

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 15.04.05 - Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств
Отделение Материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование динамических характеристик задвижки с электроприводом

УДК 621.646-83

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ81	Санникова Екатерина Александровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дерюшева В.Н.	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Крауиньш П.Я.	Д.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кацук Ирина Вадимовна	К.Т.Н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов Игорь Иванович	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель отделения	Клименов В.А.	Профессор, Д.Т.Н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по основной образовательной программе подготовки магистров по направлению 15.04.05
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»,
профиль подготовки «Конструирование технологического оборудования»
ИШНПТ ТПУ, Отделение Материаловедения, руководитель ООП Крауиньш П.Я.

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять <i>глубокие естественнонаучные и математические знания</i> для создания нового технологического оборудования и машин.	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК-2, 3). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современного машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных инженерных задач</i>	Требования ФГОС ВО (ПК-1-4). Критерий 5 АИОР (п.2.1, п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P3	Ставить и решать <i>инновационные задачи инженерного анализа</i> , связанные с созданием и обработкой новых изделий с использованием системного анализа и моделирования объектов машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-5-9). Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P4	<i>Разрабатывать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-15-17). Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P5	Проводить теоретические и модельные <i>исследования</i> в области машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК- 16.). Критерий 5 АИОР (п.1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P6	Внедрять и обслуживать современные высокотехнологические линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ВО (ОК-2, ПК-9, ПК-11, 12,13,14). Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> для ведения <i>инновационной инженерной деятельности</i> с учетом юридических	Требования ФГОС ВО (ОПК -4, ПК-2, ПК-3, ПК-13, ПК-14, ПК-18).

	аспектов защиты интеллектуальной собственности	Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОПК-3, ОПК-4, ПК-13, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации.	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п. 2.13), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> , компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i> .	Требования ФГОС ВО (ОК-2). Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P11	<i>Самостоятельно</i> учиться и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-3). Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 15.04.05 - Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств
Отделение Материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель отделения

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ81	Санниковой Екатерине Александровне

Тема работы:

Исследование динамических характеристик задвижки с электроприводом	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	
Срок сдачи студентом выполненной работы:	23.06.2020 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Провести кинематические и динамические исследования электропривода задвижки, изготовленного на заводе ОАО «ТЭМЗ», проанализировать нагрузочную способность профиля зуба с использованием виртуальной модели.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной</i></p>	<p>Литературный обзор электроприводов для задвижек и разновидностей зубчатого зацепления. Анализ кинематики и динамики редуктора путем исследования кинематики зубчатого зацепления и разработки динамической модели редуктора.</p>

<i>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Компоновочные схемы, графики исследований зубчатого зацепления, математические модели, графики переходного процесса.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Расчеты и аналитика	Дерюшева Валентина Николаевна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович
Английский язык	Диденко Анастасия Владимировна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.10.18 г.
---	-------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ81	Санникова Екатерина Александровна		

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

Студенту:

Группа 4НМ81	ФИО Санникова Екатерина Александровна
-----------------	--

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость ресурсов принять как среднюю по г. Томску, заработную плату принять по окладу ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Предпроектный анализ (НИ)	SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ в рамках научного исследования. Определение трудоемкости выполнения работ. Разработка графика проведения научного исследования..
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджета НИ. Основная заработная плата. Отчисления во внебюджетные фонды. Формирование бюджета затрат научно-технического проекта.
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Оценка научно-технического уровня конструкторских разработок.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Сегментирование рынка
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. График проведения и бюджет НИИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.03.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ81	Санникова Екатерина Александровна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ81	Санникова Екатерина Александровна

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Тема ВКР:

Исследование динамических характеристик задвижки с электроприводом	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования: Двухступенчатый циклоидальный редуктор для управления задвижкой. Провести исследования, как влияет профиль зубчатых зацеплений в редукторе на динамические характеристики задвижки. Рабочее место: офисное помещение, с рабочим местом и ПК. Область применения: нефтяная и газовая промышленность.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • СанПиН 2.2.4.548 – 96 • СанПиН 2.2.4.1294-03. • ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ • СП 52.13330.2016. • СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. • ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. • Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. 123 – ФЗ, 2013. • СНиП 21-01-97* • ГОСТ 17.0.0.01-76
<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы: 1) Микроклимат 2) Запыленность воздуха рабочей зоны 3) Электромагнитные излучения 4) Освещение 5) Производственный шум</p> <p>Психофизические факторы: 1. Физические 2. Нервно-психические</p> <p>Опасные факторы: 1. Электрический ток. Источник-ПЭВМ. 2. Короткое замыкание, статическое электричество</p>

3. Экологическая безопасность:	Предусмотреть утилизацию люминесцентных ламп, макулатуры, оргтехники, ТБО
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Возможные ЧС на рабочем месте:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Взрыв • Обрушение здания • Авария на энергетических сетях <p>Наиболее вероятные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Возникновение пожара

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.02.2020
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов Игорь Иванович	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ81	Санникова Екатерина Александровна		

Реферат

Магистерская диссертация состоит из 116 страниц, содержит 21 рисунок, 33 источника литературы и 2 приложения.

Ключевые слова: задвижка, циклоидальный редуктор, нагрузка зубьев, интерференция, кинематика электропривода.

Объектом исследования являются двухступенчатый циклоидный редуктор.

Целью магистерской диссертации является анализ кинематики и динамики редуктора путем исследования кинематики зубчатого зацепления и разработки динамической модели редуктора.

В рамках проведенной работы был приведен обзор электроприводов для задвижек, рассмотрены различные виды зубчатых зацеплений.

Проанализирована интерференция зубьев циклоидального редуктора, изготовленного в ОАО «ТЭМЗ».

Виртуальная модель была разработана в программном обеспечении Solidworks 2017 для проведения всех исследований.

Работа выполнена в текстовом редакторе MS Word, динамическая модель создавалась в программном продукте MATLAB.

Оглавление

Реферат	9
Введение	12
Цель диссертации	13
Научная новизна.....	13
Практическая значимость	13
1. Литературный обзор	14
1.1. Основные виды трубопроводной арматуры	14
1.2. Обзор задвижек	15
1.3. Особенности эксплуатации запорной арматуры	20
1.4. Обзор существующих систем электропривода задвижек	22
1.5. Требования, предъявляемые к электроприводу задвижек	24
1.6. Общие сведения и классификация зубчатых передач.....	26
1.7. Циклоидальная передача	30
2. Расчетная часть и аналитика	36
2.1. Функции электропривода ОАО «ТЭМЗ».....	36
2.2. Принцип работы электропривода	38
2.3. Исследования кинематики редуктора	38
2.3.1. Первое исследование: определение распределения нагрузки при разных значениях эксцентриситета.....	39
2.3.2. Второе исследование: определение равномерности вращения выходного вала.....	49
2.3.3. Третье исследование: определение плавного и равномерного вращения при нагрузке	53
2.4. Математическое моделирование	60
3. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение	66
3.1. Введение	66
3.2. Потенциальные потребители результатов исследования	66
3.2.1. Фирмы-конкуренты	66
3.2.2. Технические характеристики	68
3.3. Технические характеристики проектируемого редуктора.....	69
3.4. SWOT-анализ	72
3.5. Оценка готовности проекта к коммерциализации	74
3.6. Планирование управления научно-техническим проектом.....	75

3.6.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	75
3.6.2. Продолжительность этапов работ.....	76
3.6.3. Бюджет научного исследования.....	80
Выводы	87
4. Социальная ответственность	88
Введение	88
4.1. Техногенная безопасность.....	88
4.1.1. Требования и показатели микроклимата	88
4.1.2. Эргономика рабочего места	95
4.1.3. Психофизиологические факторы	99
4.2. Экологическая безопасность	99
4.2.1. Охрана окружающей среды.....	100
4.2.2. Люминесцентные лампы	100
4.2.3. Макулатура.....	101
4.2.4. Оргтехника	102
4.3. Защита в ЧС.....	102
4.3.1. Пожарная безопасность.....	102
4.3.2. Требования по обеспечению пожарной безопасности.....	104
Вывод.....	105
Заключение	106
Список литературы	107
Приложение А	110
Приложение Б.....	116

Введение

В настоящее время в нефтеперерабатывающих, нефтехимических, энергетических установках, магистральных, промысловых и других трубопроводах используется огромное количество арматуры, которая управляет потоками перемещаемой среды. В связи с этим эксплуатация установок или трубопроводов невозможна без нее.

Наиболее распространенным видом запорной арматуры являются задвижки. Для управления задвижками используются пневматические, гидравлические или электрические привода. Наибольшее распространение получил электрический привод. Для электрических приводов в качестве основного приводного двигателя наиболее часто используется асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором благодаря своей простоте конструкции и надежности. Современный электропривод запорной арматуры реализован на базе различных силовых полупроводниковых устройств с микропроцессорным управлением, что позволяет получить высокое быстродействие, большой диапазон регулирования и большую точность. Электропривод запорной арматуры включает в себя приводной двигатель, систему управления, механическое преобразовательное устройство (редуктор) и силовой преобразователь. Система управления обеспечивает требуемые режимы эксплуатации запорной арматуры, выполняет защитные и коммуникационные функции, а также позволяет электроприводу адекватно реагировать на изменение внешних воздействий.

При проектировании ЭПЗА важно знать, как будет вести себя электропривод в различных динамических режимах, так как из-за нарушения режима работы электропривода задвижки могут возникнуть серьезные экономические или экологические последствия. Например, возможна ситуация, при которой ЭПЗА не сможет тронуться с места из-за заклинивания задвижки, что приведет к невозможности открытия трубопровода. Также при превышении максимального допустимого момента при уплотнении может произойти разрушение посадочного седла задвижки, а также разрушение

самого трубопровода, что приведет к утечке среды. Поэтому важной задачей является исследование динамики и кинематики электропривода запорной арматуры.

Цель диссертации

Целью является анализ кинематики и динамики редуктора путем исследования кинематики зубчатых зацеплений и разработки динамической модели редуктора.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Провести обзор электроприводов для задвижек.
- Провести обзор зубчатых зацеплений, формы зуба и различных характеристик зацеплений.
- Исследовать кинематику редуктора без нагрузки.
- Исследовать кинематику редуктора с имитацией нагрузки по виртуальной модели.
- Провести динамические исследования.

Научная новизна

При исследовании впервые была выявлена неравномерность нагрузки зубьев при вращении при переходе от одного зуба к другому.

Практическая значимость

Для совершенствования профиля зубьев могут понадобиться данные исследования, которые позволили бы исключить выявленные неравномерности.

Объектом исследований является двухступенчатый циклоидальный редуктор. Предметом исследования являются нагрузка зубьев и интерференция.

В рамках работы необходимо провести кинематические и динамические исследования зубчатого зацепления привода, изготовленного компанией ОАО «ТЭМЗ» в SolidWorks и MatLab.

1. Литературный обзор

1.1. Основные виды трубопроводной арматуры

Трубопроводную арматуру делят на арматуру специального назначения и арматуру общепромышленного назначения.

К специальной относится та промышленная трубопроводная арматура, которая изготавливается с учетом различных специфических требований и условий работы, например, агрессивная среда, повышенные температуры и тд.

Общепромышленная арматура соответствует общим условиям эксплуатации и изготавливается для межотраслевого применения. Соединение арматуры с трубопроводом по конструкции классифицируется на следующие виды: арматура с соединением сваркой, фланцевое соединение, цапковое, муфтовое, штуцерное. Арматура управляется за счет передачи вращающего момента на шпиндель, шток, которые соединяются с герметизирующим элементом задвижки, и образуют подвижное соединение, которое перемещается внутри корпуса арматуры, и которое герметично изолировано от внешних воздействий среды. В зависимости от способа герметизации арматура классифицируется на сальниковую, мембранную или шланговую. По своим выполняемым функциям арматура делится на следующие классы: защитная, предохранительная, распределительно-смесительная, регулирующая, запорно-регулирующая.

Защитная арматура служит для предотвращения аварийных ситуаций, связанных с превышением значений допустимых параметров арматуры (температура, давление, изменение направления потока).

Предохранительная арматура имеет схожие функции с защитной арматурой, она защищает оборудование от недопустимого превышения давления. Принцип работы арматуры данного типа заключается в том, что при достижении критического давления происходит ее открытие, и сброс избытка рабочей среды для снижения давления.

Распределительно-смесительная арматура предназначена для перемешивания рабочих потоков жидкостей или газов, после чего происходит их распределение по трубопроводам.

Регулирующая арматура изменяет параметры протекающей среды, такие как температура и скорость потока, давление среды и другие. Регулирование происходит за счет дросселирования потока, то есть за счет изменения расхода.

Запорная арматура используется в том случае, когда требуется герметичное закрытие трубопровода для прекращения протекания жидкости или газа, или, когда требуется беспрепятственное прохождение потока, то запорная арматура полностью открывается. Также при полном закрытии поток может быть направлен в другой трубопровод, таким образом происходит регулирование направления протекания жидкости или газа. Запорная арматура на нефтепроводах и технологических трубопроводах устанавливается на линейных участках. Это связано с тем, что напряжения, которые возникают в участках изгиба, могут привести к нарушению герметичности, что приведет к утечкам.

Каждый класс включает себя арматуру следующих типов: задвижки, заслонки, клапаны, краны [1].

1.2. Обзор задвижек

Основным видом запорной арматуры на трубопроводах [2] являются задвижки.

Задвижкой называется конструкция запорной арматуры, у которой запирающий элемент выполнен в виде клина или диска, который перемещается вдоль уплотнительных колец седла корпуса перпендикулярно потоку рабочей среды, тем самым либо перекрывая поток в закрытом положении, либо пропуская его в открытом положении. Задвижки получили широкое применение на различных трубопроводах. Диаметры трубопроводов, на которые устанавливаются задвижки, изменяются в диапазоне от 50 мм до

2000 мм [3], диапазон рабочих давлений от 0,4 до 25 МПа, а рабочая температура от -60 до 565 градусов Цельсия.

Задвижки обладают следующим достоинством: высокой степени герметичности затвора в закрытом состоянии, сравнительной простоте конструкции и малому гидравлическому сопротивлению (по сравнению вентилями), небольшой строительной длиной, возможностью подачи рабочей среды в любом направлении, возможность применения в широком диапазоне рабочих сред, давлений, температур и других условий эксплуатации.

У задвижек существуют следующие недостатки: длительное время срабатывания затвора, закрытие которого может длиться несколько минут; задвижки невозможно использовать для сред, в которых образуются кристаллизующиеся включения, так как запирающий элемент не сможет герметично закрыться; большая строительная высота; возможность получить гидравлический удар в конце закрытия [4].

Задвижки классифицируют по следующим признакам [5]:

1. Площадь поперечного сечения прохода и площадь сечения входного патрубка. Для уменьшения усилий, требуемых для открытия или закрытия, площадь прохода делают меньшей, чем площадь сечения входных патрубков.

2. Система винт-гайка:

– Задвижки с выдвигным шпинделем – в данном случае шпиндель движется совместно с запирающим элементом и совершает поступательное движение. Ходовая гайка находится на штоке или на приводе. Преимущества данного типа задвижек заключается в быстром доступе для осмотра резьбовой пары, или проведения ремонтных работ, ходовая гайка может быть заменена без демонтажа задвижки. Недостатком является повышенная строительная высота из-за выдвигания шпинделя, а также для шпинделя требуется защита от механических повреждений.

– Задвижки с невыдвигным шпинделем. Отличаются от предыдущего типа тем, что шпиндель совершает только вращательное

движение. Ходовая гайка устанавливается на самом затворе. Преимущество данной разновидности запорной арматуры заключается в их небольшой высоте, которая определяется либо длиной сальника, либо ходом затвора. Недостатками являются влияние протекающей среды на резьбовую пару, а также ее затруднен доступ для обслуживания или ремонтных работ.

3. По конструкции запирающего элемента задвижки можно классифицировать на два типа: параллельные и клиновые [6].

– Параллельные задвижки получили свое название благодаря запирающему элементу, который выполнен в виде диска или листа. Параллельные задвижки делятся на однодисковые (шиберные), или двухдисковые, у которых запирающий элемент состоит из двух параллельных дисков, между которыми находится распорная пружина. Если не требуется высокая степень герметичности в закрытом состоянии в протекающих средах с большими значениями рабочего давления, то используется запорная арматура с запирающим элементом в виде одного диска. Допускается наличие небольшого количества механических примесей в транспортируемом потоке вещества.

На рисунке 1 показан внешний вид параллельной однодисковой задвижки и изображен чертеж [3].

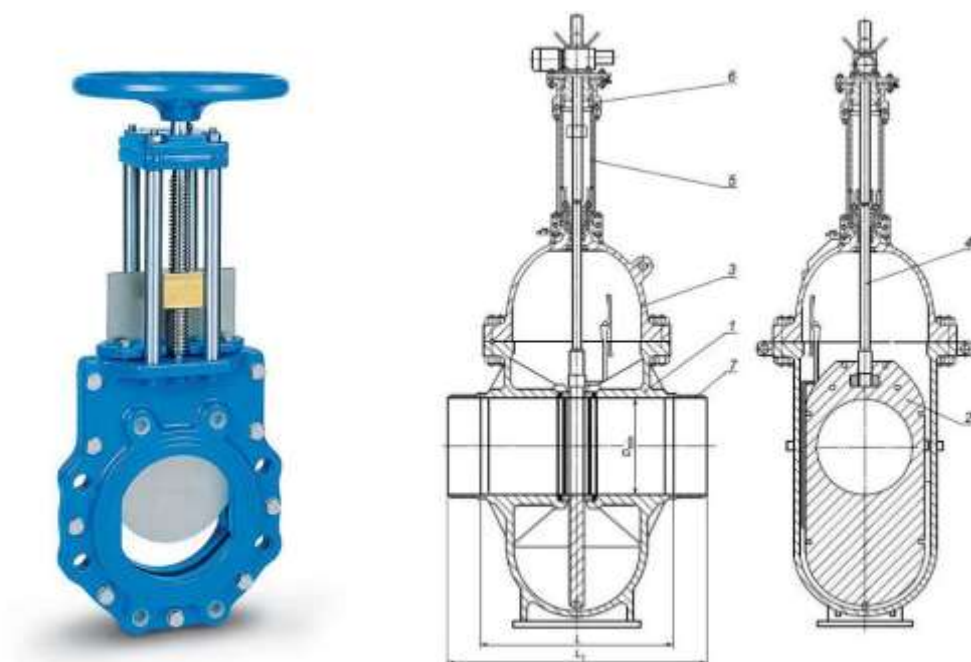


Рисунок 1 – Внешний вид и чертеж задвижки и ее основные части:

1 – корпус; 2 – диск; 3 – крышка; 4 – шпindel; 5 – стойка; 6 – бугельный узел; 7 – приварная катушка

Параллельные задвижки получили широкое распространение из-за своей надежности. В данном типе задвижек притирка уплотняющих колец осуществляется намного быстрее по сравнению с клиновыми. Преимуществом данных задвижек по сравнению с клиновыми является меньшая подверженность к заклиниванию в закрытом положении.

– Клиновая задвижка. Клиновая задвижка получила свое название из-за запирающего элемента, который отличается от затвора параллельной задвижки, и имеет форму плоского клина. Особенностью задвижки является то, что седло и его уплотнительные поверхности расположены параллельно и под углом 10-12 градусов к уплотнительным поверхностям запирающего элемента. Высокая степень герметичности достигается за счет прижатия затвора к уплотнительным поверхностям седла с определенным моментом закрытия.

Клиновые задвижки делятся на задвижки с цельным клином, с упругим клином и составным клином [6].

К недостаткам задвижек с цельным клином относятся: возможность заклинивания клина после длительного нахождения в закрытом состоянии, что связано с коррозией, изменением температуры, а также интенсивный износ уплотнительных поверхностей клина и седла из-за сильного трения. Данный тип запорной арматуры применяется при больших рабочих давлениях и неагрессивной среде, как для жидкостей, так и для газов.

У задвижек с упругим клином запорный элемент состоит из полуразрезанного или разрезанного клина, между которым находится упругий элемент, что позволяет повысить степень герметичности в закрытом состоянии за счет упругого изгибания клина. Такой тип запорной арматуры применяется для сред с большим рабочим давлением и большой температурой [7].

У задвижек с составным клином запирающий элемент состоит из нескольких частей, что позволяет избавиться от технологической подгонки уплотнительных элементов. Данный тип запорной арматуры используется тогда, когда требуется высокая степень герметичности для средних давлений для жидких или газообразных сред, в которых отсутствуют твердые включения или абразивные частицы. Рабочая температура будет зависеть от материала изготовления деталей задвижки.

Клиновые задвижки обладают следующими преимуществами: для клиновой задвижки требуется меньшее усилие со стороны привода для обеспечения плотного закрытия, простая конструкция.

На рисунке 2 показан внешний вид клиновой задвижки и ее чертеж [3].

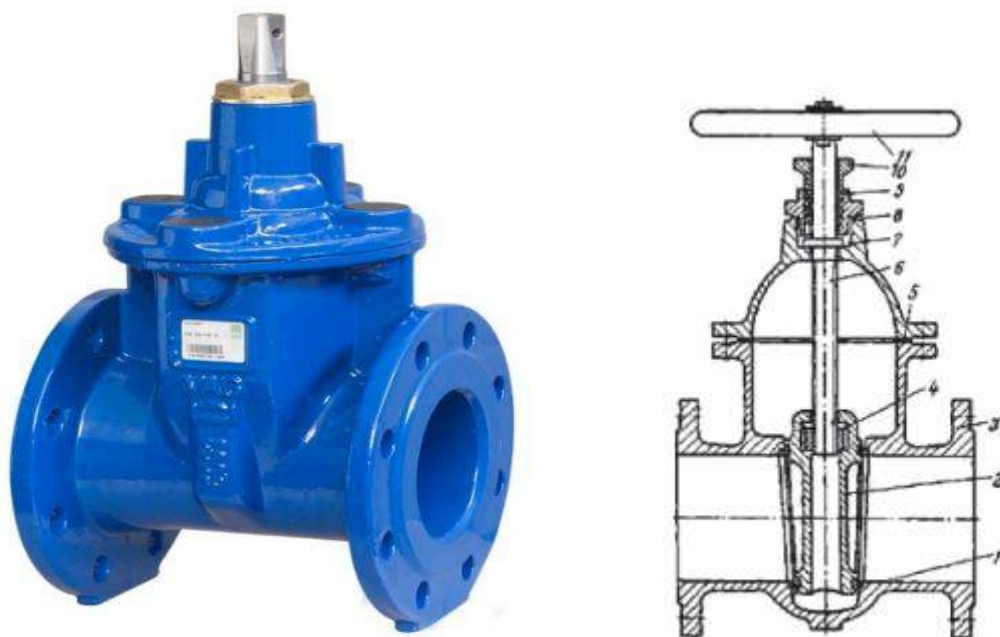


Рисунок 2 – Внешний вид и чертеж клиновой задвижки и ее основные части:

1 – седло; 2 – запирающий элемент в виде клина; 3 – корпус; 4 – ходовая гайка; 5 – прокладка; 6 – выдвижной шпindel; 7 – крышка; 8 – кольцевая прокладка; 9 – сальниковое уплотнение; 10 – нажимная втулка; 11 – ручной дублер;

Корпус задвижки 3 представляет собой литую, цельную или сварную конструкцию. Высота корпуса задвижки превышает диаметр прохода в несколько раз. Корпус и верхняя крышка 7 являются рабочей областью задвижки, куда подается поток продукта. Между крышкой и корпусом находится уплотнительная прокладка 5, которая герметизирует соединение и не дает рабочей среде попасть за пределы корпуса.

Внутри корпуса запорной арматуры находятся два седла 1, а также запирающий элемент в виде клина 2. В закрытом положении уплотнительные поверхности седла будут прижаты к уплотнительным поверхностям клина.

На верхней части затвора 2 находится ходовая гайка, которая соединена с шпинделем 6. Шпиндель жестко связан с маховиком. Уплотнение в месте выхода шпинделя из корпуса задвижки обеспечивается сальниковым уплотнением 9, которое установлено по диаметру шпинделя, и оно препятствует вытеканию рабочей среды в атмосферу. Набивка сальникового уплотнения дожимается с помощью нажимной втулки 10. Корпус сальника крепится к верхней крышке 7, а место разъема уплотняется кольцевой прокладкой 8 [3].

1.3. Особенности эксплуатации запорной арматуры

Запорная арматура имеет три основных рабочих эксплуатационных состояния. Первый режим - когда затвор полностью закрыт. В данном режиме арматура препятствует прохождению среды. Этот режим применяется, в основном, для отсекаания определенного участка трубопровода для проведения обслуживания, ремонта, или для предотвращения выброса нефти в окружающую среду во время аварии. Вторым режимом - когда затвор полностью открыт и арматура не препятствует прохождению среды по трубопроводу. Третий режим – когда запорный орган задвижки находится в движении из открытого или закрытого состояния.

Эксплуатационные параметры запорной арматуры делятся на энергетические (температура и давление), диаметр, пропускная способность, тип привода задвижки, время движения из закрытого/открытого состояний,

требуемый момент, ход арматуры, утечка и другие. При работе в агрессивных средах важно учитывать коррозионную стойкость материала арматуры.

Существуют несколько групп арматуры, которые классифицируют по диаметрам условного прохода:

1. Сверхмалые трубопроводы с диаметром Ду до 5 мм включительно.
2. Малые трубопроводы с диаметром Ду от 6 до 40 мм включительно.
3. Трубопроводы средних размеров с диаметром Ду от 50 до 300 мм.
4. Трубопроводы больших размеров с диаметром Ду от 350 до 1200 мм.
5. Трубопроводы сверхбольших размеров с диаметром Ду от 1400 мм [8].

Нормальными условиями эксплуатации запорной арматуры принято считать: температуру 20 градусов Цельсия, давление 760 мм рт. ст., и при влажности, равной 0 [9].

Чтобы обеспечить прочность запорной арматуры при работе на высоких давлениях, нужно увеличивать толщину металлических стенок трубопровода, а также применять детали большого размера. В этих условиях усилия и моменты, необходимые для управления арматурой, имеют большую величину.

При работе на коррозионных средах арматура должна иметь высокую устойчивость против агрессивного химического воздействия протекающей среды. Данное требование относится ко всем элементам запорной арматуры, включая уплотнительные и герметизирующие элементы, такие как прокладки, уплотнения, сальники.

Срок службы запорной арматуры во многом зависит от ее частоты срабатывания из-за того, что во время работы происходит износ таких узлов и деталей, как: ходовая гайка, шток, уплотняющие кольца, редуктор. Срок службы также снижается из-за того, что электропривод может создавать ударную нагрузку на кинематические элементы запорной арматуры. Для

снижения данного негативного явления электропривода должны запускаться плавно. [10].

1.4. Обзор существующих систем электропривода задвижек

Огромный ассортимент существующей на сегодняшний день трубопроводной арматуры позволяет полностью контролировать поток рабочей среды: регулировать его скорость, интенсивность, осуществлять смешивание, деление и т.д.

В системах с малым давлением и диаметром труб используется арматура с ручным приводом, для управления которым не требуется значительных физических усилий. С ростом давления и сечения трубопровода увеличивается и размер арматуры, поэтому для автоматизированного или механизированного управления штоком задвижек применяют различные виды приводов. К ним относятся пневматические, гидравлические и электрические [5].

Наибольшее распространение получили электрические привода благодаря своим следующим преимуществам по сравнению с другими типами. Они обладают лучшими массогабаритными показателями, большая ремонтпригодность, связанная со снятием привода с действующей арматуры для ее замены или ремонта, при этом отсутствует опасность самопроизвольного срабатывания рабочего элемента, а также меньшее число элементов для ремонта. Для работы используется электрическая сеть, которая не засоряется и не замерзает по сравнению с гидравлическими и пневматическими, возможность дистанционного автоматического управления любым типом арматуры, высокий КПД работы системы, обладает практически неограниченным диапазоном мощностей и моментов.

Электропривода классифицируют по следующим признакам [7]:

1. По виду перемещения и его величине привода классифицируют следующим образом:

- Прямоходовые, используются для клапанов.

– Неполноповоротные, у которых запирающий элемент поворачивается на 1/4 оборота, применяется для шаровых кранов или поворотных дисковых затворов;

– Многооборотные – у данного типа приводов рабочий элемент совершает вращающееся движение (например, шток), они устанавливаются на всех типах задвижек.

2. По требованиям взрывобезопасности – взрывозащищенные или в нормальном исполнении.

3. По способу завершения работы в конечном положении:

– Привод с концевыми выключателями.

– С муфтой ограничения крутящего момента;

– С электрическим реле ограничения силы тока;

– Комбинированный способ с применением концевых выключателей и реле;

– В современных электроприводах используется программное вычисление положения по сигналам с датчика положения (абсолютного энкодера), а также программное вычисление момента по известным токам и напряжениям, также контроль момента может осуществляться с помощью тензометрических датчиков [11].

4. В зависимости от управляющего устройства электропривода классифицируются на следующие классы:

– Неавтоматизированные электропривода, управление которыми осуществляется с помощью реверсивных магнитных пускателей;

– Привод с интеллектуальным реле управления и внешним коммутационным устройством;

– Привод с реверсивным устройством плавного пуска, которое реализуется на основе тиристоров (тиристорный регулятор напряжения);

– Привод с преобразователем частоты, в котором используется скалярное или векторное управление.

Электропривод преобразует электрическую энергию в крутящий момент, создаваемый на валу двигателя, что приводит к передвижению элементов арматуры. Для передачи вращающего момента служит редуктор с большим передаточным отношением, что позволяет снизить скорость вращения и повысить момент, прикладываемые к выходному валу механизма. К основным типам редукторов, используемых для электропривода задвижки относятся: червячный редуктор, планетарный редуктор, волновой редуктор с промежуточными телами качения. В состав привода также входит ручной дублер, служащий для закрытия задвижки в случае неработоспособности двигателя.

На рисунке 3 показана структурная схема интеллектуального электропривода запорной арматуры.

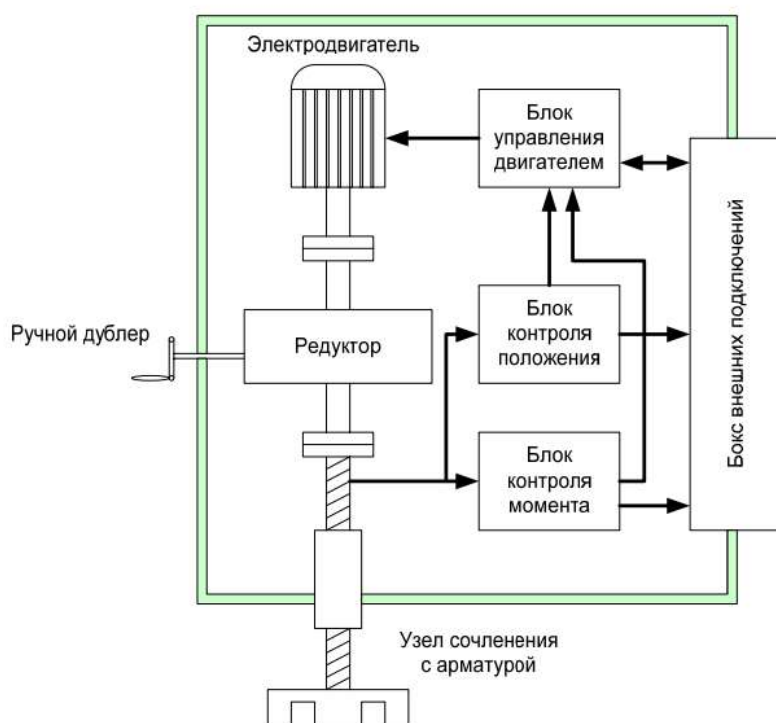


Рисунок 3 – Структура интеллектуального электропривода запорной арматуры

1.5. Требования, предъявляемые к электроприводу задвижек

Электропривод задвижки является важной частью технологических трубопроводов. Чтобы обеспечить нормальное функционирование арматуры, привод должен удовлетворять целому ряду требований. Основные из них:

1. Долговечность – свойство арматуры сохранять свою работоспособность до наступления предельного состояния. Показателями долговечности являются: полный средний ресурс, ресурс до ремонта, полный срок службы. Полный срок службы у задвижек находится в диапазоне 10-20 лет, так как операция по замене обойдется значительно дороже самой задвижки из-за необходимости остановки работы трубопроводов, сложности доставки оборудования.

2. Высокая надежность арматуры при минимальном обслуживании. Является довольно жестким критерием при конструировании задвижек, так как задвижки на трубопроводах являются основными запорно-регулирующими элементами. В случае нарушения работоспособности могут произойти аварийные ситуации.

3. Ремонтопригодность – свойство, отражающее степень приспособленности изделия к обнаружению, предупреждению причин возникновения отказов и повреждений путем устранения их проведением технического обслуживания и ремонта [12]. Повышенная ремонтопригодность обеспечивает замену деталей арматуры без ее снятия с трубопровода.

4. Прочность и жесткость конструкции. Арматура должна выдерживать повышенные давления протекающего рабочего потока среды, которое может составлять до 15 МПа для нефти и 10 МПа для газа, а также выдерживать нагрузки, связанные с усилием запирающего элемента, без существенных деформаций, нарушающих нормальную работу задвижки.

5. Взрывобезопасность. Задвижки для нефтепроводов работают во взрывоопасной, так как нефть является горючей жидкостью. Помимо этого, с нефтью может быть попутный газ, поэтому корпуса всего оборудования (датчики, двигатель, преобразователь) должны иметь взрывобезопасные корпуса Ex или EEx чтобы не допустить воспламенение окружающей легковоспламеняющейся среды.

6. Коррозийная стойкость. Запорная арматура для нефтепроводов может эксплуатироваться в агрессивной рабочей среде, в которой

присутствует сероводород. Сероводород реагирует почти со всеми металлами, образуя сульфиды, которые по отношению к железу играют роль катода и образуют с ним гальваническую пару, образуется сульфид железа. При этом происходит коррозия металла, а также потеря его массы.

7. Герметичность арматуры (как внешняя, так и внутренняя) должна распространяться на весь срок службы. Герметичность арматуры характеризуется утечкой рабочей среды из выходного патрубка в выходной в закрытом положении запорного органа (внутренняя герметичность) и утечкой рабочей среды в окружающую среду (внешняя утечка).

Материалы уплотнительных поверхностей должны быть устойчивы против коррозии в среде нефтяной эмульсии, противостоять эрозионному воздействию твердых частиц или протекающей среды [13].

Материалы уплотнений запирающих элементов должны обладать высоким пределом прочности, высокой твердостью и высоким сопротивлением к образованию задиров.

Для долговечной, безопасной работы задвижки, редуктор электропривода должен работать плавно. Это позволяет обеспечивать зубчатые зацепления редуктора

1.6. Общие сведения и классификация зубчатых передач

Зубчатые механизмы являются наиболее распространенным в машиностроении и приборостроении видом механических передач. Такие передачи применяют для передачи вращательного движения с одного вала на другой или для преобразования вращательного движения в поступательное и изменение скорости вращения валов.

Зубчатые передачи можно классифицировать по различным признакам.

По характеру расположения валов: с параллельными, пересекающимися и скрещивающимися осями; по форме профилей зубьев: эвольвентные, циклоидальные, круговые и другие; передачи с внешним и внутренним зацеплением. В зависимости от назначения передачи зубья могут быть прямыми, косыми, шевронными, криволинейными (рисунок 1) [14].

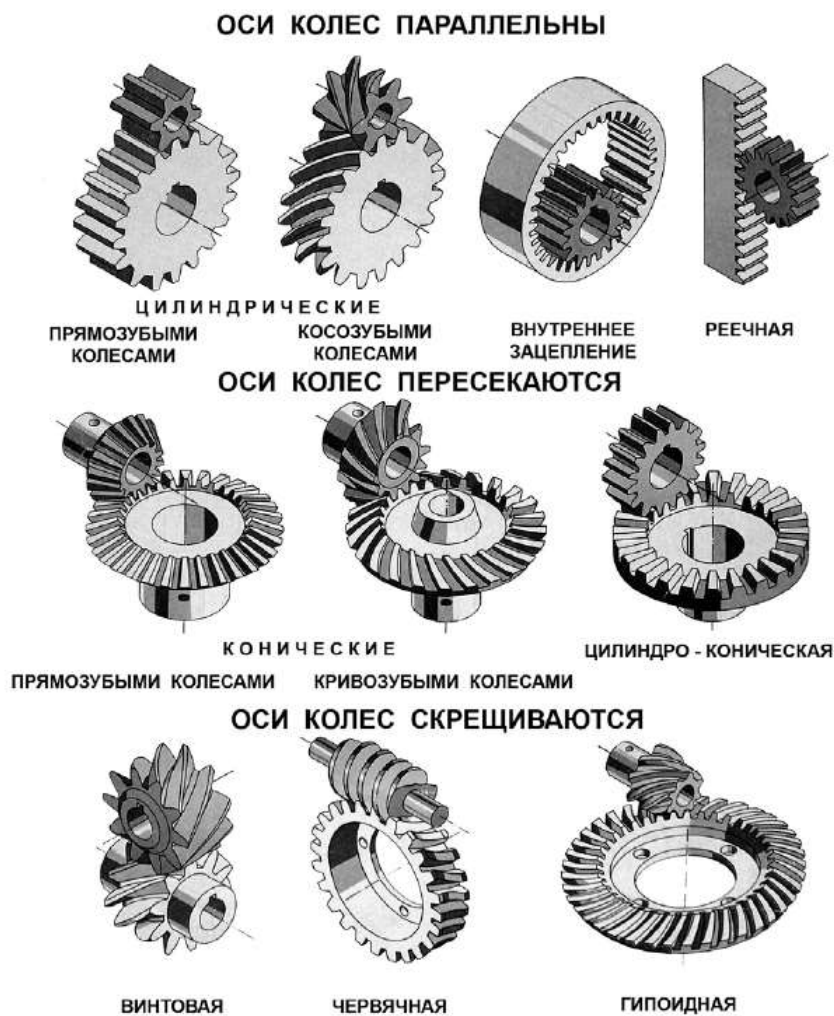


Рисунок 4 – Виды зубчатых передач

Зубчатая передача – это самый распространенный вид механических передач благодаря следующим преимуществам:

- высокая надежность работы в широком диапазоне нагрузок и скоростей;
- большой ресурс;
- малые габариты (при одинаковом крутящем моменте зубчатая передача по габаритам в 10 раз меньше ременной передачи);
- малые габаритные размеры по сравнению с другими видами передач при равных условиях;
- надежность и большая долговечность;
- постоянство передаточного числа;

- Высокий КПД;
- Простота эксплуатации и обслуживания;
- Относительно небольшие нагрузки на валы и подшипники.

К недостаткам зубчатых передач следует отнести:

- вибрация и шум при высоких скоростях;
- большая трудоемкость изготовления колес высокой точности (шлифование и хонингование поверхностей);
- громоздкость при больших расстояниях между осями ведущего и ведомого валов;
- зубчатая передача не предохраняет машину от возможных опасных перегрузок [15].

Зубчатые передачи и колеса классифицируют по следующим признакам (см. рис. 1):

- по взаимному расположению осей колес — с параллельными осями (цилиндрические, см. рис. 1, а—д), с пересекающимися осями (конические, см. рис. 1, ж—и), со скрещивающимися осями (винтовые, см. рис. 1, е, к);
- по расположению зубьев относительно образующих колес — прямозубые, косозубые, шевронные и с криволинейным зубом;
- по конструктивному оформлению — открытые и закрытые;
- по окружной скорости — тихоходные (до 3 м/с), для средних скоростей (3—15 м/с), быстроходные (св. 15 м/с);
- по числу ступеней — одно- и многоступенчатые;
- по расположению зубьев в передаче и колесах — внешнее, внутреннее (см. рис. 1, д) и реечное зацепление (см. рис. 1, г);
- по форме профиля зуба — с эвольвентными, круговыми;
- по точности зацепления. Стандартом предусмотрено 12 степеней точности. Практически передачи общего машиностроения изготавливают от

шестой до десятой степени точности. Передатки, изготовленные по шестой степени точности, используют для наиболее ответственных случаев.

Из перечисленных выше зубчатых передач наибольшее распространение получили цилиндрические прямозубые и косозубые передачи, как наиболее простые в изготовлении и эксплуатации.

Преимущественное распространение получили передачи с зубьями эвольвентного профиля, которые изготавливаются массовым методом обкатки на зубофрезерных или зубодолбежных станках. Достоинство эвольвентного зацепления состоит в том, что оно мало чувствительно к колебанию межцентрового расстояния.

Другие виды зацепления применяются пока ограниченно. Новое пространственное зацепление Новикова пока еще не получило массового распространения, вследствие большой чувствительности к колебаниям межцентрового расстояния.

Прямозубые колёса (около 70%) применяют при невысоких и средних скоростях, когда динамические нагрузки от неточности изготовления невелики, в планетарных, открытых передачах, а также при необходимости осевого перемещения колёс.

Косозубые колёса (более 30%) имеют большую плавность хода и применяются для ответственных механизмов при средних и высоких скоростях.

Шевронные колёса имеют достоинства косозубых колёс плюс уравновешенные осевые силы и используются в высоконагруженных передачах.

Конические передачи применяют только в тех случаях, когда это необходимо по условиям компоновки машины; винтовые — лишь в специальных случаях.

Колёса внутреннего зацепления вращаются в одинаковых направлениях и применяются обычно в планетарных передачах [16].

Циклоидальное зацепление, при котором возможна работа шестерен с очень малым числом зубьев (2-3), не может быть, к сожалению, изготовлено современным высокопроизводительным методом обкатки, поэтому шестерни этого зацепления трудоемки в изготовлении и дороги, но есть возможность изготавливать их на станках с ЧПУ;

Но по сравнению с эвольвентным в циклоидном зацеплении меньше трение и износ.

1.7. Циклоидальная передача

В современном машиностроении широко распространены передачи с применением эвольвентного профиля зуба. Такие передачи просты в изготовлении и имеют очень невысокую стоимость. В то же время такие передачи не могут обеспечить высокую износостойкость. Существует циклоидное зацепление, образующееся зубчатыми колёсами, профили зубьев которых очерчены по гипоциклоиде и эпициклоиде. Циклоидная передача способна обеспечить меньший износ профилей вследствие того, что выпуклая головка касается вогнутой ножки. Главным недостатком циклоидного зацепления большая чувствительность к неточности изготовления и трудность нарезания зубьев высокопроизводительными методами (обкаткой).

В настоящее время планетарно-цевочные редукторы используют главным образом в робототехнике, станкостроении, химическом машиностроении, приводах грузоподъемных машин, цепных конвейеров, поворотных столов, радиолокаторов, экскаваторов, бурового оборудования [17].

К достоинствам цевочных передач относят:

- способность воспринимать значительные кратковременные перегрузки (до 500 % по отношению к номинальной нагрузке);
- широкий диапазон передаточных чисел в одной ступени (3...191);
- высокую надежность и повышенный ресурс (до 50 000 ч);

- компактность при высокой нагрузочной способности (удельная материалоемкость — отношение массы редуктора к вращающему моменту выходного вала — составляет $0,02...0,05 \text{ кг}/(\text{Н}\cdot\text{м})$);

- высокий КПД (в зависимости от конструкции $0,80...0,97$);
- повышенную крутильную жесткость с минимальным гистерезисом;
- высокую точность позиционирования в прецизионных передачах;
- малый момент инерции (снижение инерционных нагрузок при изменении частоты вращения);

- плавность хода, низкий уровень шума;
- высокую кинематическую точность;
- минимальные требования к техническому обслуживанию

К недостаткам относится высокая стоимость изготовления планетарно-цевочной передачи по сравнению со стоимостью передач других типов, обусловленная большими нагрузками подшипников сателлитов и повышенными требованиями к точности изготовления деталей.

Циклоидой называют плоскую кривую, описываемую точкой, отстоящей на фиксированном расстоянии от центра круга, катящегося без скольжения по направляющей в виде прямой или окружности. Если направляющая является окружностью и круг катится по ней снаружи, то кривую называют эпициклоидой. Если же круг катится внутри направляющей окружности, то кривую называют гипоциклоидой. Если, например, точка А (рисунок 5) находится внутри круга радиусом r , катящегося по направляющей окружности радиусом R , и отстоит на расстоянии $OA = e$ от центра O , кривую называют укороченной эпициклоидой. Отношение $e/r = \lambda$ называют коэффициентом укорочения эпициклоиды.

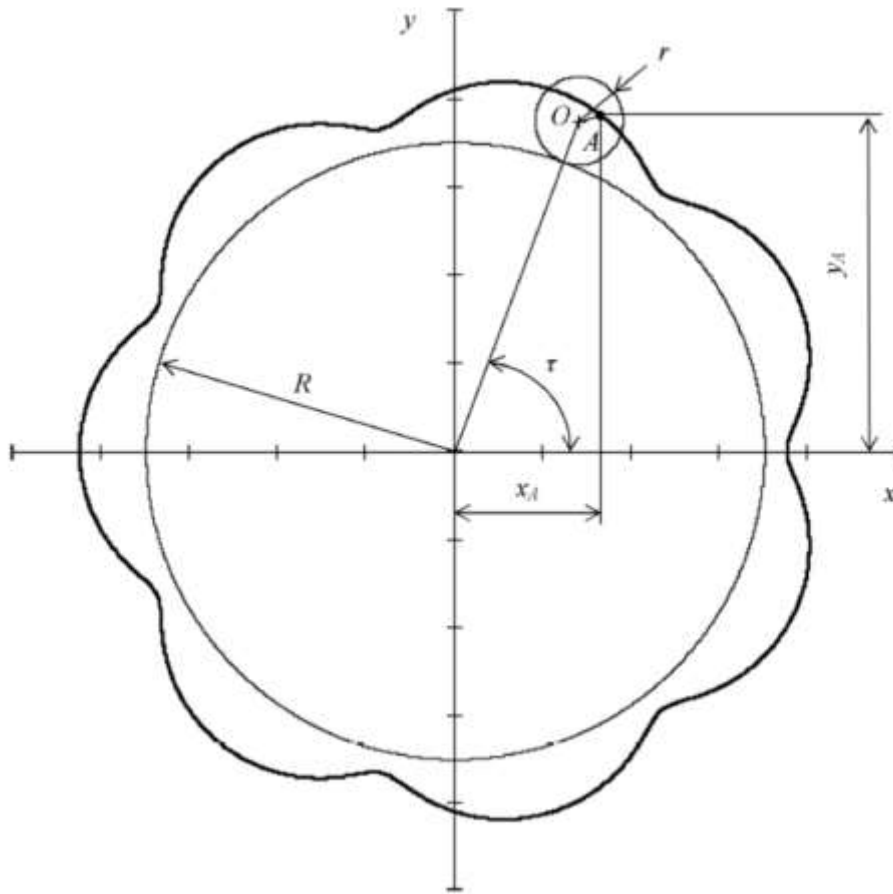


Рисунок 5 – Цевочное зацепление

Уравнения укороченной эпициклоиды в параметрической форме имеют вид:

$$x_3(\tau) = (R + r) \cos \tau - \lambda r \cos\left(\frac{R+r}{r} \tau\right); \quad (1)$$

$$y_3(\tau) = (R + r) \sin \tau - \lambda r \sin\left(\frac{R+r}{r} \tau\right);$$

где τ — независимый параметр, $\tau = 0 \dots 2\pi$. Координаты точки А (x_A, y_A) получают подстановкой в уравнения (1) соответствующего значения параметра τ . Число зубьев колеса с циклоидальным профилем равно отношению радиусов: $z_1 = R/r$ [18].

В планетарно-цевочной передаче сателлит выполняют с циклоидальным профилем. Рабочий профиль сателлита получают как огибающую кривую окружностей, центры которых расположены на укороченной эпициклоиде (рисунок 6). Радиус этих окружностей равен радиусу цевок $r_{ц}$. Таким образом, именно эквидистантная кривая укороченной эпициклоиды является рабочим

профилем циклоидальных зубьев, которая отстает от укороченной эпициклоиды на расстояние радиуса цевки.

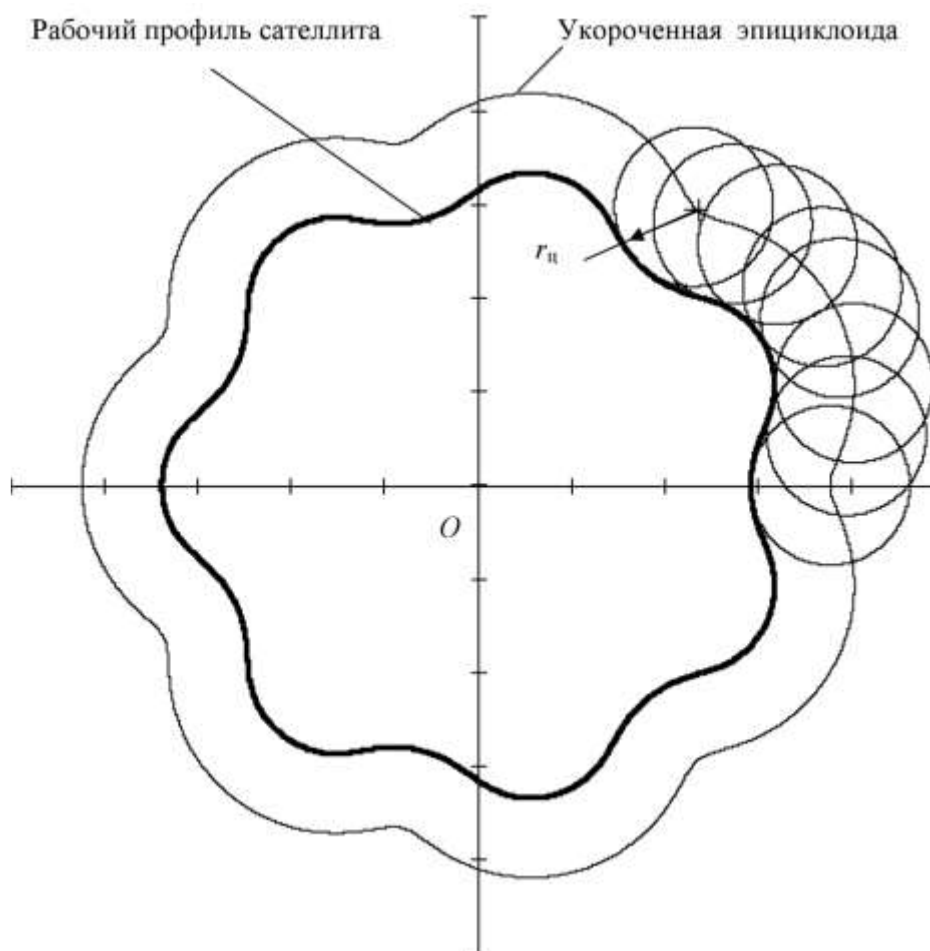


Рисунок 6 – Формирование рабочего профиля сателлита.

Цевки — зубья, которые изготовлены в виде роликов или втулок на осях, с круглым профилем. Расчет на изгиб циклоидальных зубьев не актуален, так как форма циклоидальных зубьев практически исключает их поломку. Цевочные передачи известны достаточно давно. Так, уже с III в. известны описания механизмов с цевочным зацеплением. В 1931 г. немецкий инженер Лоренц Брарен запатентовал планетарно-цевочную передачу, получившую в последнее время широкое распространение.

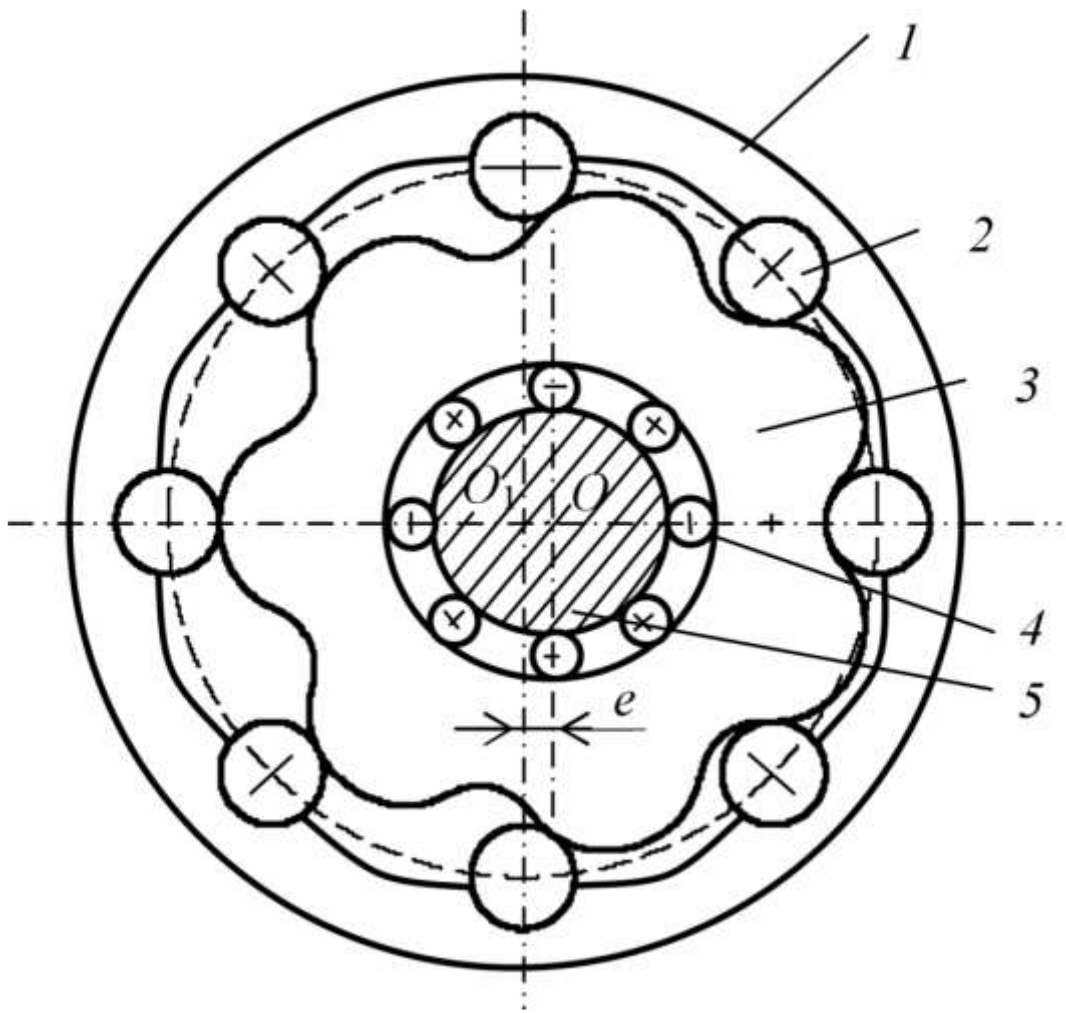


Рисунок 7 – Схема планетарно-цевочной передачи

На рисунке 7 показана схема планетарно-цевочной передачи, которая содержит цевочное колесо 1 с закрепленными на нем цевками 2 в виде роликов и сателлит 3 с циклоидальным профилем зубьев. Сателлит 3 установлен на роликовом подшипнике 4 эксцентрика 5, который в данном случае является водилом. Радиус водила равен межосевому расстоянию $OO_1 = e$. Вращение эксцентрика 5 вокруг точки O_1 заставляет сателлит обкатываться по цевкам и медленно поворачиваться вокруг оси вращения сателлита, обозначенной точкой O .

Повышенная нагрузочная способность планетарно-цевочных передач обусловлена многопарностью зацепления и более благоприятной с точки зрения работы на изгиб формой зубьев по сравнению с эвольвентной формой. Если разность чисел зубьев цевочного колеса 1 и сателлита 3 равна единице,

то теоретически в зацеплении находится примерно половина общего числа цевок.

Усреднение погрешности профилей зубьев и шагов при многопарном зацеплении приводит к повышению кинематической точности и плавности работы передачи

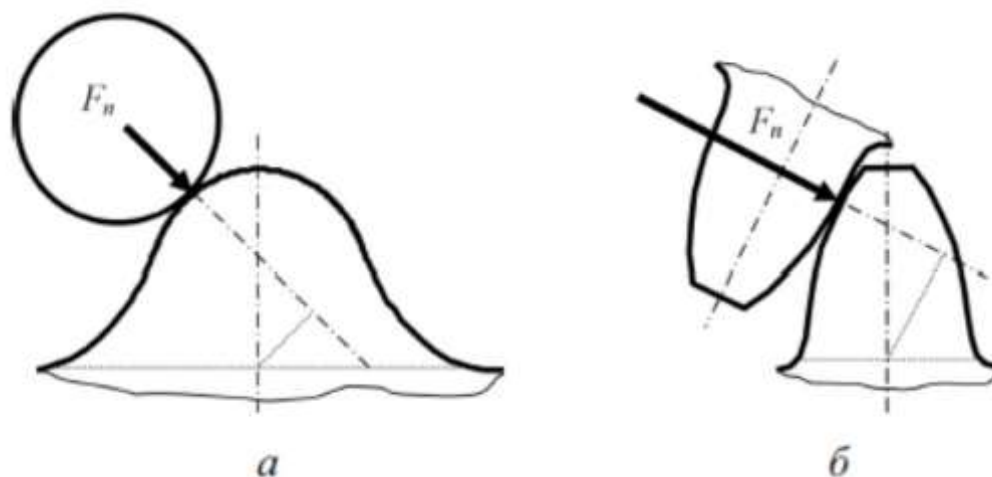


Рисунок 8 – Схемы радиального нагружения зуба сателлита (а —циклоидального профиля; б —эвольвентного профиля)

Схемы нагружения зуба сателлита планетарной передачи с циклоидальными и эвольвентными профилями показаны на рисунке 8. На рисунке видно, что нормальная сила в зацеплении F_n и ее плечо относительно опасного сечения ножки зуба циклоидального профиля значительно меньше, чем в том случае, когда зуб имеет эвольвентный профиль. Это объясняется тем, что при цевочном зацеплении число зубьев, одновременно передающих нагрузку, существенно больше, чем при реализации такой же передачи с эвольвентными зубьями [19].

В данной работе рассматривается редуктор изготавливаемой заводом ОАО «ТЭМЗ», имеющий циклоидальное зацепление без промежуточных тел качения. Для исследования была создана виртуальная модель по документации завода.

Предложенная заводская форма зубьев позволяет получить минимальные габариты при максимальном передаточном отношении. В контакт вступают несколько зубьев, что делает редуктор более компактным.

2. Расчетная часть и аналитика

Электропривод, изготавливаемый заводом ОАО «ТЭМЗ», предназначен для управления запорной и запорно-регулирующей многооборотной трубопроводной арматурой.

2.1. Функции электропривода ОАО «ТЭМЗ»

Электроприводы обеспечивают выполнение следующих функций:

- открытие-закрытие проходного сечения арматуры со встроенного или дистанционного пульта управления и остановка запорного устройства арматуры в любом положении диапазона перемещения;

- перемещение запорного устройства арматуры (или шарового крана) по предварительно заданным параметрам движения с целью изменения или полного закрытия — открытия проходного сечения арматуры;

- автоматическое отключение электродвигателя при достижении запорным устройством арматуры крайних положений;

- ограничение или регулирование крутящего момента на выходном звене электропривода в любом промежуточном положении запорного устройства арматуры и при достижении им крайних положений;

- автоматическое отключение электродвигателя при достижении нагрузки на выходном звене изделия заданного значения ограничения крутящего момента в любом положении диапазона перемещений запорного устройства арматуры;

- управление электроприводом в дистанционном режиме посредством внешней системы управления (АСУ ТП и телемеханики);

- выдача информации на встроенный пульт управления и во внешнюю систему управления о достижении запорным устройством арматуры крайних положений и о срабатывании муфты ограничения момента при достижении заданных нагрузок на выходном звене;

– постоянный контроль положения запорного устройства арматуры и выдача информации на встроенный позиционный дисплей и через системы АСУ ТП или телемеханики на центральный пульт оператора;

– перемещение запорного устройства арматуры с помощью ручного дублера и автоматическое выключение привода ручного дублера при включении электродвигателя;

– при отключении питающей сети электропривод обеспечивает постоянный контроль положения выходного звена электропривода во время работы ручного дублера;

– электронная защита составных частей изделия от короткого замыкания в цепи двигателя, перегрузки, обрыва фазы, перегрева обмоток электродвигателя;

– непрерывный контроль текущих значений крутящего момента, скорости вращения выходного звена, тока нагрузки электродвигателя, положения запорного устройства арматуры и выдача информации на встроенный дисплей и в систему АСУ ТП;

– выдача информации о состоянии составных частей изделия, включая диагностику (срабатывание защит, режим работы и т. д.), на встроенный позиционный дисплей и через системы АСУ ТП или телемеханики на центральный пульт оператора;

– ведение журнала событий во встроенной энергонезависимой памяти и выдачи при необходимости его в систему АСУ ТП и встроенный дисплей.

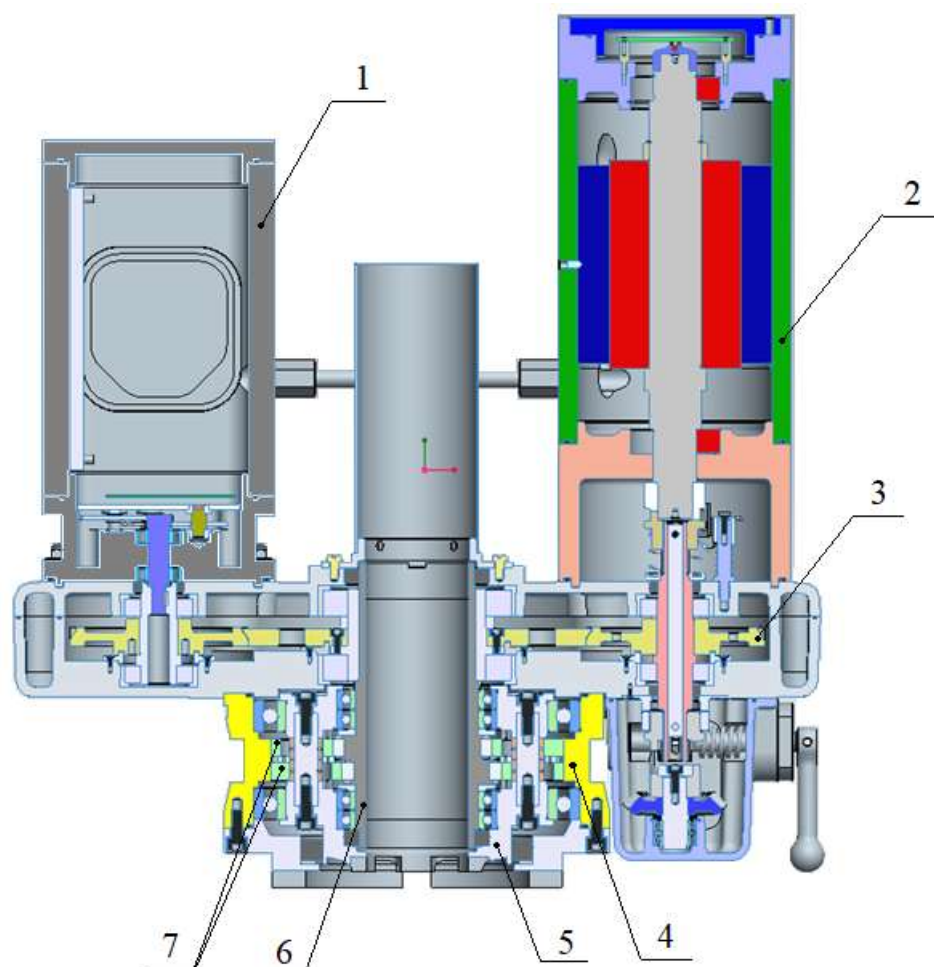


Рисунок 9 – Виртуальная модель двухступенчатого циклоидального редуктора, изготавливаемого компанией ОАО «ТЭМЗ»

2.2. Принцип работы электропривода

Двухступенчатый циклоидальный редуктор работает следующим образом:

Данный редуктор является многооборотным. Двигатель 2 передает момент на шестерню первой ступени 3, далее момент передается через эксцентриковый вал 6 на шестерни второй ступени 7 и после начинается движение коронка 5, которая на объекте присоединяется к ответной такой же коронке на задвижке и приводит ее в движение. Блоком управления 1 возможно настроить управление двигателем и моментом редуктора.

2.3. Исследования кинематики редуктора

В кинематике редуктора будем определять степень нагрузки так: несколько поворачиваем вал, имитируя нагрузку как будто он нагружен, а

соответственно зубья будут входить уже в плотный контакт и немного упруго деформироваться. Эта упругая деформация в Solidworks имитируется как появление интерференции, то есть наложения одного зуба на другой [20]. Интерференция дает возможность определить напряжения в контакте зуба колеса и шестерни, и площадь поперечного сечения, на который влияют напряжения для зуба, участвующего в зацеплении.

2.3.1. Первое исследование: определение распределения нагрузки при разных значениях эксцентриситета

Изучаем режим нагрузки, когда выходной вал не вращается. Нагрузку будем имитировать поворотом колеса.

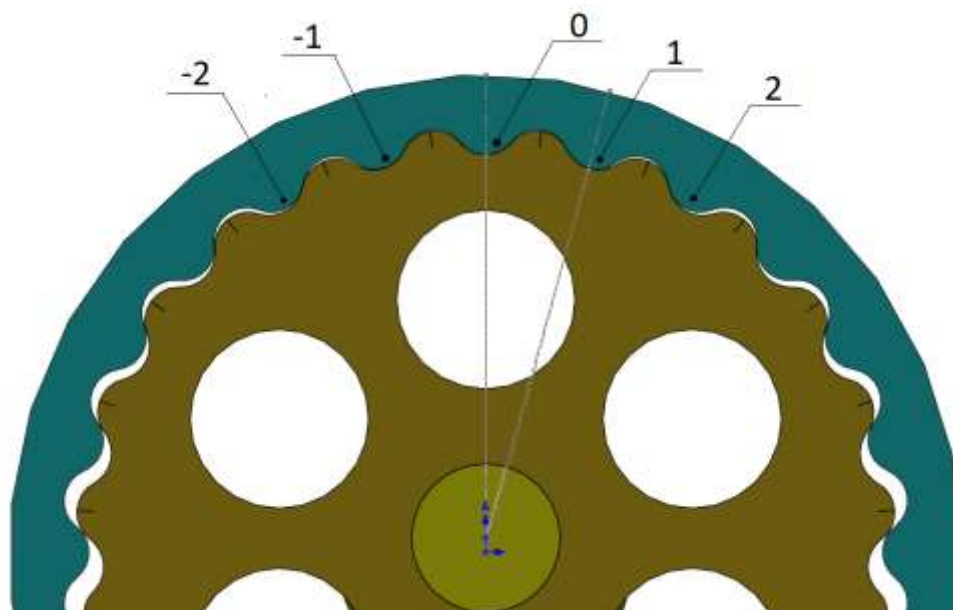


Рисунок 10. Обозначение пар зубьев

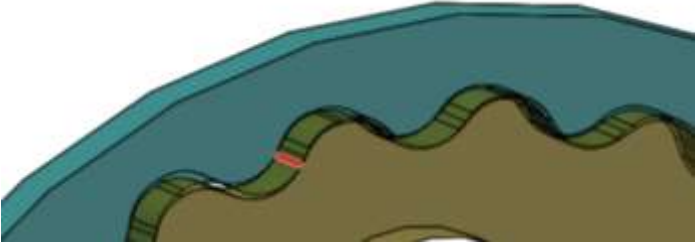
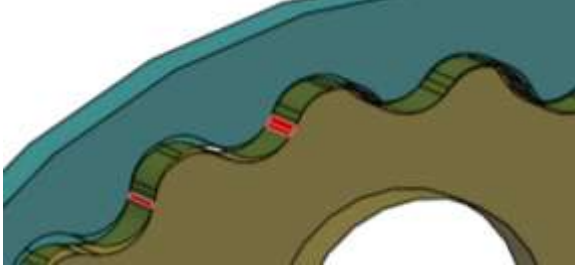
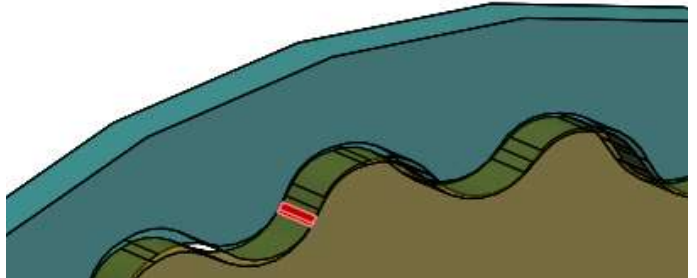
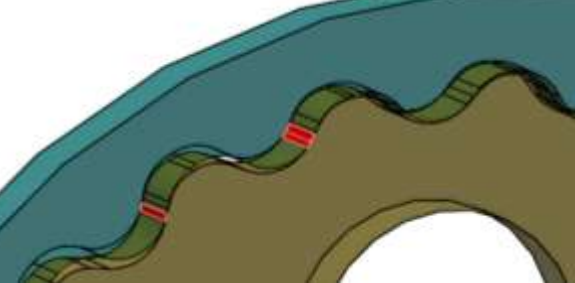
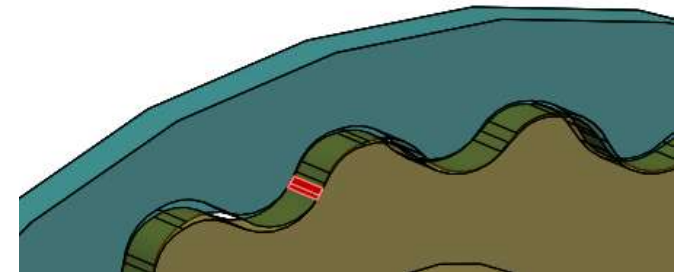
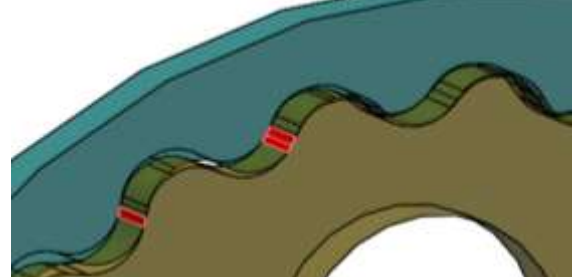
Рассмотрим нагрузку зубьев при разных значениях эксцентриситета, путем поворота колеса на малый угол, момент нагрузки при неподвижном входном вале и выходном, оцениваем величиной объема интерференции. Проанализируем значение эксцентриситета при исследовании нагрузки зубчатого зацепления.

- а) Значение эксцентриситета: 4,68

Таблица 1 – Значения интерференции зуба при нагрузке

№	Угол поворота колеса φ_1 , град	Угол поворота шестерни, φ_2 , град	Интерференция, мм ³			
			«0» пара	«-1» пара	«-2» пара	Σ
0	0	0	0	0	0	0
1	0,01	0	0	0	0	0
2	0,02	0	0	0	0	0
3	0,03	0	0	0	0	0
4	0,04	0	0	0	0	0
5	0,05	0	0	0	0	0
6	0,06	0	0	0	0	0
7	0,07	0	0	0	0	0
8	0,08	0	0	0	0	0
9	0,09	0	0	0	0	0
10	0,1	0	0	0	0	0
11	0,2	0	0	0	0	0
12	0,21	0	0	0	0	0
13	0,22	0	0	0,11	0	0,11
14	0,23	0	0	0,39	0	0,39
15	0,24	0	0	0,8	0	0,8
16	0,25	0	0	1,3	0,16	1,46
17	0,26	0	0	1,88	0,46	2,34
18	0,27	0	0	2,54	0,84	3,38
19	0,28	0	0	3,26	1,3	4,56
20	0,29	0	0,00074	4,04	1,82	5,86074
21	0,3	0	0,21	4,88	2,39	7,48

Таблица 2 – Интерференция зубьев

<p>Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,22^\circ$ «-1» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,25^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>
	
<p>Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,23^\circ$ «-1» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,26^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>
	
<p>Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,24^\circ$ «-1» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,27^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>
	

Продолжение таблицы 2 – Интерференция зубьев

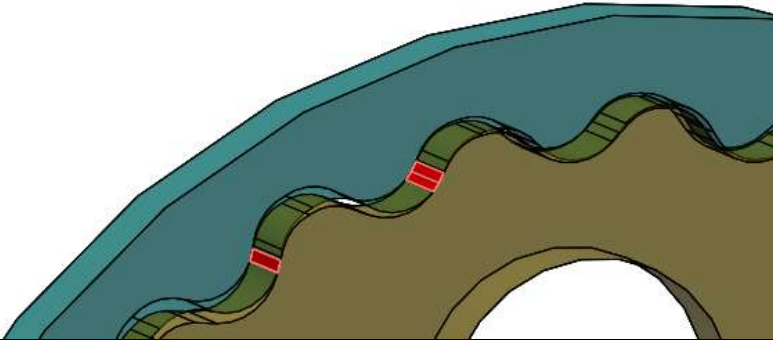
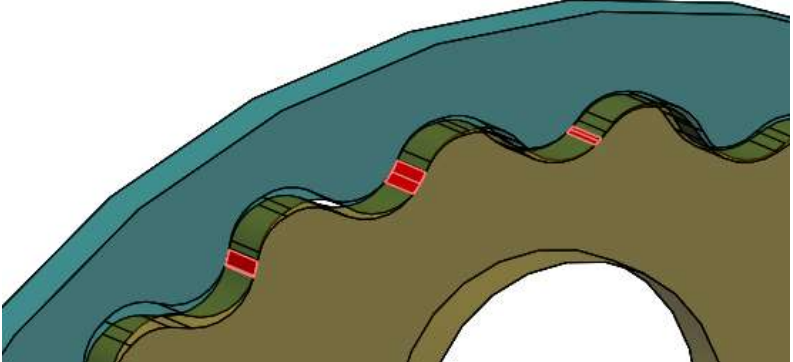
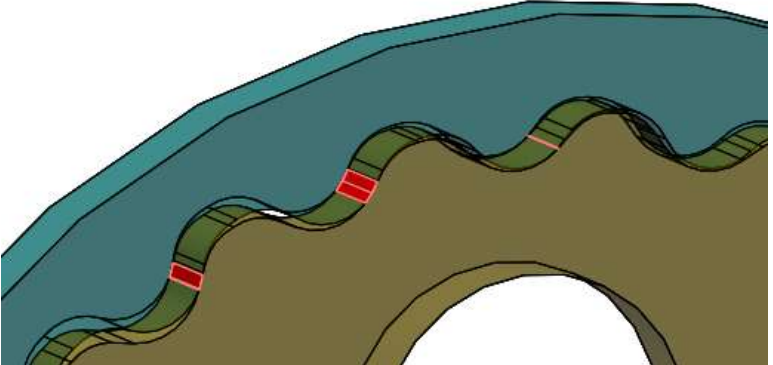
<p>Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,28^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,3^\circ$ «0» пары зубьев, «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>
	
<p>Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,29^\circ$ «0 пары» зубьев, «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>	
	



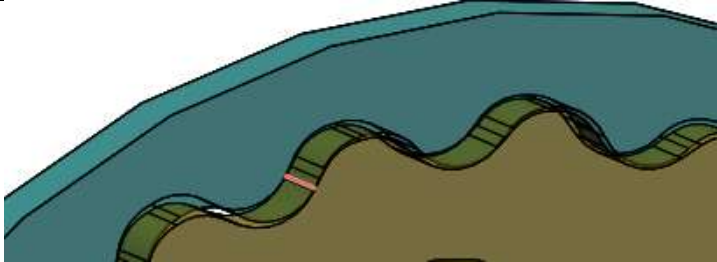
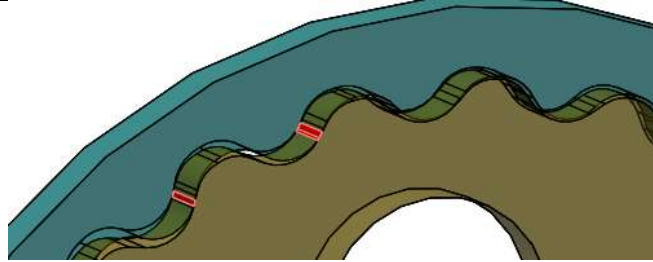
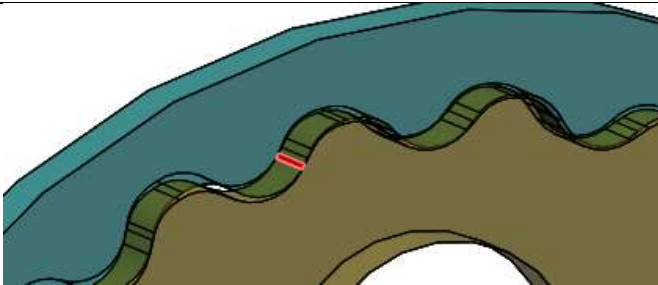
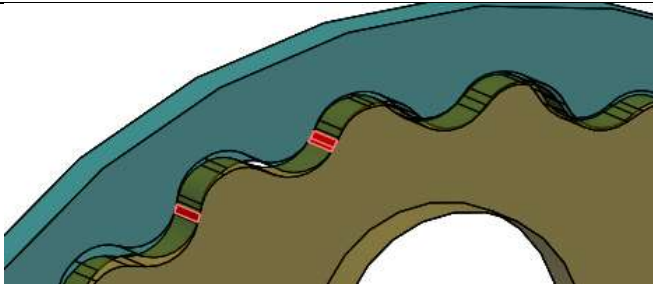
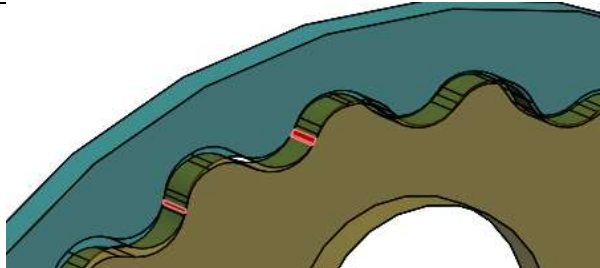
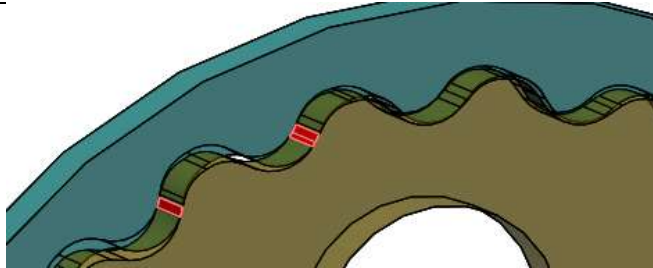
Рисунок 11 – Процесс нагрузки зубьев

б) Значение эксцентриситета: 4,6

Таблица 3 - Значения интерференции зуба при нагрузке

№	Угол поворота колеса φ_1 , град	Угол поворота шестерни, φ_2 , град	Интерференция, мм ³			
			«0» пара	«-1» пара	«-2» пара	Σ
0	0	0	0	0	0	0
1	0,01	0	0	0	0	0
2	0,02	0	0	0	0	0
3	0,03	0	0	0	0	0
4	0,04	0	0	0	0	0
5	0,05	0	0	0	0	0
6	0,06	0	0	0	0	0
7	0,07	0	0	0	0	0
8	0,08	0	0	0	0	0
9	0,09	0	0	0	0	0
10	0,1	0	0	0	0	0
11	0,2	0	0	0	0	0
12	0,21	0	0	0	0	0
13	0,22	0	0	0	0	0
14	0,23	0	0	0	0	0
15	0,24	0	0	0,01	0	0,01
16	0,25	0	0	0,2	0	0,2
17	0,26	0	0	0,52	0,07	0,59
18	0,27	0	0	0,94	0,32	1,26
19	0,28	0	0	1,45	0,67	2,12
20	0,29	0	0	2,03	1,1	3,13
21	0,3	0	0	2,67	1,59	4,26

Таблица 4 – Интерференция зубьев

<p>Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,24^\circ$ «-1» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,27^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>
	
<p>Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,25^\circ$ «-1» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,28^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>
	
<p>Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,26^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,29^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>
	

Продолжение таблицы 4 – Интерференция зубьев

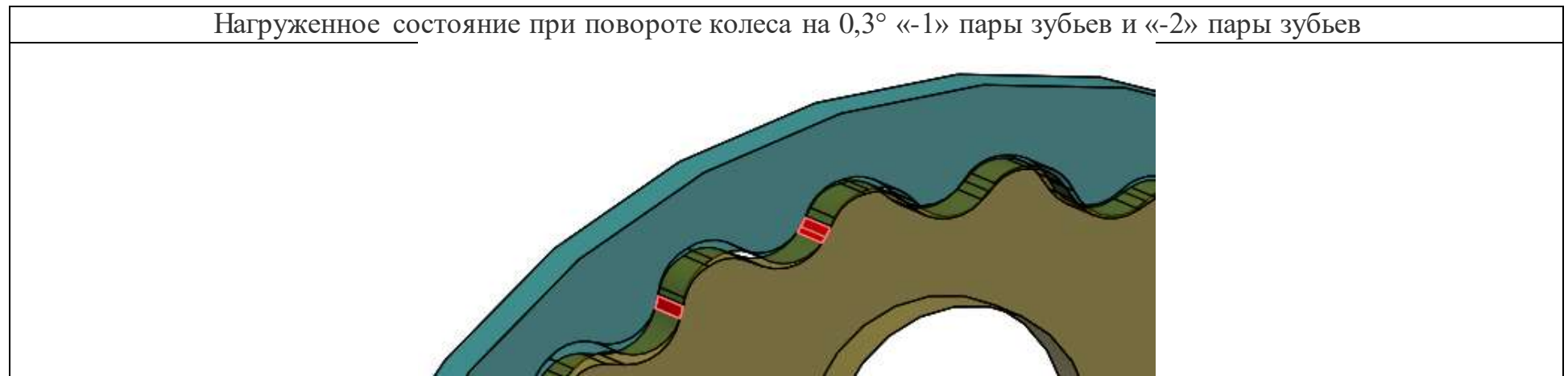




Рисунок 12 – Процесс нагрузки зубьев

с) Значение эксцентриситета: 4,5

Таблица 5 - Значения интерференции зуба при нагрузке

№	Угол поворота колеса φ_1 , град	Угол поворота шестерни, φ_2 , град	Интерференция, мм ³			
			«0» пара	«-1» пара	«-2» пара	Σ
0	0	0	0	0	0	0
1	0,01	0	0	0	0	0
2	0,02	0	0	0	0	0
3	0,03	0	0	0	0	0
4	0,04	0	0	0	0	0
5	0,05	0	0	0	0	0
6	0,06	0	0	0	0	0
7	0,07	0	0	0	0	0
8	0,08	0	0	0	0	0
9	0,09	0	0	0	0	0
10	0,1	0	0	0	0	0
11	0,2	0	0	0	0	0
12	0,21	0	0	0	0	0
13	0,22	0	0	0	0	0
14	0,23	0	0	0	0	0
15	0,24	0	0	0	0	0
16	0,25	0	0	0	0	0
17	0,26	0	0	0	0	0
18	0,27	0	0	0	0	0
19	0,28	0	0	0,14	0,12	0,26
20	0,29	0	0	0,43	0,4	0,83
21	0,3	0	0	0,81	0,77	1,58

Таблица 6 – Интерференция зубьев

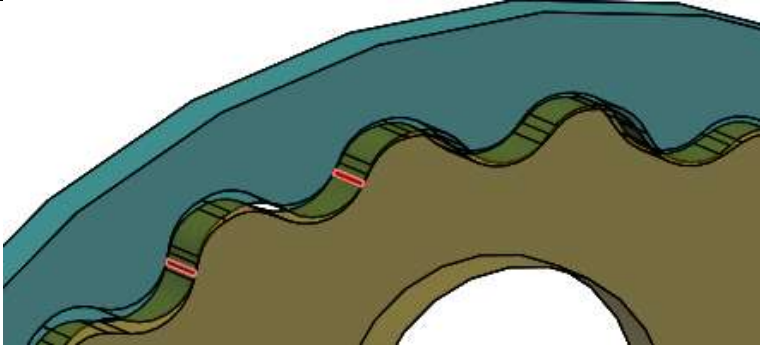
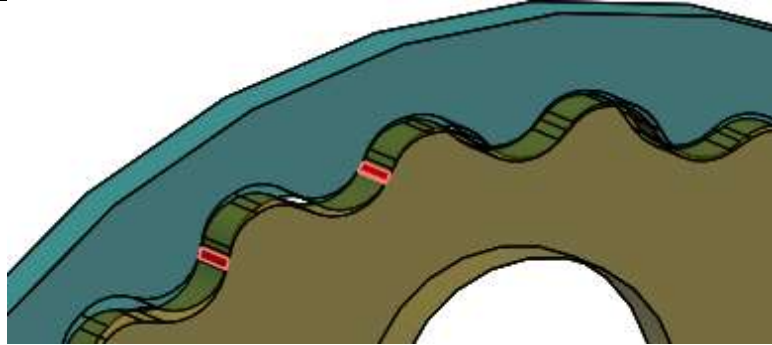
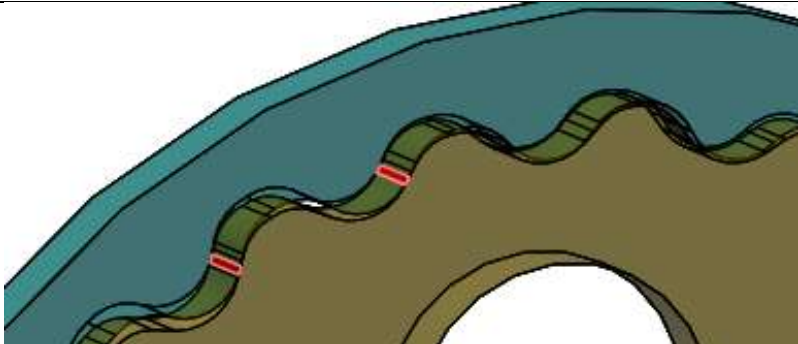
Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,28^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев	Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,3^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев
	
Нагруженное состояние при повороте колеса на $0,29^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев	
	



Рисунок 13 – Процесс нагрузки зубьев

В результате проведенным исследований можно сделать вывод, что в ненагруженном состоянии редуктор вращается равномерно.

Но, когда имитируется момент нагрузки, то видно следующее, что при некоторой нагрузке, когда уже совершается поворот, в контакте еще нету зубьев. Получается, у эксцентрикового вала, который вращается приводом по отношению к выходному валу, существует люфт. Только если осуществить поворот колеса больше, чем на $0,27^\circ$ зубья начинают вступать в контакт. Тем самым очень важно, при проектировании зубчатого зацепления рассчитать верное значение эксцентриситета. Если он большой, то угол поворота увеличивается, появляется люфт.

Материал, из которого изготавливаются колесо, шестерня и эксцентриковый вал, задан заводом-изготовителем: 20ХНЗА

Следовательно, модуль Юнга $E=132$ ГПа

Определим напряжение сжатия на «-1» паре зуба при некотором повороте колеса из таблицы 1.

Для этого сначала определим относительную деформацию - необходимо объем интерференции разделить на объем зуба:

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{инт}}}{V_{\text{зуба}}}; \quad (2)$$

И, следовательно, вычислить напряжение сжатия по формуле:

$$\sigma = E \times \varepsilon; \quad (3)$$

Результаты представим в виде таблицы 7.

Таблица 7 – Изменение контактных деформаций

Поворот колеса, град	Объем интерференции, мм ³	Объем зуба, мм ²	Относительная деформация	Напряжение сжатия, МПа
0,22	0,11	2340	0,00004701	6,21
0,23	0,39		0,00016667	22,01
0,24	0,8		0,00034188	45,13
0,25	1,3		0,00055556	73,33
0,26	1,88		0,00080342	106,05
0,27	2,54		0,001088547	143,68
0,28	3,26		0,00139316	183,89
0,29	4,04		0,0017265	227,89
0,3	4,88		0,00208547	257,28

Предел текучести стали 20ХНЗА является $\sigma_T = 690$ Мпа. Следовательно, можно проанализировать, что при исследуемые углы поворота поддерживаются зубчатым колесом, так как напряжения ниже предела текучести материала.

2.3.2. Второе исследование: определение равномерности вращения выходного вала

Определить, как при повороте вала-эксцентрика вращается выходной вал. Задаем на колесе угол 0,2°.

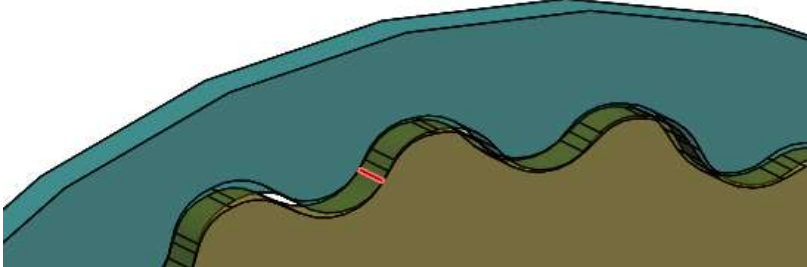
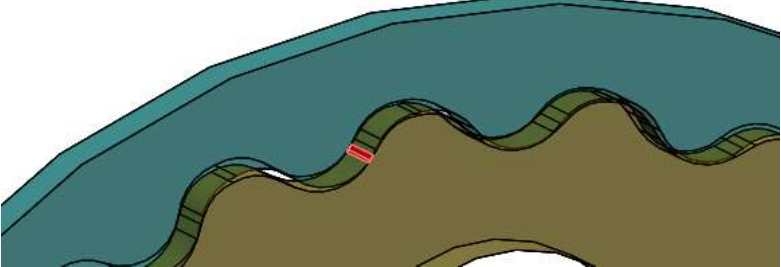
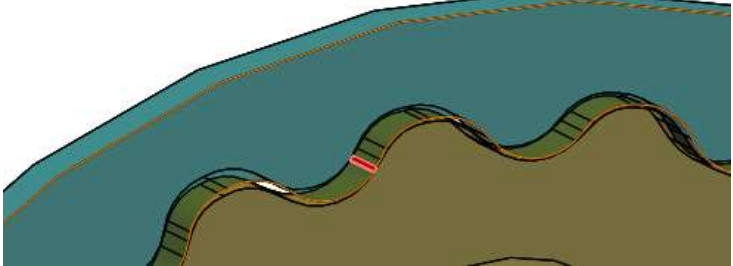
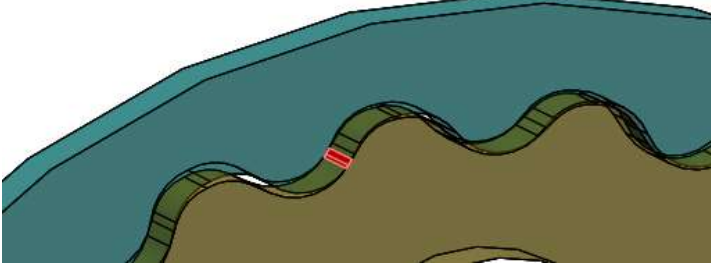
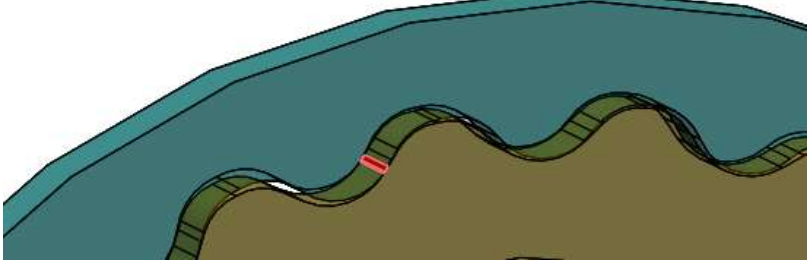
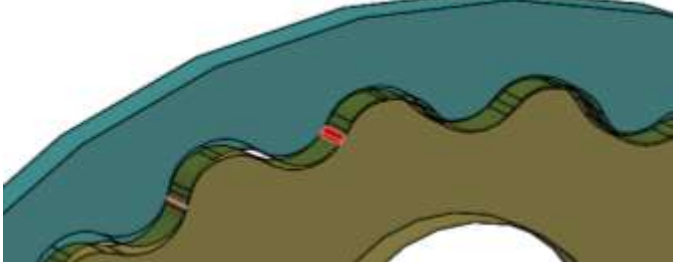
Выходной вал зафиксирован, колесо неподвижно, а двигатель хотел бы все заставить двигаться - т.е. вращать выходной вал - это и есть режим короткого замыкания.

Таблица 8 - Значения интерференции зуба при нагрузке

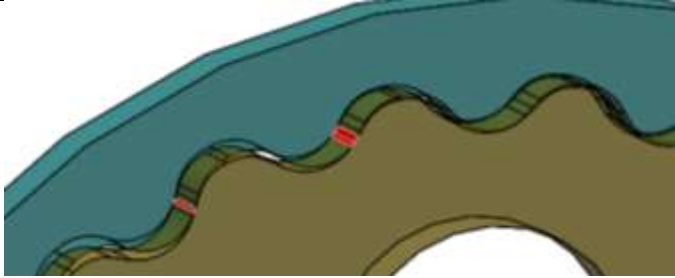
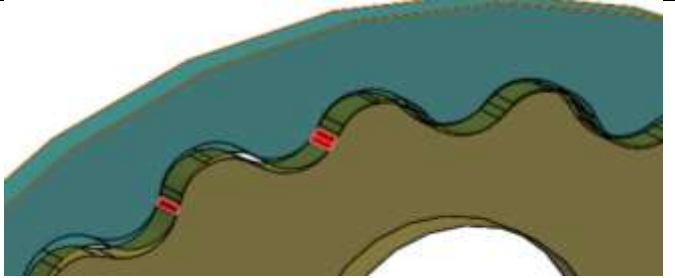
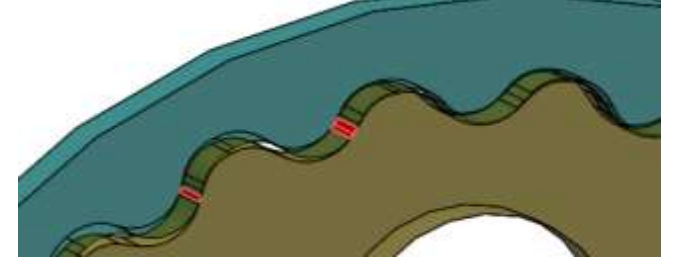
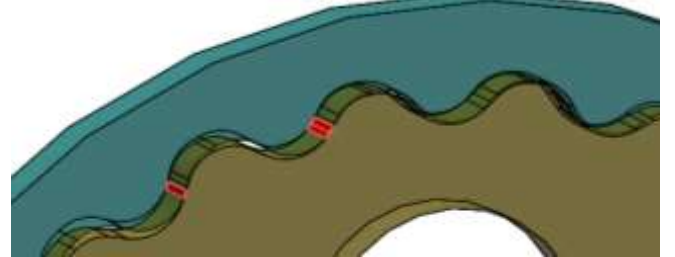
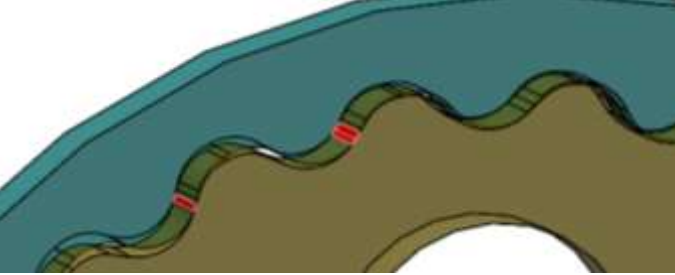
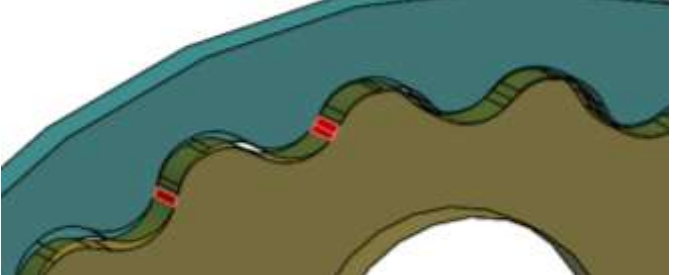
№	Угол поворота колеса φ_1 , град	Угол поворота вал-эксцентрика, φ_3 , град	Интерференция, мм ³			
			«0» пара	«-1» пара	«-2» пара	Σ
0	0,2	0	0	0	0	0
1	0,2	0,1	0	0	0	0
2	0,2	0,2	0	0	0	0
3	0,2	0,3	0	0	0	0
4	0,2	0,4	0	0,04	0	0,04
5	0,2	0,5	0	0,11	0	0,11

6	0,2	0,6	0	0,22	0	0,22
7	0,2	0,7	0	0,34	0	0,34
8	0,2	0,8	0	0,48	0	0,48
9	0,2	0,9	0	0,65	0,0042	0,6542
10	0,2	1	0	0,83	0,06	0,89
11	0,2	1,1	0	1,03	0,16	1,19
12	0,2	1,2	0	1,24	0,28	1,52
13	0,2	1,3	0	1,47	0,43	1,9
14	0,2	1,4	0	1,71	0,59	2,3
15	0,2	1,5	0	1,96	0,77	2,73

Таблица 9 – Интерференция зубьев

<p>Нагруженное состояние при повороте вала-эксцентрика на $0,4^\circ$ «-1» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте вала-эксцентрика на $0,7^\circ$ «-1» пары зубьев</p>
	
<p>Нагруженное состояние при повороте вала-эксцентрика на $0,5^\circ$ «-1» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте вала-эксцентрика на $0,8^\circ$ «-1» пары зубьев</p>
	
<p>Нагруженное состояние при повороте вала-эксцентрика на $0,6^\circ$ «-1» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте вала-эксцентрика на $0,9^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>
	

Продолжение таблицы 9 – Интерференция зубьев

<p>Нагруженное состояние при повороте вала-эксцентрика на 1° «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте вала-эксцентрика на $1,3^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>
	
<p>Нагруженное состояние при повороте вала-эксцентрика на $1,1^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте вала-эксцентрика на $1,4^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>
	
<p>Нагруженное состояние при повороте вала-эксцентрика на $1,2^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте вала-эксцентрика на $1,5^\circ$ «-1» пары зубьев и «-2» пары зубьев</p>
	

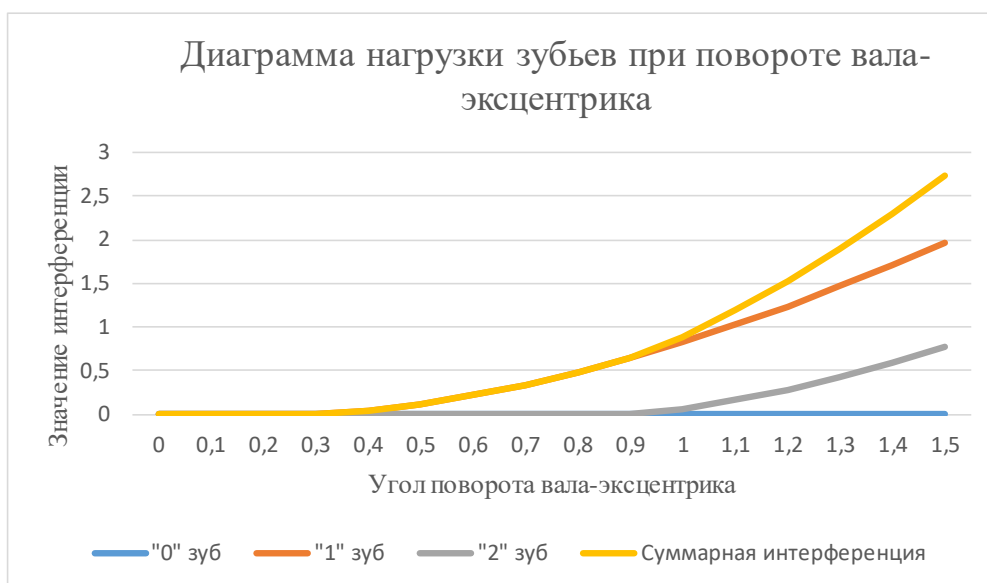


Рисунок 14 – Процесс нагрузки зубьев

Анализируя данные в таблице 8, можно сделать вывод, что при вращении выходного вала, если колесо зафиксировано в положении $0,2^\circ$ передача нагрузки между парами «-1» и «-2» началась на 9-й шаг вращения, и нагрузка распределялась между парой «0» и «-1» до конца 15-го шага вращения.

2.3.3. Третье исследование: определение плавного и равномерного вращения при нагрузке

Проведем исследования на проверку плавности хода. Для этого будем поворачивать вал-эксцентрик и шестерню на φ_3 и $\varphi_3/23$ соответственно.

Таблица 10 – Проверка плавности хода

№	Угол поворота вал-эксцентрика φ_3 , град	Угол поворота шестерни, φ_2 , град	Интерференция, мм^3
0	0	0	0
1	1	0,04	0
2	2	0,08	0
3	3	0,13	0
4	4	0,17	0
5	5	0,22	0
6	6	0,26	0
7	7	0,3	0
8	8	0,35	0

9	9	0,39	0
10	10	0,43	0
11	11	0,48	0
12	12	0,52	0
13	13	0,57	0
14	14	0,61	0
15	15	0,65	0

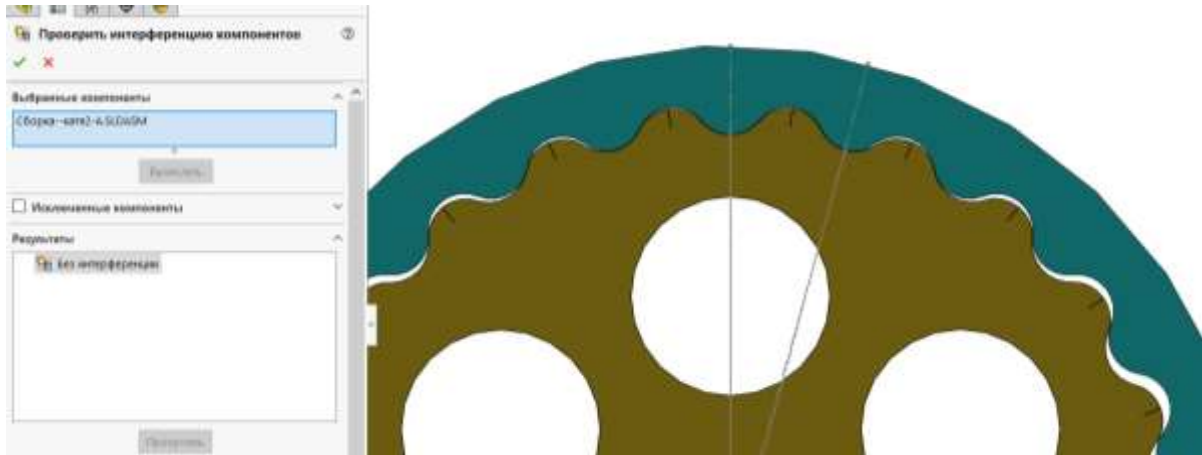


Рисунок 15 – Сборка колеса и шестерни без интерференции

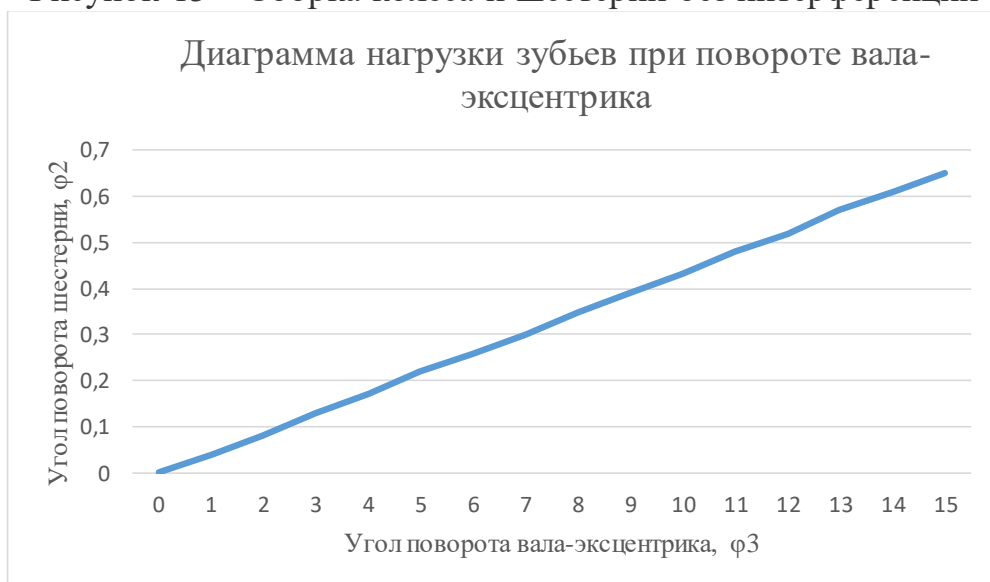


Рисунок 16 – Процесс плавности хода

График показывает, что редуктор работает плавно, при повороте на выбранный угол интерференция не возникает, выходной вал вращается в холостую равномерно.

Определение плавного и равномерного вращения ступеней редуцирования проводилось без учета нагрузок между парами зубьев в зацеплении. Следовательно, последующим исследованием будет проверка

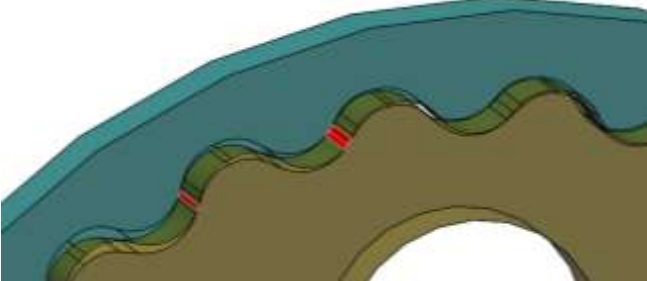
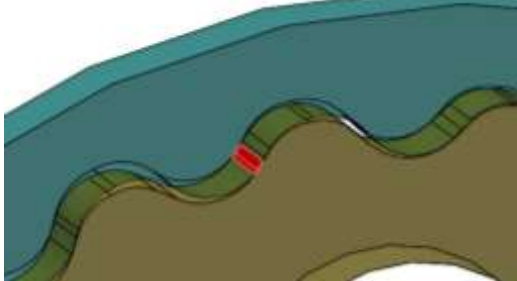
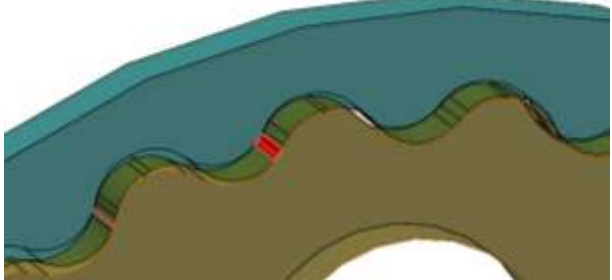
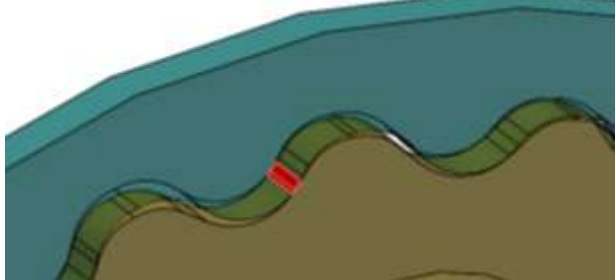
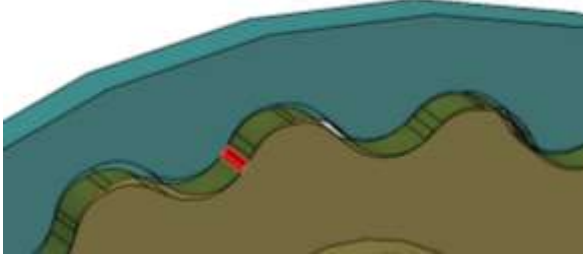
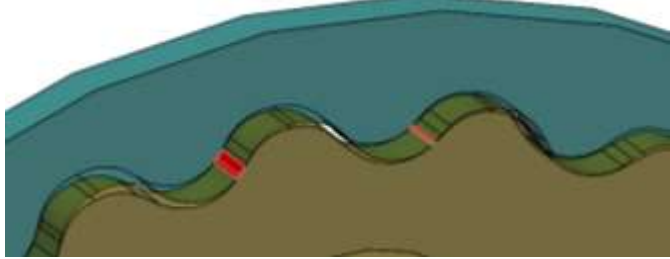
распределения нагрузок в редукторе при применении на ступенях редуктора к заданной предварительной нагрузке контакта.

Теперь рассмотрим, какие зубья нагружаются, а какие разгружаются в процессе работы редуктора. Назначим угол поворота колесу $0,25^\circ$, а шестерне $\varphi 3/23$.

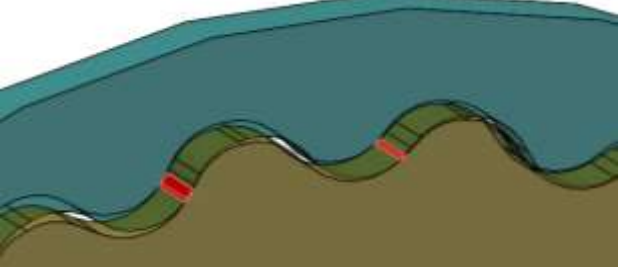
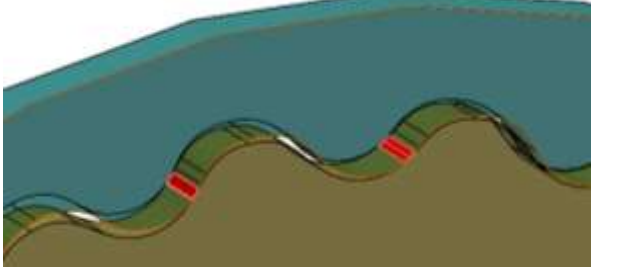
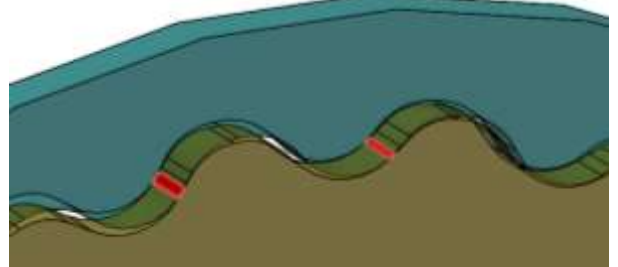
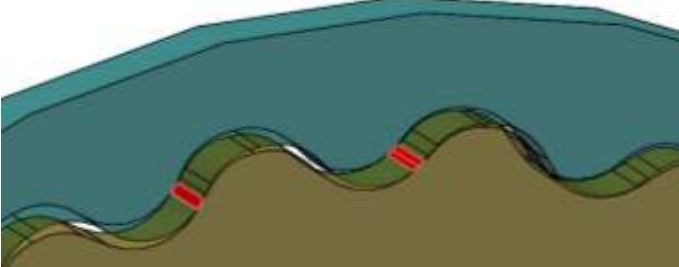
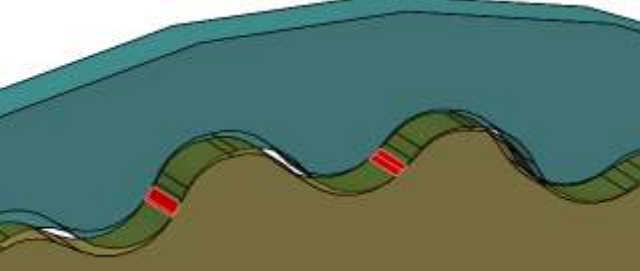
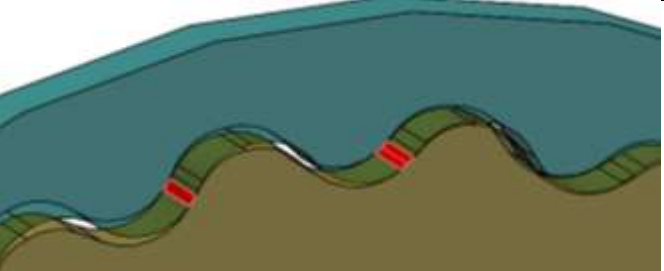
Таблица 11 – Интерференция зубьев

№	Угол поворота колеса $\varphi 1$, град	Угол поворота шестерни, $\varphi 2$, град	Угол поворота вал-эксцентрика $\varphi 3$, град	Интерференция, мм ³			
				«0» пара	«-1» пара	«-2» пара	Σ
0	0,25	0	0	0	1,3	0,16	1,46
1	0,25	0,04	1	0	1,15	0,02	1,17
2	0,25	0,08	2	0	0,99	0	0,99
3	0,25	0,13	3	0	1,28	0	1,28
4	0,25	0,17	4	0	1,08	0	1,08
5	0,25	0,22	5	0,03	1,34	0	1,37
6	0,25	0,26	6	0,09	1,1	0	1,19
7	0,25	0,3	7	0,14	0,87	0	1,01
8	0,25	0,35	8	0,54	1,06	0	1,6
9	0,25	0,39	9	0,57	0,8	0	1,37
10	0,25	0,43	10	0,59	0,57	0	1,16
11	0,25	0,48	11	1,03	0,69	0	1,72
12	0,25	0,52	12	0,99	0,45	0	1,44
13	0,22	0,57	13	1,43	0,54	0	1,97
14	0,22	0,61	14	1,32	0,3	0	1,62
15	0,22	0,65	15	1,19	0,11	0	1,3

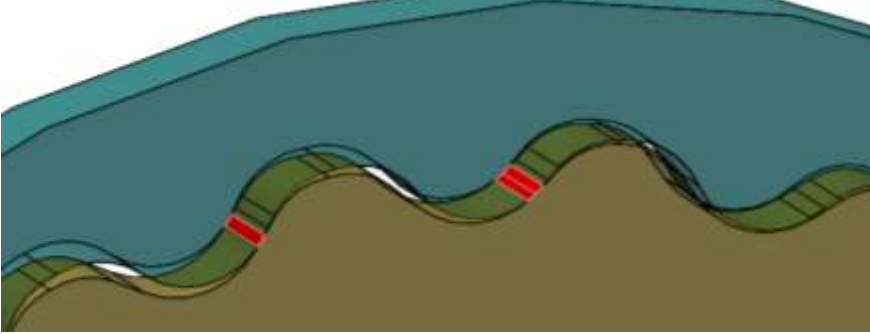
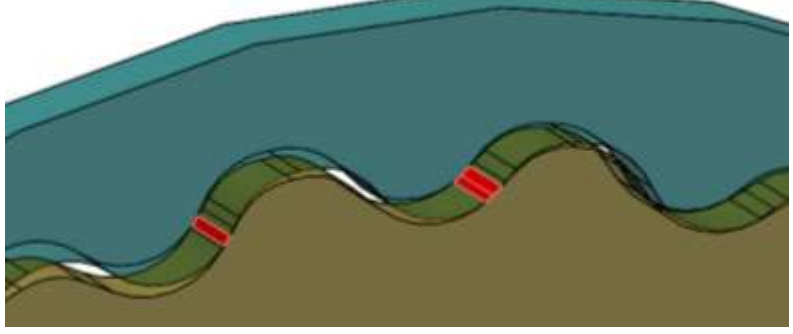

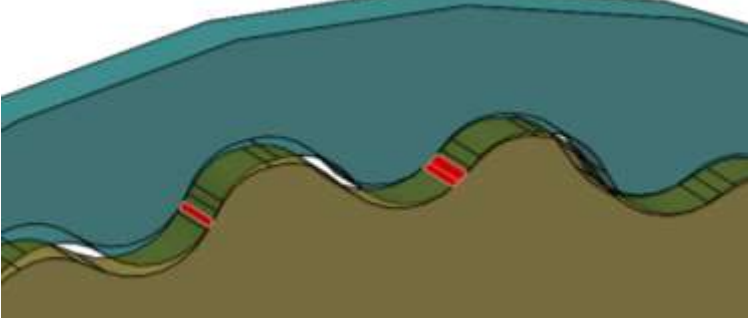
Таблица 12 – Интерференция зубьев

<p>Нагруженное состояние при повороте шестерни на 0° и вала-эксцентрика на 0° «-1» и «-2» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте шестерни на $0,13^\circ$ и вала-эксцентрика на 3° «-1» пары зубьев</p>
	
<p>Нагруженное состояние при повороте шестерни на $0,04^\circ$ и вала-эксцентрика на 1° «-1» и «-2» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте шестерни на $0,17^\circ$ и вала-эксцентрика на 4° «-1» пары зубьев</p>
	
<p>Нагруженное состояние при повороте шестерни на $0,08^\circ$ и вала-эксцентрика на 2° «-1» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте шестерни на $0,22^\circ$ и вала-эксцентрика на 5° «0» и «-1» пары зубьев</p>
	

Продолжение таблицы 12 – Интерференция зубьев

<p>Нагруженное состояние при повороте шестерни на $0,26^\circ$ и вала-эксцентрика на 6° «0» и «-1» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте шестерни на $0,39^\circ$ и вала-эксцентрика на 9° «0» и «-1» пары зубьев</p>
	
<p>Нагруженное состояние при повороте шестерни на $0,3^\circ$ и вала-эксцентрика на 7° «0» и «-1» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте шестерни на $0,43^\circ$ и вала-эксцентрика на 10° «0» и «-1» пары зубьев</p>
	
<p>Нагруженное состояние при повороте шестерни на $0,35^\circ$ и вала-эксцентрика на 8° «0» и «-1» пары зубьев</p>	<p>Нагруженное состояние при повороте шестерни на $0,48^\circ$ и вала-эксцентрика на 11° «0» и «-1» пары зубьев</p>
	

Продолжение таблицы 12 – Интерференция зубьев

Нагруженное состояние при повороте шестерни на $0,52^\circ$ и вала-эксцентрика на 12° «0» и «-1» пары зубьев	Нагруженное состояние при повороте шестерни на $0,61^\circ$ и вала-эксцентрика на 14° «0» и «-1» пары зубьев
	
Нагруженное состояние при повороте шестерни на $0,57^\circ$ и вала-эксцентрика на 13° «0» и «-1» пары зубьев	Нагруженное состояние при повороте шестерни на $0,65^\circ$ и вала-эксцентрика на 15° «0» и «-1» пары зубьев
	

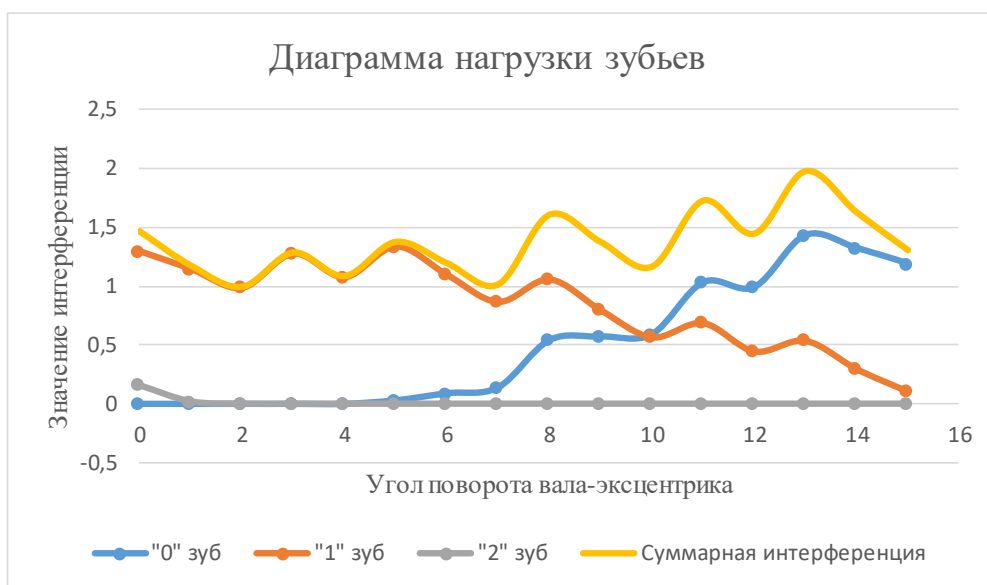


Рисунок 17 – Процесс нагрузки зубьев

По данным таблицы 11 видно, что при фиксированном угле корпуса и вращении шестерни и вала-эксцентрика в противоположные стороны, нагрузка сначала приходится на «-1» и «-2» пару зубьев. После того, как шестерня была повернута на $0,08^\circ$, а вал-эксцентрик на 2° нагрузка исчезает на «-2» паре зубьев и остается только на «-1». Когда шестерня повернулась на $0,22^\circ$, а вал-эксцентрик на 5° нагрузка появляется еще и на «0» паре зубьев. Но при этом нагрузка в процессе этого исследования не равномерная у «0» и «-1» пары зубьев.

По результатам проведенных исследований, выявилось следующее: при повороте на 15° появляется зубцовая частота и проявились дополнительные зубчики - неравномерности при переходе от одного зуба в другому (рисунок 17). Имитируя неточность изготовления, например, величины эксцентрика вала, неравномерность все равно повторяется. Таким образом, данным формам зубьев характерно вот такое интересное явление. Некоторые профили дают неравномерную разгрузку одного зуба и нагрузку другого. Эти исследования могут понадобиться для совершенствования данного профиля зубьев.

2.4. Математическое моделирование

Произведем исследование динамических характеристик зубчатого зацепления данного редуктора.

При наличии стыков, жесткость тангенциальная очень мала и зависит от плотности затяжки винтов. Имеются также фиксирующие угловое положение колеса, шестерни и положение присоединительного фланца на весьма малом диаметре.

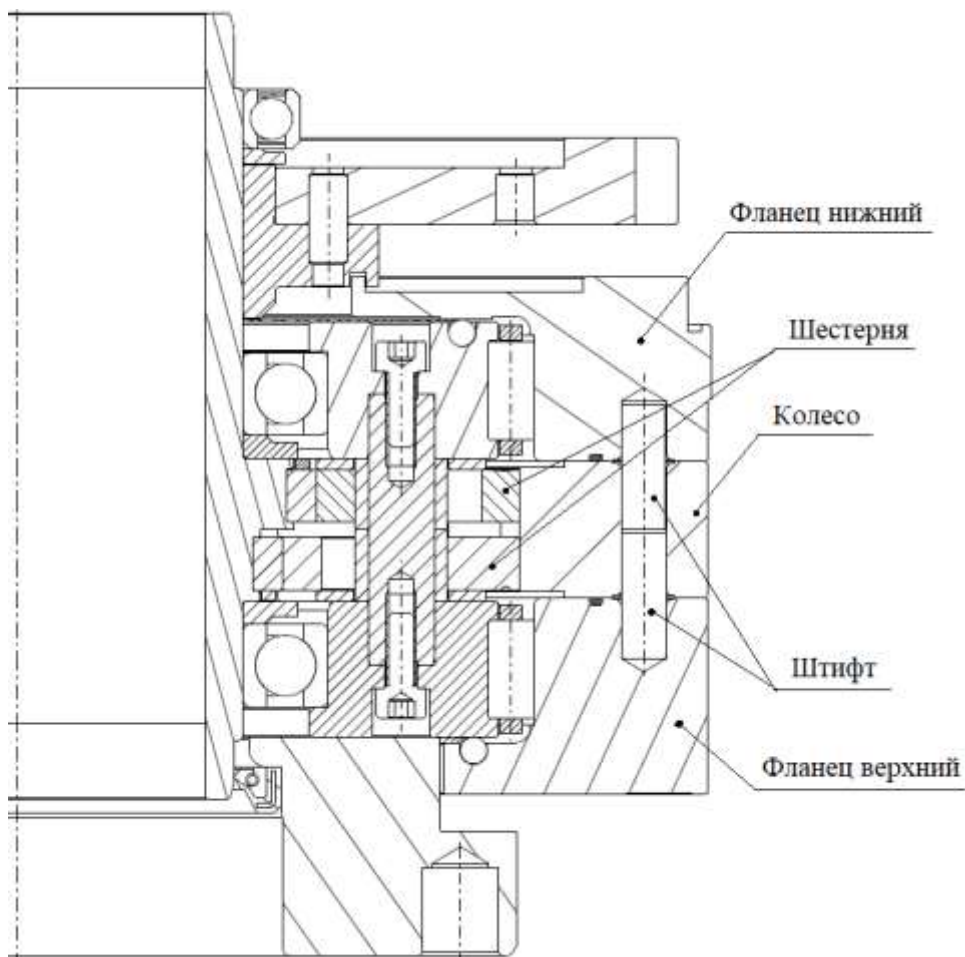


Рисунок 18 «Сборочный чертеж редуктора»

Для оценки угловой жесткости корпуса представим его сплошным трубчатым отрезком с диаметром, равным диаметру расположения штифта за фланцем и длиной, равной высоте корпуса в сборе. Толщину стенки оценим, как толщину присоединительного фланца.

При изготовлении деталей корпуса редуктора и его сборке (неравномерная затяжка болтовых соединений в сборке редуктора и

погрешность посадочных мест штифтов) возможное изменение угловой жесткости корпуса будем имитировать изменением его длины.

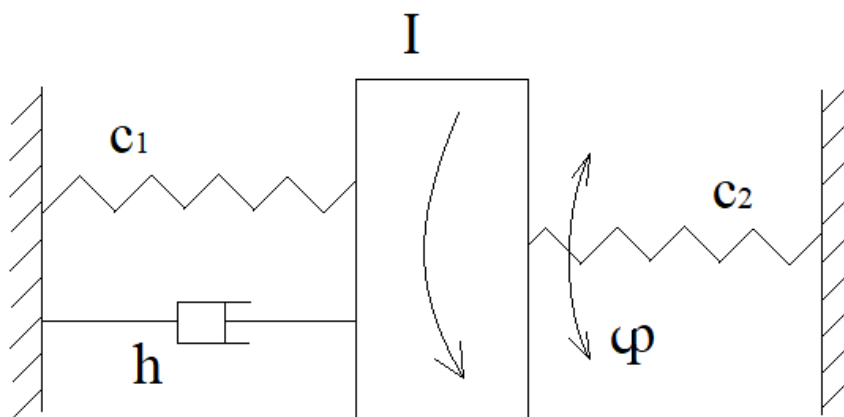


Рисунок 19 «Принципиальная схема зубчатого зацепления редуктора»

Для удобства оценки жесткости зубчатого зацепления редуктора воспользуемся рисунком 2, где c_1 - коэффициент жесткости корпуса, c_2 - коэффициент суммарной жесткости зубьев, h - коэффициент трения, I - инерция массы, φ - угол поворота системы.

Жесткость данной конструкции определяется жесткостью корпуса и суммарной жесткостью зубьев.

Рассчитаем жесткость корпуса, масса которого равна 8 кг. Так как жесткости корпусов бывают разные, найдем минимальную и максимальную жесткость данного корпуса. Для этого рассчитаем жесткость трубы длиной 0,3м и длиной 0,7м по формуле:

$$C = \frac{\Delta M}{\Delta \varphi}; \quad (4)$$

Где ΔM -крутящий момент, $\Delta \varphi$ - угол закрутки трубы

Примем $\Delta M=10 \text{ Н}\times\text{м}/\text{рад}$.

Угол закрутки найдем по формуле:

$$\Delta \varphi = \frac{\Delta M \times l}{G \times I_p}; \quad (5)$$

где l -длина трубы, G - модуль упругости (модуль сдвига), I_p - полярный момент инерции поперечного сечения трубы.

$G=80000 \text{ Мпа}$ для сталей из справочника [21].

Определим полярный момент минимальный и максимальный, взяв разную толщину стенки трубы.

Рассчитаем минимальный полярный момент:

$$I_{P\min} = \frac{\pi \times D^4}{32} \times (1 - \alpha^4) \approx 0,1 \times D^4 \times (1 - \alpha^4); \quad (6)$$

$$\text{где } \alpha_1^4 = \frac{d_{\text{внутр.}}}{D_{\text{внеш.}}} = \frac{0,084}{0,1} = 0,84 \text{ мм.} \quad (7)$$

$$I_{P\min} = 0,1 \times 0,1^4 \times (1 - 0,84^4) = 0,55 \times 10^{-5} \text{ кг} \times \text{м}^2$$

Произведем расчеты максимального полярного момента:

$$\alpha_2^4 = \frac{d_{\text{внутр.}}}{D_{\text{внеш.}}} = \frac{0,07}{0,1} = 0,7 \text{ мм.}$$

$$I_{P\max} = 0,1 \times 0,1^4 \times (1 - 0,7^4) = 0,76 \times 10^{-5} \text{ кг} \times \text{м}^2$$

Коэффициенты жесткости определяются исходя из имитации устройства. Оценивать ее будем в диапазоне в зависимости от того, как будут сжаты контакты. Так как жесткость может быть минимальной для этой партии, а может быть максимальной, но момент инерции оставляем постоянным.

Определим максимальную жесткость корпуса, при $l=0,3\text{м}$ и минимального значения полярного момента:

$$\Delta\varphi_{\max} = \frac{10 \times 0,3}{80000000000 \times 0,0000076} = 0,00000493 \text{ радиан}$$

$$C_{\max} = \frac{10}{0,00000493} = 2028398, \text{ Н} \times \text{м} / \text{рад}^2$$

Определение минимальной жесткости корпуса, при $l=0,7\text{м}$ и максимального значения полярного момента.

$$\Delta\varphi_{\min} = \frac{10 \times 0,7}{80000000000 \times 0,0000055} = 0,000016 \text{ радиан}$$

$$C_{\min} = \frac{10}{0,0000015} = 625000, \text{ Н} \times \text{м} / \text{рад}^2$$

Из расчетов видно, что, чем длиннее будет корпус, тем меньше будет его жесткость.

Коэффициент жесткости корпуса возьмем минимальный $c_1=625000 \text{ кг} \times \text{м} / \text{рад}^2$

$$c_2 = c_{\Sigma \text{зубьев}}; \quad (8)$$

Суммарную жесткость зубьев возьмем примерно 30% от c_1

Следовательно, $c_2=187500 \text{ Н}\times\text{м}/\text{рад}^2$

Найдем коэффициент h по формуле:

$$\xi = \frac{h}{2\sqrt{(c_1+c_2)} \times I}; \quad (9)$$

$$\text{Выражаем } h = \xi \times 2\sqrt{(c_1+c_2)} \times I, \quad (10)$$

где $\xi=[0,2\dots0,3]$,

$$I = \frac{m}{3} \left(\frac{r_1+r_2}{2} \right)^2; \quad (11)$$

Из уравнения определим $m=12 \text{ кг}$, это масса корпуса вместе с колесом, подшипниками, обоймами.

Подставляем значения в формулу и находим $I = \frac{12}{3} \left(\frac{0,16+0,145}{2} \right)^2 = 0,093 \text{ кг}\times\text{м}^2$

$$h = 0,2 \times 2\sqrt{(625000 + 187500)} \times 0,093 = 110 \text{ Нс}/\text{м}$$

Определим собственную частоту минимальную и максимальную.

$$\omega_{\min} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_{\min}}{I}}; \quad (12)$$

$$\omega_{\min} = \frac{1}{2 \times 3,14} \sqrt{\frac{625000}{0,093}} = 413 \text{ Гц};$$

$$\omega_{\max} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_{\max}}{I}}; \quad (13)$$

$$\omega_{\max} = \frac{1}{2 \times 3,14} \sqrt{\frac{2028398}{0,093}} = 747 \text{ Гц}.$$

Так как двигатель управляемый, то частоты могут быть большие и малые. Изменяется и управляется скорость, а не частоты. У одного редуктора в партии могут быть одни частоты у другого другие.

Согласно исследованиям интерференции, в расчетной части диплома при переходе от одного зуба к другому возникают 5 зубчиков-неравномерность нагружения зубьев при вращении. Оказывается, кроме основной частоты, связанной с вращением вала, который меняется, так как привод управляемый от 2 до 25 Гц, возникает еще зубцовая частота равная передаточному отношению это 23 и колебаниям, этим пяти зубчикам. Следовательно, зубцовая частота равна $\omega \times 23 \times 5$.

Диапазон изменения частот воздействия при вращении эксцентрика минимальный и максимальный:

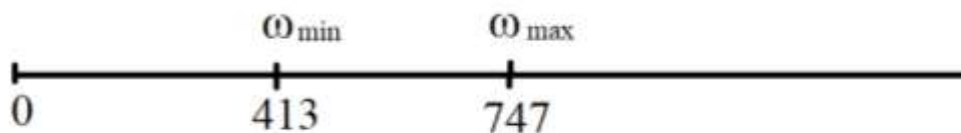


Рисунок 20 «Диапазон изменения частот»

Тем самым получаем, что максимальная частота вращения эксцентрика не попадает в диапазон собственных частот. Зубцовая частота $2\text{Гц} \times 23 \times 5 = 230$ находится в до резонансной зоне. Когда будем иметь 25 Гц, то $25 \times 23 \times 5 = 2875$ это за резонансное значение, а вот 6 Гц, то $6 \times 23 \times 5 = 690$ попадает в зубцовые частоты и могут возникнуть резонансы.

Выявилось, что нагрузка на зубья, если мы ее задаем как некоторую постоянную нагрузку, передается на корпус неравномерно, следовательно, и на шестерни колеса и на зубья, в результате легкий корпус может начать вибрировать, то есть может начать реагировать на это. Поэтому при изучении динамики была составлена модель редуктора, в который включены нагрузки, которые возникают на зубчатом соединении, жесткость зубчатого соединения и жесткость корпуса, и его приведенный момент инерции.

Так как привод является управляемым, задвижку можно закрывать очень медленно, тогда эти частоты, связанные с зубцами, будут низкими. Если он будет вращаться быстро, то зубцовые частоты не будут оказывать никакого влияния. А если двигатель будет вращаться медленно 4...6 Гц и, если будет слабое демпфирование, тогда в какой-то момент могут возникнуть резонансы, поэтому надо это учесть и скорректировать данный профиль зубьев, чтобы зубчиков не возникало.

Проведем исследования в среде MatLab. Вводим получившиеся значения коэффициентов и получаем графики, указанные в Приложении Б.

Данная система описывается уравнением:

$$F_0 \sin(\omega_0 \times t) + F_1 \sin(\omega_0 \times 23 \times t) + F_2 \sin(\omega_0 \times 23 \times 5 \times t); \quad (14)$$

Где $F_0 = 10\% \frac{N}{\omega}$, $F_1 = [10 \dots 50\%]F_0$, $F_2 = [50 \dots 60\%]F_1$

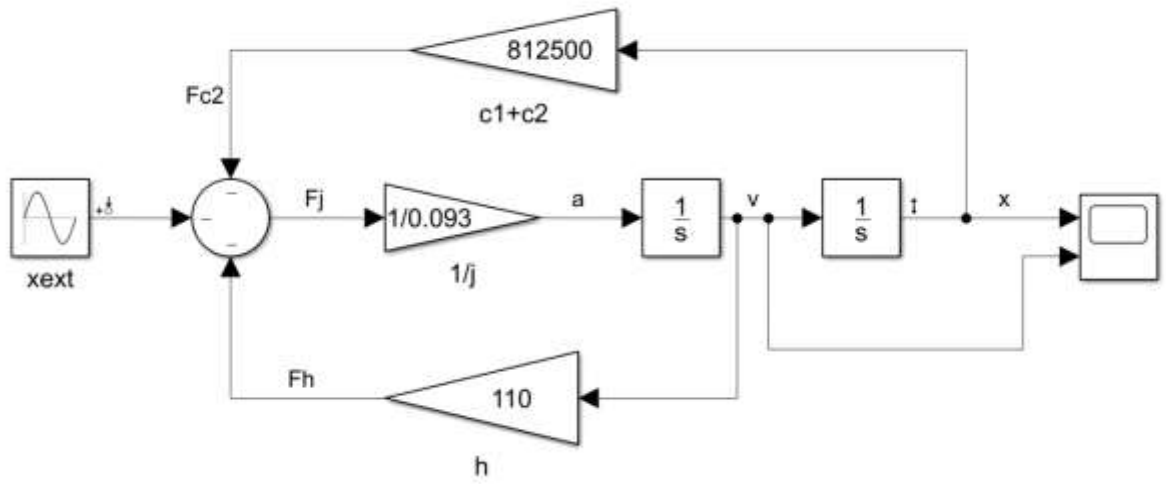


Рисунок 21 «Структурная схема для математической модели»

3. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1. Введение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта (произвести технико-экономическое обоснование проекта);
- осуществить планирование этапов выполнения исследования; -
рассчитать бюджет проекта;
- произвести оценку экономической эффективности исследования.

3.2. Потенциальные потребители результатов исследования

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

Целевой рынок: Нефтегазодобывающие компании, экспедиции.

Таблица 18. Карта сегментирования рынка

Размер компании	Вид оборудования	
	Циклоидальные редукторы	Червячные редукторы
Средние	+	
Крупные	+	

По карте сегментирования (таблица 18) видно, что продукция циклоидальных редукторов занимает основную нишу на рынке.

3.2.1. Фирмы-конкуренты

В настоящее время можно выделить 2 фирмы-производителя редукторов, которые занимаются производством похожих изделий. Это ООО «АВВИ» (Россия) и Nabtesco (Япония).

Nabtesco (Япония)

Nabtesco является крупнейшим производителем циклоидных прецизионных редукторов и осуществляет поставки $\approx 60\%$ всех крупных производителей роботов. Редукторы Nabtesco можно использовать в любой из отраслей народного хозяйства, там, где от привода требуется высокая точность и безупречная работа при высоких нагрузках.

Область применения продукции

Продукция Nabtesco широко применяется в робототехнике, станкостроении, упаковочных машинах, медицинской техники, транспорте грузов, механизмах точного позиционирования, приводах антенн, деревообрабатывающем оборудовании и другие [22].

ООО «АВВИ» (Россия)

Предприятие занимается разработкой и изготовлением редукторов и электроприводов на базе планетарно-цевочных передач.

Редукторы и электроприводы АВВИ незаменимы в технике, где требуется обеспечить высокую передаваемую мощность при минимальных габаритных размерах и массе привода, точность, высокую надежность и долговечность.

ПЦР обладают высоким КПД (до 0,95), высокой нагрузочной и перегрузочной способностью, высокой адаптацией к условиям решения специальных задач; обеспечивают большие передаточные отношения в одной ступени (до 191), плавность хода, отсутствие вибраций и высокую точность при значительном передаваемом моменте. Такие параметры обеспечили этим редукторам высокую применяемость в машиностроительных отраслях развитых стран мира.

Эпициклоидальное зацепление обладает большим КПД чем традиционное эвольвентное, и при этом позволяет достигать в 7 раз большего передаточного отношения в одной ступени. Удельная масса редукторов ПЦР (планетарно-цевочных редукторов) с ЭЦ (эпициклоидальным) — зацеплением меньше, аналогичного показателя эвольвентных планетарных редукторов, в 2-7 раз, что позволяет либо уменьшать габариты редуктора при одинаковой нагрузочной

способности, или увеличивать нагрузочную способность при тех же габаритах [23].

3.2.2. Технические характеристики

Редукторы компании Nabtesco выпускаются со следующими техническими характеристиками (таблица 19).

Таблица 19. Технические данные для редукторов Nabtesco серии RD-E

Типоразмер	Номинальное передаточное отношение		Номинальный крутящий момент (Нм)	Допускаемый крутящий момент (Нм)		Максимальная скорость (об/мин)	Потери на упругую деформацию гистерезис (угловая минута)	Тормозная жесткость (Нм/угловую минуту)	Данные подшипника выходного вала		
	Ускорения / замедления	Экстремного торможения		Повторно-кратковременные режимы	Исгибная нагрузка (Нм/угловую минуту)				Допускаемый опрокидывающий момент (Нм)	Осевая нагрузка (Н)	
6E	31	79	58	117	294	100	<1,5	20	118	196	1.470
	43	103									
	53,5	-									
20E	41	105	167	412	833	75	<1,0	49	372	882	3.920
	57	161									
	81	-									
40E	41	101	412	1.029	2.058	70	<1,0	108	931	1.666	5.194
	57	153									
	81	-									
80E	41	101	784	1.960	3.920	70	<1,0	196	1.176	2.156	7.840
	57	153									
	81	-									
160E	66	145	1.568	3.920	7.840	45	<1,0	392	2.940	3.920	14.700
	81	171									
	101	-									
320E	66	141	3.136	7.840	15.680	35	<1,0	980	4.900	7.056	19.600
	81	185									
	101	-									

Редукторы этой серии используются в механизмах поворота солнечных батарей, станкостроении, точном позиционировании и проч. Имеет высокую точность (люфт менее 1 угловой минуты), низкий уровень вибрации малый износ, высокий КПД.

Технические характеристики редукторов ООО «АВВИ» рассмотрим на примере редукторов серии ПЦР (таблица 3).

Таблица 20. Технические данные для редукторов ООО «АВВИ»

Модель	N _{ном} , кВт	M _{ном} , Н*М	M _{max} , Н*М	n _{ном} , об/мин	n _{max} , об/мин	Ряд передаточных чисел	Масса, кг
ПЦР-А 47	0,02	20	40	3000	5000	11,17,23,29,35,41,47,59,71	0,3
ПЦР-А 60	0,04	40	80	2000	5000	11,17,23,29,35,41,47,59,71	0,5
ПЦР-А 85	0,09	80	160	2000	4500	23,29,35,41,47,59,71,83,95	1,25
ПЦР-А 120	0,18	160	320	2000	4500	29,35,41,47,59,71,83,95,107,119,143	3,8

ПЦР-А 160	0,37	460	920	2000	4000	29,35,41,47,59,71,83,95, ,107,119,143,167,191	8,2
ПЦР-А 210	0,75	900	1800	2000	4000	29,35,41,47,59,71,83,95, ,107,119,143,167,191	17,2
ПЦР-А 265	1,5	2000	4000	1500	3000	29,35,41,47,59,71,83,95, ,107,119,143,167,191	33
ПЦР-А 320	3	3400	6800	1500	3000	29,35,41,47,59,71,83,95, ,107,119,143,167,191	53
ПЦР-А 400	5,5	6000	1200	1200	2400	35,41,47,59,71,83,95,10 7,119,143,167,191	105

3.3. Технические характеристики проектируемого редуктора

В данной работе проектируются двухступенчатый циклоидальный редуктор с радиальным и радиально-осевым расположением ступеней. Циклоидальный редуктор служит для преобразования вращательного движения на входе в поступательное или вращательное движение на выходе.

Благодаря многопарности зацепления (имея большой коэффициент перекрытия), циклоидная передача обеспечивает высокую стойкость к ударным нагрузкам – до 500% от значения номинального крутящего момента, в то время как другие основные известные виды зубчатых передач рассчитываются на 200% кратковременные перегрузки, а, чтобы обеспечить надежность, приходится брать редукторы больше габаритом, переплачивая и теряя в компактности. Если при работе в оборудовании заказчика при эксплуатации не исключены жесткие удары – то есть кратковременные значительные повышения крутящего момента, то циклоидальный редуктор – это хорошее обеспечение надежности и долговечности всей трансмиссии.

Такой редуктор планируется использовать для эксплуатации в составе трубопроводной арматуры, задвижек, шаровых кранов технологических перерабатывающих узлов, газопроводов, в том числе высокого давления.

В таблице 21 приведены технические требования, которые необходимо реализовать в проектируемом редукторе.

Таблица 21. Технические характеристики проектируемого редуктора.

№ п/п.	Характеристика	Значения
1	Номинальный крутящий момент, Нм	2500
2	Частота вращения выходного, об/мин	50
3	Передаточное отношение	60
4	Мощность электродвигателя, кВт	13
5	Усилие на маховике ручного дублера, Н	не более 400
6	Диапазон регулирования крутящего момента на выходном звене, в % от номинального крутящего момента, в пределах	80
7	Тип и конструктивные размеры присоединительных элементов изделия к арматуре по ОСТ 26-07-763, (по ISO 5211)	Г (F48)
8	Степень защиты	IP67
9	Климатическое исполнение	УХЛ1
10	Стойкость к сейсмическому воздействию по шкале MSK-64	от 6 до 9 баллов
11	Маркировка взрывозащиты	1ExdII BT5 (0ExiaII BT5)/II Gb с T5 X
12	Область применения	Задвижки клиновые, шиберные и другая многооборотная арматура

Данный редуктор является двухступенчатым, причем конструкция позволяет менять ступени (нет жесткого соединения ступеней, и, если произошел износ или поломка одной ступени, ее всегда можно заменить на новую, тем самым существенно снизить простой оборудования, так как его не придется ставить на ремонт). Среди имеющихся конкурентных решений, не было встречено подобного варианта конструкции, поэтому наше решение можно считать новым и более удачным.

Также конструкцией предусмотрена самостоятельная синхронизация трех пассивных эксцентриков, что также упрощает производство и настройку изделия. В рассмотренных вариантах конкурентов встречается схема, в которой

предполагается использование трех ведущих эксцентриков, которые необходимо конструктивно синхронизировать.

В рамках проектирования редуктора были предложены 2 варианта направления осей: радиальное и радиально-осевое. Причем соединение ступеней реализуется без использования соединительных муфт и дополнительных корпусных изделий. Конкурентные решения реализуются в основном в радиальном направлении, что не всегда дает компактный редуктор.

Если оценивать стоимость готового изделия, то стоимость проектируемого редуктора предполагается от 40 до 150 тыс. рублей в зависимости от компоновочной схемы. Стоимость изделий фирм-конкурентов колеблется от 80 тыс. до 350 тыс. рублей.

Таблица 22. Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б1	Б2	Б3	К1	К2	К3
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии ресурсоэффективности							
1. Производительность	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителя)	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
3. Компактность	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
4. Эргономичность	0,1	5	4	2	0,5	0,4	0,2
5. Надежность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
6. Бесшумность	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
7. Простота эксплуатации	0,1	5	4	2	0,5	0,4	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
2. Цена	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3

3.Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	3	0,5	04	0,3
ИТОГО:	1				5,4	4,0	3,1

Б1 (К1) – баллы (конкурентоспособность) проектируемого редуктора, Б2 (К2) и Б3 (К3) – баллы (конкурентоспособность) редукторов компании Nabtesco и ООО «АВВИ».

По оценочной карте из таблицы 5 видно, что новое устройство является конкурентоспособным, так как по многим параметрам превосходит своих конкурентов. Главными достоинствами данного редуктора являются: плавная бесшумная работа, долговечность, эргономичность и простота эксплуатации.

3.4. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 23. Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Компактность. С3. Бесшумность. С4. Плавность, надежность, способность долгое время работать без ремонта.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Более высокая себестоимость. Сл2. Не быстрое изготовление.
Возможности: В1. Быстрое продвижение на рынок. В2. Появление дополнительного	В1С1С2С3С4 – быстрое продвижение на рынок в связи с преимуществами данного редуктора.	В1Сл2 – может не быть быстрого продвижения на рынок, так как редуктор ранее не продавался, и

спроса на новый продукт. В3. Усовершенствование устройства.	В2С1С2С3С4 – дополнительный спрос может появиться за счет усовершенствования редуктора.	потребители не знают этот продукт. В2Сл1Сл2 – отсутствие дополнительного спроса из-за несовершенства устройства.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Кризис. У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции со стороны государства.	У2С1С2С3С4 – возможность конкурировать в связи с хорошими показателями основных характеристик.	У1Сл1 – высокая себестоимость может существенно снизить продажи данного продукта.

Таблица 7. Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	+	+	+	+
	В2	+	+	+	+
	В3	0	0	0	0
Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1		Сл2	
	В1	0		+	
	В2	+		+	
	В3	0		0	
Сильные стороны проекта					
Угрозы		С1	С2	С3	С4
	У1	0	0	0	0
	У2	+	+	+	+
	У3	0	0	0	0
Слабые стороны					
Угрозы		Сл1		Сл2	
	У1	+		0	
	У2	0		0	

	УЗ	0	0
--	----	---	---

3.5. Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого заполним специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Таблица 24. Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации.

№ п\п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
2	Определены перспективные направления научно-технического задела	4	3
3	Определены отрасли и технологии (товары и услуги) для предложения на рынке	4	3
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана прав	2	2
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной стоимости	5	4
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8	Разработка бизнес-плана коммерциализации научной разработки	1	1

9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1

По результатам, приведенным в таблице, можно оценить готовность научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Полученные баллы свидетельствуют о средней перспективности данного проекта.

3.6. Планирование управления научно-техническим проектом

3.6.1. Структура работ в рамках научного исследования.

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо оптимально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ. В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Так как число исполнителей не превышает двух, то предпочтительным планированием работ является линейный график реализации проекта. Для его построения должны данные быть сведены в таблицу 25.

Таблица 25. Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка задачи	НР	НР – 100%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%

Разработка календарного плана	НР	НР – 100%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 80% И – 100%
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	НР – 100% И – 60%
Выбор методики проведения исследования	НР, И	НР – 100% И – 50%
Проведение исследований	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

3.6.2. Продолжительность этапов работ

Для определения ожидаемого значения продолжительности работ *тож* применяется вероятностный метод – метод двух оценок *t_{min}* и *t_{max}*.

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}; \quad (15)$$

Где *t_{min}* – минимальная трудоемкость работ, чел/дн;

t_{max} – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 25 работ требуются специалисты: студент в качестве инженера (И) и научный руководитель (НР). Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \times K_{Д}; \quad (16)$$

Где $K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{ВН}=1$);

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д}=1,2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \times T_{К}; \quad (17)$$

Где ТК – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_K = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{ВД}} + T_{\text{ПД}}}; \quad (18)$$

Где $T_{\text{кал}}$ – календарные дни ($T_{\text{кал}}=366$);

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}}=103$);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}}=15$).

$$T_K = 366 / (366 - 103 + 15) = 1,317$$

В таблице 26 приведена длительность этапов работ и число исполнителей, занятых в каждом этапе.

Таблица 26. Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям, чел/дн			
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	Т _{РД}		Т _{КД} 1,317	
					НР	И	НР	И
Постановка задачи	НР	4	7	5,2	6,24	-	8,21	-
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	14	16	14,8	5,32	17,76	7	23,39
Разработка календарного плана	НР	4	7	5,2	6,24	-	8,22	-
Обсуждение литературы	НР, И	6	8	6,8	6,52	8,16	7,96	10,75
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	9	18	12,6	15,12	10,58	19,91	13,93
Выбор методики проведения исследования	НР, И	14	16	14,8	17,76	12,43	23,39	16,37
Проведение исследований	И	15	18	16,2	-	15,84	-	20,86
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	12	15	13,2	-	6,48	-	8,53
Оформление графического материала	И	5	6	5,4	-	6,48	-	8,53
Подведение итогов	НР, И	7	9	7,8	5,61	9,36	7,39	12,33
ИТОГО:				102	62,81	100,67	82,08	114,69

Расчет нарастания технической готовности работ

Таблица 27. Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Этап	НР	И	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	
1	8,21	-	■													
2	7	23,39		■	■	■										
3	8,22	-				■	■									
4	7,96	10,75					■	■								
5	19,91	13,93						■	■							
6	23,39	16,37							■	■						
7	-	20,86									■	■	■			
8	-	8,53												■	■	
9	-	8,53														■
10	7,39	12,33														■

НР – ■
И – ■

3.6.3. Бюджет научного исследования

В состав затрат на создание проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- материальные затраты НТИ;
- амортизационные отчисления;
- затраты по основной заработной плате исполнителей темы;
- затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы;
- отчисления внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы (прочие расходы).

Расчет материальных затрат НТИ

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам и приведена в таблице 28.

Таблица 28. Расходные материалы

Наименование	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма
Бумага для принтера формата А4	250	1 уп.	250
Ручка шариковая	20	2 шт.	40
Карандаш	20	2 шт.	40
ИТОГО:			330

Расходы на материалы составили $C_{mat} = 330$ рублей.

Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» от используемого оборудования рассчитывается амортизация за время выполнения работы для оборудования, которое имеется в наличии.

Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования ЭВМ по формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \times C_{об} \times t_{po} \times n}{F_d}, \quad (19)$$

где N_A – годовая норма амортизации; $C_{об}$ – цена оборудования;

F_d – 298 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе, 8 часов рабочий день, $F_d = 298 * 8 = 2384$ часа;

$t_{ро}$ – время работы оборудования;

n – число задействованных ПЭВМ, $n = 2$.

Стоимость ПК 45000 руб., время использования 808 часов, тогда для него $C_{AM}(ПК) = (0,4 \times 45000 \times 808 \times 1) / 2384 = 6100,67$ руб.

Стоимость принтера 12000 руб., его $F_d = 500$ час.; $N_A = 0,5$; тогда

$C_{AM}(Пр) = (0,5 \times 12000 \times 30 \times 1) / 500 = 360$ руб.

Итого начислено амортизации 6460,67 руб.

Основная заработная плата исполнителей

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 сводится в таблице 29.

Таблица 29. Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнители	Трудоемкость, чел.-дн		Заработная плата на один чел.-дн, тыс. руб.	
			НР	И	НР	И
1	Постановка задачи	НР	6,24	–	1741,89	–
2	Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	5,32	17,76	1741,89	841,38
3	Разработка календарного плана	НР, И	6,24	0,62	1741,89	841,38
4	Обсуждение литературы	НР, И	6,52	8,16	1741,89	841,38
5	Выбор структурной схемы устройства	НР, И	15,12	10,58	1741,89	841,38
6	Выбор методики проведения исследования	НР, И	17,76	12,43	1741,89	841,38

7	Проведение исследований	И	–	19,44	–	841,38
8	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	–	15,84	–	841,38
9	Оформление графических материалов	И	–	6,48	–	841,38
10	Подведение итогов	НР, И	5,61	9,36	1741,89	841,38
Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.					109739,07	84979,38

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}; \quad (20)$$

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

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \times T_p; \quad (21)$$

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:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \times M}{F_d}; \quad (22)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 рабочих дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно- технического персонала, рабочие дни (таблица 30).

Согласно таблице окладов ППС и НС [24].

$Z_M = 33162,87$ руб. – месячный оклад руководителя.

$Z_M = 14874,45$ руб. – месячный оклад инженера

Таблица 30. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	103	103
- праздничные дни	15	15
Потери рабочего времени		
- отпуск	50	50
- невыходы по болезням	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	198	198

$$Z_{\text{дн1}} = \frac{Z_M \times M}{F_d} = \frac{33162,87 \times 10,4}{198} = 1741,89 \text{ руб. – заработная плата руководителя за}$$

1 день;

$$Z_{\text{дн2}} = \frac{Z_M \times M}{F_d} = \frac{14874,45 \times 11,2}{198} = 841,38 \text{ руб. – заработная плата инженера за 1}$$

день.

$$Z_{\text{осн1}} = 1741,89 \times 63 = 109739,07 \text{руб. – руководитель;}$$

$$Z_{\text{осн2}} = 841,38 \times 101 = 84979,38 \text{руб. – инженера.}$$

$$Z_{\text{зп1}} = 109739,07 + 16460,86 = 126199,93 \text{руб. – руководитель;}$$

$$Z_{\text{зп2}} = 84979,38 + 12746,91 = 97726,29 \text{руб. – инженера.}$$

Дополнительная заработная плата исполнителей

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} + Z_{\text{осн}}; \quad (23)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Примем $k_{\text{доп}} = 0,15$:

$$Z_{\text{доп1}} = 0,15 \cdot 109739,07 = 16460,86 \text{руб.} - \text{руководитель};$$

$$Z_{\text{доп2}} = 0,15 \cdot 84979,38 = 12746,91 \text{руб.} - \text{инженера.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}); \quad (24)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2020 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 вводится пониженная ставка – 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табличной форме (таблица 31).

Таблица 31. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	109739,07	16460,86
Инженера	84979,38	12746,91
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30%	30%
Итого	34200,18 + 26483,82 = 60684	

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма пунктов } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} ; \quad (25)$$

$k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 20%.

Таблица 32 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Текущий Проект
1	Материальные затраты НИР	330
2	Затраты на специальное оборудование	6460,67
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	215133,29
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	37964,7
5	Отчисления во внебюджетные фонды	75929,4
6	Накладные расходы	67163,612
Бюджет затрат НИР		402981,67

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 33).

Таблица 33 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
Критерии				
1. Безопасность при использовании установки	0,15	4	4	4
2. Стабильность работы	0,2	4	4	5
3. Технические характеристики	0.2	5	3	4

4. Механические свойства	0,3	5	4	3
5. Материалоёмкость	0,15	5	4	5
ИТОГО	1	4,65	3,8	4,05

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,65;$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,80;$$

$$I_{p3} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 = 4,05.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр}} \quad (26)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,65}{0,90} = 5,18, \quad I_{исп.2} = \frac{3,8}{0,91} = 4,18, \quad I_{исп.3} = \frac{4,05}{1} = 4,05.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 34).

Таблица 34 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,8	4,05
2	Интегральный показатель эффективности	5,18	4,18	4,05
3	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,81	0,78

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы

В рамках данного раздела проведен анализ продукции фирм-конкурентов. Изучены особенности и технические характеристики продукта. Проведено сравнение изделий конкурентов с проектируемым изделием и сделаны выводы о том, что данное проектируемое изделие является конкурентоспособным на данном этапе проекта, если сейчас вывести его на рынок. Проектируемый редуктор имеет ряд преимуществ в конструкции и технических характеристиках, а также предполагается более низкая цена, за счет простой в изготовлении конструкции и использовании минимального числа стандартных покупных изделий (подшипники, соединительные муфты и проч.).

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей.

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 402981,67руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

– значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 3,8 и 4,05;

– значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,18, по сравнению с 4,18 и 4,05, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

4. Социальная ответственность

Введение

В данном разделе ВКР рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места конструктора в соответствии с нормами производственной санитарии, безопасности и охраны окружающей среды. Рабочим местом конструктора является помещение, оборудованное компьютером.

Цель раздела: выявление возможных вредных и опасных факторов процесса разработки проекта, а также разработка мероприятий по предотвращению негативного воздействия на здоровье конструктора, создание условий труда, перечисление организационных и технических мер, предусмотренных для ЧС, а также изучение вопроса охраны окружающей среды.

Организация рабочего места должна соответствовать общепринятым и специальным требованиям техники безопасности, нормам санитарии, экологической и пожарной безопасности.

4.1. Техногенная безопасность

4.1.1. Требования и показатели микроклимата

Нормы оптимальных условий устанавливает СанПиН 2.2.4.548 – 96 для категорий работ, разграниченных на основе интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт).

Работа оператора ЭВМ относится к категории Ia – работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

Санитарные правила устанавливают гигиенические требования к показателям микроклимата рабочих мест производственных помещений с учетом интенсивности энергозатрат работающих, времени выполнения работы, периодов года и содержат требования к методам измерения и контроля микроклиматических условий.

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранения теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в таблице 35, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года [25].

Таблица 35. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22 – 24	21 – 25	60 – 40	0,1
Теплый	Ia (до 139)	23 – 25	22 – 26	60 – 40	0,1

Перепады температуры воздуха по высоте и по горизонтали, а также изменения температуры воздуха в течение смены при обеспечении оптимальных величин микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2°С и выходить за пределы величин, указанных в таблице 35 для отдельных категорий работ.

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека в период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, не могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности [26].

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 36, применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый периоды года.

Таблица 36. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia (до 139)	20,0 – 21,9	24,1 – 25,0	19,0 – 26,0	15 – 75	0,1	0,1
Теплый	Ia (до 139)	21,0 – 22,9	25,1 – 28,0	20,0 – 29,0	15 – 75	0,1	0,2

По данным таблиц и измеренной температурой офисного помещения можно сделать вывод, что рабочее место соответствует нормируемому параметру.

Требования к уровню шума на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ

В помещениях, где работают инженерно-технические работники, осуществляющие лабораторный, аналитический или измерительный контроль, уровень шума не должен превышать 80 дБА.

На рабочих местах в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин (принтеры и т. п.) уровень шума не должен превышать 80 дБА.

Снизить уровень шума в помещениях с ПЭВМ можно использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63 – 8000 Гц для отделки помещений (разрешенных органами и учреждениями Госсанэпиднадзора России), подтвержденных специальными акустическими расчетами.

Дополнительным звукопоглощением служат однотонные занавеси из плотной ткани, гармонирующие с окраской стен и подвешенные в складку на

расстоянии 15-20 см от ограждения. Ширина занавеси должна быть в 2 раза больше ширины окна. [27]

Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ

Рабочие места следует размещать таким образом, чтобы видео дисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общей преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 – 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Следует ограничивать прямую блескость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м².

Следует ограничивать отраженную блескость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура и др.) за счет правильного выбора типов светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения, при этом яркость бликов на экране ПЭВМ не должна превышать 40 кд/м² и яркость потолка не должна превышать 200 кд/м².

Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90 градусов с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м², защитный угол светильников должен быть не менее 40 градусов.

Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ, при этом соотношение яркости между рабочими

поверхностями не должно превышать 3:1 – 5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1.

В качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно люминесцентные лампы типа ЛБ и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). При устройстве отраженного освещения в производственных помещениях допускается применение металлогалогенных ламп.

Для освещения помещений с ПЭВМ следует применять светильники с зеркальными параболическими решетками, укомплектованными электронными пускорегулирующими аппаратами. Допускается использование многоламповых светильников с электромагнитными пускорегулирующими аппаратами, состоящими из равного числа опережающих и отстающих ветвей.

Применение светильников без рассеивателей и экранирующих решеток не допускается.

Коэффициент запаса (K_z) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях для использования ПЭВМ следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп [28].

Расчет освещенности

Рассчитать методом коэффициента использования светового потока систему общего искусственного люминесцентного освещения офисного помещения, где:

Длина $A = 20$ м; ширина $B = 10$ м; высота $H = 5$ м; высота рабочей поверхности $h_{rp} = 0,8$ м; требуемая освещенность $E = 300$ Лк; коэффициент отражения стен $R_c = 40\%$; коэффициент отражения потолка $R_{п} = 50\%$; коэффициент запаса $k = 1,5$; коэффициент неравномерности освещения $Z = 1,1$.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

Выбираем светильник типа ОД, $\lambda = 1,4$.

Принимаем $h_c = 0,5$ м, тогда высота светильника над полом:

$$h_{\text{п}} = H - h_c = 5 - 0,5 = 4,5 \text{ м}; \quad (27)$$

Высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_{\text{п}} - h_{\text{рп}} = 4,5 - 0,8 = 3,7 \text{ м}; \quad (28)$$

Расстояние между светильниками:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 3,7 = 5,18 \text{ м}; \quad (29)$$

$$L/3 = 5,18/3 = 1,73 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 8 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (длинной 1,42 м), при этом расстояния между светильниками в ряду составляют 0,5 м. Учитывая, что в каждом светильнике по две лампы, общее число ламп в помещении:

$$n = 16 \cdot 2 = 32$$

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)} = \frac{200}{3,7 \cdot (20+10)} = 1,8; \quad (30)$$

$\eta = 0,59$ коэффициент использования светового потока [29].

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$F = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot Z}{n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 200 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{32 \cdot 0,59} = 5243 \text{ Лм}; \quad (32)$$

Ближайшая стандартная лампа – ЛБ 80 Вт с потоком 5220 Лм.

Проверка выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\%; \quad (33)$$

$$-10\% \leq -0,4\% \leq +20\%$$

$P = 80 \cdot 32 = 2560$ Вт – электрическая мощность осветительной установки.

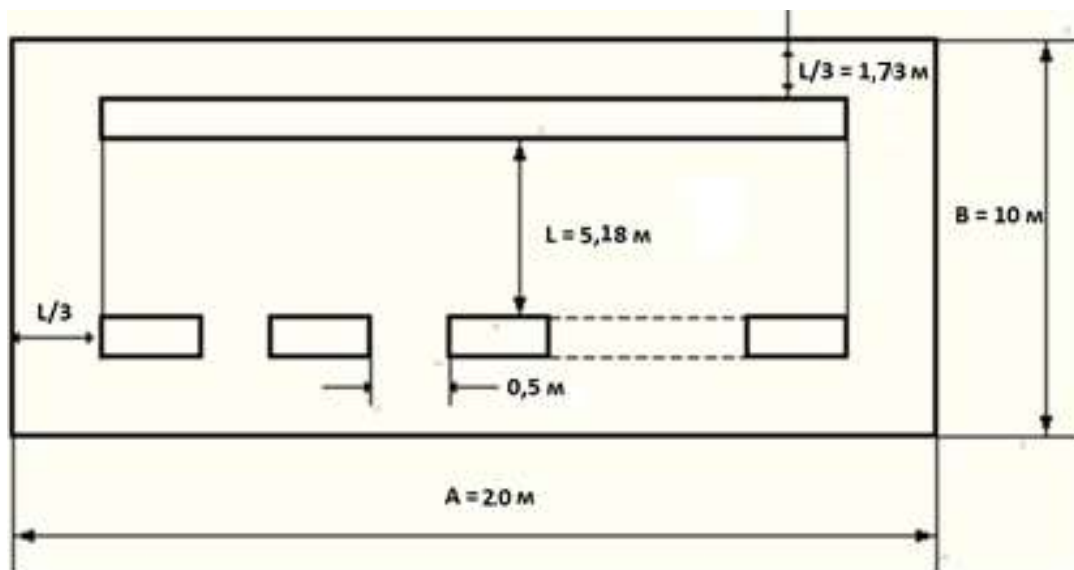


Рисунок 18 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение оказывает положительное воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность.

Требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ

Воздействие электромагнитных полей на человека зависит от напряжения электрического и магнитного полей, потока энергии, частоты колебаний, размера облучаемого тела.

Нарушение в организме человека при воздействии электромагнитных полей незначительных напряжений носят обратимый характер. При воздействии полей, имеющих напряженность выше предельно допустимого уровня, развиваются нарушения со стороны нервной, сердечно – сосудистой систем, органов пищеварения и некоторых биологических показателей крови.

Нормируемыми параметрами в диапазоне частот 60 кГц – 300 МГц являются напряженности E и H электромагнитного поля. В диапазоне низких частот интенсивность излучения не должна превышать 50 В/м по электрической составляющей и 5 А/м по магнитной составляющей напряженности поля.

Напряженность магнитного поля на расстоянии 10 см от экрана варьируется в диапазоне 0,4 – 1,8 А/м. С расстоянием эти показатели уменьшаются. Следовательно, напряженность магнитного поля аудитории соответствует норме.

Защитные средства так же предусмотрены в мониторе компьютера, которые с каждым годом все меньше и меньше оказывают вредное воздействие на человека [30].

4.1.2. Эргономика рабочего места

Проектирование рабочих мест, снабженных видеоматериалами, относится к числу важных проблем эргономического проектирования в области вычислительной техники.

Рабочее место и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. Большое значение имеет также характер работы. В частности, при организации рабочего места конструктора должны быть соблюдены следующие основные условия: оптимальное размещение оборудования, входящего в состав рабочего места и достаточное рабочее пространство, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения.

Главными элементами рабочего места конструктора являются стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя.

Рабочая поза сидя вызывает минимальное утомление человека. Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

Максимальная зона досягаемости рук – это часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми максимально вытянутыми руками при движении их в плечевом суставе.

Оптимальная зона – часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми предплечьями при движении в локтевых суставах с опорой в точке локтя и с относительно неподвижным плечом.

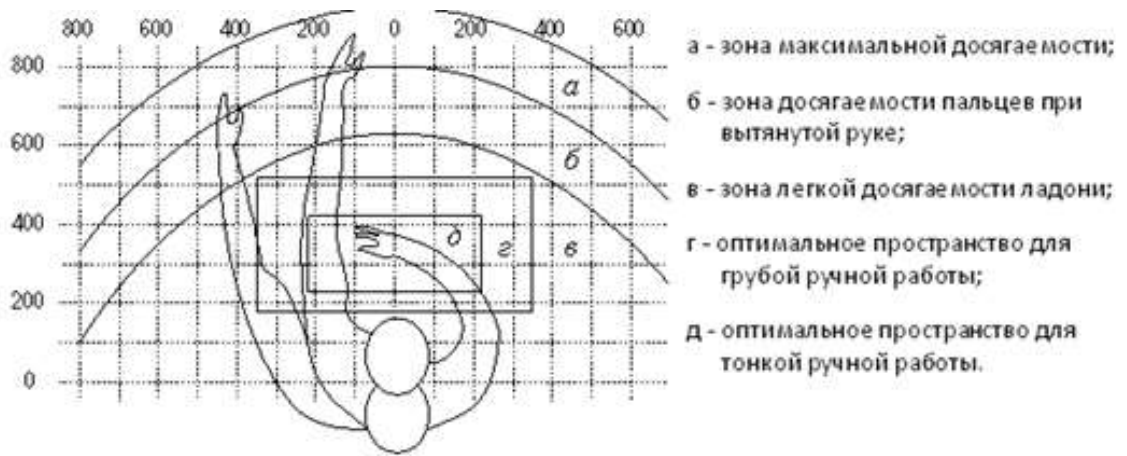


Рисунок 19 – Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости.

Дисплей размещается в зоне **а** (в центре);

Системный блок размещается в предусмотренной нише стола;

Клавиатура размещается в зоне **г/д**;

«Мышь» располагается в зоне **в** справа;

Настольный набор располагается в зоне **а/б** слева;

Принтер располагается в зоне **а** справа.

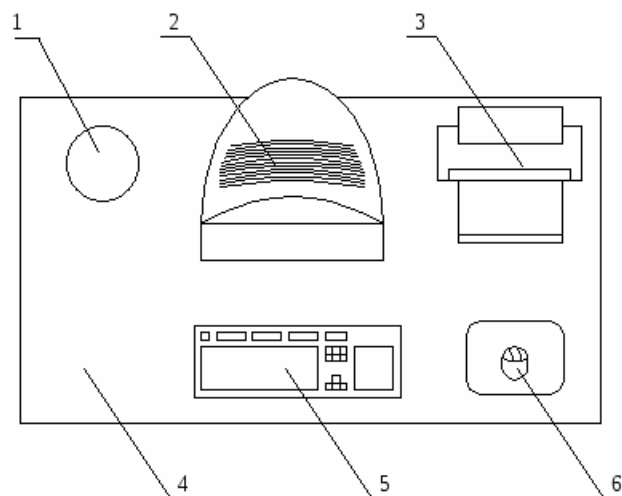


Рисунок 20 - Пример размещения основных и периферийных составляющих ПК на рабочем столе

На рисунке 3 отображены:

1 – настольный набор, 2 – монитор, 3 – принтер, 4 – поверхность рабочего стола, 5 – клавиатура, 6 – «мышь».

Для комфортной работы стол должен удовлетворять следующим условиям:

- Высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;
- Нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы конструктор мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;
- Поверхность стола должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения конструктора;
- Конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков (не менее 3 для хранения документации, листингов, канцерных принадлежностей);
- Высота рабочей поверхности рекомендуется в пределах 680 – 760 мм;
- Высота поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть около 650 мм.

Большое значение придается характеристикам рабочего кресла. Рекомендуемая высота сиденья над уровнем пола находится в пределах 420 – 550 мм. Поверхность сидения мягкая, передний край закругленный, а угол наклона спинки регулируемый.

Необходимо предусматривать при конструировании возможность различного размещения документов сбоку от видеотерминала, между монитором и клавиатурой и т. п. кроме того, в случаях, когда видеоматериал имеет низкое качество изображения, например, заметны мелькания, расстояние от глаз до экрана делают больше (около 700 мм), чем расстояние от глаза до документа (300 – 450 мм).

Положение экрана определяется:

Расстоянием считывания (0,6...0,7м); углом считывания, направлением взгляда на 20° ниже горизонтали к центру экрана, причем экран перпендикулярен этому направлению.

Должна также предусматриваться возможность регулирования экрана:

- По высоте +3 см;
- По наклону от -10° до +20° относительно вертикали;

- В левом и правом направлениях.

Большое значение также придается правильной рабочей позе пользователя. При неудобной рабочей позе могут появиться боли в мышцах, суставах и сухожилиях. Требования к рабочей позе пользователя видеотерминала следующие:

- Голова не должна быть наклонена более чем на 20° ,
- Плечи должны быть расслаблены,
- Локти - под углом $80^\circ \dots 100^\circ$,
- Предплечья и кисти рук - в горизонтальном положении.

Причина неправильной позы пользователей обусловлена следующими факторами: нет хорошей подставки для документов, клавиатура находится слишком высоко, а документы - низко, некуда положить руки и кисти, недостаточно пространство для ног.

В целях преодоления указанных недостатков даются общие рекомендации: лучше передвижная клавиатура; должны быть предусмотрены специальные приспособления для регулирования высоты стола, клавиатуры и экрана, а также подставка для рук.

Существенное значение для производительной и качественной работы на компьютере имеют размеры знаков, плотность их размещения, контраст и соотношение яркостей символов и фона экрана. Если расстояние от глаз оператора до экрана дисплея составляет $60 \dots 80$ см, то высота знака должна быть не менее 3мм, оптимальное соотношение ширины и высоты знака составляет 3:4, а расстояние между знаками – $15 \dots 20\%$ их высоты.

Соотношение яркости фона экрана и символов - от 1:2 до 1:15

Во время пользования компьютером медики советуют устанавливать монитор на расстоянии 50-60 см от глаз. Специалисты также считают, что верхняя часть видеодисплея должна быть на уровне глаз или чуть ниже. Когда человек смотрит прямо перед собой, его глаза открываются шире, чем, когда он смотрит вниз. За счет этого площадь обзора значительно увеличивается, вызывая обезвоживание глаз. К тому же если экран установлен высоко, а глаза широко

открыты, нарушается функция моргания. Это значит, что глаза не закрываются полностью, не омываются слезной жидкостью, не получают достаточного увлажнения, что приводит к их быстрой утомляемости.

Создание благоприятных условий труда и правильное эстетическое оформление рабочих мест на производстве имеет большое значение как для облегчения труда, так и для повышения его привлекательности, положительно влияющей на производительность труда. [31]

4.1.3. Психофизиологические факторы

Психофизиологические факторы по характеру воздействия подразделяют на физические и нервно-психические перегрузки. В свою очередь, физические перегрузки делят на статические и динамические, а нервно-психические на умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, перегрузки из-за монотонности труда, эмоциональные перегрузки. Т.к. работа проводится в офисе, и не подразумевает физических нагрузок, возможно появление нервно-психических перегрузок.

Меры по снижению влияния описанных факторов, заключаются в применении оптимальных режимов труда и отдыха в течение рабочего дня. Рекомендуется 30 минутный перерыв после каждых двух часов непрерывной работы или 15 минутный перерыв на каждый час работы. Занятия спортом, правильное питание и режим сна, так же являются эффективным средством профилактики нервно-эмоционального и психофизического утомления, повышающие работоспособность.

4.2. Экологическая безопасность

Правовую основу охраны окружающей среды в стране составляет закон РСФСР “О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения” (1991).

Требования охраны окружающей среды зафиксировано в Основах законодательства РФ “Об охране здоровья граждан” (1993) и в законе РФ “О защите прав потребителей” (1992).

Основным видом нормативно-правовых актов по охране окружающей среды является система стандартов “Охрана природы”, имеющая номер 17 и состоящая из 10 комплексов. [32]

4.2.1. Охрана окружающей среды

Основными отходами данного вида деятельности являются: люминесцентные лампы, батарейки и бумага. Выбросов в сточные воды нет.

Деятельность человека причиняет ущерб окружающей среде, а потому перед обществом стоит задача сделать это воздействие наименее пагубным. В процессе трудовой деятельности в ВЦ, также, как и обычной жизнедеятельности, человек является источником твёрдых бытовых отходов. Эти отходы, как пищевые, так и промышленные, сильно загрязняют окружающую среду.

Как правило, в качестве промышленных отходов выступают: бумага, строительные отходы, коробки и т.п. Этот мусор с другими отходами вывозится на территории, выделенные под складирование бытовых отходов. Сжигание этих отходов уменьшает их объём на 90%, но в результате сжигания происходит выделение вредных газов и дымов, что загрязняет атмосферу.

Для защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий можно применять следующие меры:

1. Полный переход к безотходным и малоотходным технологиям и производствам;
2. Совершенствование технологических процессов и разработка нового оборудования с меньшим уровнем выбросов примесей и отходов в окружающую среду;
3. Экологическая экспертиза всех видов производств и промышленной продукции;
4. Замена токсичных отходов на нетоксичные;
5. Замена не утилизируемых отходов на утилизируемые;
6. Последствия промышленного загрязнения окружающей среды.
7. Правильная утилизация люминесцентных ламп, макулатуры и оргтехники.

4.2.2. Люминесцентные лампы

В трубках люминесцентных ламп содержится от 3 до 5 мг ртути. В соответствии с «Критериями отнесения опасных отходов к классам опасности»

Люминесцентные лампы относятся к первому классу токсичных отходов и являются чрезвычайно опасными, они требуют специальной утилизации.

Отработанные ртутьсодержащие лампы подлежат сбору и хранению в герметичных емкостях либо контейнерах в закрытых помещениях. Раз в месяц осуществляется забор и утилизация ламп с помощью специализированных лицензированных организаций, по заявке от предприятия. Утилизация осуществляется посредством демеркуризации. Демеркуризация – это удаление и нейтрализация ртути, очистка помещения от ее следов и устранение ртутного загрязнения.

На территории города Томска такую процедуру осуществляет ряд предприятий: ООО НПП «Экотом», АО «Полигон», «PELIKANСервис».

4.2.3. Макулатура

Работа в офисе всегда связана с созданием, обработкой и хранением информации. Бумажные документы копятся годами. В зависимости от конфиденциальности, важности и состояния макулатуры, ее можно уничтожить или передать в переработку. На предприятиях уничтожению подлежат все бумажные документы с истекшим сроком хранения.

Фирмы-утилизаторы нижней планкой приема макулатуры с самовывозом от юридических лиц устанавливают вес в 300-500 кг. В компании среднего размера за неделю может набираться от 10 до 30 кг использованной бумаги, в итоге на образование тонны макулатуры уходит примерно полгода – год.

Для сдачи отработанных бумаг в переработку необходимо выполнить ряд условий:

- Вытянуть скоросшиватели, канцелярские скрепки, скобы;
- Удалить посторонние предметы и загрязненные листы;
- Просушить;
- Компактно и плотно связать.

На территории города Томска деятельность по сбору и переработке макулатуры осуществляют организации: «Чистый мир»; ООО «Пирс», принимает макулатуру весом от 1 кг; ООО «Ресурс».

4.2.4. Оргтехника

Утилизация офисной техники – трудоемкий процесс для любой организации. Однако, чтобы жить в комфортных условиях, в чистой среде, каждый из нас должен понимать важность этой процедуры и потому утилизировать оргтехнику правильно.

Для передачи оргтехники и компьютеров на утилизацию необходимо оформить акт на списание основных средств (форма №ОС-4). Согласно законодательства, списание оборудования (техники) производится в связи с его старением, которое определяется либо физическим, либо моральным износом. Основанием для признания основного средства устаревшим и подлежащим списанию является акт экспертизы технического состояния.

Процесс утилизации оргтехники заключается в разборке и сортировке ее составляющих на лом черных и цветных металлов, платы с драгметаллами, пластик и не перерабатываемые отходы. Полученное сырье передается на заводы по переработке, оставшиеся отходы обезвреживаются и уничтожаются на специализированных предприятиях.

На территории города Томска, деятельность по утилизации оргтехники осуществляют следующие компании: ООО «Ведущая утилизирующая компания», «PELIKANСервис», «Русутилит».

4.3. Защита в ЧС.

Для рабочего места за ПК наиболее вероятной и опасной ЧС является пожар. Соответственно, защита в ЧС в данном может быть рассмотрена как защита от пожара.

4.3.1. Пожарная безопасность.

Пожарная профилактика основывается на исключении условий, необходимых для горения, и использования принципов обеспечения безопасности. При обеспечении пожарной безопасности решаются следующие задачи:

1. Предотвращение пожаров;
2. Возгорание;
3. Локализация возникших пожаров;

4. Защита людей и материальных ценностей;
5. Тушение пожара.

Возникновение пожара в рассматриваемом помещении обуславливается следующими факторами: возникновение короткого замыкания в электропроводке вследствие неисправности самой проводки или электросоединений и электрораспределительных щитов; возгорание оборудования вследствие нарушения изоляции или неисправности самой аппаратуры; возгорание мебели или пола по причине нарушения правил пожарной безопасности, а также неправильного использования дополнительных электроприборов и электроустановок.

Для устранения возможности пожара в помещении необходимо соблюдать противопожарные меры:

- Ограничение количества горючих веществ;
- Максимально возможное применение негорючих веществ;
- Устранение возможных источников возгорания (электрических искр, нагрева оболочек оборудования);
- Применение средств пожаротушения;
- Использование пожарной сигнализации;
- Содержание электрооборудования в исправном состоянии, использование плавких предохранителей и автоматических выключателей в аппаратуре, по окончании работ все установки должны обесточиваться;
- Наличие в помещении средств пожаротушения (огнетушители типа ОУ-3, пожарный инструмент, песок) и содержание их в исправном состоянии;
- Содержание путей и проходов эвакуации людей в свободном состоянии;
- Проводить раз в год инструктаж по пожарной безопасности;
- Назначение ответственного за пожарную безопасность помещения.

По степени взрывопожарной и пожарной опасности помещение лаборатории в соответствии с классификацией производств по пожарной безопасности относится к категории В (пожароопасные помещения), т.е. к

помещениям с твердыми сгораемыми веществами. Поэтому необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий технического, эксплуатационного, организационного плана.

При возникновении пожара нужно, прежде всего, вызвать пожарную команду, обеспечить полную эвакуацию людей из помещения, где возник пожар. Вынужденная эвакуация при пожаре протекает в условиях нарастающего действия опасных факторов пожара. Поэтому безопасность людей находится в прямой зависимости от времени пребывания их в здании при пожаре. Кратковременность процесса вынужденной эвакуации достигается устройством эвакуационных путей и выходов, их числом и размером.

Число эвакуационных выходов из здания с каждого этажа должно быть не менее двух. Ширину эвакуационного выхода (двери) устанавливают в зависимости от общего количества людей, эвакуирующихся через этот выход, но не менее 0.8 м. Высота прохода на эвакуационных путях должна быть не менее 2 м. План эвакуации приведен на рисунке 21 [33].



Рисунок 21 – План эвакуации из здания.

4.3.2. Требования по обеспечению пожарной безопасности.

На рабочем месте запрещается иметь огнеопасные вещества

В помещениях запрещается:

- Зажигать огонь;
- Включать электрооборудование, если в помещении пахнет газом;

- Курить;
- Сушить что-либо на отопительных приборах;
- Закрывать вентиляционные отверстия в электроаппаратуре

Источниками воспламенения являются:

- Искра при разряде статического электричества
- Искры от электрооборудования
- Искры от удара и трения
- Открытое пламя

При возникновении пожароопасной ситуации или пожара персонал должен немедленно принять необходимые меры для его ликвидации, одновременно оповестить о пожаре администрацию.

Помещения с электрооборудованием должны быть оснащены огнетушителями типа ОУ-2 или ОУБ-3 [33].

Вывод

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены вопросы безопасности для человека и окружающей среды при работе в офисном помещении.

В данной работе описаны вредные и опасные факторы при работе за компьютером, а также мероприятия по предотвращению негативного воздействия на здоровье работников офиса. К вредным факторам относятся отклонение показателей микроклимата, повышенный уровень шума и вибрации, недостаточная освещенность рабочей зоны. Опасным фактором является возможность возгорания электрооборудования.

Так же, в работе затронуты вопросы экологической безопасности с приведением рекомендаций по утилизации отходов, образующихся в процессе работ.

Можно сделать вывод, что рабочее место соответствует нормативно-технической документации.

Заключение

В результате проделанной работы была исследована кинематика и динамика циклоидального редуктора, изготавливаемого на заводе ОАО «ТЭМЗ» по следующим пунктам:

- Произведен обзор электроприводов для задвижки;
- Произведен обзор зубчатых зацеплений, формы зуба и характеристики зацеплений;
- Исследована кинематика редуктора без нагрузки;
- Исследована кинематика редуктора с имитацией нагрузки;
- Проведены динамические исследования.

При исследовании профиля зубчатого зацепления данного редуктора были выявлены неравномерности нагрузки зубьев при вращении, при переходе от одного зуба к другому. Оказывается, некоторые профили дают неравномерную нагрузку одного зуба и разгрузку другого. Получается, что кроме основной частоты, связанной с вращением вала, который меняется, так как привод управляемый, возникает еще зубцовая частота равная передаточному отношению и зубчикам неравномерности 23×5 , согласно графиков. В результате нагрузка на корпус передается неравномерно, следовательно, на зубья шестерни колеса, это значит, что легкий корпус может начать вибрировать. Данные исследования помогут усовершенствовать циклоидальный профиль зубьев и исключить выявленные неравномерности.

Неравномерная работа редуктора, вибрация, шум влияет на работу задвижки, в следствии чего может привести к аварийным ситуациям на объекте.

Список литературы

1. Гошко А. И. Арматура трубопроводная целевого назначения. В 3-х кн. Кн.1: Выбор. Эксплуатация. Ремонт. М.: Машиностроение, 2003. 432 с.: с ил.
2. Режим доступа: <http://www.marketing.spb.ru/mr/industry/valve.htm>
3. Ахметов С. А. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: Учебное пособие / С. А. Ахметов, Т. П. Сериков, И. Р. Кузеев, М. И. Баязитов; Под ред. С. А. Ахметова. — СПб.: Недра, 2006. — 868 с.; ил.
4. Васильев Г. Г. Трубопроводный транспорт нефти. /Г.Г. Васильев, Г. Е. Коробков, А.А. Коршак и др.; Под редакцией С.М. Вайнштока: Учеб. Для вузов: В 2 т. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – Т. 1. – 407 с.: ил.
5. Новиков В. Т. Основы проектирования и оборудование предприятий органического синтеза. Часть 1. Трубопроводная арматура: Учебное пособие. /В. Т. Новиков, Томский политехнический университет ун-т.- Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 292 с.
6. Гуревич Д. Ф. Трубопроводная арматура с автоматическим управлением: Справочник/Д.Ф. Гуревич, О.Н. Заринский, С.И. Косых и др.: Под общ. Ред. С. И. Косых. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 320 с., ил.
7. Гуревич Д. Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры: Расчет трубопроводной арматуры. Изд. 5-е. –М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 480 с.
8. Кижнер А.Х. Ремонт трубопроводной арматуры электростанций: Учеб. пособие для проф. обучения рабочих на производстве. — М.: Высш. школа, 1986. — 144 с., ил.
9. ГОСТ 2939-63, статья 2. Газы. Условия для определения объема.
10. Гумеров А.Г. Гумеров Р.С. Акбердин А.М. Эксплуатация оборудования нефтеперекачивающих станций. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр»2001. - 475 с.: ил.
11. Режим доступа: <http://bankpatentov.ru/node/431329>
12. Гуревич Д.Ф., Трубопроводная арматура: Справочное пособие. –2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1981. – 368 с., ил.

Лопатин Б.А., Хаустов С.А. Автоматизированная система моделирования и анализа способов формирования зубьев зубчатых колес // Челябинск: Вестник ЮУрГУ. 2008. № 10.

13. Черноштан В. И., Кузнецов В. А. Трубопроводная арматура ТЭС: Справочное пособие. –М.: Издательство МЭИ, 2001. – 368 с.: ил.

14. Зубчатые передачи:
http://cherch.ru/mechanicheskie_peredachi/zubchatie_peredachi.html

15. Краснощеков Н. Н., Федякин Р. В., Чесноков В. А. Теория зацепления. М.: Наука, 1976 – 175 с.

16. В. А. Гавриленко. Зубчатые передачи в машиностроении (Теория эвольвентных зубчатых передач). М.: Машгиз, 1962 – 530 с.

17. Леонтьев, М.Ю. Обзор достоинств и недостатков эксцентриково-циклоидального зацепления [Текст] / М.Ю. Леонтьев, В.А. Раевский, А.Е. Смолоник // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 7-5. С. 54 – 57.

18. Становской, В.В. Двухступенчатый редуктор на основе эксцентриково-циклоидального зацепления (зацепление exsugear) [Текст] / В.В. Становской, С.М. Казакиявичюс, Т.А. Ремнева, В.М. Кузнецов, А.М. Бубенчиков, Н.Р. Щербаков, Й. Шмидт // Вестник машиностроения. – 2011. - № 12. – С. 41-44.

19. Казакиявичюс С.М. Работоспособность эксцентриково-циклоидального зацепления при изменении межосевого расстояния колес. Модификация вершин и впадин зубьев / С.М. Казакиявичюс, В.В. Становской, Т.А. Ремнева // Вестник машиностроения. – 2011. - №3, стр. 7-9.

20. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс 2010, 464 с.

21. Н.М. Беляев. Сборник задач по сопротивлению материалов, Москва 1968 год, 683 стр.

22. Приводная механика. Nabtesco. Электронный ресурс.
Режим доступа: [<http://www.drivemeh.ru>].

23. ООО «АВВИ» (2010) Планетарно-цевочный редуктор, патент № RU 2 420 678.
24. Электронный ресурс. Режим доступа: [hr.tpu.ru/vacancies/scientific-activity].
25. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
26. СанПиН 2.2.4.1294-03 Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений
27. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
28. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
29. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 20 с.
30. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
31. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
32. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"
33. СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений.

Приложение А

Раздел иностранного языка

Перевод раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ81	Санникова Екатерина Александровна		

Консультант отделения Материаловедения школы ИШНПТ:

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

Консультант-лингвист отделения Иностранных языков школы ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Диденко А.В.	к.ф.н.		

1. Management planning for the scientific and technical project

1.1. Works structure in a research study

During planning of a particular project it is necessary to optimally plan time of each participant and duration of each work stage. This paragraph includes a full list of carried-out works, it specifies who will perform them and what their rational duration will be. The preferable works planning form is a Gantt chart, since there are no more than 2 assignees. To make the plan all the data should be presented in the table 1.

Table 1. List of works and their duration

Work stages	Experts	Workload of experts
Problem formulation	RS	RS – 100%
Selection and study of related materials	RS, E	RS – 30% E – 100%
Calendar plan creation	RS	RS – 100%
References discussion	RS, E	RS – 80% E – 100%
Choice of a structural scheme of the device	RS, E	E – 100% E – 60%
Choice of a research method	RS, E	RS – 100% E – 50%
Conducting researches	E	E – 100%
Calculation and explanation summary	E	E – 100%
Summarizing	RS, E	RS – 60% E – 100%

1.2. Duration of the work stages

To estimate expected works duration t_{ex} the probabilistic method is applied. This is the method of two estimations t_{min} and t_{max}

$$t_{ex} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5},$$

where t_{min} is a minimal labor intensity, man-day;
and t_{max} is a maximal labor intensity, man-day.

To perform works listed in table 1 the following experts are needed: a student as an engineer (E) and a research supervisor (RS). To make a Gantt chart the duration of stages should be calculated in working days, then it should be recalculated in calendar days. Calculation of each stage duration is performed via the formula:

$$T_{WD} = \frac{t_{EX}}{C_{WC}} \times C_A$$

where C_{WC} is a coefficient of works completion;

C_A is a coefficient that includes additional time for compensations and works approval.

Calculation of a stage duration in calendar days is performed via the formula:

$$T_{CA} = T_{WD} \times T_C$$

Where T_C is a calendar coefficient.

The calendar coefficient is calculated via the formula:

$$T_C = \frac{T_{CAL}}{T_{CAL} - T_{NW} + T_H}$$

where T_{CAL} is calendar days;

T_{NW} is non-working days;

T_H Is holidays.

1.3. Budget of the research study

The costs structure of the project includes all the expenses necessary to perform range of works that represent the content of the development. Estimated cost for this development is calculated by following cost items:

- material costs of the scientific and technological research,
- depreciation charges,
- expenses for regular salaries of contractors,
- expenses for extra salaries of contractors,
- deductions to extra-budgetary funds (insurance deductions),
- overhead expense (other expenses).

1.4. Calculation of material costs of the scientific and technological research

This cost item includes material costs, purchased items, semi-manufactured goods, and other material properties that are used directly during the works process. Cost of material resources is defined per the corresponding rates and is provided in the table 2.

Table 2. Expendable supplies

Item	Unit cost	Quantity	Sum
Printer paper (A4)	250	1 pack	250
Ballpoint pen	20	2 items	40
Pencil	20	2 items	40
TOTAL:			330

Material expenses amount to $C_{mat} = 330$ RUR.

1.5. Calculation of depreciation charges

For the cost item Depreciation Charges amortization is calculated, to do this the time when the available equipment is used for works is considered.

Depreciation charges are calculated for the computer usage time via the formula:

$$C_{AM} = \frac{A_Y \times C_{EQ} \times t_{EU} \times n}{F_D}$$

where A_Y is a year amortization rate; C_{EQ} is an equipment price;

F_D is 298 working days with a six-day working week and eight-hour working day;

t_{EU} is equipment usage time;

n is quantity of PCs used.

1.6. Regular salaries of contractors

Costs for salaries expenses are determined by labor intensity of performed works and the current system of salaries and rates. The salary includes bonus payments that is paid monthly from salary fund and amounts to 20–30% of the rate or the salary.

Vacations during a year should also be considered:

if vacations include 24 working days $M = 11,2$ months, five-day working week;
if vacations include 48 working days $M = 10,4$ months, six-day working week. Where M stands for number of months without vacation during the year.

$F_{\text{д}}$ is the actual annual fund of working hours of scientific and technical personnel working days.

1.7. Extra salaries of contractors

Expenses for extra salaries of contractors comprise costs of extra payments described in the Labor Code of the Russian Federation, such as payments for deviation from normal working conditions and payments related to assurance of guarantees and compensations (performing state and social duties, combining study with work, taking annual leave etc.).

1.8. Overhead expense

Overhead expenses comprise other expenses of the company that were not described in the previous costs items: printing and photocopying of the study materials, payment for communications services, for electricity, post and telegraph expenses, materials multiplication.

Integrating resource efficiency indicator of how the research may be performed is defined by a comparative assessment of the approaches characteristics that are distributed taking into account the weight coefficient of each parameter.

Integrating resource efficiency indicator of the approaches to the development is calculated based on the resource efficiency indicator and integrating financial indicator via the formula.

Further, the integrating efficiency indicators of each approach to the research were compared with integrating efficiency indicators of other approaches in order to determine comparative efficiency of the project.

Comparison of the average integrating indicators of the approaches allowed coming to the conclusion that the first approach (the current project) is the most financially and resource efficient. Our project is more efficient than competitors' ones.

Conclusion

This section includes the analysis of competitive firms' product. The features and technical specifications of the product are studied. Competitors' products are compared with the designed product and a conclusion is made that the designed product will be able to compete on the current stage of the project if it is now brought to market.

The designed reduction drive has a number of advantages in its design and technical characteristics and a lower price is planned to be set. This is possible because of its simple construction and a minimum number of standard purchased details (bearings, coupling etc.).

After fulfilling the goals of the section the following conclusions can be made.

5. As a result of the analysis of competitive technical solutions one of the approaches to implement the research work is to be chosen as the most appropriate and optimal in comparison with other approaches.

6. During the planning stage a work stages schedule was developed for the research supervisor and the engineer. It allows estimating and planning working time of contractors.

7. To estimate costs of the project a project budget has been developed that amounted to 402981.67 rubles.

8. The result of the effectiveness evaluation of the research demonstrates the following conclusions.

- The value of the integrating resource efficiency indicator of the research amounts to 4,65, in comparison to 3,8 and 4,05.
- The value of the integrating efficiency indicator of the research amounts to 5,18 in comparison to 4,18 and 4,05 and it is the highest value. It means that the technical solution considered in the research represents the most efficient approach.

Приложение Б

Частотные характеристики

