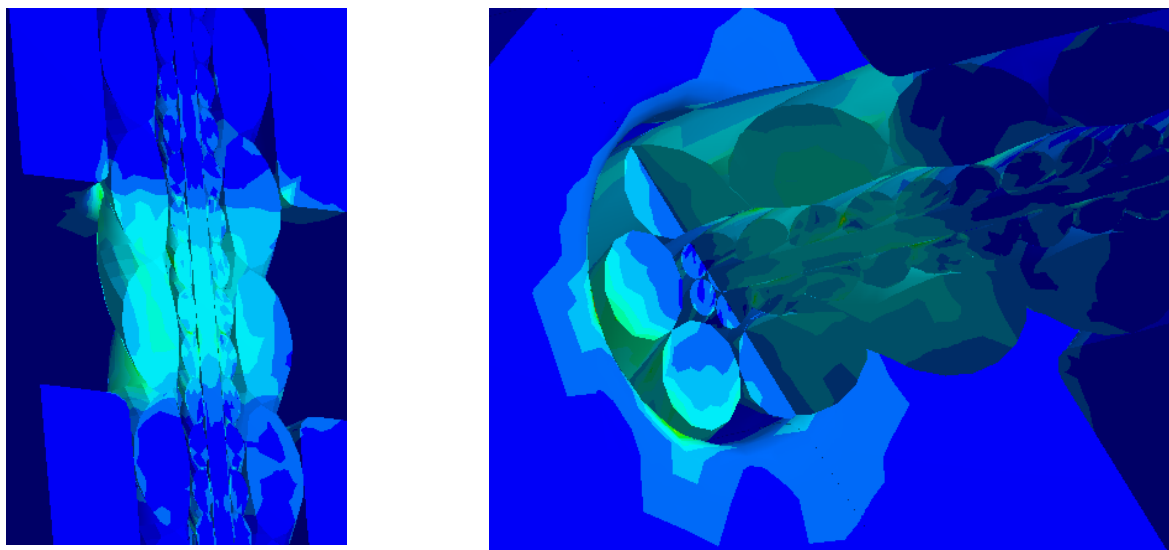


Рисунок 33 – Напряжения в теле каната вблизи отверстий

A: Static Structural

Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: Pa
 Time: 1
 16.05.2017 22:52

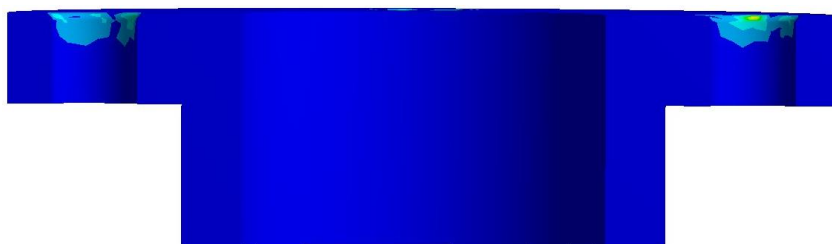
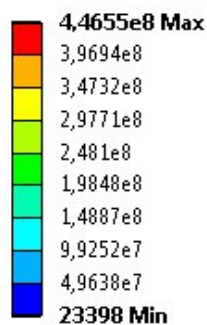


Рисунок 34 – Напряжения в отверстиях полумуфты

По картине распределения общих перемещений (рисунок 35) видно, что максимальная величина составляет $u_{\max} = 0,108$ мм .

A: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: m
 Time: 1
 12.05.2017 14:55

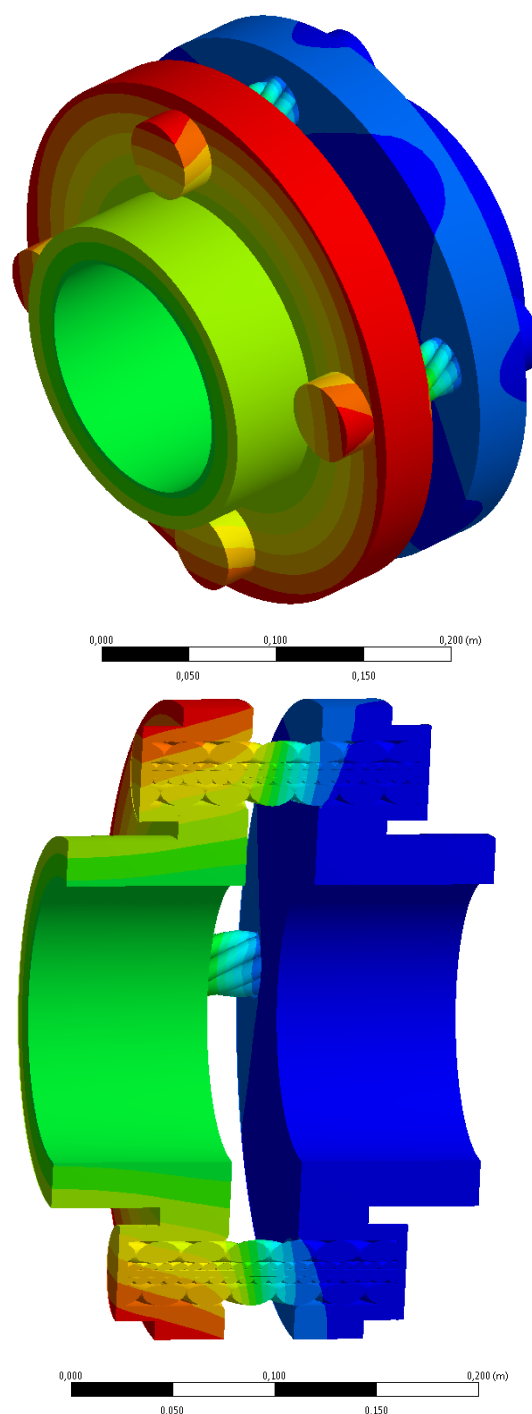
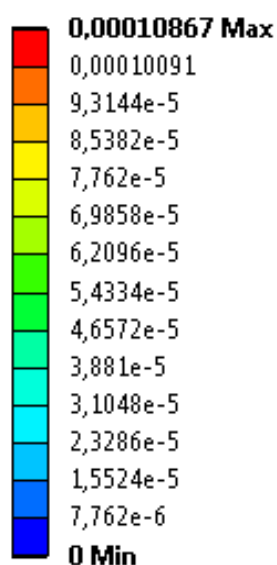


Рисунок 35 – Картина распределения полей общих перемещений

Максимальное значение возникающих эквивалентных деформаций составляет $\varepsilon_{\max} = 0,2\%$. Картина распределения полей деформаций представлена на рисунках 36, 37, 38. Формула вычисления эквивалентных деформаций

$$\varepsilon_{\text{экв}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}. \quad (18)$$

A: Static Structural
Equivalent Elastic Strain
Type: Equivalent (von-Mises) Elastic Strain
Unit: m/m
Time: 1
12.05.2017 14:59

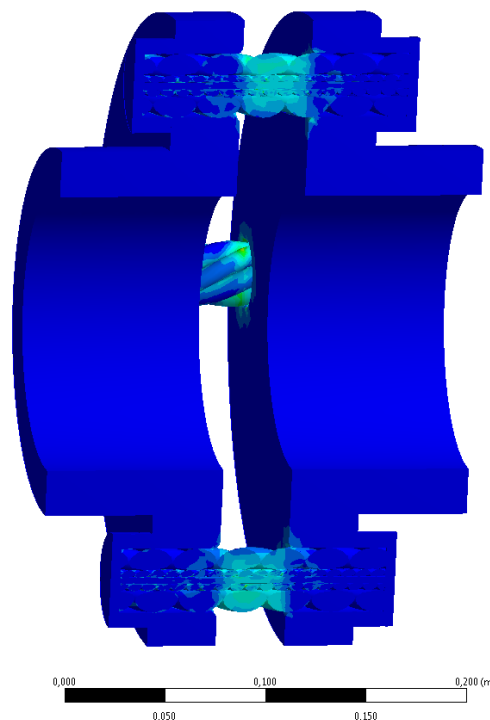
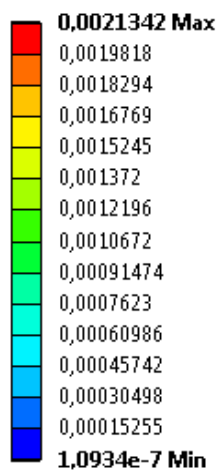


Рисунок 36 – Картина распределения полей общих эквивалентных деформаций

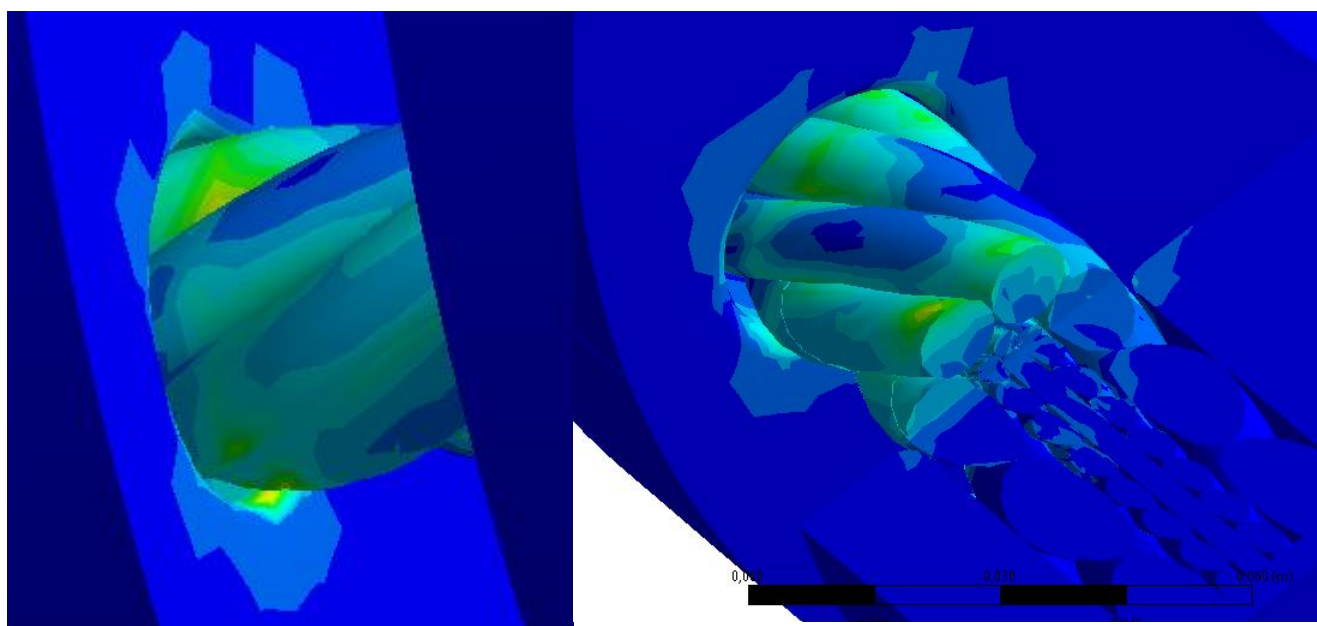


Рисунок 37 – Деформации каната около отверстий

A: Static Structural
Equivalent Elastic Strain
Type: Equivalent (von-Mises) Elastic Strain
Unit: m/m
Time: 1
12.05.2017 14:59

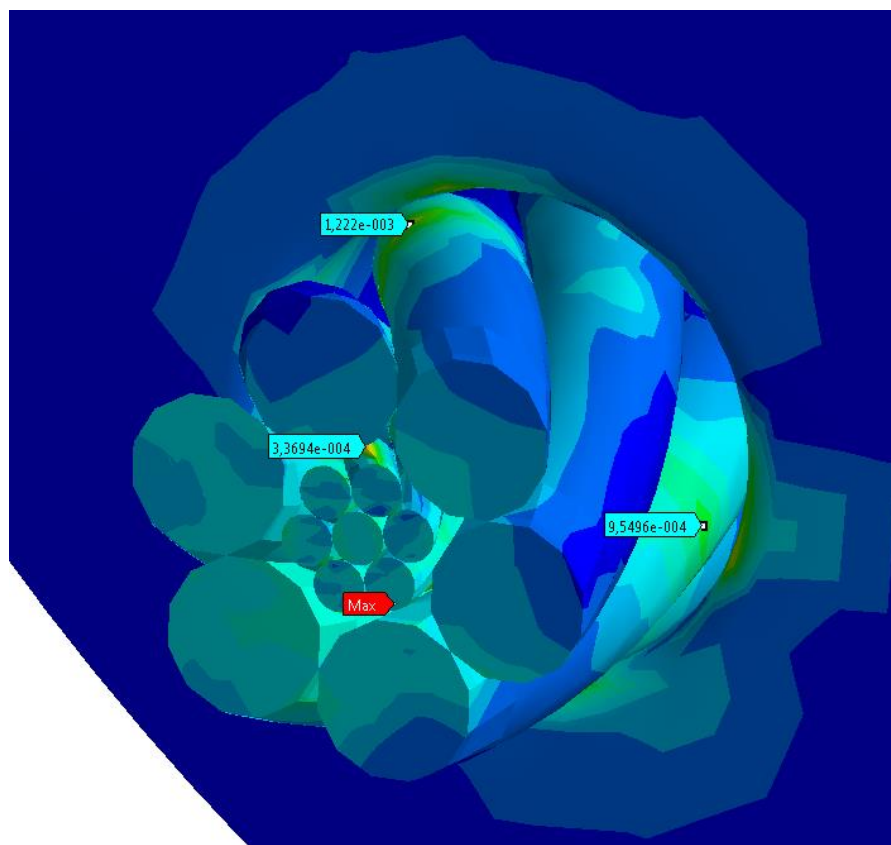
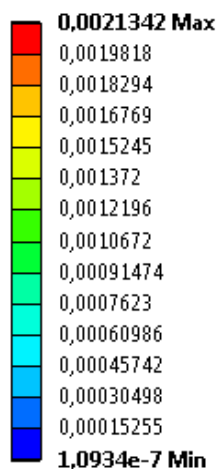


Рисунок 38 – Деформации в среднем сечении каната

Таким образом, в результате расчёта возникающие напряжения не противоречат условию прочности $\sigma_{\max} \leq [\sigma]$; ($109 \text{ МПа} \leq 115 \text{ МПа}$). Следовательно, канатная муфта может выдержать нагрузки в момент пуска двигателя без разрушения, что подтверждает возможность применения муфты на данном агрегате.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Е31	Лушникову Александру Валерьевичу

Институт	ИПР	Кафедра	ТПМ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	15.03.02 «Технологические машины и оборудование / «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	1. <i>Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску.</i> 2. <i>Стоимость электроэнергии для юридических лиц – 5,8 руб. кВт*ч.</i> 3. <i>Стоимость интернета – 360 руб. в месяц.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	30 % премии. 20 % надбавки. 1,3 – районный коэффициент.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Система налогообложения, принятая для образовательных учреждений (27,1% отчисления на социальные нужды).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	1. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.</i> 2. <i>Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований.</i> 3. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	1. <i>Расчёт основной заработной платы исполнителей темы.</i> 2. <i>Расчёт отчислений на социальные нужды.</i> 3. <i>Расчёт электроэнергии и прочих расходов.</i> 4. <i>Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений.</i> 2. <i>Матрица SWOT.</i> 3. <i>График проведения и бюджет проекта НИ.</i>
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	5.05.2017
---	-----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антонова И.С.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е31	Лушников Александр Валерьевич		

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Для инженерной разработки очень важным параметром является её коммерческая ценность, которая объединяет в себя множество факторов и позволяет инвесторам оценить перспективность разработки, не углубляясь в её суть. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований;
- определить возможные альтернативы проведению научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- спланировать научно-исследовательскую работу.

В данной работе предлагается модель канатной муфты, созданная в программном комплексе SolidWorks (ПК SolidWorks) и производится расчёт модели в программном комплексе метода конечных элементов ANSYS (ПК МКЭ ANSYS).

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований

Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

В данном случае сегментирования целесообразно провести по критерию стоимости, так как необходимо обеспечить конкурентоспособность канатной муфты относительно муфт с другим упругим элементом.

Таблица 3 – Карта сегментирования рынка

		Втулочно – пальцевая муфта	Муфта со звёздочкой	Канатная муфта
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

Фирма А



Фирма Б



Из результатов сегментирования видно, что основными сегментами рынка являются все компании, заинтересованные во втулочно – пальцевых муфтах. Предприятие должно быть ориентировано на создание конкуренции в сфере производства втулочно – пальцевых муфт. Наиболее привлекательными сегментами рынка являются канатные муфты, поскольку они не производятся ни одной из фирм А и Б для компаний.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в

постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Демпфирование вибраций	0,1	5	3	2	0,5	0,3	0,2
2. Надёжность	0,11	3	4	3	0,33	0,44	0,33
3. Ремонтпригодность	0,09	4	3	4	0,36	0,27	0,36
4. Компенсирование отклонений	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
5. Срок службы	0,09	4	4	3	0,36	0,36	0,27
6. Простота монтажа	0,07	3	3	4	0,21	0,21	0,28

Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	4	3	3	0,12	0,09	0,09
2. Уровень проникновения на рынок	0,09	3	4	3	0,27	0,36	0,27
3. Цена	0,1	3	3	4	0,3	0,3	0,4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,11	4	4	4	0,44	0,44	0,44
5. Обслуживание	0,09	4	4	3	0,36	0,36	0,27
6. Финансирование научной разработки спонсорами	0,04	4	3	3	0,16	0,12	0,12
Итого	1				3,81	3,57	3,35

- Б_ф - применение канатной муфты;
- Б_{к1} - втулочно – пальцевой муфты;
- Б_{к2} – муфты со звездочкой.

Таким образом, конкурентоспособность канатной муфты составила 1,06. Наибольший вклад в конкурентоспособность вносят критерии демпфирование вибраций, ремонтпригодность и обслуживание.

SWOT – анализ

SWOT – анализ представляет собой комплексное исследование внутренней и внешней среды научно – исследовательского проекта.

В первом этапе обычно описываются сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 5, таблице 6, таблице 7, таблице 8.

Таблица 5 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	-	-	+
	B2	-	-	0	+	+
	B3	-	-	+	0	0
	B4	-	-	-	+	+
	B5	-	+	+	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и сильные стороны проекта: B1C5, B2C4C5, B3C3, B4C4C5, B5C2C3.

Таблица 6 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны					
Возможности проекта		Сл	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	-	-	+
	B2	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-
	B4	-	-	+	-
	B5	+	-	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие возможности и слабые стороны проекта: B4Сл3, B5Сл1Сл3, B1Сл4.

Таблица 7 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	-	-	-	-	+
	У3	-	+	+	-	-
	У4	-	-	+	-	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У3С2С3, У4С3.

Таблица 8 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Слабые стороны					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	+	+	+	0
	У2	+	-	-	-
	У3	+	-	-	-
	У4	+	+	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выделить следующие сильно коррелирующие угрозы и сильные стороны проекта: У1Сл1Сл2Сл3, У2Сл1, У3Сл1, У4Сл1Сл2Сл3, У3Сл1Сл3.

В рамках третьего этапа составляем итоговую матрицу SWOT-анализа Приложение А, таблица 9.

Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования.

Таблица 10 – Морфологическая матрица для канатной муфты

	1	2	3
А. Передаваемый момент	Большой	Средний	Низкий
Б. Материал полумуфты	Сталь	Чугун	Алюминий
В. Тип каната	Точечное касание проволок между слоями	Линейное	Комбинированное
Г. Число канатов	2	4	6
Д. Способ крепления каната	Зажим болтами	Запрессовка во втулку	Заливка эпоксидной смолой во втулке

Выберем возможные варианты решения проблемы с позиции её функционального содержания и ресурсосбережения. Можно предложить следующие варианты: А1Б2В2Г3Д3, А2Б1В1Г1Д1, А3Б1В3Г1Д2.

5.2 Планирование научно – исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составим список этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведем распределение исполнителей по категориям работ.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследований и разработка технического задания	1	Выбор направления исследований	Руководитель проекта
	2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта
	3	Подбор и изучение литературы по теме	Исполнитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель проекта, исполнитель
Теоретические и	5	Поиск необходимых параметров для построения модели и проведения процесса нагружения модели	Исполнитель

экспериментальные исследования	6	Построение модели канатной муфты и проведение расчётов	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка результатов исследования	Руководитель проекта, исполнитель
Оформления отчета по исследовательской работе	8	Составление пояснительной записки	Руководитель проекта, исполнитель

Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для вычисления ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$, используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (19)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как

удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (20)$$

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

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

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее наглядной и удобной формой графика проведения научного исследования является диаграмма Ганта. Диаграмма Ганта является горизонтальным ленточным графиком, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ необходимо перевести из рабочих дней в календарные дни по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{кал}, \quad (21)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (22)$$

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

$T_{вых} = 53$ – количество выходных дней в году;

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

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 53 - 14} = 1,22$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} , округляем до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в таблицу 12, Приложение А.

На основе таблицы 12 строим план – график, представленный в таблице 13, Приложение А.

Бюджет научно – технического исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний)

и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расi}, \quad (23)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 14 – Прочие материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Карандаш	шт.	2	25	58,5
Шариковая ручка	шт.	3	40	140,4
Бумага, формат А4	шт.	150	2	351
Тетрадь, А5	шт.	1	35	40,95
Итого:				590,85

Примем, что ежемесячный расход электроэнергии равен 110 кВт*ч. Исходя из тарифной ставки для юридических лиц 5,8 руб. за кВт*ч, затраты на электроэнергию составили 1914 рублей.

Затраты на услуги интернета за период выполнения работы, при использовании тарифа 360 рублей в месяц, составили 1080 рублей.

Затраты на аренду ноутбука за месяц составили 9000 рублей. За время аренды в количестве трёх месяцев, что соответствует времени выполнения работы, затраты составили 27000 рублей.

Основная заработная плата исполнителей темы

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

Расчет основной заработной платы приведён в таблице 16.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (24)$$

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

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

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = T_p \cdot Z_{дн}, \quad (25)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (26)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

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

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные	118	118
- праздничные		

Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	35	60
Действительный годовой фонд рабочего времени	212	187

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (27)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб;

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

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 $Z_{тс}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, тыс. руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , тыс. руб.	$Z_{дн}$, тыс. руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, тыс. руб.
Руководитель проекта	20,800	0,3	0,3	1,3	43,264	2,12	18	38,16
Исполнитель	17	0	0	1,3	22,1	0,94	51	47,94
Итого $Z_{осн}$								86,1

Дополнительная заработная плата составляет 15% от основной, для руководителя проекта – 5,724 рублей, исполнитель – 7,191 рублей.

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (28)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб	Дополнительная заработная плата, тыс. руб
	Исп. 1	
Руководитель проекта	38,16	5,724
Исполнитель	47,94	7,191
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Итого		
Исполнение 1	26,83	

Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта

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

Таблица 18 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
	Исп. 1	
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	86100	Таблица 16
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	12915	Под таблицей 16
3. Отчисления во внебюджетные фонды	26830	Таблица 17
4. Прочие затраты	590,85	Таблица 14
5. Энергетические и интернет – затраты	2994	Под таблицей 14
6. Затраты на аренду ноутбука	27000	
6. Бюджет затрат НТИ	90719,75	Сумма статьи 1-5

5.3 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (30)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 19 – Сравнительная оценка характеристик проекта

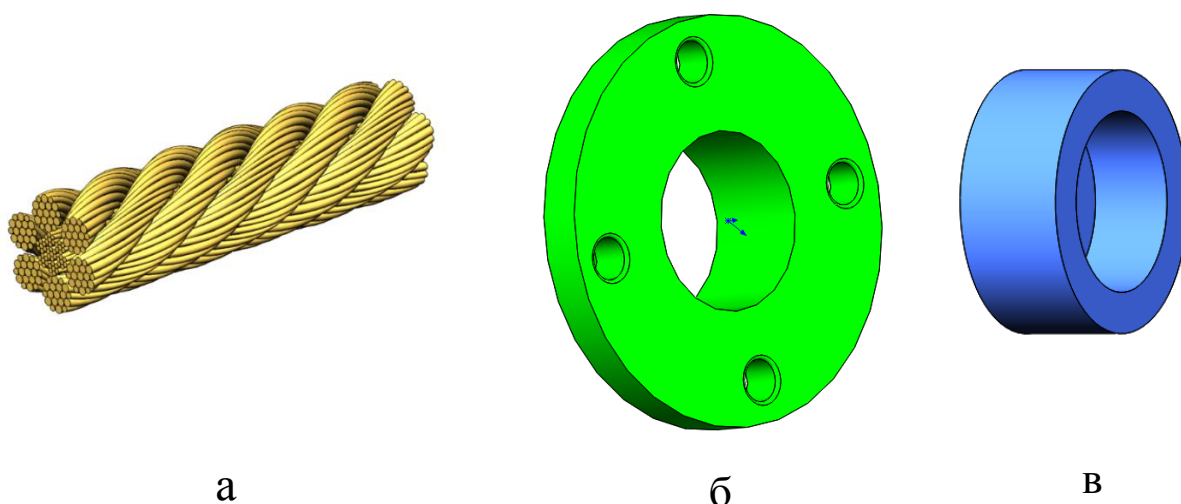
Критерии	Весовой коэф.	Канатная муфта	Втулочно – пальцевая муфта	Муфта со звёздочкой
1. Простота монтажа	0,1	4	4	5
2. Демпфирование вибраций	0,1	4	3	2
3. Срок службы	0,2	4	4	3
4. Ремонтопригодность	0,15	4	4	4
5. Надёжность	0,3	5	4	4
6. Материалоёмкость	0,15	4	3	4
Итого:	1	4,3	3,75	3,7

Вычислим показатель ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,3.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет высокое значение, что говорит об эффективности использования технического проекта.

Для создания модели муфты использовались 4 отрезка стального каната (рисунок 39, а) ГОСТ 14952-80, длиной 135 мм, диаметром 33 мм.



а – стальной канат; б – полумуфта; в – крепёжная втулка.

Рисунок 39 – Отрезок стального каната

Цена одного погонного метра каната составляет 418 рублей. Цена стоимости 4 отрезков каната с учётом стоимости заливки концов каната компаундом Wirelock 3000руб/шт. составит:

$$S_k = 4 \cdot (419 \cdot 0,135 + 3000) \approx 12250 \text{ руб.} \quad (31)$$

Используются две полумуфты из стали 40Х (рисунок 39, б). Примем, что стоимость изготовления полумуфт составит $S_{пм} = 15000$ руб. В конструкции муфты используются 8 крепёжных втулок для закрепления концов каната (рисунок 39, в). Стоимость одной втулки составляет 120 рублей. Общая цена втулок составит:

$$S_{вт} = 8 \cdot 120 = 960 \text{ руб.} \quad (32)$$

По известной стоимости всех элементов канатной муфты рассчитаем полную стоимость муфты, с учётом коэффициента на сборку $K_c = 1,3$:

$$S_{к.м} = (S_k + S_{пм} + S_{вт}) \cdot K_c = (12250 + 15000 + 960) \cdot 1,3 \approx 36700 \text{ руб.} \quad (33)$$

Таким образом, финансовые и массовые характеристики канатной муфты: цена – 36700 руб., масса – 49 кг.

Для сравнения, характеристики втулочно-пальцевой муфты: цена – 39000 руб., масса – 250 кг; зубчатая муфта: цена – 35000 руб., масса – 110 кг.

Таким образом, использование канатной муфты в производстве будет эффективным и конкурентоспособным, по сравнению с другими.

Данный раздел выполнялся на основе рекомендаций [22].

Вывод: в результате исследования по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был проведён SWOT – анализ проекта, в котором были выявлены его сильные и слабые стороны, а также учтены возможности и угрозы при осуществлении проекта. Также сделан вывод об конкурентоспособности технического решения. Кроме того, для научно – исследовательского проекта был определён бюджет затрат равный 90719,75 рублей, основная часть которого приходится на зарплаты сотрудников.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 4ЕЗ1	ФИО Лушников Александр Валерьевич
----------------	--------------------------------------

Институт	ИПР	Кафедра	ТПМ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	15.03.02 «Технологические машины и оборудование / «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеословия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Рабочее место – насосный зал нефтеперекачивающей станции, в котором расположены магистральные насосные агрегаты для осуществления перекачки нефти по магистральному трубопроводу.</p> <p>Оборудование: магистральный насосный агрегат.</p> <p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень шума на рабочем месте; - повышенный уровень вибрации; -повышенная загазованность воздуха рабочей среды. <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - наличие вращающихся механизмов; - пожароопасность и взрывоопасность; -опасность поражения электрическим током. <p>Воздействие на окружающую среду:</p> <ul style="list-style-type: none"> - загрязнение атмосферы; - загрязнение гидросферы; - загрязнение литосферы. <p>Возникновение чрезвычайных ситуаций:</p> <ul style="list-style-type: none"> - аварийная остановка при превышении уровня вибрации; - разрушение муфты и как следствие выход из строя агрегата.
<p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.</p> <p>ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.</p> <p>ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования.</p> <p>ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Общие требования.</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой 	<p>Физико – химическая природа вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень шума; - повышенный уровень вибрации. <p>Действие факторов на организм человека:</p> <ul style="list-style-type: none"> - раздражение и утомление человека; - влияние на нервную систему; - ухудшение слуха;
--	---

<p><i>размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<ul style="list-style-type: none"> - головные боли; - нарушение работы сердечно – сосудистой системы. <p><i>Средства коллективной защиты:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - шумоизоляция; - активные средства виброзащиты; - звукоизолирующие кожухи. <p><i>Средства индивидуальной защиты:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - противошумные наушники; - противошумные вкладыши; - специальные костюмы, перчатки.
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> - механические опасности (источники, средства защиты); - термические опасности (источники, средства защиты); - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); - пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p><i>Источник механических опасностей:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> -вращающиеся элементы насосного агрегата. <p><i>Средства защиты:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - защитные кожухи, экраны. <p><i>Причины пожаровзрывоопасности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - утечка нефти; - загазованность помещения. <p><i>Средства защиты:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - проверка оборудования, своевременное обслуживание и ремонт; - использование системы контроля загазованности помещения; - уменьшение концентрации взрыво – пожароопасных газов. <p><i>Профилактические мероприятия:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - обучение персонала пожарной ТБ; - обеспечение контроля за оборудованием. <p><i>Первичные средства пожаротушения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - огнетушитель; - песок.
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> - защита селитебной зоны - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p><i>Защита селитебной зоны:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> учёт санитарно – защитной зоны при строительстве нефтеперекачивающих станций. <p><i>Воздействие на атмосферу:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - испарение паров нефти при утечке и хранении в резервуарных парках. <p><i>Воздействие на гидросферу:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - возможный разлив нефти. <p><i>Воздействие на литосферу:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - бытовые отходы при техническом обслуживании и ремонте нефтеперекачивающих агрегатов. <p><i>Решения по обеспечению экологической безопасности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - все работники должны быть обучены безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90; - применение индивидуальных средств защиты по типовым отраслевым нормам при работе с нефтепродуктами.
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС на объекте; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p><i>Возможные ЧС на объекте:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - аварийная остановка при превышении уровня вибрации; - разрушение муфты и как следствие выход из строя агрегата; - возгорание паров нефти вследствие разрушения трубопровода; - нарушение рабочего режима маслосистемы;

	<p>- повышенные утечки нефти через уплотнения.</p> <p>Превентивные меры по предупреждению ЧС: проведение моделирования процессов в программном комплексе, после получения удовлетворительных результатов переходить к эмпирическим испытаниям.</p> <p>Для повышения устойчивости объекта к возможной ЧС необходимо перед изготовлением муфты провести исследования с помощью ЭВМ и смоделировать процесс передачи крутящего момента с одного вала на другой, с целью получения информации о надёжности конструкции.</p> <p>В случае возникновения ЧС необходимо действовать согласно инструкции, предписанной данному предприятию на случай возникновения ЧС.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<p>Правила безопасного ведения работ регламентируются ПБ 08-624-03 «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности»</p> <p>Допуск к работе имеют лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование в установленном порядке и не имеющие противопоказаний к выполнению данного вида работ, обученные безопасным методам и приемам работы, применению средств индивидуальной защиты, правилам и приемам оказания первой медицинской помощи пострадавшим и прошедшие проверку знаний в установленном порядке.</p> <p>К выполнению работ допускаются руководители, специалисты и рабочие, обученные и сдавшие экзамены на знание правил безопасности и техники безопасности, умеющие пользоваться средствами индивидуальной защиты и знающие способы оказания первой (доврачебной) помощи.</p> <p>Действующая с 1 января 2014 г. редакция ТК РФ определяет, что работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, положены следующие гарантии и компенсации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) сокращенная продолжительность рабочего времени с возможностью выплаты денежной компенсации за работу в пределах общеустановленной 40-часовой рабочей недели (ст. 92 ТК РФ); 2) ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам с возможностью выплаты компенсации за часть такого отпуска, превышающую минимальную продолжительность (ст. 117 ТК РФ); 3) повышенная оплата труда работников (ст. 147 ТК РФ).
<p>Перечень графического материала:</p>	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Невский Е.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Е31	Лушников Александр Валерьевич		

6. Социальная ответственность

Дипломная работа посвящена анализу напряжённо – деформированного состояния канатной муфты, подвергающейся действию крутящего момента от двигателя СТДП-2500-2УХЛ4, который используется в качестве привода магистрального насоса. В связи с этим раздел ВКР посвящён анализу вредных и опасных факторов при работе нефтеперекачивающего насосного агрегата.

В процессе транспортировки нефти по магистральным трубопроводам ключевую роль играют магистральные насосные агрегаты, входящие в состав нефтеперекачивающей станции. Насосные агрегаты расположены в насосном зале, где существует вероятность возникновения вредных и опасных факторов, негативного воздействия на окружающую среду и возникновения ЧС.

6.1. Описание рабочего места на предмет возникновения опасных и вредных факторов, вредного воздействия на окружающую среду

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ «Опасные и вредные факторы производства» можно выделить следующие вредные факторы производственной среды на нефтеперекачивающей станции при работе с насосным агрегатом:

- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень вибрации;
- повышенная загазованность воздуха рабочей среды.

Источниками шума и вибрации являются электродвигатель и магистральный насос, входящие в насосный агрегат. Вибрация возникает из-за динамического неуравновешивания вращающихся деталей, пульсаций давлений, кавитации при работе насосов.

Повышенная загазованность воздуха рабочей среды возникает из-за того, что смеси и газы скапливаются в газоопасных местах нефтеперекачивающей станции, одним из которых является насосный зал. Источниками выделения вредных газов являются нарушение герметичности

соединительных разъёмов оборудования, нарушение герметичности вследствие нарушений правил эксплуатации, выход из строя уплотнений.

К опасным факторам относятся:

- наличие вращающихся механизмов;
- пожароопасность и взрывоопасность;
- опасность поражения электрическим током.

Для привода насосов используются мощные синхронные электродвигатели, поэтому возникает опасность воздействия электрического тока напряжением до 5000 кВ.

Нефть, дизельное топливо, бензин являются диэлектриками. Поэтому, при движении нефти и нефтепродуктов по трубопроводам во время сливно-наливочных операций, может накапливаться заряд статического электричества. Величина заряда может достигать 80 кВ. Поэтому между изолированными металлическими сооружениями и заземленными предметами возможны искровые разряды. Статический заряд, накапливающийся на человеке, достаточен для воспламенения практически всех паровоздушных смесей при разряде.

6.2. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Повышение уровня шума и вибрации на рабочих местах неблагоприятно сказывается на организме человека и результатах его деятельности. При длительном воздействии шума не только снижается острота слуха, но и изменяется кровяное давление, ослабляется внимание, ухудшается зрение, происходят изменения в двигательных центрах, что вызывает определенные нарушения координации движений.

Интенсивный шум вызывает функциональные изменения сердечно-сосудистой системы, вызывает нарушение сна, раздражение, агрессивность, утомление, нарушаются нормальные функции желудка и приводит к необратимой потере слуха. Особенно неблагоприятное влияние шум оказывает

на нервную и сердечно-сосудистую системы. Весь комплекс ощущений, вызываемых шумом, рассматривается как «шумовая болезнь».

Пагубное воздействие оказывает даже шум, не ощущаемый ухом человека (находящийся за пределами чувствительности его слухового аппарата): инфразвуки, к примеру, вызывают чувство тревоги, боли в ушах и позвоночнике, а при длительном воздействии сказываются на нарушении периферического кровообращения.

Также шум влияет на производительность труда. Увеличение уровня шума на 1-2 дБ приводит к снижению производительности труда на 1%.

По ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности» допустимый уровень шума на рабочем месте нефтеперекачивающего агрегата составляет 80 дБ. Однако при работе насосного агрегата уровень шума может достигать 100 дБ.

Для снижения вредного воздействия шума на организм человека необходимо применение коллективных и индивидуальных средств защиты.

Согласно ГОСТ 12.1.029-80 «Средства и методы защиты от шума. Классификация» внутреннюю часть стен блока, где находится агрегат, можно покрыть шумоизоляцией. Применение звукоизолирующего кожуха на агрегате.

В качестве средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.1.029-80 персонал необходимо снабдить противошумными наушниками, закрывающими ушную раковину снаружи, либо противошумными вкладышами, перекрывающими наружный слуховой проход и прилегающие к нему.

Вибрация вызывает в организме человека реакции, которые являются причиной функциональных расстройств различных органов. Вредное действие выражается в виде повышенного утомления, головной боли, боли в суставах, повышенной раздражительности, некоторого нарушения координации движений. В отдельных случаях длительное воздействие интенсивной вибрации приводит к развитию вибрационной болезни, вызывающей тяжелые, часто необратимые изменения в центральной нервной и сердечно-сосудистой системах, а также в опорно-двигательном аппарате.

Воздействие вибрации на организм человека может привести к ряду функциональных расстройств различных органов. Вредное действие проявляется в виде головной боли, повышенной раздражительности, повышенное утомление, некоторое нарушение координации движений. В частных случаях чрезмерное длительное воздействие вибрации приводит развитию вибрационной болезни, которая проявляется в нарушении работы сердечно-сосудистой и нервной систем, в поражении мышечных тканей и суставов, нарушении функций опорно-двигательного аппарата.

По ГОСТ 26568-85 к коллективным средствам защиты от вибрации относятся активные средства виброзащиты.

К индивидуальным средствам защиты от вибрации относятся специальные костюмы, обувь, нагрудники, вибродемпфирующие перчатки, рукавицы.

6.3. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производённой среды

Одним из наиболее опасных объектов нефтеперекачивающей станции, в котором сконцентрировано большинство потенциальных опасностей и вредностей, является насосный зал магистральных насосных агрегатов. В помещении возможно скопление взрывоопасных и токсичных смесей, газов – паров нефти, легких углеводородов, метана, сероводорода и др.

Согласно ГОСТ 12.1.005-88.ССБТ по степени воздействия на организм человека воздушные смеси и газы относятся к третьему (сероводород в смеси с углеводородами C_1-C_5 ПДК 3 мг/м^3 , окислы азота ПДК 5 мг/м^3 , сероводород ПДК 10 мг/м^3) и четвертому классу (оксид углерода ПДК 20 мг/м^3 , нитросоединения метана ПДК 30 мг/м^3 , бензин ПДК 100 мг/м^3).

Вышеперечисленные вещества оказывают отравляющее действие на организм человека и относятся к ядам. Так, воздушные смеси, состоящие из метана и высших углеводородов, относятся к нервным ядам и воздействуют на центральную нервную систему. Бензин, углеводородные газы, сероводород и

др. относятся к ядам наркотического действия. Кроме того, сероводород и углеводородные газы относятся и к ядам раздражающего действия. Сероводород воздействует на верхние дыхательные пути, а углеводороды – на легочную ткань. Попадая на кожу человека, они обезжиривают и сушат ее, вызывая различные кожные заболевания (экзема, дерматиты). Первыми признаками отравления газами являются недомогание, головокружение, повышение температуры тела.

К числу мероприятий по снижению взрывоопасности и пожароопасности можно отнести:

- проведение проверки оборудования, своевременное обслуживание и ремонт;
- использование системы контроля загазованности помещения;
- уменьшение концентрации взрыво – пожароопасных газов.

В случае увеличения концентрации взрывоопасных газов автоматически включается приточно-вытяжная вентиляция насосного зала.

На случай возникновения пожара насосный зал оборудован пенной (водной) автоматической системой пожаротушения. Кроме того, насосный зал оснащен первичными средствами пожаротушения – огнетушители, ящики с песком, лопаты, вёдра.

Нефтеперекачивающая станция относится к энергоёмким объектам. Основным потребителем энергии являются мощные электродвигатели насосов. Поэтому возникает опасность воздействия электрического тока напряжением до 6000 кВ при эксплуатации и ремонте оборудования из-за ошибочных действий персонала, случайного прикосновения к токоведущим частям, в случае появления напряжения на токоведущих частях в результате нарушения изоляции проводов, при аварии и т.д., что может привести не только к поражению электрическим током, но и стать причиной пожара, взрыва.

Для защиты персонала от поражения электрическим током применяется защитное заземление, защитное зануление, защитное отключение. Чтобы исключить поражение электрическим током при проведении работ на агрегатах

требуется выполнить ряд подготовительных мероприятий по обеспечению безопасности:

- произвести необходимые отключения и принять меры, препятствующие подаче напряжения к месту работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения аппаратуры;
- установить ограждения, вывесить запрещающие плакаты;
- проверить заземление на токоведущих частях.

Воздействие статического электричества тоже может быть опасно для человека, так как во время действия разряда возможны рефлекторные движения, испуг, по причине которых человек может упасть с высоты, попасть в опасную зону насосного силового агрегата или другого оборудования.

Способы защиты от статического электричества:

- предотвращение накопления заряда на токопроводящих частях оборудования, осуществляется устройством заземлений.
- снижение интенсивности накопления заряда. Осуществляется путём уменьшения скорости движения нефти по трубопроводам, налива ёмкости без разбрызгивания.

6.4. Охрана окружающей среды

Защита селитебной зоны

При строительстве нефтеперекачивающих станций учитываются нормы санитарно – защитной зоны согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Рекомендуемое минимальное расстояние санитарно – защитной зоны для нефтеперекачивающих станций составляет 200 м.

Воздействие на атмосферу

Нефтеперекачивающая станция является источником загрязнения атмосферы. Основными источниками выделения вредных веществ являются неплотности фланцевых соединений, через которые возможна утечка углеводородов, клапаны ёмкостей.

Воздействие на гидросферу и литосферу

Источниками загрязнения почвы нефтью на нефтеперекачивающих станциях магистральных нефтепроводов являются неплотности запорной арматуры, фланцевых и муфтовых соединений, сварных стыков; утечки вследствие коррозионных повреждений резервуаров; продукты зачистки резервуаров.

Замена отработавших материалов и узлов приводит к образованию твердых отходов производства (металлолом, фторопласт и прочий бытовой мусор). Для утилизации бытовых отходов применяются полигоны твердых бытовых отходов.

Решения по обеспечению экологической безопасности

Работающие с нефтепродуктами должны быть обучены безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90.

В целях предупреждения загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы предусматривается:

- сокращение потерь нефти. Герметизация системы транспорта нефти;
- отсутствие открытого налива и слива нефтепродуктов;
- компактность нефтеперекачивающей станции. Уменьшается используемая площадь почвы, уменьшается количество соединений;
- защита от коррозии оборудования и трубопроводов;
- защитное отключение насосных агрегатов;
- для ликвидации масштабного разлива нефти используют природные и искусственные сорбенты.

При работе с отработанными нефтепродуктами, являющимися легковоспламеняющимися и ядовитыми веществами, необходимо применять индивидуальные средства защиты по типовым отраслевым нормам.

Для предотвращения загрязнения окружающей среды нефтепродуктами, уменьшения пожарной опасности и улучшения условий труда рекомендуются установки герметичного налива и слива, стационарные шланговые устройства, системы автоматизации процессов сливно-наливных операций.

Режим слива и налива нефтепродуктов, конструкция и условия эксплуатации средств хранения и транспортирования должны удовлетворять требованиям электростатической искробезопасности по ГОСТ 12.1.018-93.

Устройства полигонов твердых бытовых отходов должны организовываться в соответствии с СанПиНом 2.1.7.722-98.

6.5. Защита в чрезвычайных ситуациях

Перечень возможных ЧС на объекте

- аварийная остановка при превышении уровня вибрации;
- разрушение муфты и как следствие выход из строя агрегата;
- возгорание паров нефти вследствие разрушения трубопровода;
- нарушение рабочего режима маслосистемы;
- повышенные утечки нефти через уплотнения.

Наиболее типичной ЧС является аварийная остановка при превышении уровня вибрации.

Описание превентивных мер по предупреждению ЧС

Основными причинами преждевременного выхода из строя магистральных насосных агрегатов являются повышенные внутренние динамические (вибрационные) перегрузки, воздействующие на роторную систему, и внешние статические перенапряжения, передающиеся на агрегаты через фундамент, трубопроводы, неизбежно возникающие вследствие ряда эксплуатационных факторов.

Особенно большие напряжения возникают в момент включения и отключения насосов, переходных режимах и режимах недогрузки агрегатов. Эти напряжения вызывают деформацию корпуса насоса и анкерных болтов, приводят к расцентровке агрегатов, что в свою очередь, является причиной повышенной вибрации агрегатов, преждевременного выхода из строя подшипниковых узлов, элементов торцевых уплотнений валов и входных уплотнений рабочих колёс.

Для снижения влияния вибрации возможно применение виброизолирующей компенсирующей системы. Также применяются упругие компенсирующие муфты в соединении валов электродвигателя и насоса, которая обеспечивает снижение вибрации роторов насоса и двигателя, компенсирует несоосность валов агрегата.

Описание мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС

Для повышения устойчивости объекта к возможной ЧС необходимо перед изготовлением муфты провести исследования с помощью ЭВМ и смоделировать процесс передачи крутящего момента с одного вала на другой, с целью получения информации о надёжности конструкции.

В случае возникновения данной аварийной ситуации необходимо действовать согласно инструкции, предписанной данному предприятию на случай возникновения ЧС.

6.6. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правила безопасного ведения работ регламентируются ПБ 12-368-00 "Правила безопасности в газовом хозяйстве", который разработан в соответствии с "Положением о Федеральном горном и промышленном надзоре России" и учитывают требования Федерального закона "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" от 21.07.97 N 116-ФЗ, а также других действующих нормативных документов.

Допуск к работе имеют лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование в установленном порядке и не имеющие противопоказаний к выполнению данного вида работ, обученные безопасным методам и приемам работы, применению средств индивидуальной защиты, правилам и приемам оказания первой медицинской помощи пострадавшим и прошедшие проверку знаний в установленном порядке.

Основным органом государственного надзора и контроля за состоянием охраны труда является Федеральная служба по труду и занятости. В ее

структуру входят Управление надзора и контроля за соблюдением законодательства о труде, территориальные органы по государственному надзору и контролю за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, государственные инспекции труда субъектов Российской Федерации.

Действующая с 1 января 2014 г. редакция ТК РФ определяет, что работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, положены следующие гарантии и компенсации:

1) сокращенная продолжительность рабочего времени с возможностью выплаты денежной компенсации за работу в пределах общеустановленной 40-часовой рабочей недели (ст. 92 ТК РФ);

2) ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам с возможностью выплаты компенсации за часть такого отпуска, превышающую минимальную продолжительность (ст. 117 ТК РФ);

3) повышенная оплата труда работников (ст. 147 ТК РФ).

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были рассмотрены виды муфт, их строение и принцип действия. Также рассмотрены виды расцентровки и методы центровки в насосных агрегатах. Произведён патентно-информационный поиск, в результате которого были выявлены предложенные модели упругих муфт с применением в своей конструкции каната.

В расчётной части была построена модель канатной муфты в программном комплексе SolidWorks и проведён проверочный расчёт с последующим анализом напряжённо- деформированного состояния канатной муфты в ПК МКЭ ANSYS, которая подвергается действию крутящего момента от вала электродвигателя, входящего в магистральный насосный агрегат. На основе анализа результатов сделан вывод о работоспособности модели канатной муфты.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» проведён SWOT – анализ проекта, выявлены и обозначены его слабые и сильные стороны, определены угрозы и возможности при осуществлении проекта. Также проведён расчёт затрат для научно – исследовательского проекта, который составил 90719,75 рублей.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены возможные вредные факторы (например, повышенный уровень вибрации, повышенный уровень шума). В качестве опасных факторов выявлены наличие быстровращающихся механизмов, пожароопасность и взрывоопасность, опасность поражения электрическим током. Чрезвычайная ситуация определена в виде аварийной остановки при превышении уровня вибрации.

Список использованных источников

1. Андриенко Л.А., Байков Б.А., Ганулич И.К. и др. Детали машин / Под ред. О.А. Ряховского. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 544 с.
2. Ряховский О.А., Иванов С.С. Справочник по муфтам. Л: Политехника, 1991. 384 с.
3. Детали машин : Соединительные муфты: справочное пособие / сост. : Н. Г. Таровик, Т. А. Кулик, Е. С. Котушенко. – Краматорск:ДГМА, 2013. – 35 с.
4. Сорочкин М.С., Гоголина И.В., Попов А.М., Грачева Л.В. Компенсирующая способность упругих муфт// РЖ. 2, Машиностроительные материалы, конструирование и расчет деталей машин. Гидропривод. Отд. вып./ ВИНТИ.- 1994, с. 41.
5. Ильичев В.Ю., Витчук П.В. Исследование динамических характеристик пластинчатых муфт// Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. №4.
6. Сорочкин, Михаил Степанович. Исследование нагрузочной способности и жесткостных свойств пластинчатых муфт: диссертация кандидата технических наук: 01.02.06. - Томск, 1999. - 134 с.
7. Ильичев В. Ю., Способы снижения вибраций, вызванных расцентровкой осей пластинчатых соединительных муфт // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. №9., с.35-39.
8. Пат. 2492370 РФ. Муфта компенсирующая / Д.С. Корчагин // Бюл. – 2012. – № 25.
9. Пат. 140756 РФ. Упругая муфта / Д.С. Корчагин, И.Б. Битюцкий // Бюл. – 2013. – № 14.
10. Новые упруго-компенсационные муфты для насосных агрегатов магистральных нефтепроводов / И. В. Штин [и др.] // Ускорение научно-технического прогресса в нефтяной и газовой промышленности: сборник тезисов докладов регионального научно-практического семинара / Томский политехнический институт (ТПИ). — 1989. — Вып. 2. — С. 44-45.

11. Муфты механические для соединения валов, конструкция и основные принципы проверочных расчетов на прочность/ В.Е. Кулаев, А.В. Орлянский, Л.И. Яковлева и др. – Ставрополь – 2014. – 46 с.
12. Курсовое проектирование деталей машин. Учебное пособие/С.А.Чернавский, К.Н.Боков, И.М.Чернин, Г.М.Ицкович, В.П.Козинцов. 3-е изд. Перепечатка с издания 1987 г. М.: ООО ТИД "Альянс", 2005 - 416 с.
13. Гроховский Д.В. Основы рационального конструирования муфт и их влияние на динамику соединяемых валов машинных агрегатов // Вестник машиностроения. 2011. №2. С.3-15.
14. Ряховский О.А. Разработка конструкций, исследования, расчеты и стандартизация муфт с неметаллическими упругими элементами: Дис. д-ра техн. наук : 05.02.02 Москва, 1985 302 с.
15. Механическое оборудование: техническое обслуживание и ремонт / В.И. Бобровицкий, В.А. Сидоров. – Донецк, 2011. – 238 с.
16. Фещенко В.Н. Справочник конструктора. Книга 1, Машины и механизмы: Учебно-практическое пособие – Москва-Вологда:Инфра-Инженерия, 2016. - 400 с.
17. Иванов М.Н. Детали машин / М.Н. Иванов. – М.: Высшая школа, 1991. – 383 с.
18. Насос магистральный НМ. [<http://www.hms.ru/pumps>].
19. Электродвигатели синхронные серии СТДП [<http://электромашсервис.рф/productions>].
20. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. Том 2. Динамика (2-е издание). М.: Наука, 1979.
21. Бережной О.Л., Гончаров С.И. Прикладная механика: Учеб. пособие – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. – 404 с.
22. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

Таблица 9 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1.Наличие бюджетного финансирования;</p> <p>С2.Отсутствие необходимости закупки материалов и комплектующих;</p> <p>С3.Использование программных комплексов SolidWorks и ANSYS;</p> <p>С4. Определение возможных опасных проявлений при работе канатной муфты до ее производства;</p> <p>С5.Квалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1.Использование некоторых упрощений при осуществлении расчётов;</p> <p>Сл2.Отсутствие возможности проверки результатов исследования с помощью практических опытов;</p> <p>Сл3.Возможные ошибки в расчетной части программного комплекса;</p> <p>Сл4.Высокая стоимость лицензионного программного обеспечения.</p>
--	---	--

<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование инфраструктуры ТПУ;</p> <p>В2. Сотрудничество с предприятием-изготовителем упругих муфт;</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на исследование;</p> <p>В4. Получение гранта для дальнейших исследований;</p> <p>В5. Повышение стоимости конкурентных исследований.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</p> <p>В1С5 – для исследования проекта необходимы лаборатории ТПУ, допуск к которым имеет квалифицированный персонал;</p> <p>В2С4С5 – исследования, проводимые для определения напряжений в канатах муфты, должны быть интересны для предприятия с целью развития более совершенной продукции; квалифицированный персонал является гарантом качества выполняемых работ;</p> <p>В3С3 – появление дополнительного спроса к исследованию вследствие моделирования процессов системах SolidWorks и ANSYS;</p> <p>В4С4С5 – получение гранта связано с актуальностью, решаемой проблемы при участии квалифицированного персонала;</p> <p>В5С2С3 – удорожание проектов конкурентов, вследствие отсутствия необходимости закупать материал, так как проводим расчёты в системах SolidWorks и ANSYS.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>В3Сл2 возможно появление дополнительного спроса на исследование в случае практического подтверждения полученных результатов;</p> <p>В4Сл3 – в случае решения актуальных задач возможно получение гранта для дальнейшего развития проекта.</p> <p>В5Сл1Сл3 – значительные отклонения расчётов могут привести к сбою в работе агрегата.</p> <p>В1Сл4 – использование лицензионных программ университета для проведения исследования.</p>
--	--	---

<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на данные исследования; У2. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции; У3. Снижение финансирования исследования; У4. Появление новых конкурентных разработок.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: У3С2С3 – возможно урезание бюджета, т.к. в основном смета затрат состоит из начисления зарплаты ввиду отсутствия необходимости закупки оборудования и материалов для исследования; У2С5 – возможно развитие конкурентных разработок, если при их создании участвует квалифицированный персонал; У4С3 – существует вероятность появления погрешностей в расчетах, т.к. при исследовании используется не практические испытания, а моделирование процессов в программах SolidWorks и ANSYS.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: У1Сл1Сл2Сл3 – возможно отсутствие спроса на данное исследование вследствие: применения некоторых упрощений при моделировании, без учёта трения в прядях каната наличия некоторых погрешностей при отсутствии возможности проверки результатов; У2Сл1 – возможно развитие конкурентных исследований вследствие осуществления более точных расчетов при минимальных упрощениях в проекте; У3Сл1 – есть вероятность урезания финансирования в случае проведения не полного исследования с использованием упрощений У4Сл1Сл2Сл3 – на неточность результатов исследования напрямую влияют вводимые упрощения, учет не полного спектра факторов при работе канатной муфты; наличие программных ошибок в сочетании с отсутствием практических опытов могут допустить наличие неточных расчетов при исследовании; У3Сл1Сл3 – есть вероятность урезания финансирования в случае проведения не полного исследования с использованием упрощений.</p>
---	--	---

Таблица 12 – Временные показатели проведения научного исследования

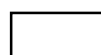
Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}	Длительность работ в календарных днях, T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ож}$, чел-дни			
	Исп1	Исп1	Исп1			
Выбор направления исследования, составление и утверждение технического задания	1	11	3,4	Руков. пр.	5	6
Подбор и изучение литературы по теме	12	16	13,6	Исполнит.	14	21
Календарное планирование работ по теме	2	5	3,2	Руков. пр. Исполнит.	1	1
Поиск необходимых параметров для построения модели и проведения процесса нагружения модели	8	15	10,8	Исполнит.	11	16
Построение модели канатной муфты и проведение расчётов	12	23	16,4	Исполнит.	16	24
Оценка результатов исследования	7	10	8,2	Руков. пр. Исполнит.	4	6
Составление пояснительной записки	8	16	11,2	Руков. пр. Исполнит.	5	7

Таблица 13 – Календарный план – график проведения НИР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал. дни	Продолжительность выполнения работ												
				Фев.		Март			Апрель			Май				
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Выбор направления исследования, составление и утверждение технического задания	Руков. пр.	6	■												
2	Подбор и изучение литературы по теме	Исполнит.	21		□											
3	Календарное планирование работ по теме	Руков. пр. Исполнит.	1					■								
4	Поиск необходимых параметров для построения модели и проведения процесса нагружения модели	Исполнит.	16					□								
5	Построение модели канатной муфты и проведение расчётов	Исполнит.	24						□							
6	Оценка результатов исследования	Руков. пр. Исполнит.	6									■				
7	Составление пояснительной записки	Руков. пр. Исполнит.	7									■				



- руководитель проекта,



- исполнитель.