

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 мехатронного устройства с кинематическим волновым редуктором и винтовым преобразователем движения

УДК 621.865.8-047.37:621.833.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ71	Санникова Екатерина Васильевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Крауиньш П.Я.	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Исаева Е.С.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель отделения	Клименов В.А.	Профессор, д.т.н.		

Томск – 2019 г.

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 оборудование и инструменты</i> 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</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС ВО (ОПК -4, ПК-2, ПК-3, ПК-13, ПК-14, ПК-18). 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</i> социальных, этических и культурных аспектов, 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
8НМ71	Санниковой Екатерины Васильевны

Тема работы:

Разработка стенда для испытания изделий на устойчивость к воздействию качки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	
Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2019г

<p>ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ</p> <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>Разработка конструктивной схемы мехатронного устройства с кинематическим волновым редуктором передаточным отношением (i) 29 и винтовым преобразователем движения. Провести кинематические и динамические исследования, проанализировать нагрузочную способность профиля зуба и равномерное вращение передачи с использованием виртуальной модели.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>Литературно-патентный обзор мехатронных устройств и конструкций волновых редукторов, описание вариантов компоновочных схем, исследования зацепления с применяемым профилем зуба и динамики конструкции с построением математических моделей.</p>
--	---

<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Компоновочные схемы, графики исследований зубчатого зацепления, математические модели, графики переходного процесса.</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Расчеты и аналитика	Крауиньш Петр Янович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Подопригора Игнат Валерьевич
Социальная ответственность	Исаева Елизавета Сергеевна
Английский язык	Устюжанина Анна Константиновна

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

«Литературно-патентный обзор»

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	1.10.17г
--	----------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ71	СанниковаЕ.В.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ71	Санникова Е.В.

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.05

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	Отчисления во внебюджетные организации принять 28%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Потенциальные потребители результатов исследования. Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ. Оценка готовности проекта к коммерциализации
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Структура работ в рамках научного исследования. Продолжительность этапов работ. Разработка графика проведения научного исследования. Расчет материальных затрат НТИ. Основная заработная плата. Отчисления во внебюджетные фонды. Расчет амортизационных расходов Формирование бюджета затрат научно-технического проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. Сегментирование рынка 2. Оценка конкурентоспособности технических решений 3. Матрица SWOT 4. График проведения и бюджет НТИ 5. Оценка сравнительной эффективности исследования

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Подопригора И.В.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ71	Санникова Е.В.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ71	Санникова Екатерина Васильевна

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.05

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочее место – офисное помещение, стол, стул, ПЭВМ Объектом исследования является 3Д модель мехатронного устройства с волновым редуктором и винтовым преобразователем. В рамках магистерской диссертации проведены виртуальные исследования в программном обеспечении.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: 1. Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; 2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	<ul style="list-style-type: none"> • Организация рабочего места должна удовлетворять требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 • Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) • ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. • ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ Оборудование производственное. Общие эргономические требования. • ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1) Анализ выявленных вредных факторов: <ul style="list-style-type: none"> • Отклонение показателей микроклимата • Превышение уровня шума • Недостаточная освещенность рабочей зоны 2) Анализ выявленных опасных факторов: <ul style="list-style-type: none"> • Электрический ток. Источник-ПЭВМ
3. Экологическая безопасность:	- загрязнение гидросферы применением СОЖ.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	- возможными ЧС при разработке и эксплуатации волнового редуктора является угроза взрыва бомбы, угроза токсического отравления и т.д.; - наиболее типичная ЧС является пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Исаева Е. С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ71	Санникова Екатерина Васильевна		

Реферат

Магистерская диссертация 117 стр., 42 рисунка, 26 таблиц, 26 источников и 2 приложения.

Ключевые слова: мехатронное устройство, волновой редуктор, интерференция, нагрузочная способность, несущая способность.

Объектом исследования является мехатронное устройство с кинематическим волновым редуктором и винтовым преобразователем движения.

Цель работы – разработка конструктивной схемы мехатронного устройства и исследование передачи волнового редуктора.

В процессе работы проведено ознакомление теоретических сведений о зубчатых передачах и существующих конструкций мехатронных устройств и волнового редуктора. Сделан сравнительный анализ волнового редуктора, их достоинств и недостатков. Разработана конструкция мехатронного устройства с кинематическим волновым редуктором и винтовым преобразователем движения в программном обеспечении SolidWorks . Проведено кинематическое исследование на устранение конструктивной интерференции и провели проверку равномерного вращения шестерни. А так же силовое исследование на нагрузочную и несущую способность передачи. Так же сделан расчет на прочность зуба волнового редуктора. Построена математическая модель динамической системы.

В результате исследования предложена модифицированная форма зуба.

Магистерская диссертация выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	11
1. Литературно-патентный обзор.....	12
1.1. Мехатронное устройство.....	12
1.2. Планетарная передача	13
1.3. Волновая передача	16
1.4. Передача Новикова.....	20
1.4.1 Передача Новикова и эвольвентное зацепление. Основные различия.....	20
1.4.2 Технические особенности передачи Новикова.....	21
1.4.3 Область применения передач Новикова.....	22
1.5. Передача Винт-Гайка	23
1.6. Патентный обзор	24
2. Основная часть	27
2.1. Конструктивная схема.....	27
2.2. Устранение конструктивной интерференции	31
2.3. Проверка равномерного вращения.....	35
2.4. Нагрузочная способность передачи	37
2.5. Распределение Пуассона.....	41
2.6. Несущая способность зубьев.....	42
2.7. Математическое моделирование	45
2.8. Прочностной расчет зуба	71
3. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 52	
3.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	52
3.2. Анализ конкурентных технологических решений.....	52
3.3. SWOT-анализ.....	54
3.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	55
3.5. Планирование научно-техническим работ.....	57
3.5.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	57

3.5.2. Продолжительность этапов работ.....	58
3.5.3. Бюджет научного исследования.....	63
3.5.4. Расчет материальных затрат НТИ.....	63
3.5.5. Основная заработная плата исполнителей.....	64
3.5.6. Дополнительная заработная плата исполнителей.....	66
3.5.7. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	66
3.5.8. Расчет затрат на электроэнергию.....	67
3.5.9. Расчет амортизационных расходов.....	68
3.5.10. Накладные расходы.....	69
3.5.11. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	70
3.6. Оценка сравнительной эффективности исследования.....	70
3.7. Заключение.....	72
4. Социальная ответственность.....	73
4.1. Введение.....	73
4.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	73
4.3. Производственная безопасность.....	79
4.3.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов.....	80
4.3.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	85
4.4. Экологическая безопасность.....	89
4.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	95
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ.....	97
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	98
Приложение А	100
Приложение Б	115

ВВЕДЕНИЕ

Мехатроника берет свое начало в 1972 году на японской фирме Yaskawa Electric. Это слово включает в себя сразу два понятия, «механика» и «электроника». Но сейчас мы можем сказать что понятие «мехатроника» включает в себя еще одно понятие, «программное управление». Под «механикой» понимается силовая кинематика, под «электроникой» понимается электропривод и управляющая электроника.

В современном мире мехатронные устройства должны иметь высокую точность позиционирования, передавать больше усилий, быть устойчивыми к нагрузкам. И с такими требованиями вполне справляется мехатронное устройство на базе волнового редуктора, являющиеся предметом исследования в данной магистерской диссертации.

Волновому редуктору положил начало американский инженер Кларенс Уолтон Массер в 1956 году. А в 1954 году в процессе развития и желания получить новые возможности в зубчатом зацеплении, была создана новая геометрия зуба советским инженером М. Л. Новиковым.

Использование профилированной формы зуба в волновом редукторе усовершенствовало его характеристики.

В данной работе проведем исследование мехатронного устройства с кинематическим волновым редуктором и винтовым преобразователем движения в режиме малогабаритного штампа/ домкрата на сборочной автоматической линии.

В ходе кинематических и динамических исследований зубчатого зацепления с профилированным зубом, сделаем выводы о надежности формы зуба, нагрузочной способности и равномерного вращения механизма, используя программу SolidWorks.

1. ЛИТЕРАТУРНО - ПАТЕНТНЫЙ ОБЗОР

1.1 Мехатронное устройство

Мехатронное устройство - устройство, построенное на принципах синергетической интеграции элементов различной физической природы и предназначенное для осуществления управляемых функциональных движений его выходных звеньев.

В зависимости от уровня интеграции элементов мехатронного устройства и его функционального назначения различают:

- мехатронные модули;
- мехатронные машины;
- мехатронные системы;
- мехатронные комплексы.

Мехатронный модуль – это функционально и конструктивно самостоятельное изделие, построенное с взаимопроникновением и синергетической аппаратно-программной интеграцией составляющих его элементов, имеющих различную физическую природу, и предназначенное для реализации требуемого управляемого функционального движения его выходного звена [6].

Мехатронное устройство обладает следующими характерными признаками:

1. Наличие выходного механического звена (далее ВМЗ), выполняющего внешние функции мехатронного устройства; силового электромеханического привода выходного звена; устройства программного управления приводом; информационной системы, контролирующей состояние окружающей среды или состояние самого мехатронного устройства.

2. Минимум преобразований информации и энергии (например, использование высокомоментных или линейных двигателей без редукторов) – принцип минимума преобразований.

3. Использование одного и того же элемента мехатронного устройства для реализации нескольких функций – принцип совмещения функций.

4. Объединение корпусов мехатронного устройства – принцип совмещения корпусов.

5. Применение сверхплотного монтажа элементов.

Примерами современных мехатронных устройств являются модули станков и промышленных роботов, устройства внешней памяти компьютеров, принтеры, бытовая техника и т. п. Мехатронное устройство может быть либо машиной, либо узлом (функциональный элемент, модуль) машины [8].

И так как проектируемое мехатронное устройство будет включать в себя редуктор с внутренним зацеплением, проведем обзор имеющихся видов редукторов.

1.2 Планетарная передача

Планетарными зубчатыми передачами называются передачи, имеющие зубчатые колеса с перемещающимися осями [2, 3]. Звенья с неподвижными осями вращения называются основными звеньями, звенья с перемещающимися осями – сателлитами. Существует множество конструктивных схем планетарных передач. При их обозначениях указываются основные звенья: центральные колеса буквой «к», а водило буквой «h».

Например, $2k-h$ обозначает конструктивную схему, содержащую солнечное и коронное колеса и водило, а $3k$ – конструктивную схему, содержащую солнечное колесо, неподвижное и подвижное коронные колеса. Зубчатые колеса-сателлиты в обозначениях не указываются. Рассмотрим сначала самую простую и широко применяемую передачу $2k-h$ (рис. 1, а, б). Если закрепить коронное колесо b , то движение можно передавать от солнечного колеса a к водилу h или от h к a . Если закрепить солнечное

колесо *a*, то движение можно передавать от коронного колеса *b* к водилу *h* или от *h* к *b*.

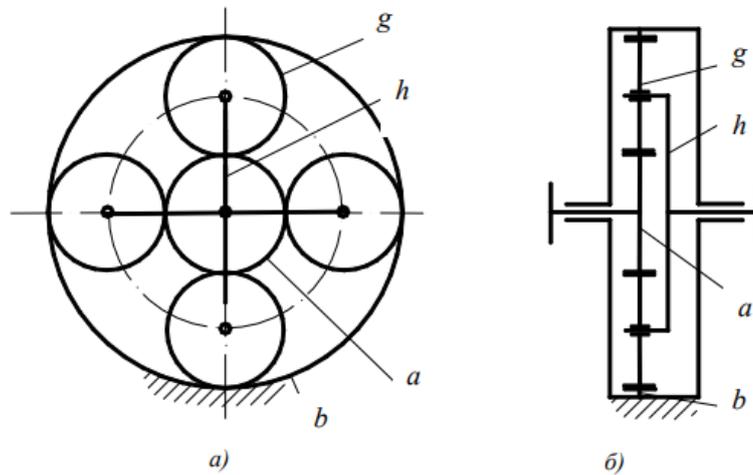


Рис. 1 Планетарная передача

а) Схема 2к-*h*, б) Схема 3к-*h*.

Если же оставить все звенья свободными, то вместо механизма с одной степенью свободы получаем механизм с двумя степенями свободы, то есть дифференциальный механизм. С помощью дифференциального механизма движения двух звеньев можно складывать или движение одного звена можно раскладывать на движения двух других звеньев.

Конструкция планетарного редуктора 2к-*h* представлена на рис.2 а, б.

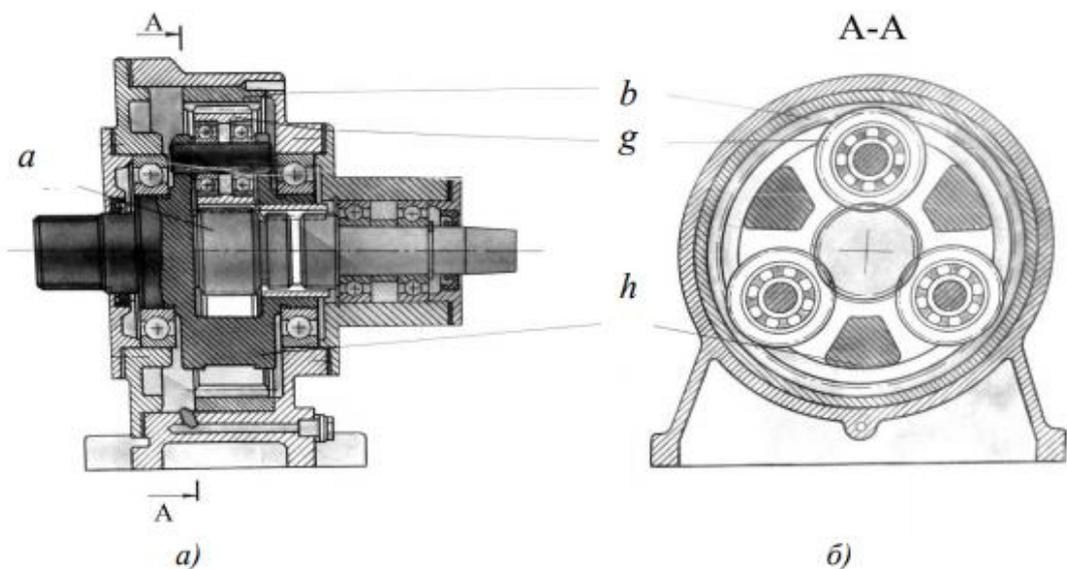


Рис.2 Конструкция планетарного редуктора 2к-*h*.

Достоинства планетарных передач:

1. Широкие кинематические возможности, поскольку планетарная передача может выполнять функции редуктора с постоянным передаточным отношением (например, при закреплённом коронном колесе), коробки скоростей при последовательном закреплении различных основных звеньев, дифференциального механизма для сложения и вычитания движений.

2. Габаритные размеры и масса редукторов на базе планетарных передач могут быть в 2 – 4 раза меньше габаритных размеров и массы обыкновенных зубчатых редукторов.

Уменьшение габаритных размеров и массы объясняется следующими особенностями:

а) многопоточностью – мощность передается от входного звена к выходному несколькими параллельными потоками, число которых равно числу сателлитов (например, при четырех сателлитах нагрузка в зубчатом зацеплении каждого сателлита в среднем в четыре раза меньше, чем в зубчатом сопряжении обыкновенной однопоточной передачи, что позволяет уменьшить диаметры солнечного колеса и сателлитов);

б) конструктивная схема планетарной передачи представляет собой симметричную конструкцию и вследствие этой симметричности составляющие нагрузки в зубчатых зацеплениях взаимно уравновешиваются и практически не передаются на подшипники основных звеньев, поэтому эти подшипники могут выполняться малых типоразмеров;

в) в планетарных передачах без солнечного колеса внутреннее зацепление сателлитов и коронного колеса обеспечивает приведенный радиус кривизны внутреннего зацепления больший, чем у аналогичного внешнего зацепления обыкновенной передачи [1].

1.3 Волновая передача

Одной из сравнительно новых механических передач с внутренним зацеплением является волновая зубчатая передача далее ВЗП, основанная на принципе волнового деформирования одного из звеньев - тонкостенного зубчатого колеса.

Ряд положительных качеств передачи, в первую очередь - большое передаточное отношение, привлекли интерес конструкторов многих областей техники, в частности авиационной и космической.

Волновая механическая передача основана на принципе передачи и преобразования движения путем волнового деформирования одного из звеньев механизма. Обладая рядом положительных качеств, волновая передача получила широкое признание и распространение.

Схема одного из простых вариантов волновой передачи изображена на рис. 3. Передача состоит из трех кинематических звеньев: гибкого колеса g , жесткого колеса b и генератора волн деформации h . Гибкое колесо выполнено в виде кольца, переходящего в гибкий цилиндр. При этом кинематическим звеном является гибкое кольцо, а гибкий цилиндр выполняет роль упругой связи деформируемого кольца с другим жестким недеформируемым элементом передачи, например с ведомым валом или с корпусом. В рассмотренной выше схеме передачи гибкое колесо соединяется с валом с помощью гибкого цилиндра. Длина гибкого цилиндра обычно значительно больше ширины зубчатого венца и определяет осевой габарит передачи. Кроме того, именно эта часть гибкого колеса затрудняет его изготовление.

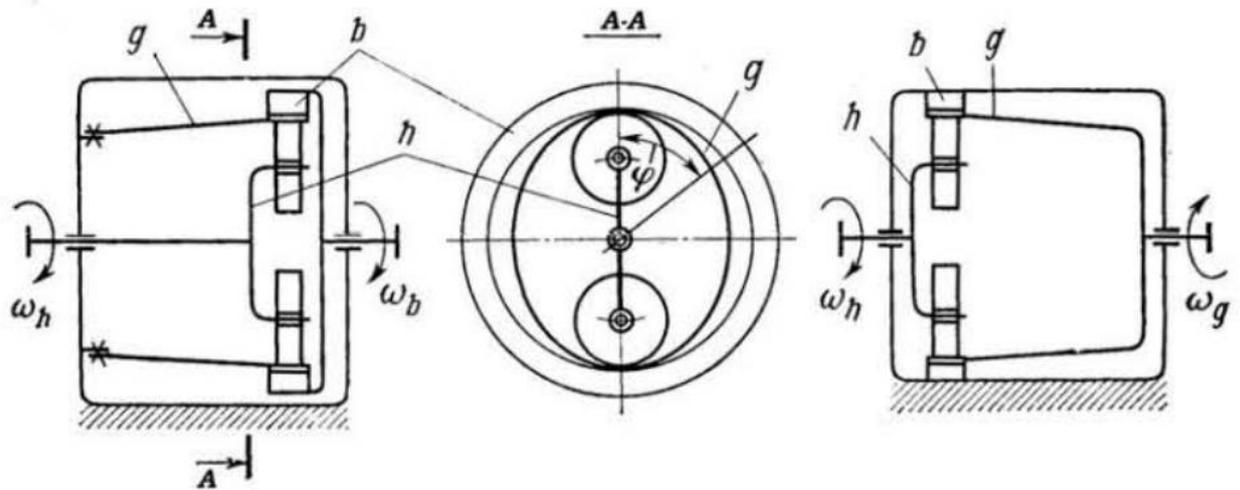


Рис.3 Волновая передача.

Первые попытки решить вопросы, связанные с разработкой, изготовлением и эксплуатацией редукторов на базе волновых зубчатых передач, были связаны с большими затратами. Циклические знакопеременные нагрузки на тонкостенное зубчатое колесо и на наружное кольцо гибкого подшипника генератора при обычной технологии их изготовления приводили к поломкам этих деталей, т. е. ресурс и надёжность передач были низкими.

Бурное развитие робототехники в США, Японии, Южной Корее и в других странах потребовало создания целой гаммы исполнительных механизмов, включающих малогабаритные приводы с редукторами. Новые технологии в материаловедении, термообработке, обработке металлов и исследования по расчёту и разработке ВЗП позволили решить задачу применения в робототехнике волновых передач в редукторах приводов исполнительных механизмов. На рис.4 представлена изготовленная в Японии передача, которая используется в приводах исполнительных механизмов автоматической линии.



Рис.4 Волновая передача с гибким колесом.

Одновременно с исследованиями ВЗП в мире постоянно ведется поиск передач, которые обладали бы их положительными качествами, но имели бы более высокие ресурс и надёжность. Одной из них является волновая передача с промежуточными телами (ВППТ). Её отличительной особенностью является замена тонкостенного зубчатого колеса на составное колесо, состоящее из обоймы, в радиальных пазах которой размещены промежуточные тела, контактирующие под действием генератора с зубьями жёсткого колеса.

В качестве промежуточных тел использовались разнообразные детали: плунжеры толкатели, витки змеевидной пружины, тела вращения (шарики и ролики) и др.



Рис.5 Волновая зубчатая передача с промежуточными телами качения.

Использование в качестве промежуточных тел качения шариков или роликов позволяет получить высокую твёрдость рабочих поверхностей в точках контакта этих тел с рабочими поверхностями жёсткого колеса. На рис.6 представлена первая ступень редуктора привода вращения рамок карданова подвеса электромеханического исполнительного органа системы ориентации и стабилизации КА. Она представляет собой волновую зубчатую передачу с промежуточными телами качения (ВППТК) [4].

Волновая передача шариковая (роликовая) содержит четыре основных элемента: волнообразователь, сепаратор, тела качения и жесткое колесо. Волнообразователь является ведущим звеном передачи, в то время как ведомым может выступать жесткое колесо (при остановленном сепараторе) или сепаратор (при остановленном жестком колесе). Жесткое колесо располагается снаружи сепаратора(рис. 6а) или внутри него (рис. 6б) [5].

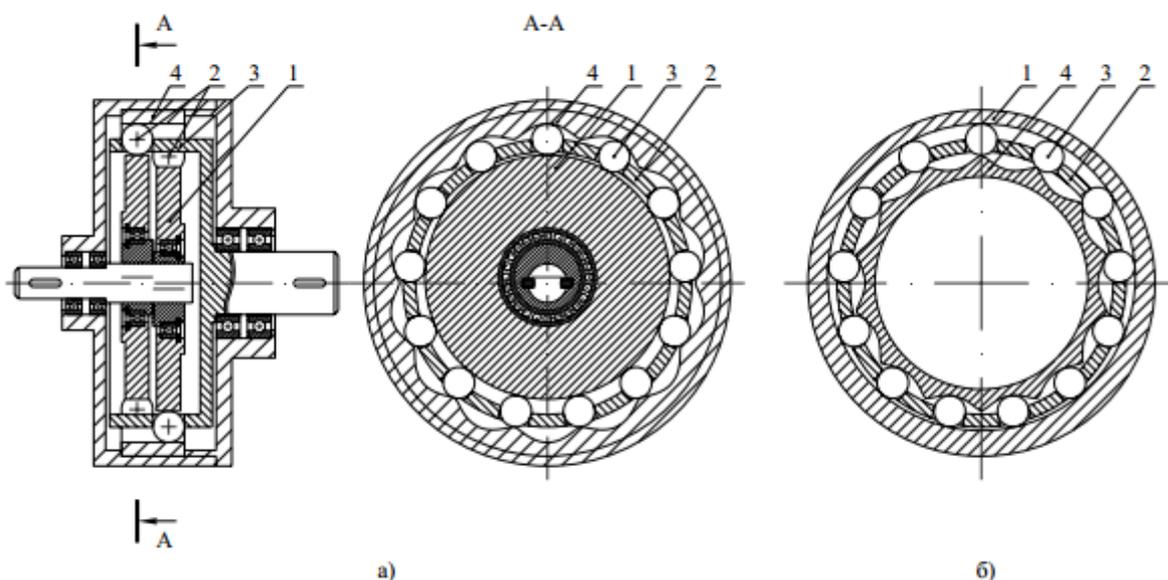


Рис.6 Конструктивная схема волновой передачи

а) с наружным расположением жесткого колеса,

б) с внутренним расположением жесткого колеса.

1 – волнообразователь, 2 – сепаратор, 3 – тела качения, 4 – жесткое колесо.

Важное место в расчётах волновых передач с гибким зубчатым колесом и с промежуточной змеевидной пружиной занимает выбор профилей зубьев [4].

1.4 Передача Новикова

1.4.1 Передача Новикова и эвольвентное зацепление. Основные различия

Наиболее распространенный и широко применяемый эвольвентный профиль получил свою известность благодаря высокой технологичности их производства и заметным эксплуатационным преимуществам перед зубчатыми передачами с иными профилями зубьев. К ключевым их достоинствам можно отнести то, что передаточное число и правильность зацепления остаются неизменными, независимо от изменений в межосевом расстоянии, а также то, что эвольвентное зацепление может быть применено в сменных колесах.

Однако зубчатые передачи, цилиндрические или конические, планетарные или волновые, имеющие эвольвентный профиль, обладают рядом существенных недостатков: высокими потерями на трение, заметной чувствительностью к перекосам и значительными контактными напряжениями в зубьях. Это ограничивает возможность передачи больших вращающих моментов.

Главным конкурентным преимуществом новиковского зацепления является значительно более высокая нагрузочная способность.

Если твердость рабочей поверхности зубьев не превышает HB 350, то, при прочих равных параметрах передача Новикова обеспечивает прием нагрузки, примерно в 2,5 раза превышающей допускаемую для эвольвентной передачи. Благодаря этому, при равной передаваемой мощности передача Новикова имеет практически в 2 раза меньшие габариты.

Профили зубьев в зацеплении Новикова позволяют применять более высокие передаточные числа, а отлично удерживающаяся между контактирующими элементами смазочная пленка увеличивает срок службы зубьев и повышает КПД передачи (потери на трение в новиковском

зацеплении примерно в 2 раза ниже, чем в передачах с эвольвентный профилем зубьев).

Благодаря точечному контакту зубьев передача Новикова не столь чувствительна к погрешностям при монтаже и перекосам.

Но и зацепление Новикова также имеет свои проблемные места:

- заметная чувствительность и зависимость от изменения межосевого расстояния;
- при возрастании нагрузки отмечается существенное увеличение осевой составляющей, а это приводит к усложнению конструкции узлов опорных подшипников;
- при изготовлении передачи с одной линией зацепления необходимо наличие двух специальных фрез (одна для нарезки зубьев колеса, а вторая - шестерни).

Многие ученые сходятся во мнении, что оба вида передач еще имеют значительный потенциал для совершенствования и вполне могут еще долгие годы сосуществовать в машиностроении.

1.4.2 Технические особенности передачи Новикова

Основной задачей, стоявшей перед конструкторами, работавшими над модификацией зубчатых передач, было увеличение несущей способности последних. Разработанный М.Л. Новиковым оригинальный вариант сопряжения поверхностей зубьев стал настоящим прорывом в области машиностроения.

Идея Новикова заключалась в том, чтобы заменить линейный контакт поверхностей зубьев точечным. Соответственно, такой подход позволил изменить и вид профилей зубьев, наблюдаемый в торцевом сечении: вместо взаимогогибаемых кривых Новиков использовал зубья, очерченные окружностями радиусов, имеющими минимальную разность кривизны. Один из профилей при этом обычно выполняют выпуклым, а второй, соответственно, вогнутым.

Однако в отдельных случаях зубья шестерни и колеса могут иметь и иной профиль, как показано на рис.7 :



Рис.7 Формы зубьев передачи Новикова.

Совмещение подобных профилей зубьев позволяет добиться того, что площадка их контакта смещается в процессе работы вдоль профиля, а не располагается непосредственно по всей его линии. При этом неизменными остаются как скорость перемещения, так создаваемый угол давления.

Первоначально Новиковым был создан вид зацепления лишь с одной линией зацепления, который, в зависимости от того, где в какой из точек происходил контакт, мог быть либо «дополюсным», либо «заполюсным». Однако наилучшими эксплуатационными характеристиками (большей нагрузочной способностью и технологичностью, меньшей шумностью и чувствительностью к осевым смещениям) обладает созданная впоследствии передача, имеющая две линии зацепления (дозаполюсное зацепление). В этом варианте ножки каждого из колес выполнены вогнутыми, а головки - выпуклыми. Помимо преимуществ в эксплуатации, достоинство дозаполюсного зацепления в том, что нарезку зубьев на шестерне и колесе возможно осуществлять одним инструментом. Это упрощает технологию работ и повышает их точность.

1.4.3 Область применения передач Новикова

Как это нередко случалось в истории мировой промышленности, изобретение, нашедшее широкое распространение в народном хозяйстве, первоначально предназначалось для нужд военно-промышленного комплекса. Хотя специализацией М.Л. Новикова являлись авиационные двигатели, разработанная им система зацепления (на Западе ее нередко, и

совершенно необоснованно, называют системой Вильбагера-Новикова) помогла решить многие проблемы при проектировании мощных тихоходных тяжеловесных агрегатов - таких, как танки, тягачи, трактора и т.п.

Наибольшее распространение зацепление Новикова нашло в общем редукторостроении, преимущественно именно в СССР и в образовавшихся впоследствии постсоветских государствах. Однако в целом производство редукторов, в которых использовалась передача Новикова, в 60-70-х годах минувшего века было налажено в 49 странах мира [7].

1.5 Передача Винт-гайка

Передача винт-гайка в основном предназначена для преобразования вращательного движения в поступательное. В передаче используют пары винт – гайка скольжения (рис. 8а) или качения (рис. 8б) .

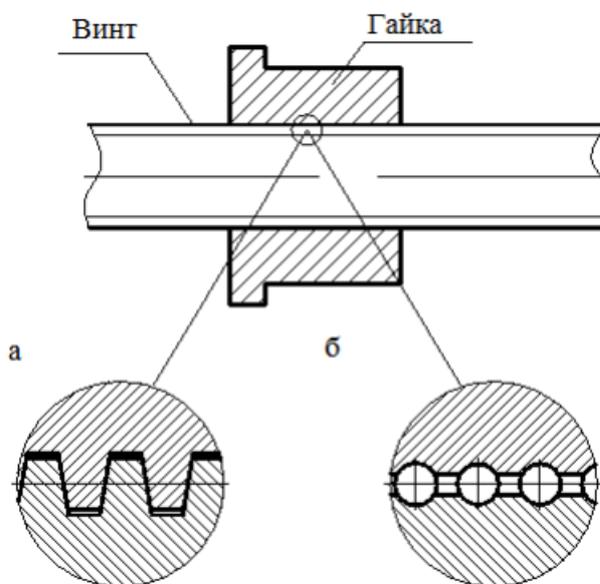


Рис.8 Передача винт-гайка: а-скольжения; б-качения.

Винтовые передачи можно разделить на следующие основные группы: ходовые винты для преобразования вращательного движения в поступательное; грузовые винты для перемещения грузов и передачи усилий; установочные винты, применяемые для фиксации деталей в машинах и механизмах.

Область применения передач винт-гайка достаточно обширна – от точных измерительных приборов (механизмы делительных устройств) до

тяжелонагруженных нажимных устройств прокатных станов. Винтовые передачи используются в винтовых домкратах и прессах, съемниках, различного типа стяжках, натяжных и прижимных приспособлениях, зажимных устройствах, механизмах подачи станков и т.п. По схеме исполнения и конструктивным решениям передачи винт-гайка весьма разнообразны. В подавляющем большинстве конструкций гайка неподвижная, а винт совершает вращательное и поступательное движение, но встречаются винтовые передачи, в которых вращается гайка, а винт совершает лишь поступательное движение (некоторые домкраты и прижимы, механизмы изменения вылета кранов и др.). Достоинствами передачи винт-гайка являются возможность получения медленного поступательного движения при относительно больших частотах вращения; значительный выигрыш в силе; высокая точность перемещения; простота конструкции; малые габариты; возможность обеспечения самоторможения. К недостаткам передачи скольжения относятся большие потери на трение и соответственно сравнительно низкий КПД. Передачи качения лишены этого недостатка, но их конструкция сложнее, а стоимость выше.

Профиль резьбы в передачах скольжения выбирают в зависимости от требований к точности перемещений, КПД и технологичности. С целью повышения КПД в передачах винт-гайка скольжения используют резьбы, имеющие пониженный приведенный коэффициент трения.

Метрическую (треугольную) резьбу используют в передачах приборов и измерительных машин, где требуются малые перемещения с высокой точностью, а КПД не имеет существенного значения [11].

1.6. Патентный обзор

Прецессионная передача, выполненная в виде редуктора, содержит корпус поз.1, в котором с помощью подшипников поз.2 и поз.3, соответственно размещены входной вал поз.4 и соосный ему выходной вал

поз.5, при этом внутренний конец выходного вала поз.5 размещен в расточке входного вала поз.4 с помощью подшипника поз.6. На входном валу поз.4 выполнен генератор волн прецессионного движения поз.7, в виде косоугольного кривошипа, на который с помощью подшипника поз.8 посажено ведущее колесо поз.9 с внутренним цилиндрическим зубчатым венцом. На ступице ведущего колеса 9 жестко закреплен цилиндрический палец поз.10, ось которого перпендикулярна оси вращения ведущего колеса поз.9, а свободный конец пальца поз.10 размещен в продольном, относительно оси входного вала, пазу поз.11, выполненном в корпусе поз.1 передачи. Ведущее колесо поз.9 зацепляется с ведомым колесом поз.12, имеющим внешний цилиндрический зубчатый венец и посаженным с помощью универсального шарнира поз.13 на выходной вал поз.5. Ступицы ведущего поз.9 и ведомого поз.12 зубчатых колес дополнительно связаны между собой с помощью упорного шарикоподшипника поз.14, для этого на одной из ступиц этих колес выполнена дорожка качения.

Передача работает следующим образом.

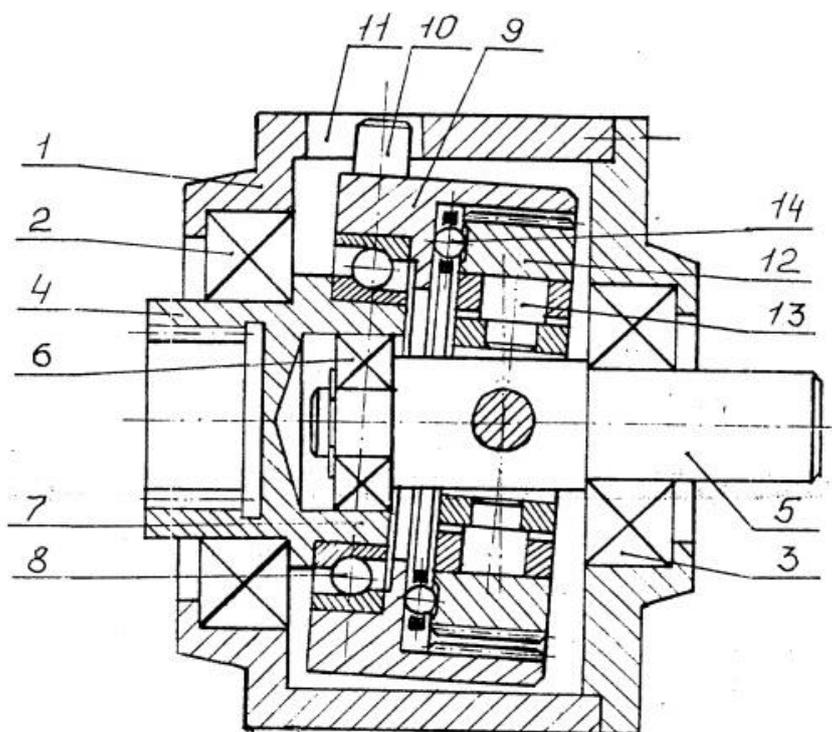


Рис. 9 Прецессионная передача.

При вращении входного вала поз.4 вращается выполненный на нем генератор волн прецессионного движения 7, сообщая через подшипник поз.8 ведущему колесу поз.9, заторможенному на корпусе поз.1 от вращения с помощью пальца поз.10, входящего в паз поз.11 корпуса поз.1, прецессионное движение. В свою очередь ведущее колесо поз.9, взаимодействуя с ведомым колесом поз.12 в зубчатом зацеплении, а также дополнительно через подшипник поз.14, сообщает колесу поз.12, синхронное своему движению, прецессионное движение. При этом плоскость максимального угла наклона ступиц ведущего поз.9 и ведомого поз.12 зубчатых колес относительно оси входного вала поз.4, в которой осуществляется зацепление зубьев, также "вращается". Волна взаимного зацепления зубьев колес поз.9 и поз.12 движется по окружности их зубчатых венцов и все зубья ведущего поз.9 и ведомого поз.12 зубчатых колес последовательно входят в зацепление друг с другом. Вследствие разности в количестве зубьев ведущего поз.9 и ведомого поз.12 зубчатых колес, за один оборот входного вала поз.4 ведомое колесо поз.12 повернется относительно ведущего колеса 9 на угол соответствующий этой разности. Т. к. ведущее колесо поз.9 заторможено от вращения на корпусе поз.1 передачи, а ведомое колесо поз.12 заторможено от вращения с помощью универсального шарнира поз.13 на выходном валу поз.5. То за один оборот входного вала 4 выходной вал 5 повернется относительно корпуса поз.1 передачи также на угол, соответствующий разности зубьев ведущего поз.9 и ведомого поз.12 зубчатых колес. Таким образом передаточное отношение такой передачи равно:

$$R = \left| \frac{z_1}{z_2 - z_1} \right| ,$$

где Z_1 и Z_2 соответственно, количество зубьев ведомого поз.12 и ведущего поз.9 зубчатых колес [12].

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Конструктивная схема

Мехатронное устройство с кинематическим волновым редуктором и винтовым преобразователем движение представляет собой компактный малогабаритный механизм, который будет эксплуатироваться на автоматической линии для запрессовки деталей в собираемые изделия в роли штампа/домкрата. Мехатронное устройство состоит из шагового двигателя 15, понижающего волнового редуктора и выходного звена (рис.10).

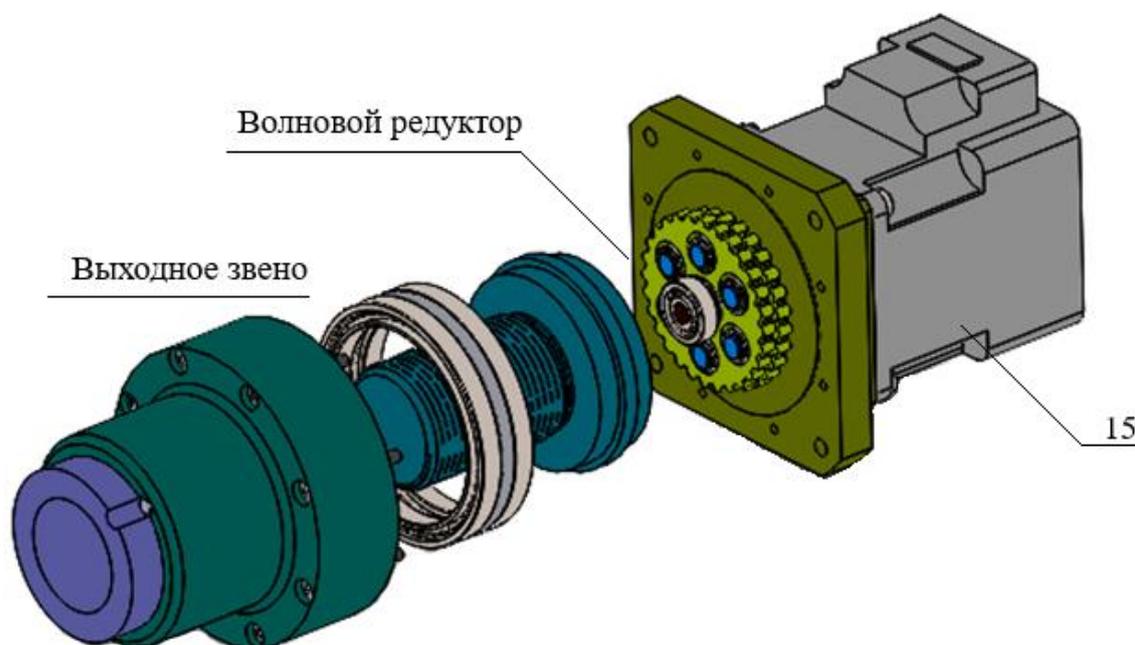


Рис.10 Мехатронное устройство.

Выходное звено спроектировано так что его элементы находятся под одним корпусом 5 вместе с волновым редуктором и представляет из себя винт 11 с заданной силовой резьбой и гайку 6. К выходному концу гайки может быть прикреплен соответствующий пуансон. Осевое перемещение винта исключается путем установки винта на два радиально упорных подшипника 12 (рис.11). А угловое смещение гайки предотвращает шпонка 14.

Винт 11 является цельной деталью и также несет роль колеса в волновом редукторе.

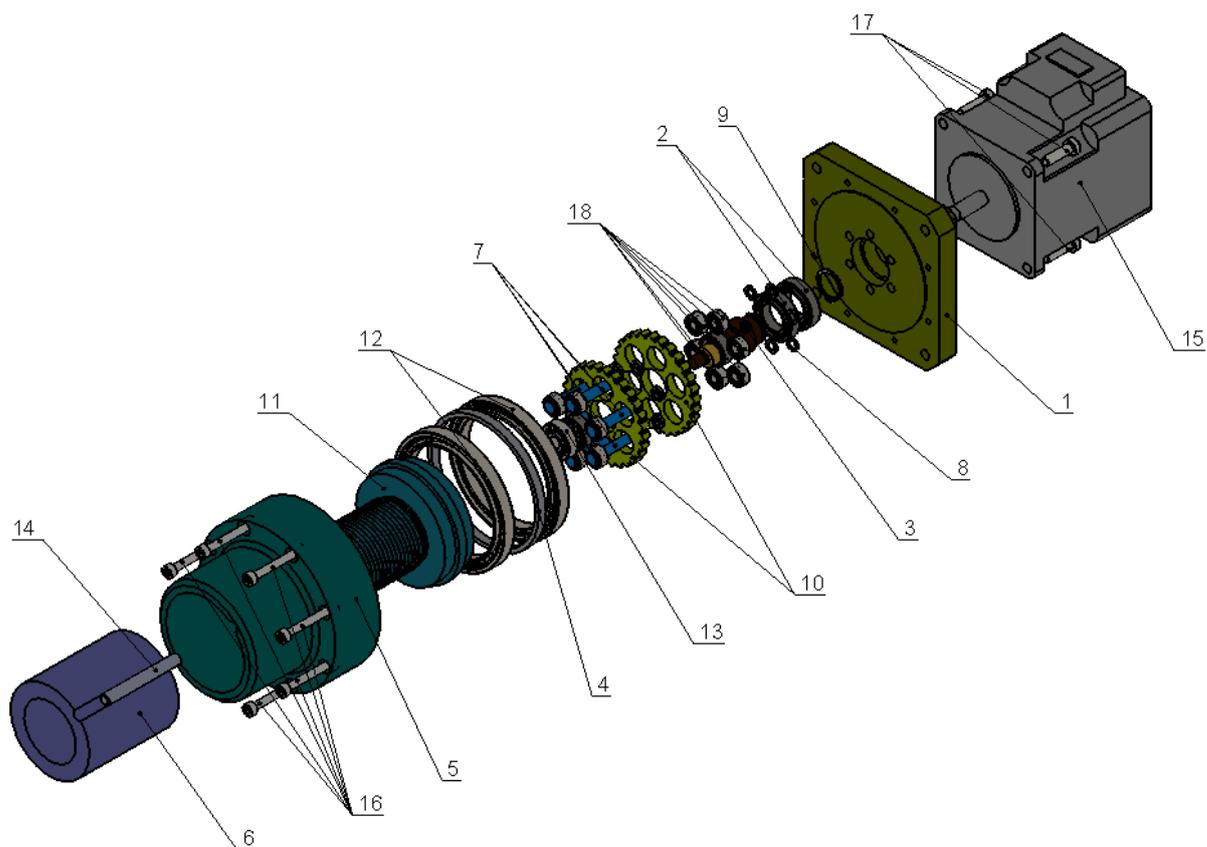


Рис.11 Вид с разнесением элементов.

В корпусе на гайке установлен датчик начального положения гайки 0. Это положение сохраняется в памяти контроллера и если передача винт-гайка выполнено с минимально допустимым смещением винта, то с помощью шагового двигателя можно обеспечивать высокую точность фиксации положения рабочего пуансона по осевой координате.

Рассмотрим более подробно конструкцию волнового редуктора, совмещенного с передачей винт-гайка (рис12).

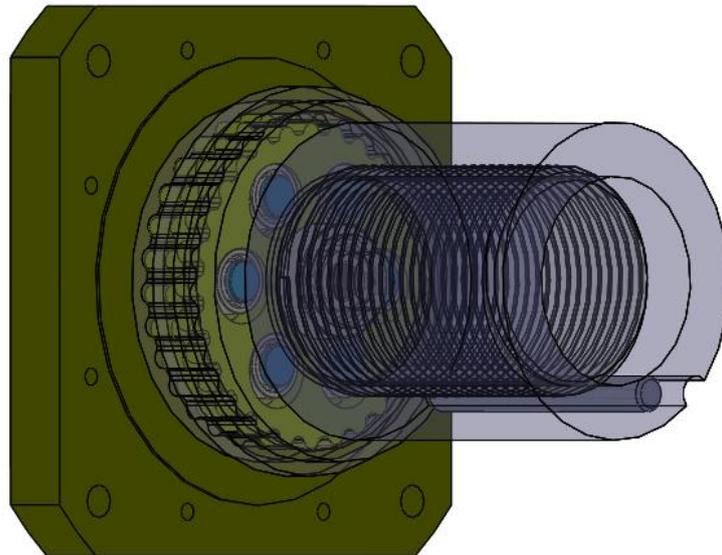


Рис.12 Вид волнового редуктора, совмещенного с выходным звеном.

Входной вал-эксцентрик 3 соединенный с валом двигателя и передает движение двум шестерням 10 которые установлены на шести пальцах 7 (рис13).

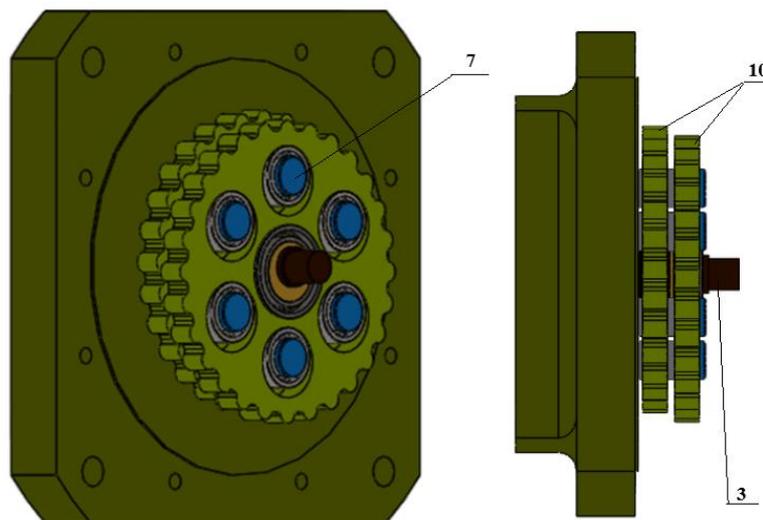


Рис.13 Конструкция волнового редуктора.

Так как для данного габарита редуктора и передаваемой им мощности, шестерни имеют малые по размеру зубья, то эксцентриситет входного вала мал. Схема движения одной из шестерни показано на рис.14, на котором видно, что пальцы в рабочем положении относительно шестерни смещены на величину эксцентриситета e .

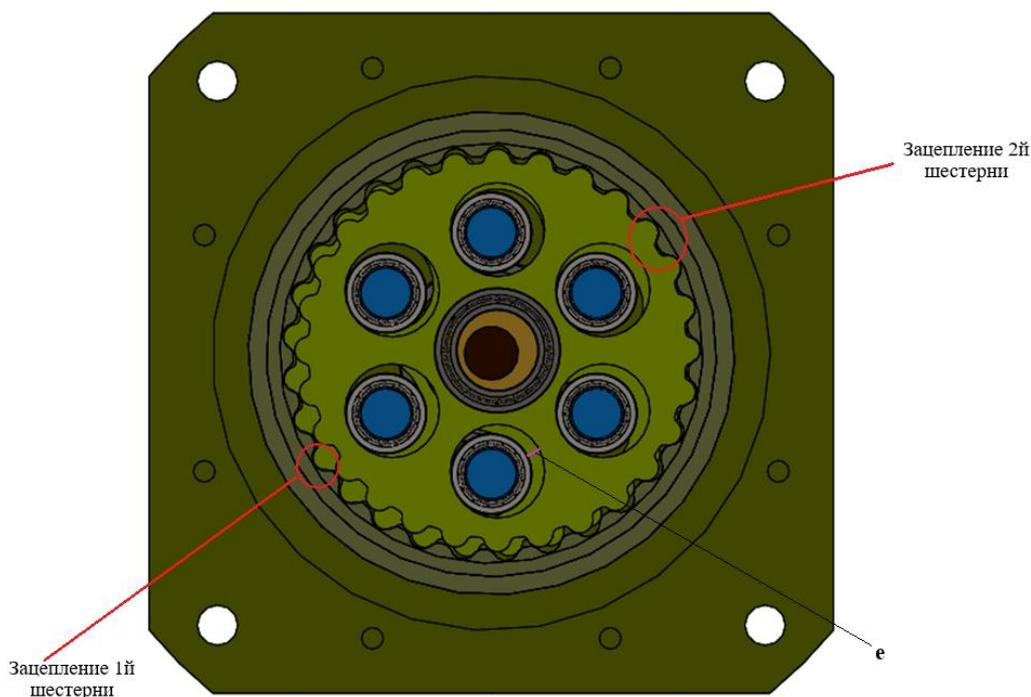


Рис. 14 Зацепление.

При вращении входного вала - эксцентрика 3 через подшипники 2 и 18 передается движение шестерни, которая совершает круговое сканирующее движение по зубьям колеса. Вторая шестерня смещена в противоположную сторону относительно первой шестерни на эксцентриситет. Т.е. она находится в противофазе, совершая такое же сканирующее круговое движение.

Число зубьев колеса выполнено на один зуб больше зубьев шестерни, тогда за один полный оборот входного вала, колесо поворачивается на один зуб. Передаточное отношение такого кинематического волнового редуктора определяется следующей формулой:

$$i = \frac{z_2}{z_2 - z_1} = \frac{29}{29 - 28} = 29; \quad (1)$$

Благодаря специальной форме профиля зуба разницу числа зубьев колеса и шестерни возможно получить равной единице. Что позволяет получить максимально возможное передаточное отношение в требуемых габаритах.

Так как в исследуемом мехатронном устройстве кинематический волновой редуктор занимает главную роль, проведем исследование помогающие проверить кинематику и слабые стороны.

2.2 Устранение конструктивной интерференции

Проектируемый волновой кинематический редуктор с профилированным зубом не сможет входить в зацепление и совершать полноценную передачу движения, так как зубья будут врезаться своими острыми кромками друг в друга и даже может возникнуть перекрытие зубьев. Для этого необходимо усовершенствовать передачу и избавиться от конструктивной интерференции.

Для этого в программе SolidWorks создадим твердотельную сборочную модель волнового редуктора рис.15 и проведем исследование.

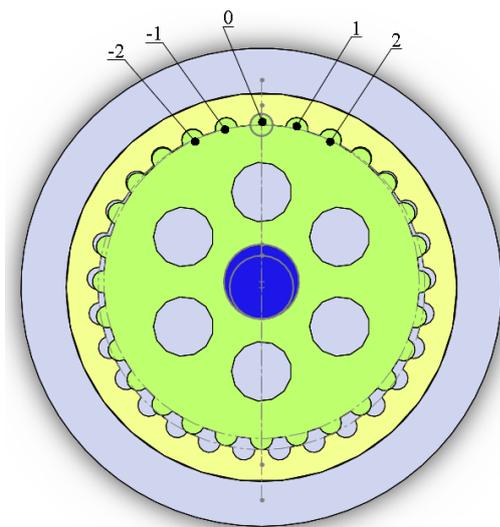


Рис.15 Сборочная модель для исследования.

Эксперименты по устранению конструктивной интерференции волнового кинематического редуктора проводились не однократно. Для этого подрезают колесо создавая радиальный зазор в зацеплении и скругляют острые кромки зубьев колеса.

Поэтому применительно к своей разработанной конструкции хотелось бы показать, как будет меняться интерференция при разных показателях.

На рис. 16 показана интерференция в «0» положении зацепления волнового редуктора до модификаций, где мы собственно можем увидеть те области, в которых идет врезание зубьев.

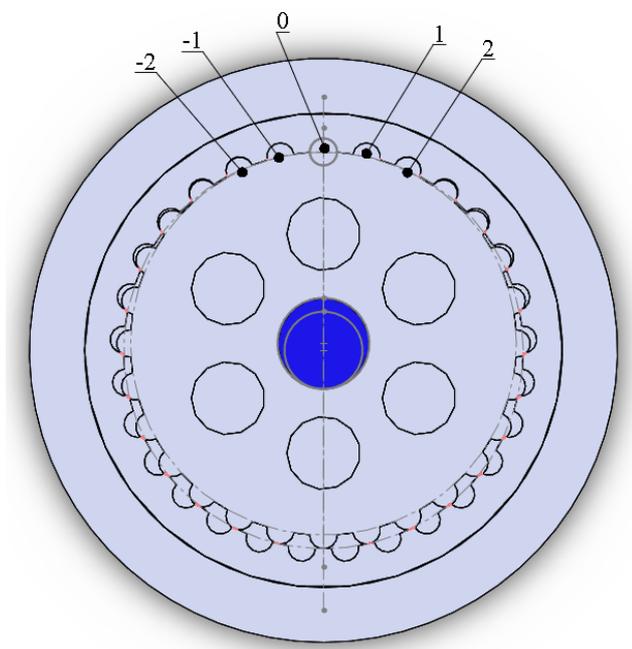


Рис. 16 Проверка интерференции в «0» положении.

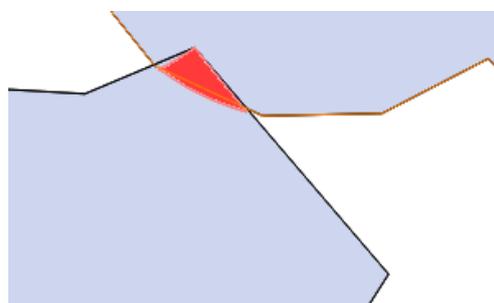


Рис. 17 Увеличенный фрагмент врезания.

ГОСТ 15023-76 регламентируется радиальный зазор $\Delta=0,1-0,2$ мм между зубьями для попадания туда смазки. Выявим зависимость между зазором и скруглением острых кромок ножки колеса. И для этого будем вносить значения максимальной интерференции в табл.1.

Радиус скругления острых кромок колеса будем изменять в диапазоне:

$$R_1=(0,4 \dots 0,5)*r=0,4*1,5=0,6 \dots 0,75 \text{ мм} \quad (2)$$

где r -радиус зуба.

Таблица 1 – Устранение нежелательной конструктивной интерференции.

Мак. интерференция, мм ³		Радиус скругления, мм				
		0	0,6	0,65	0,7	0,75
Радиальный зазор, мм	0	0,64	0,25	0,21	0,17	0,14
	0,1	0,29	0,0013	0	0	0
	0,15	0,17	0	0	0	0
	0,2	0,09	0	0	0	0

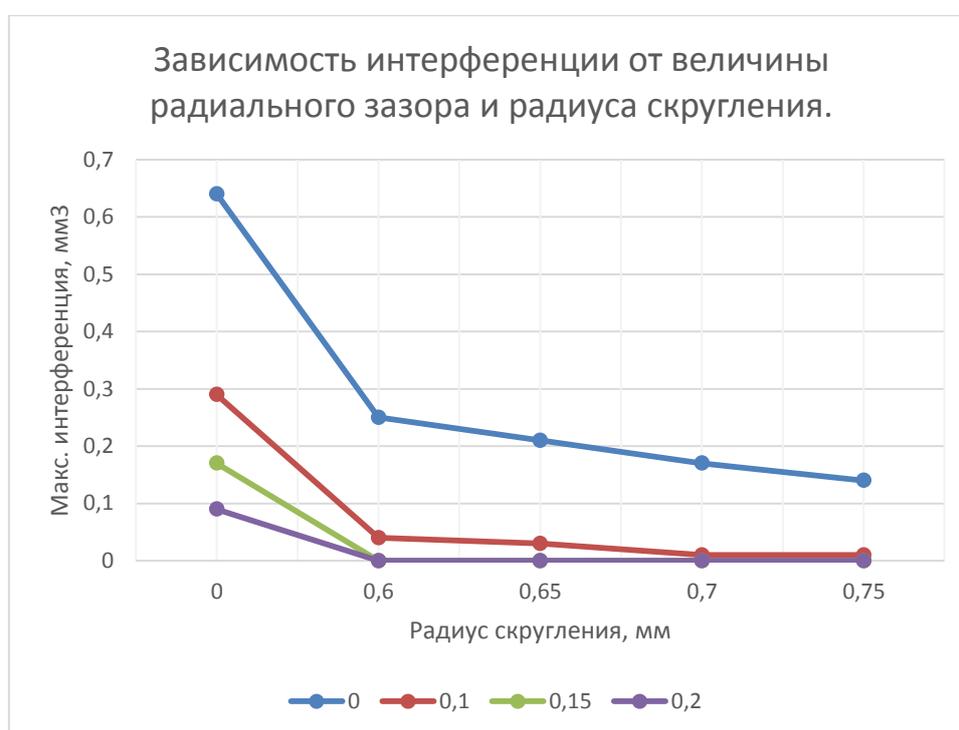


Рис.18 График зависимости интерференции от величины радиального зазора и радиуса скругления.

По графики видно что первое нулевое значение интерференции получается при подрезки зуба на 0,15 мм и радиусе скругления 0,6мм. После определения оптимальных параметров проведем подрезку скругления по хорде рис.19 для того чтобы повысить технологичность и исключить врезания зубьев при нагрузки.

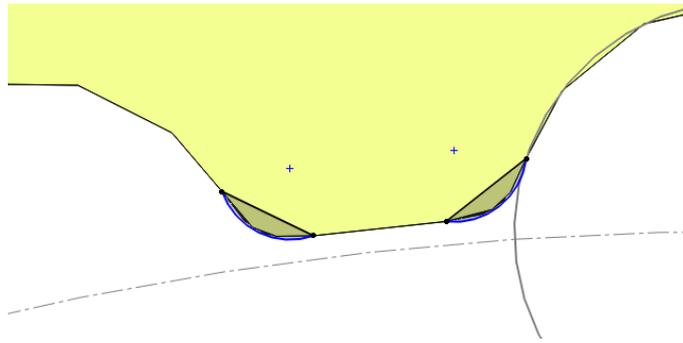


Рис. Эскиз подрезки скругления по хорде.

Для избавления от концентраторов напряжения сделаем скругление у основания ножки шестерни $R_2=0,6$.

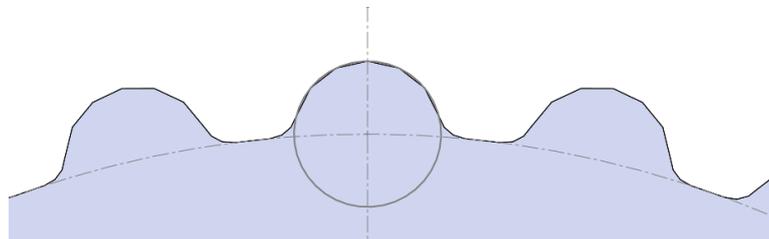


Рис.20 Скругление шестерни.

Проверив интерференцию после изменения всех параметров зацепления мы можем убедиться что конструктивная интерференция отсутствует.

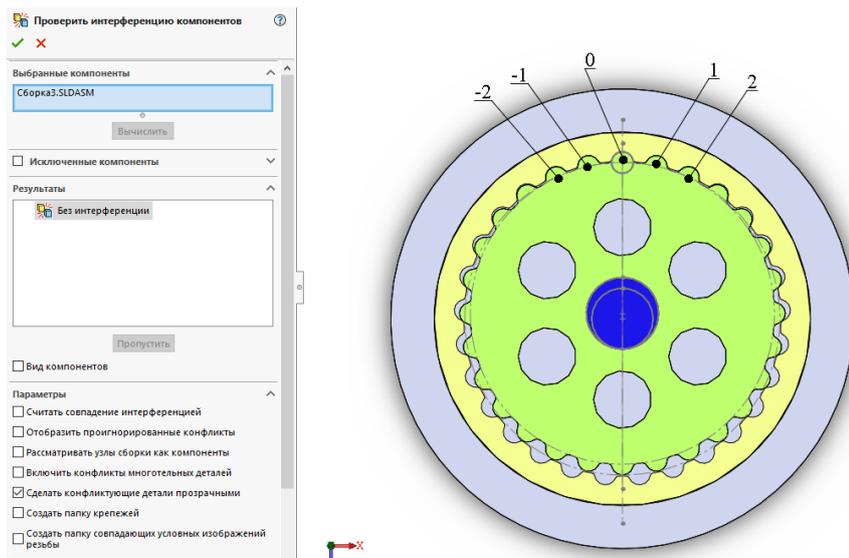


Рис. 21 Устранение нежелательной конструктивной интерференции.

2.3 Проверка равномерного вращения

После устранения конструктивной интерференции в «0» паре зацепления, проведем исследование на равномерное вращение. В ходе этого исследования необходимо выяснить, будет ли возникать интерференция в других парах зацепления. Для этого сделаем полный оборот эксцентрика. Тогда угол поворота эксцентрика на один зуб колеса будет равен:

$$\varphi_{\text{э}} = \frac{360}{z_1} = \frac{360}{29} = 12,4^\circ \quad (3)$$

Т.е. при повороте вала –эксцентрика на угол $\varphi_{\text{э}} = 12,4^\circ$, «0» зуб выходного колеса изменит свое положение на:

$$\varphi_{\text{к}} = \frac{\varphi_{\text{э}}}{i} = \frac{12,4^\circ}{29} = 0,427586^\circ \quad (4)$$

Значение угла поворота выходного колеса необходимо вносить без округлений, в противном случае мы получим ложную интерференцию. Полученные данные будем вносить в табл.2.

Таблица 2 – Равномерное вращение.

$\varphi_{\text{э}}$	$\varphi_{\text{к}}$	Интерф., мм ³
12,4	0,427586	0
24,8	0,855172	0
37,2	1,282759	0
49,6	1,710345	0
62	2,137931	0
74,4	2,565517	0
86,8	2,993103	0
99,2	3,42069	0
111,6	3,848276	0
124	4,275862	0
136,4	4,703448	0
148,8	5,131034	0
161,2	5,558621	0
173,6	5,986207	0
186	6,413793	0
198,4	6,841379	0
210,8	7,268966	0
223,2	7,696552	0
235,6	8,124138	0
248	8,551724	0
260,4	8,97931	0
272,8	9,406897	0

285,2	9,834483	0
297,6	10,26207	0
310	10,68966	0
322,4	11,11724	0
334,8	11,54483	0
347,2	11,97241	0
359,6	12,4	0

На рис. 22 показан график зависимости угла поворота эксцентрика от угла поворота колеса. По табл.2 и рис.22 мы видим, что в остальных парах зацепления интерференция не возникает и вращение проходит равномерно и плавно.

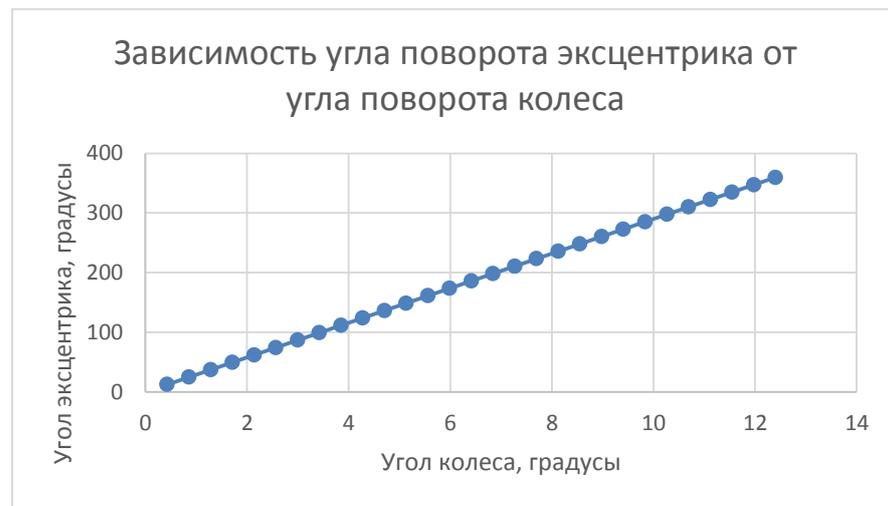


Рис.22 График зависимости угла поворота эксцентрика от угла поворота колеса.

Так же в этом исследовании мы можем пронаблюдать как происходит движение шестерни. На рис.23 показана схема движения шестерни и колеса.

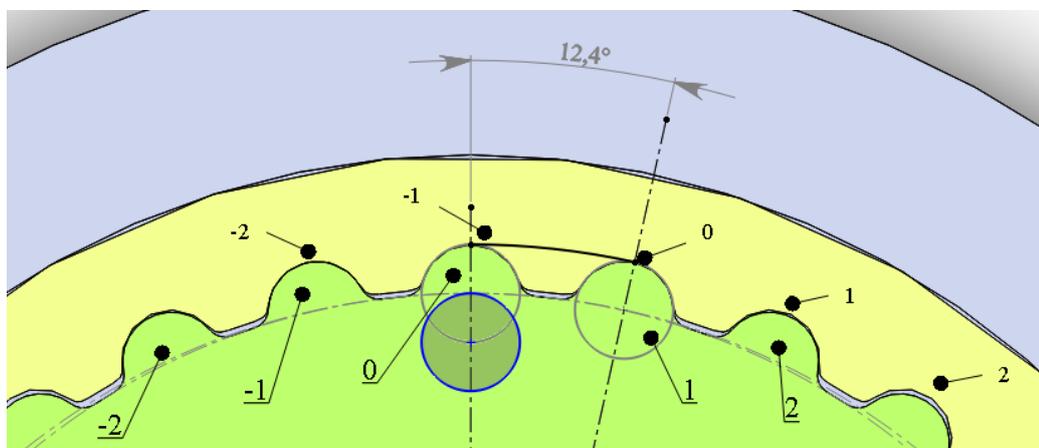


Рис.23 Схема движения шестерни и колеса.

За полный оборот вала-эксцентрика шестерня совершила круговое движение и вернулась в исходное положение, а колесо повернулось на угол $12,4^\circ$. И получается, что сейчас в зацеплении «0» зуб шестерни и «-1» впадина колеса.

2.4 Нагрузочная способность передачи

После того как мы убедились в том что волновая передача совершает «равномерное вращения» без учета нагрузки. Проведем следующее исследование которое будет заключаться в проверки редуктора на воспринимаемую нагрузку $\Delta\varphi_K$. Для этого будем вал-эксцентрик поворачивать на $\varphi_\varepsilon/10$ а колесо на $(\Delta\varphi_K + \varphi_K)/10$ фиксировать значения интерференции на зубьях.

Для начала нагрузим колесо $\Delta\varphi_K = -0,005^\circ$ и измерим возникающую интерференцию на зубьях.

Таблица 3 – Интерференция при нагрузке $\Delta\varphi_K = -0,005^\circ$.

	Угол эксцентрика $\varphi_\varepsilon/10$	Угол колеса ($\Delta\varphi_K + \varphi_K$)/10	Интерференция, ммЗ		
			"0" зуб	"1" зуб	Σ
0	0	-0,005	0,02	0	0,02
1	1,24	0,037759	0,02	0	0,02
2	2,48	0,080517	0,01	0	0,01
3	3,72	0,123276	0,0047	0	0,0047
4	4,96	0,166034	0,0014	0	0,0014
5	6,2	0,208793	0,00017	0,00025	0,00042
6	7,44	0,251552	0	0,0011	0,0011
7	8,68	0,29431	0	0,0035	0,0035
8	9,92	0,337069	0	0,01	0,01
9	11,16	0,379827	0	0,02	0,02
10	12,4	0,422586	0	0,02	0,02

По полученным данным составим график, по которому видно что «0» зуб вышел из зацепления а «1» зуб вошел.



Рис.24 Диаграмма изменения напряжения в зацеплении при нагрузке 0,005°.

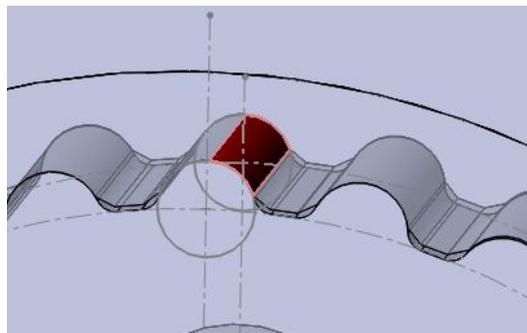


Рис.25 Нагружен только «0» зуб.

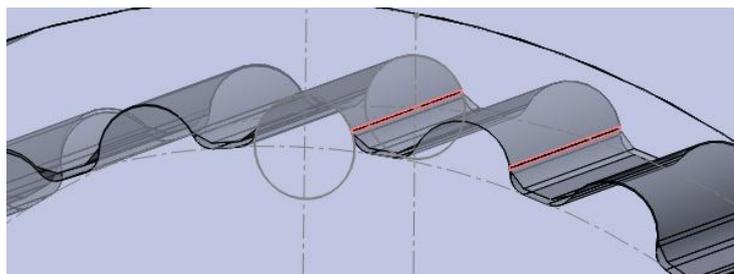


Рис.26 Переходный процесс.

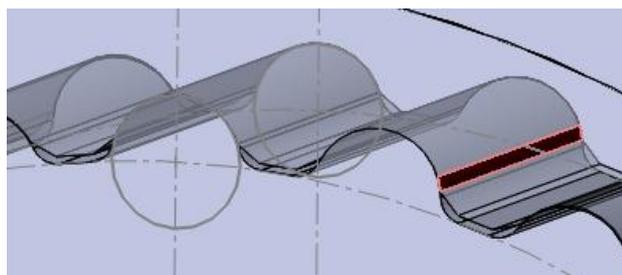


Рис.27 Нагружен только «1» зуб.

При нагрузке $\Delta\varphi_K = -0,01^\circ$ мы можем увидеть на рис.28 что в тот момент когда «0» зуб еще не вышел из зацепления «1» уже вошел.

Таблица 4 – Интерференция при нагрузке $\Delta\varphi_K = -0,01^\circ$.

	Угол эксцентрика $\varphi_{э}/10$	Угол колеса ($\Delta\varphi_K$ + φ_K)/10	Интерференция, ммЗ		
			"0" зуб	"1" зуб	Σ
0	0	-0,01	0,04	0	0,04
1	1,24	0,0327586	0,04	0	0,04
2	2,48	0,0755172	0,03	0,00012	0,03012
3	3,72	0,1182758	0,02	0,00082	0,02082
4	4,96	0,1610344	0,01	0,0021	0,0121
5	6,2	0,203793	0,005	0,0045	0,0095
6	7,44	0,2465516	0,001	0,01	0,011
7	8,68	0,2893102	0,00029	0,02	0,02029
8	9,92	0,3320688	0	0,03	0,03
9	11,16	0,3748274	0	0,035	0,035
10	12,4	0,417586	0	0,04	0,04

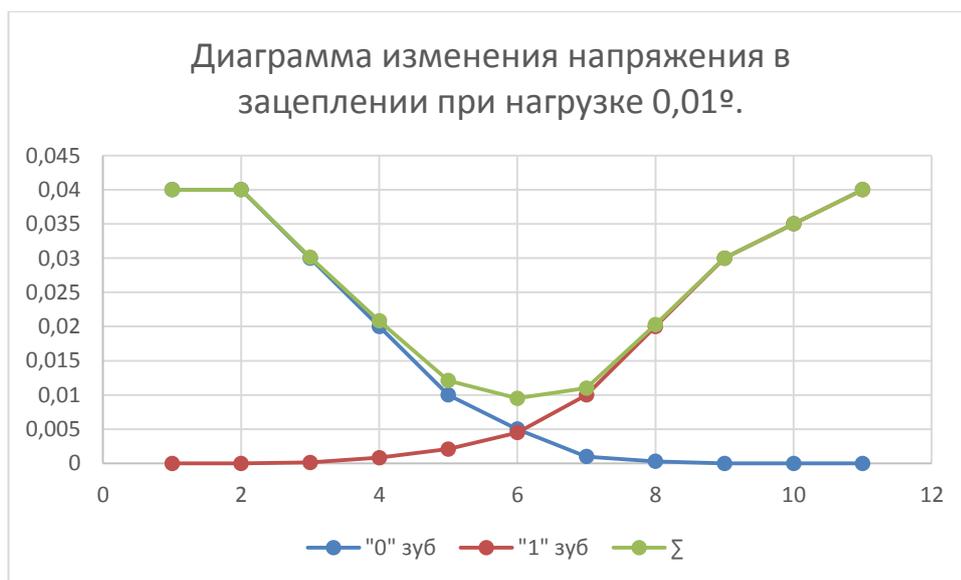


Рис.28 Диаграмма изменения напряжения в зацеплении при нагрузке 0,01°.

В данном исследовании мы должны добиться того чтобы нагрузка воспринималась равномерно не создавая импульсного изменения. Для этого нагрузка должна быть такой, чтобы в зацеплении были несколько пар зубьев.

Таблица 5 – Интерференция при нагрузке $\Delta\varphi_K = -0,05^\circ$.

	Угол эксцентрика $\varphi_{\text{э}}/10$	Угол колеса $(\Delta\varphi_K + \varphi_K)/10$	Интерференция, ммЗ					Σ
			"-1" зуб	"0" зуб	"1" зуб	"2" зуб	"3" зуб	
0	0	-0,05	0,03	0,2	0,04	0,00085	0	0,27085
1	1,24	-0,00724	0,02	0,19	0,05	0,0018	0	0,2618
2	2,48	0,035517	0,01	0,19	0,07	0,0032	0	0,2732
3	3,72	0,078276	0,01	0,17	0,09	0,01	0	0,28
4	4,96	0,121034	0,0023	0,16	0,11	0,01	0	0,2823
5	6,2	0,163793	0,00017	0,14	0,13	0,01	0	0,28017
6	7,44	0,206552	0	0,11	0,15	0,01	0	0,27
7	8,68	0,24931	0	0,09	0,17	0,02	0	0,28
8	9,92	0,292069	0	0,07	0,18	0,02	0	0,27
9	11,16	0,334827	0	0,05	0,19	0,03	0,000054	0,270054
10	12,4	0,377586	0	0,04	0,2	0,04	0,0006	0,2806

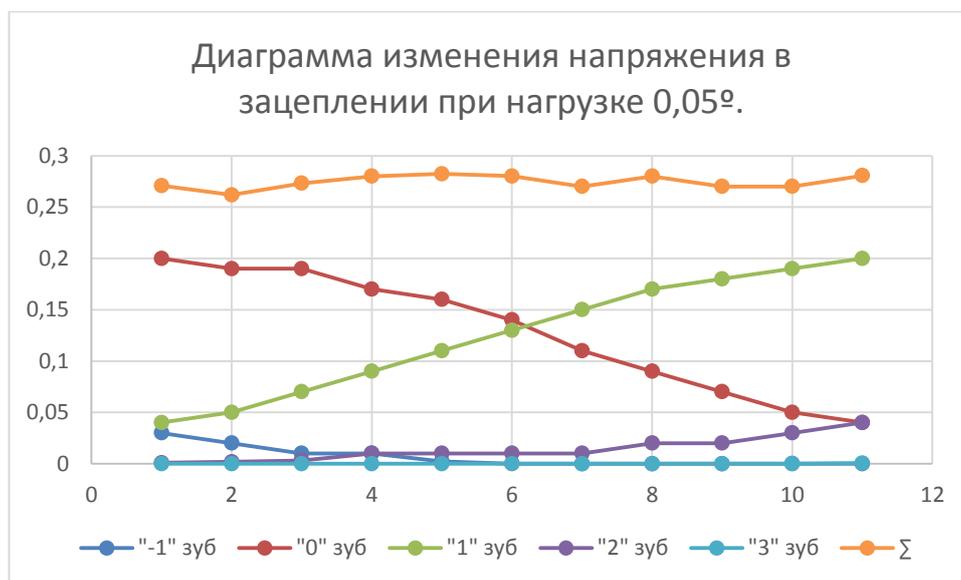


Рис.29 Диаграмма изменения напряжения в зацеплении при нагрузке $0,01^\circ$.

По табл.5 и диаграмме рис.29 видно, что нагрузку воспринимает сразу 5 зубьев.

2.5 Распределение Пуассона.

Что бы понять, как будет распределяться нагрузка на зубья шестерни проведем следующее исследование. Будем поворачивать колесо в противоположную сторону от его положительного вращения, а шестерню оставим неподвижной и зафиксируем на каких зубьях будут возникать контактные напряжения, которые выражаются через объем интерференции на определенных зубьях.

Таблица 6 – Распределение Пуассона.

№ зуба	Нагрузка, градусы						
	0,01	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
-3	0	0	0	0	0	0	0
-2	0	0	0	0	0	0	0
-1	0	0,0044	0,03	0,05	0,09	0,12	0,15
0	0,04	0,12	0,2	0,24	0,28	0,32	0,36
1	0	0,01	0,04	0,08	0,09	0,14	0,17
2	0	0	0,00085	0,0041	0,01	0,02	0,03
3	0	0	0	0	0	0	0,00087

По графику рис.30 и табл. 6 можно сказать что наибольшее значение интерференции приходится на «0» зуб. И при нагрузке 0,03° распределение происходит симметрично относительно «0» зуба.

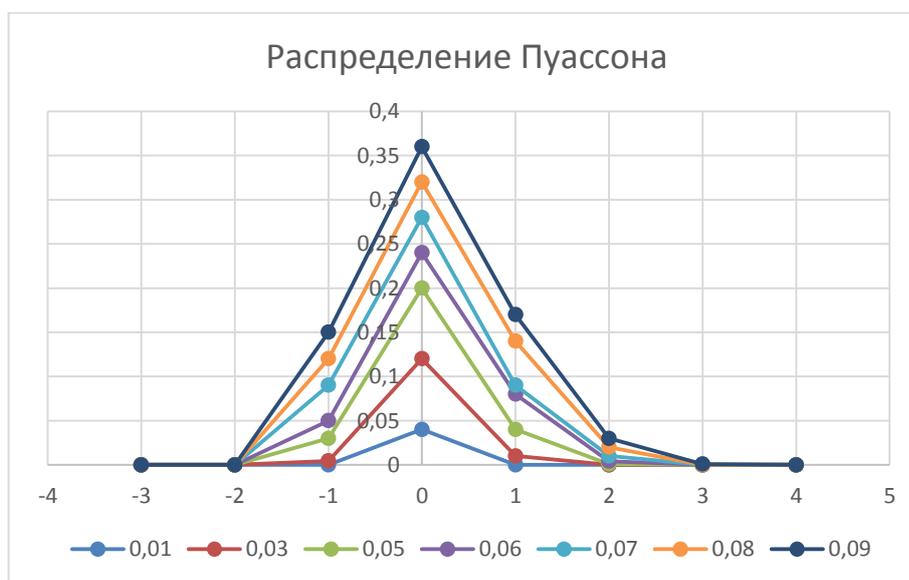


Рис.30 График распределения Пуассона.

Но с увеличением нагрузки картина меняется, и мы можем видеть, что нагрузка воспринимается асимметрично в проектируемом волновом редукторе и распределяется между пятью зубьями рис.31.

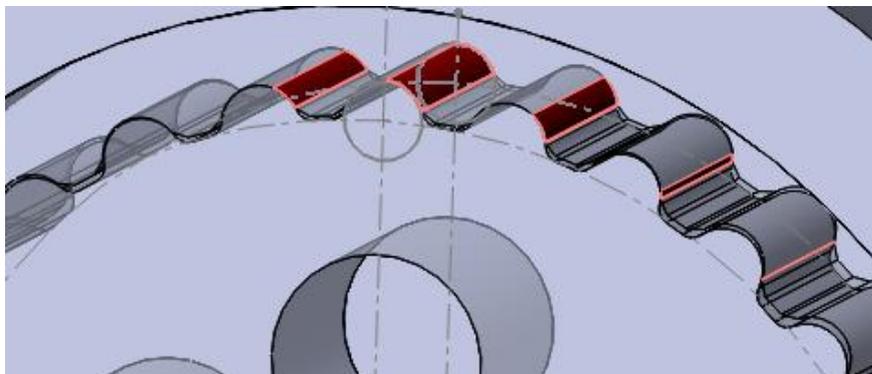


Рис.31 Восприятие нагрузки зубьями шестерни при нагрузке 0,09°.

2.6 Несущая способность зубьев.

Выяснив в предыдущем исследовании, что большая часть нагрузки приходится на нулевой зуб, необходимо провести исследование на силовой анализ зубьев. При контактом нагружении на зубьях в поверхностном слое возникают контактные напряжения. Эти напряжения мы видим объемом интерференции рис.31(красная зона).

С помощью полученной интерференции мы можем определить величину удельной деформации ε . Зная величину удельную деформацию зуба, можно определить усилия, необходимые для этой деформации. Относительная деформация является безразмерной величиной, как отношение двух объемов ΔW и W_0 , и по своему числовому значению равно удельной деформации каждой единицы объема.

$$\varepsilon = \frac{\Delta W}{2W_0} \quad (5)$$

Но при этом необходимо учитывать предел допускаемых напряжений σ , чтобы предотвратить необратимые деформации (срез, смятие) зуба [13].

$$\sigma = \varepsilon * E \quad (6)$$

где E – модуль Юнга

В работе Степановой Д.Л. был проведен эксперимент в котом было доказано что нагрузка на зубе шестерни воспринимается как показано на рис.32.

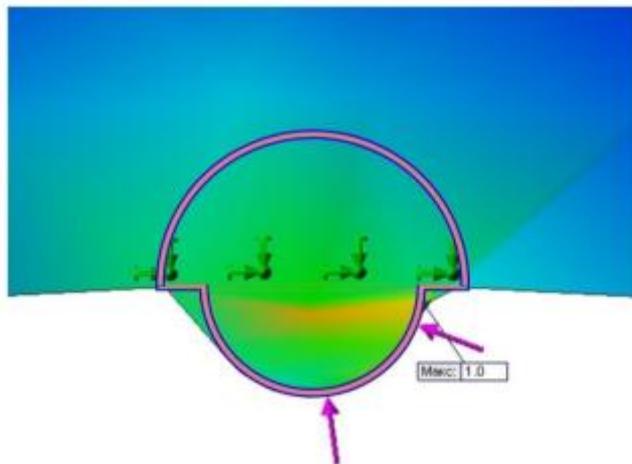


Рис.32 Зона восприятия нагрузки на зуб шестерни [13].

В следствии этого можно сказать что точно такая же нагрузка и приходится на впадину колеса.

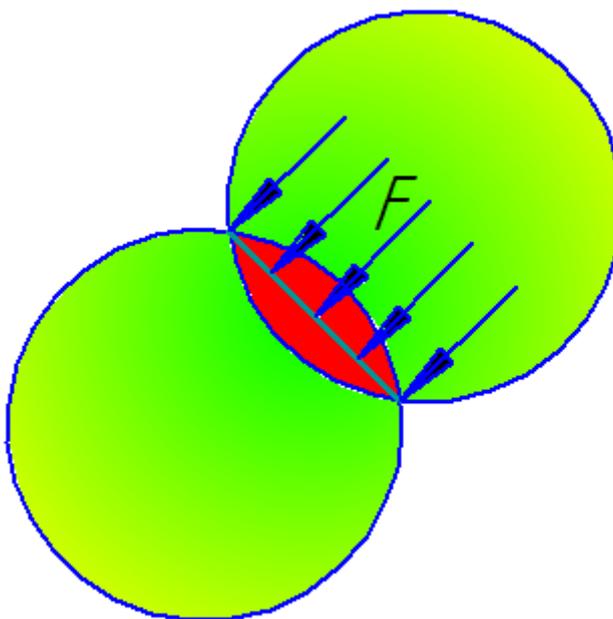


Рис.33 Зоны восприятия нагрузки колеса и шестерни.

Посчитаем

$$W_0 = \pi \cdot r^2 \cdot B = 3,14 \cdot 1,5^2 \cdot 10 = 221,841 \text{ мм}^3 \quad (7)$$

где r – радиус зуба

Посчитаем величину относительного удлинения ε и сравним с табличным значением. По полученным данным можно сделать вывод, что при нагрузке в $0,2^\circ$ расчетное значение равняется табличному. Следовательно проектируемый волновой кинематический редуктор может воспринимать такую нагрузку без разрушений (срез, смятие) зуба.

Таблица 7 – Изменение контактных деформаций.

	Нагрузка, градусы								
	0,01	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,2
ΔW , мм ³	0,04	0,12	0,2	0,24	0,28	0,32	0,36	0,4	0,81
W_0 , мм ³	221,841								
E , МПа	214000								
σ_T , МПа	780								
$\xi_{рас}$	0,00018	0,000541	0,000902	0,001082	0,001262	0,001442	0,001623	0,001803	0,003651
$\xi_{таб}$	0,003645								

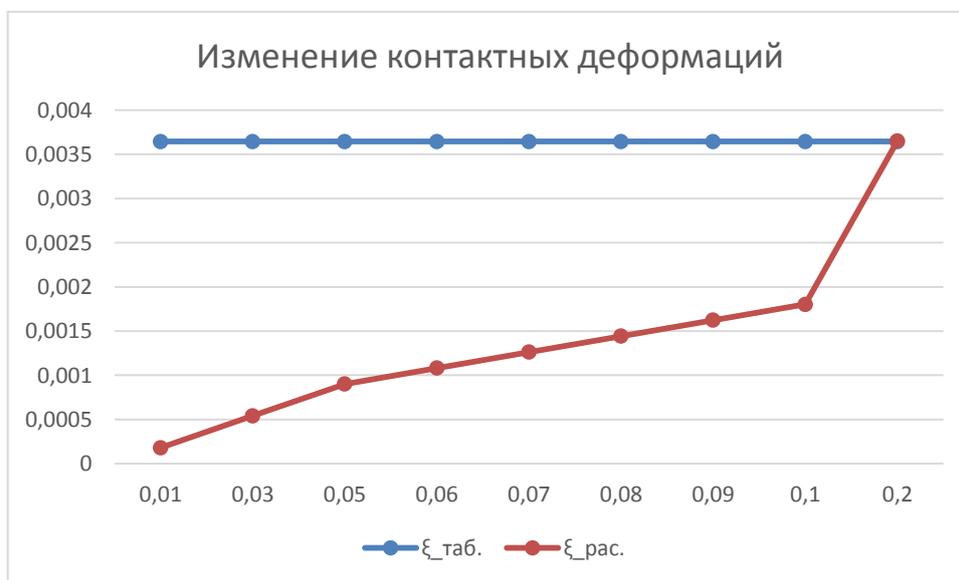


Рис.32 Зависимость контактных деформаций от нагрузки.

2.7 Математическое моделирование.

Малогабаритное мехатронное устройство поступательного движения закреплено на кронштейне сборочной линии с помощью четырех болтов и представляет собой динамическую систему. Для исследования данной системы найдем все действующие на нее силы.

При движении шестеренок возникает сила F , направление которой показано на рис.33. Так как шестерни находятся в противофазе то эти силы направлены в противоположные стороны. В совокупности они дают вибрационный момент M , который является входным усилием для нашей динамической системы.

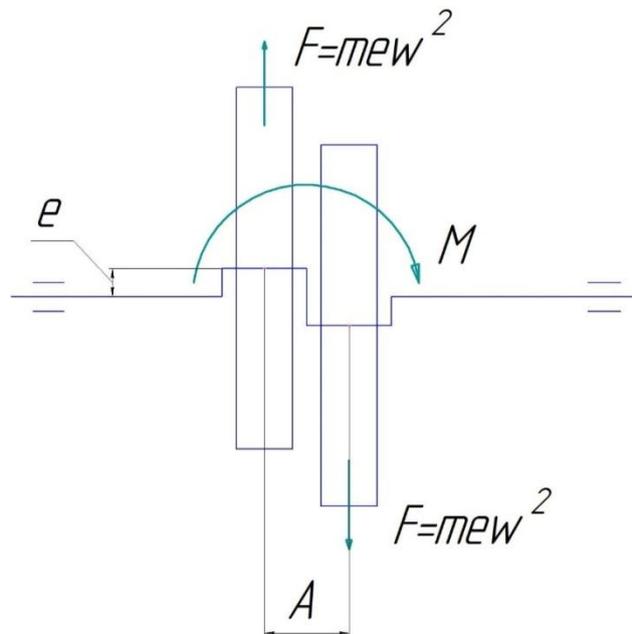


Рис.33 Вибрационный момент.

$$M = A * m * e * \omega^2 \quad (8)$$

где m – масса 2х шестерней,

e - эксцентриситет

$$e = \frac{r}{2} = \frac{1.5}{2} = 0,75 \quad (9)$$

Угловая скорость вращения шестерни:

$$\omega = \frac{\pi * T}{30} = \frac{3,14 * 1,5}{30} = 0,157 \text{ рад/сек} \quad (10)$$

где T – момент шестерни, равный моменту на валу двигателя,

Таблица 8 – Характеристики шагового двигателя

Модель Серводвигателя	Ном. момент Нм	Частота вращения об/мин
Ezi-Servj motor-EzM-56L	1,5	0...3000

$$M = A * m * e * \omega^2 = 5,25 * 0,050 * 0,75 * 0,157^2 = 4,85 * 10^{-6} \text{ Н * м}$$

Так же в системе возникнет момент инерции J действующий относительно общего центра тяжести всей системы.

$$J = M_0 * R^2 = 3,7 * 45,9^2 = 7,795 * 10^{-3} \text{ (кг * м}^2\text{)} \quad (11)$$

M_0 – масса мехатронного устройства

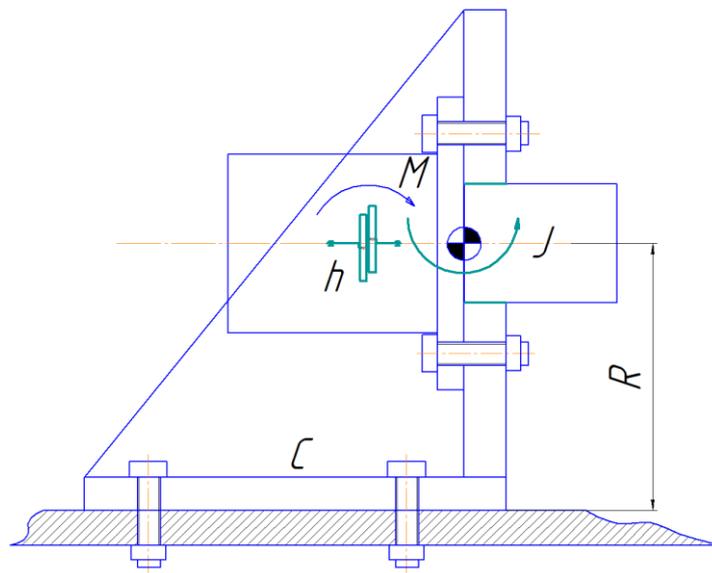


Рис.34 Схема размещения мехатронного модуля в технологической линии.

В зоне контакта мехатронного модуля с кронштейном упругими деформациями пренебрегаем, т.к. модуль установлен с небольшим натягом. Но крепление кронштейна к фундаменту будет деформироваться – жесткость системы C . В системе возникают потери h вызванные вязким трением между шестернями (см.рис.34).

Для расчета жесткости в месте крепления кронштейна в технологической линии проведем эксперимент в SolidWorks Simulation. Создадим две пластины, где площадь одной пластины равна площади контакта. И на поверхности распределим полусферы радиусом равным шероховатости поверхности контакта (R_z20) показано на рис. 35.

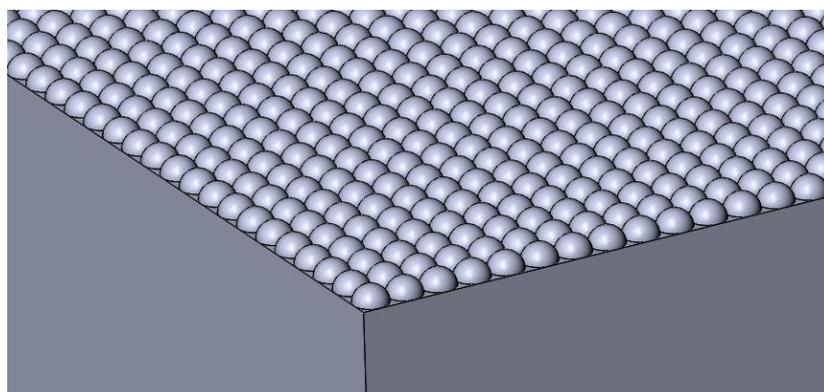


Рис.35 Моделируемая шероховатость поверхности контакта.

Жестко закрепляем боковые стороны пластин. Сверху прикладываем силу в 1Н.

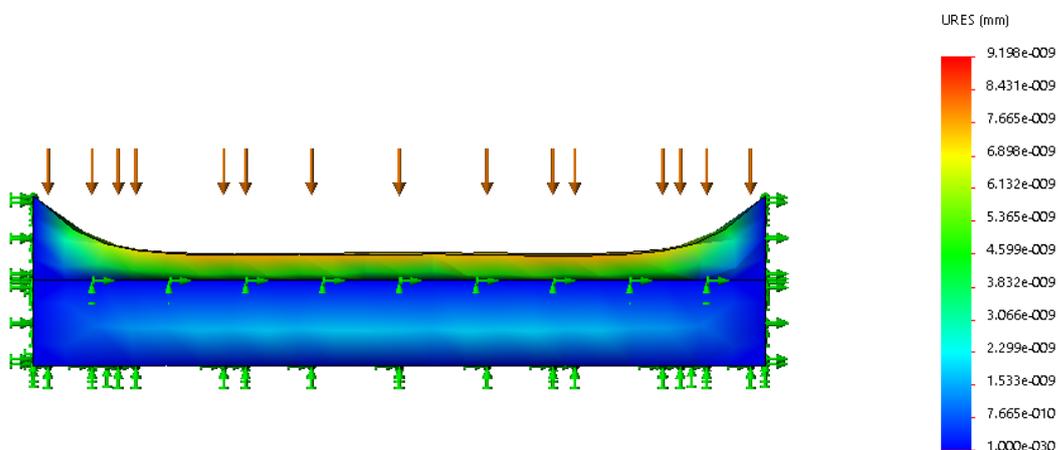


Рис.36 Статический анализ крепления кронштейна к фундаменту.

Статическое перемещение одной пластины $\partial\Delta$ под этой нагрузкой получилось равным $9,198 \cdot 10^{-9}$ мм.

Жесткость в зоне контакта будет равна:

$$C = \frac{\partial P}{\partial \Delta} = \frac{1}{0,000000009} = 111 \cdot 10^9 \text{ Н/м} \quad (12)$$

Рассчитаем коэффициент вязкого трения h :

$$\mu = \frac{h}{2 \cdot \sqrt{C \cdot m}} = 0,2 \quad (13)$$

где μ – коэффициент безразмерного демпфирования, принимаем 0,2;

m - масса шестеренок 0,05 кг.

$$h = \mu \cdot 2 \cdot \sqrt{C \cdot m} = 0,2 \cdot 2 \cdot \sqrt{41,6 \cdot 0,05} = 0,018 \text{ Н} \cdot \text{сек/м}$$

На рисунке 37 представлена математическая модель малогабаритного мехатронного устройства.

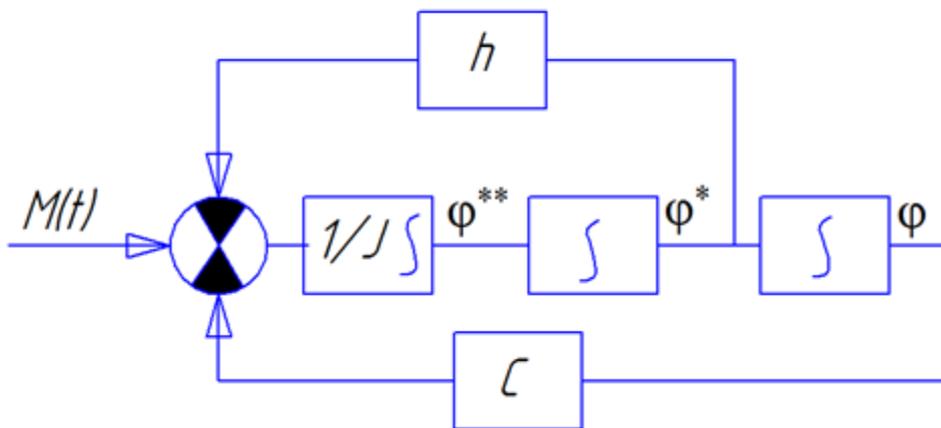


Рис.37 Математическая модель малогабаритного мехатронного модуля.

Данная модель описывается следующим уравнением:

$$J * \frac{d^2\varphi_0}{dt} + h_{\text{пр}} * \frac{d\varphi_0}{dt} + C_{\text{пр}} * \varphi_0 = M(t) \quad (14)$$

$$J * \ddot{\varphi}_0 + h_{\text{пр}} * \dot{\varphi}_0 + C_{\text{пр}} * \varphi_0 = M(t) \quad (15)$$

Где в качестве входного воздействия используется сигнал типа:

$$M(t) = (A * m * e * \omega^2) \sin \omega t \quad (16)$$

После того как сигнал попал на сумматор, мы этот сигнал интегрируем и получаем значение углового ускорения. Интегрируя полученное значение углового ускорения, вычисляем величину угловой скорости и формируем сигнал обратной связи, умножив угловую скорость на коэффициент вязкого трения h между шестеренок. Интегрируя угловую скорость, получаем значение углового перемещения и формируем сигнал обратной связи, умножив угловое перемещение на коэффициент жесткости C , характеризующий упругую деформацию в плоскости крепления кронштейн к фундаменту.

$C_{\text{пр}}$ – жесткость в контакте кронштейна и фундамента

$h_{\text{пр}}$ - потери в зоне контакта двух шестерней

$\ddot{\varphi}_0$ – угловое ускорение системы

$\dot{\varphi}_0$ – угловая скорость системы

$M_0 = 3,7$ кг - масса всего редуктора

$e = 1,5$ мм – эксцентриситет

$m=50$ грамм = 0,05кг – масса 2х шестерней

$\omega = 0,157$ рад/сек – угловая скорость шестерни редуктора

$A = 5,25$ мм – расстояние между центрами шестерней

$R = 48,9$ мм – расстояние до общего центра масс

$J = 7,795 * 10^{-3} \text{ кг * м}^2$ – момент инерции

Исследование математической модели проведем в программном обеспечении Paskal ABS с помощью метода Рунге-Кутты (методом последовательных приближений), позволяющий решать уравнения с варьированием различных параметров и построением графиков получаемых функций.

На основе математической модели, приведенной на рисунке 37 и уравнений составлена программа текст, которая приведена в приложении Б. Применяя данную программу, построим графики зависимости скорости и перемещения.

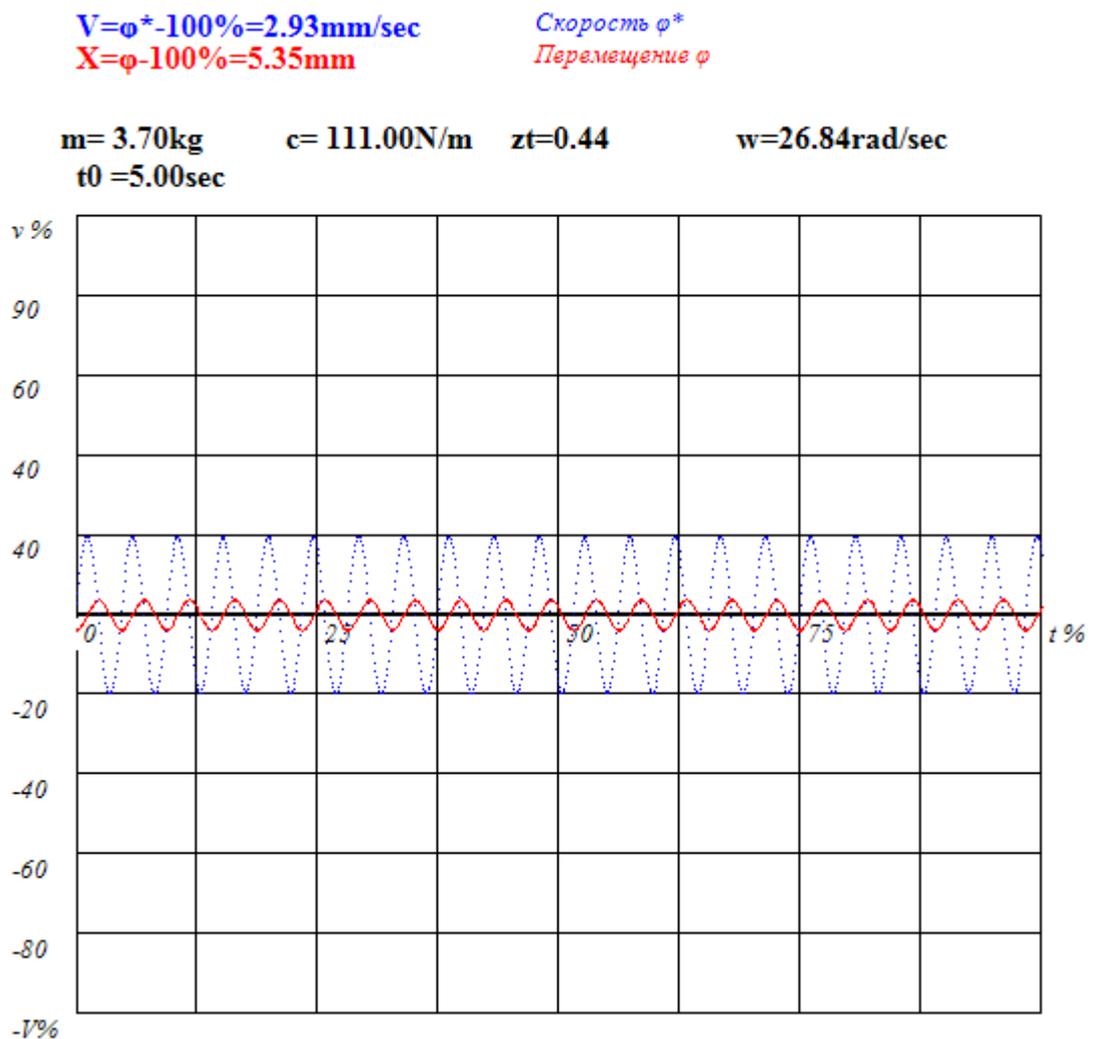


Рис. 38 График зависимости скорости от перемещения .

2.7 Прочностной расчет зуба

Проведем расчет на прочность зуба шестерни, так как зуб, в данной конструкции, самое опасное место.

Проведем проверку зубьев на контактную прочность по формуле:

$$\sigma_H = \left(\frac{1}{d_w}\right) \sqrt{\frac{10^3 T_1 K_\beta K_v K_b (u+1)}{K_p \mu t u}} \leq [\sigma_H] \quad (17)$$

K_β – коэффициент, учитывающий особенности контактирования зубьев в передачи Новикова;

K_p – коэффициент исходной рейки, характеризующий контур зацепления и значение приведенного модуля упругости материалов зубчатых колес;

μ – величина, представляющая целую часть коэффициента осевого перекрытия;

d_w – делительный диаметр.

Значения остальных величин берутся как для эвольвентных передач из справочника [14].

Определим нужные коэффициенты и значения.

Коэффициенты из справочника конструктора:

$$K_\beta = 0,25; K_v K_b = 1,2; K_p = 2 * 10^{-5} \frac{1}{\text{МПа}}; \mu = 2$$

$$\text{Передаточное число } u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{29}{28} = 1,04$$

Модуль $m = r = 1,5\text{мм}$

Проверяем условие:

$$\sigma_H = \frac{1}{42} \sqrt{\frac{10^3 * 1,5 * 0,25 * 1,2(1,04 + 1)}{2 * 10^{-5} * 2 * 1,5 * 1,04}} = \frac{1}{42} \sqrt{\frac{1,08 * 10^3}{12,48 * 10^{-5}}} = 40\text{МПа}$$

$$\sigma_H \ll [\sigma_H] = 660\text{МПа}$$

Из расчета видно, что данная конструкция зуба и выбранный материал обеспечивают большой запас прочности.

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование, которое в дальнейшем поможет найти те области, где продвижение нового продукта будет наименее трудоемким.

Целевой рынок: Станкостроение, Робототехника.

Таблица 9 – Карта сегментирования рынка

		Территория	
		Российские компании	Зарубежные компании
Размер компании	Крупные		+
	Средние	+	+

По карте сегментирования, таблица 9, видно, что наименьшая конкуренция для нашего образца будет на рынке крупных предприятий. Это связано с меньшими функциональными возможностями аналогичных устройств конкурентов, что в свою очередь, не удовлетворяет требованиям крупных предприятий.

3.2 Анализ конкурентных технических решений

На сегодняшний день на рынке волновых редукторов одним из главных мировых конкурентов является германская компания **Harmonic Drive**. На территории России есть множество компаний занимающихся перепродажей волновых редукторов от разных производителей, а производством лишь некоторые.

Есть московская компания ROBOTICS выпускающая волновые редукторы с гибким колесом серии Компакт, Лайт и Стандарт.

И сибирская машиностроительная компания SIMACO выпускает волновые редукторы с промежуточными звеньями.

Для анализа были отобраны два конкурентных технических решения.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _с	Б _{к1}	Б _{к2}	К _с	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
2. Удобство в эксплуатации (соответствие требованиям потребителей)	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
3. Энергоэкономичность	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
4. Надежность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
5. Бесшумность	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
6. Компактность	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
7. Простота эксплуатации	0,1	5	2	2	0,5	0,2	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
2. Уровень проникновения на рынок	0,1	0	5	4	0	0,5	0,4
3. Цена	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
Итого:	1				5	4,3	3,8

Б1 (К1) – баллы (конкурентоспособность) проектируемого редуктора, Б2 (К2) и Б3 (К3) – баллы (конкурентоспособность) редукторов компании ROBOTICS и SIMACO.

По оценочной карте из таблицы 1 видно, что новое устройство является конкурентоспособным, так как по многим параметрам превосходит своих конкурентов. Главными достоинствами данного редуктора являются: компактность, надежность, простота эксплуатации и цена.

3.3 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 11 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>С2. Компактность.</p> <p>С3. Бесшумность.</p> <p>С4. Надежность, способность долгое время работать без ремонта.</p>	<p>Сл1. Более высокая себестоимость.</p> <p>Сл2. Продукт не продавался.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Быстрое продвижение на рынок.</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В3. Усовершенствование устройства.</p>	<p>В1С1С2С3С4 – быстрое продвижение на рынок в связи с преимуществами данного редуктора.</p> <p>В2С1С2С3С4 – дополнительный спрос может появиться за счет усовершенствования редуктора.</p>	<p>В1Сл2 – может не быть быстрого продвижения на рынок, так как редуктор ранее не продавался и потребители не знают этот продукт.</p> <p>В2Сл1Сл2 – отсутствие дополнительного спроса из-за несовершенства устройства.</p>

<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Кризис. У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции со стороны государства.</p>	<p>У2С1С2С3С4 – возможность конкурировать в связи с хорошими показателями основных характеристик.</p>	<p>У1Сл1 – высокая себестоимость может существенно снизить продажи данного продукта.</p>
--	---	--

Таблица 12 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта			
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	+	+	+	+
	В2	+	+	+	+
	В3	0	0	0	0

На основании SWOT-анализа составляем интерактивную матрицу проекта, дающую общее представление о возможных вариантах стечения благоприятных и негативных факторов.

3.4 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 13 - 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
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	2	2
	ИТОГО:	37	33

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

3.5 Планирование научно-исследовательских работ

3.5.1 Структура работ в рамках научного исследования

Разбиваем проект на основные этапы работы и назначаем исполнителей. Все это необходимо для дальнейшего расчета заработной платы.

Таблица 14 – Перечень этапов и распределение исполнителей

Основные этапы	№		Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	Студент
	3	Проведение патентного обзора	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	Студент
	5	Выполнение расчетов	Студент
	6	Построение модели мехатронного устройства	Студент
	7	Разработка математической модели	Студент
Проведение ОКР			
Разработка технологической документации	8	Разработка сборочных чертежей	Студент
	9	Исследование математической модели	Студент
Оформление отчета	10	Заполнение пояснительной записки	Студент

3.5.2 Продолжительность этапов работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5} \quad (18)$$

$t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы чел.-дн.

t_{min} – минимальная возможная трудоемкость выполнения заданной работы (оптимистическая оценка в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел/дн.

t_{max} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы (пессимистическая оценка в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел/дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_p = \frac{t_{ож}}{ч} \quad (19)$$

T_p – продолжительность одной работы, рабочихдн.

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

Таблица 15 – Ожидаемое время выполнения работы

Основные этапы	№ раб		$t_{ож}$, чел/дн
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	1
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	1,4
	3	Проведение патентного обзора	2
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	4,2
	5	Выполнение расчетов	4,2
	6	Построение модели мехатронного устройства	4,6
	7	Разработка математической модели	4,6
Проведение ОКР			
Разработка технологической документации	8	Разработка сборочных чертежей	6,4
	9	Исследование математической модели	11,4
Оформление отчета	10	Заполнение пояснительной записки	2,8
Итого:			42,6

Расчет продолжительности одной работы не является необходимым, т.к. на каждой работе задействован один исполнитель, то есть $T_p = t_{ож}$.

Строится график проведения научного исследования в форме диаграммы Ганта.

Для удобства построения, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней необходимо перевести в календарные дни.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (20)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (21)$$

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

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

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

Таблица 16 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_p	Длительность работ в календарных днях T_k
	t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{ож}}$			
Составление и утверждение ТЗ	1	1	1	Руководитель	1	2
Изучение материала по теме	1	2	1,4	Студент	1,4	2
Проведение патентного обзора	2	2	2	Студент	2	3
Составление принципиальной схемы	3	6	4,2	Студент	4,2	6
Выполнение расчетов	3	6	4,2	Студент	4,2	6
Построение модели	3	7	4,6	Студент	4,6	7

мехатронног о устройства						
Разработка математичес кой модели	3	7	4,6	Студент	4,6	7
Разработка сборочных чертежей	6	7	6,4	Студент	6,4	9
Исследовани е математичес кой модели	9	15	11,4	Студент	11,4	16
Заполне-ние поясни- тельной записки	2	4	2,8	Студент	2,8	4

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,47;$$

Таблица 17 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ раб.	Вид работ	Испол.	T_k	Продолжительность выполнения работ									
				Март	Апрель			Май			Июнь		
				3	1	2	3	1	2	3	1		
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	■									
2	Изучение материалов по теме	Студент	2	■									
3	Проведение патентного обзора	Студент	3	■									
4	Составление принципиальной схемы	Студент	6		■								
5	Выполнение расчетов	Студент	6			■							
6	Построение модели мехатронного устройства	Студент	7				■						
7	Разработка математической модели	Студент	7					■					
8	Разработка сборочных чертежей	Студент	6						■				
9	Исследование математической модели	Студент	16								■		
10	Заполнение пояснительной записки	Студент	4									■	

3.5.3 Бюджет научного исследования

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

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

3.5.4 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 10.

Таблица 18 - 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:			290

Расходы на материалы составили **С_{мат}** = 290рублей.

3.5.5 Основная заработная плата исполнителей

В таблице 19 приведены основные этапы работы, их исполнители и затраты на оплату их труда.

Таблица 19 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнители	Трудоемкость, чел.-дн	Заработная плата на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	1	1356	1356
2	Изучение материалов по теме	Студент	1,4	879	1230
3	Проведение патентного обзора	Студент	2	879	1758
4	Составление принципиальной схемы	Студент	4,2	879	3691,8
5	Выполнение расчетов	Студент	4,2	879	3691,8
6	Построение модели мехатронного устройства	Студент	4,6	879	4043,4
7	Разработка математической модели	Студент	4,6	879	4043,4
8	Разработка сборочных чертежей	Студент	4,2	879	3691,8
9	Исследование математической модели	Студент	11,4	879	1020,6
10	Заполнение пояснительной записки	Студент	2,8	879	2461,2

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (22)$$

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (23)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (24)$$

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, рабочих дней.

Таблица 20 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104	104
- праздничные дни	14	14

Потери рабочего времени		
- отпуск	24	48
-невыходы по болезням	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	199

Для руководителя:

$$Z_{\text{дн. рук}} = \frac{27500 \cdot 11}{223} = 1356 \text{ руб};$$

Для студента:

$$Z_{\text{дн. студ}} = \frac{17500 \cdot 10}{199} = 879 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{осн. рук}} = 1356 \cdot 1 = 1356 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{осн. студ}} = 879 \cdot 41,6 = 36566 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{зп. рук}} = 1356 + 1356 \cdot 0,12 = 1518 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{зп. студ}} = 36566 + 36566 \cdot 0,12 = 40953 \text{ руб};$$

3.5.6 Дополнительная заработная плата исполнителей

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (25)$$

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

$$Z_{\text{доп.рук}} = 0,12 \cdot 1356 = 163 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{доп.студ}} = 0,12 \cdot 36566 = 4388 \text{ руб};$$

3.5.7 Отчисления во внебюджетные фонды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (26)$$

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

На 2019 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 2019 году водится пониженная ставка – 28%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 13.

Таблица 21 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	1356	163
Студент	36566	4388
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	28%	28%
Итого:	11469,12	

После расчета суммы отчислений во внебюджетные фонды, не стоит забывать о том, что их необходимо учитывать при общем подсчете затрат на научно-техническое исследование.

3.5.8 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию при работе оборудования. Затраты на электроэнергию при работе оборудования для технологических целей рассчитываются по формуле:

$$E_{\text{об}} = P_{\text{об}} \cdot C_{\text{э}} \cdot t_{\text{об}} \quad (27)$$

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Цэ$ – тарифная цена за 1 кВт·час, $Цэ= 5,257$ руб/кВт·час;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Время работы оборудования вычисляется на основе данных для Трд табл 4.2 для инженера из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{об} = T_{рд} \cdot K_t \quad (28)$$

где $K_t= 0,6$ – коэффициент использования оборудования по времени

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{уст.об} \cdot K_c \quad (29)$$

где $P_{уст. об}$ – установленная мощность оборудования, кВт;

K_c – коэффициент спроса, зависящий от количества, загрузки групп электроприемников. Так как в данном случае группа состоит всего из одного электроприемника примем $K_c= 1$.

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 22.

Таблица 22 - Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $Э_{об}$, руб.
Персональный компьютер	808*0,6	0,3	764,57
Струйный принтер	30	0,1	15,77
ИТОГО:			780,34

Таким образом, затраты на электроэнергию составили: $С_{эл.об.} = 780,34$ рублей.

3.5.9 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:

$$C_{AM} = \frac{N_A \cdot C_{OB} \cdot t_{BT} \cdot n}{F_D} \quad (30)$$

где N_A – годовая норма амортизации,

C_{OB} – цена оборудования, Цена ПК=45т.р. и принтер =12т.р.

F_D – 289 рабочих дней при шестидневной рабочей недели

Рабочий день – 8 часов, тогда $F_D = 289 * 8 = 2384$ ч.

t_{BT} – время работы оборудования,

n – число задействованных ПЭВМ,

ПК работает в течении 808ч, тогда:

$$C_{AM}(ПК) = \frac{0,4 * 45000 * 808}{2384} = 6100,67р$$

Принтер работает 30ч, тогда:

$$C_{AM}(Пр) = \frac{0,5 * 12000 * 30}{500} = 360$$

$$C_{AM}(общее) = 6100,67 + 360 = 6460,67$$

3.5.10 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:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 4 \div 8) \cdot k_{нр} \quad (31)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

3.5.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 23.

Таблица 23 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
Материальные затраты НИИ	290	Пункт 3.5.4.
Затраты по основной заработной плате исполнителей	42471	Пункт 3.5.5.
Зарплаты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4551	Пункт 3.4.6.
Отчисления во внебюджетные фонды.	11469,12	Пункт 3.4.7.
Расходы на электроэнергию	780,34	Пункт 3.4.8.
Расходы на амортизацию	6460,67	Пункт 3.4.9
Накладные расходы	10569,9	16% от суммы ст. 4-9
Бюджет затрат НИИ	76631,91	Сумма ст. 4-9

На основании итоговых данных таблицы 23, можно сделать вывод о необходимости изготовления первого исполнения изделия исходя из экономической целесообразности.

3.6 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение сравнительной эффективности исследования проводят для текущего проекта и для аналогов.

Сравнительная эффективность связана с двумя величинами: интегральный финансовый показатель I_{Φ}^p и интегральный показатель ресурсоэффективности I_m [16].

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{76631,91}{100000} = 0,766 \quad (32)$$

где Φ_{pi} – стоимость проекта,

Φ_{max} – максимальная стоимость (в т.ч. аналог).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы) , либо численное удешевление бюджета затрат на разработку (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности можно вычислить по формуле:

$$I_m = \sum a_i \cdot b_i \quad (33)$$

где a_i – весовой коэффициент i –го параметра,

b_i – бальная оценка i –го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания

Таблица 24 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметров	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1.Безопасность	0,2	5	4	3
2.Удобство эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	5	3
3.Экономичность производства	0,2	4	4	3

4.Надежность	0,2	5	4	4
5.Материалоемкость	0,2	4	4	3
ИТОГО:	1	4,6	4,2	3

3.7 Заключение

В ходе выполнения данного раздела был проведен анализ перспективности данного проекта, рассмотрены различные варианты влияния благоприятных и негативных факторов.

На первом этапе работы была построена карта сегментирования рынка, анализ которой дает представление о том, что на рынке крупных и средних предприятий продвижение продукта будет наиболее благоприятным. После этого проведен SWOT-анализ, моделирующий возможные варианты стечения благоприятных и негативных факторов. Далее, разбили проект на основные этапы работы и назначили исполнителей, провели расчет материальных затрат, связанных с выплатой заработной платы, отчисления во внебюджетные фонды и т.д. и посчитали общий уровень затрат для каждого исполнения. Опираясь на полученные данные, можно сделать вывод о целесообразности изготовления мехатронного устройства с волновым кинематическим редуктором, так как для его реализации необходимо наименьшее количество материальных затрат, а именно 76631,91 рублей. Согласно подсчетам, реализация проекта займет 42,6 рабочих дней. По результатам оценки сравнительной эффективности исследования можно сказать что мехатронное устройство с волновым редуктором конкурентоспособно.

4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

4.1 Введение

Объектом исследования является мехатронное устройство с кинематическим волновым редуктором и винтовым преобразователем движения в режиме малогабаритного штампа/ домкрата на сборочной автоматической линии.

С помощью программного обеспечения SolidWorks создадим 3Д модель и проведем кинематические и динамические эксперименты. Работа будет проводится в компьютеризированной аудитории 16А корпуса Национально Исследовательского Томского Политехнического Университета.

В разделе «Социальной ответственности» магистерской диссертации рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места конструктора в соответствии с нормами производственной санитарии, безопасности и охраны окружающей среды.

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.

4.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно трудовому кодексу РФ, принятому 26 декабря 2001 г., существует перечень регламентов касающихся правовых вопросов обеспечения безопасности, таких как:

- заключение трудового договора допускается с лицами, достигшими возраста шестнадцати лет, за исключением случаев, предусмотренных настоящим Кодексом, другими федеральными законами;

- лица, получившие общее образование или получающие общее образование и достигшие возраста пятнадцати лет, могут заключать трудовой договор для выполнения легкого труда, не причиняющего вреда их здоровью;

- обязательному предварительному медицинскому осмотру при заключении трудового договора подлежат лица, не достигшие возраста восемнадцати лет, а также иные лица в случаях, предусмотренных настоящим Кодексом и иными федеральными законами;

- нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать сорока часов в неделю;

- во время регламентированных перерывов целесообразно выполнять комплексы упражнений и осуществлять проветривание помещения.

Согласно ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ «Оборудование производственное. Общие эргономические требования», существует ряд общих положений, которые предъявляются к системе «человек — машина — среда», таких как:

- эргономические требования к производственному оборудованию должны устанавливать его соответствие антропометрическим, физиологическим, психофизиологическим и психологическим свойствам человека и обусловленным этими свойствами гигиеническим требованиям с целью сохранения здоровья человека и достижения высокой эффективности труда;

- эргономические требования к производственному оборудованию должны устанавливаться к тем его элементам, которые сопряжены с

человеком при выполнении им трудовых действий в процессе эксплуатации, монтажа, ремонта, транспортирования и хранения производственного оборудования;

- при установлении эргономических требований к производственному оборудованию необходимо рассматривать оборудование в комплексе со средствами технологической и в необходимых случаях организационной оснастки.

Также в данном ГОСТе указаны общие характеристики рабочего места, требования к размещению органов управления и средств отображения информации.

- рабочее место для выполнения работ стоя организуют при физической работе средней тяжести и тяжелой, а также при технологически обусловленной величине рабочей зоны, превышающей ее параметры при работе сидя. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. «Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.»;

- конструкция, взаимное расположение элементов рабочего места (органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы;

- рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

Рассмотрим эргономику рабочего места инженера-конструктора. 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

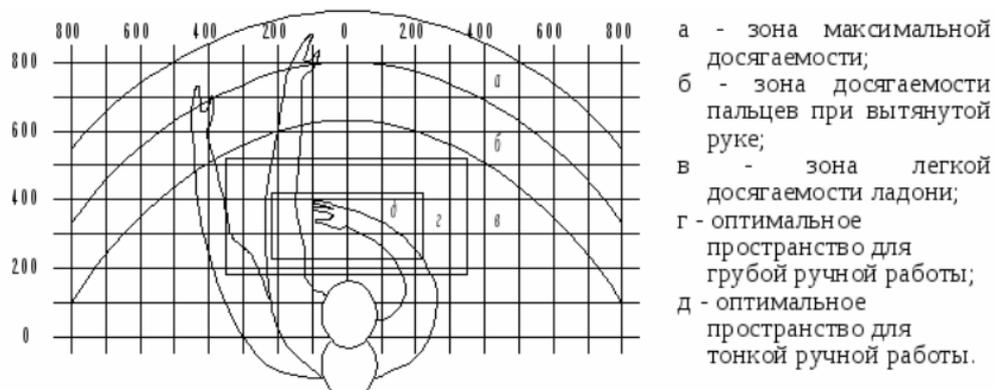


Рис.39 Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости.

- 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.

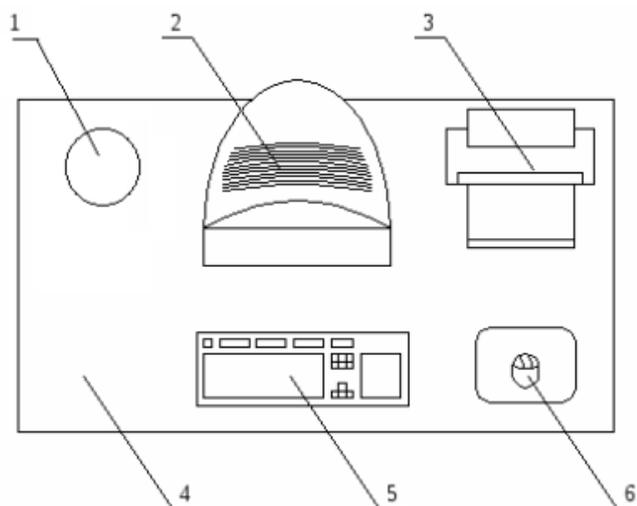


Рис. 40 Пример размещения основных и периферийных составляющих ПК на рабочем столе, 1 – настольный набор, 2 – монитор, 3 – принтер, 4 – поверхность рабочего стола, 5 – клавиатура, 6 – «мышь».

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, канцелярских 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 $+20^{\circ}$ относительно вертикали;
- влево и вправо 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.

4.3 Производственная безопасность

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием некоторых опасных и вредных факторов (ГОСТ 12.0.002-14 «ССБТ. Основные понятия. Термины и определения»), которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические и психофизиологические (ГОСТ 12.0.003-2015 «ССБТ. Опасные и вредные факторы. Классификация»).

На работающего за ЭВМ инженера-конструктора могут негативно действовать опасные и вредные производственные факторы, которые приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Возможные опасные и вредные факторы.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разраб отка	Изгото вление	Эксплу атация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	- Требования к микроклимату по ГОСТ 12.1.005-88 [22]. - Требования к уровню шума на рабочих местах СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [23]. -Требования к освещению СП 52.13330.2016 [24]; - Естественное и искусственное освещение СНиП 23-05-95*[25]. - Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ [26].
2. Превышение уровня шума		+	+	
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	

При работе на ЭВМ к концу рабочего дня возникают типичные ощущения: переутомление глаз, головная боль, тянущие боли в мышцах шеи, рук и спины, снижение концентрации внимания.

4.3.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

Отклонение показателей микроклимата.

Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры:

- температура воздуха в помещении;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха.

Перечисленные параметры оказывают огромное влияние на функциональную деятельность человека, его самочувствие и здоровье и на надежность работы средств вычислительной техники.

Повышенные или пониженные значения этих параметров выступают как опасные или вредные факторы производства. Показатели микроклимата согласно ГОСТ 12.1.005-88 приведены в таблице 26.

Таблица 26 – Оптимальные и допустимые показатели микроклимата

Период года	Температура, °С			Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
	Оптимальная граница	Верхняя граница	Нижняя граница	Оптимальная граница	Допустимый максимум	Оптимальная	Допустимый максимум
Холодный	22-24	24,5	21	40-60	75	0,1	0,1
Теплый	23-25	26	22	40-60	55	0,1	0,2

Для поддержания данных санитарных норм достаточно иметь естественную неорганизованную вентиляцию помещения и местный кондиционер установки полного кондиционирования воздуха, обеспечивающий постоянство температуры, относительной влажности, скорости движения и чистоты воздуха. Необходима система центрального

отопления, обеспечивающая заданный уровень температуры в зимний период по СНиП-41-01-2003.

В зимний период в аудитории для поддержания необходимой температуры используется система водяного отопления. Эта система надежна в эксплуатации и обеспечивает возможность регулирования температуры в широких пределах.

При устройстве системы вентиляции и кондиционирования воздуха в помещении лаборатории необходимо соблюдать определенные требования пожарной безопасности.

Превышение уровня шума.

В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами. 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.

Недостаточная освещенность рабочей зоны.

Основными понятиями, характеризующими свет, являются световой поток, сила света, освещённость и яркость. Световым потоком называют поток лучистой энергии, оцениваемый глазом по световому ощущению.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

Нормальная освещённость достигается в дневное время за счёт естественного света, проникающего через оконные проёмы, в утренние и вечерние часы за счёт искусственного освещения лампами.

В качестве источников искусственного света будем использовать люминесцентные лампы, которые по сравнению с лампами накаливания имеют ряд существенных преимуществ: по спектральному составу они близки к дневному, естественному свету; обладают более высоким КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания); обладают повышенной светоотдачей (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания); более длительный срок службы.

Освещённость рабочего стола должна быть не менее 300÷500 лк, что может достигаться установкой местного освещения. Местное освещение не должно создавать бликов на экране. Следует ограничивать отражённую блесккость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура) за счёт правильного выбора и расположения светильников, яркость бликов на экране не должна превышать 40 кд/м². Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель.

Проектирование искусственного освещения рабочего места сводится к выбору системы освещения, определению необходимого числа светильников, их типа и размещения.

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами, м:

$H = 3$ м – высота помещения;

h_c – расстояние светильников от перекрытия (свес);

$h_{\Pi} = H - h_c = 2,5$ м – высота светильника над полом, высота подвеса;

$h_p = 0,8$ м – высота рабочей поверхности над полом;

$h = h_{\Pi} - h_p$ – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью.

Расстояние между светильниками определяется как:

$$L = \lambda \cdot h \quad (34)$$

Необходимо изобразить в масштабе в соответствии с исходными данными план помещения, указать на нём расположение светильников и определить их число.

Рассчитаем высоту светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_{\text{п}} - h_{\text{р}} = 2,5 - 0,8 = 1,7 \text{ м};$$

$$L = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 1,7 = 2,21 \text{ м};$$

Расстояние I от крайних светильников или рядов до стены:

$$I = \frac{L}{3} = \frac{2,21}{3} = 0,7 \text{ м};$$

Размещаем светильники в 3 ряда. В одном ряду можно установить 4 светильника типа ШОД-2-40 (2 лампы по 40В в одном светильнике). План помещения и размещения в нём светильников изображен в масштабе на рисунке 18. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $n = 12 \cdot 2 = 24$ лампы.

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)} = \frac{8 \cdot 6}{1,7 \cdot (8+6)} = 2 \quad (35)$$

По таблице определяем коэффициент использования светового потока:

$$\eta = 0,5;$$

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Световой поток лампы накаливания или группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{n \cdot \eta} \quad (36)$$

$E_{\text{н}}$ – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, лк;

S – площадь освещаемого помещения, м^2 ;

K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), (наличие в атмосфере цеха дыма, пыли);

Z – коэффициент неравномерности освещения, отношение $E_{cp.} / E_{min.}$. Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;

n – число светильников;

η – коэффициент использования светового потока.

Определим потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 48 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,5} = 3960 \text{ Лм};$$

Рассчитав световой поток Φ , зная тип лампы, по таблице выбирается стандартная ближайшая лампа и определяется электрическая мощность всей осветительной системы. Если необходимый поток светильника выходит за пределы диапазона (-10 ÷ +20%), то корректируется число светильников n либо высота подвеса светильников.

Выбираем стандартную ближайшую лампу – ЛДЦ 80 Вт с потоком 3800 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$\begin{aligned} -10\% &\leq \frac{\Phi_{л.станд} - \Phi_{л.расч}}{\Phi_{л.станд}} \cdot 100\% \leq +20\% \\ -10\% &\leq \frac{3800 - 3960}{3960} \cdot 100\% \leq +20\% \end{aligned}$$

Получаем

$$-10\% \leq -0,04\% \leq +20\%$$

Необходимый поток светильника не выходит за пределы диапазона (-10 ÷ +20%), то корректировать число светильников n либо высоту подвеса светильников нет необходимости.

Определим электрическую мощность осветительной установки:

$$P = \omega \cdot S = 80 \cdot 48 = 3840 \text{ Вт} \quad (37)$$

Тогда мощность каждой лампы:

$$P_{л} = \frac{P}{n} = \frac{3840}{24} = 160 \text{ Вт} \quad (38)$$

Определим электрическую мощность осветительной установки

$$P = 24 \cdot 80 = 1920 \text{ Вт};$$

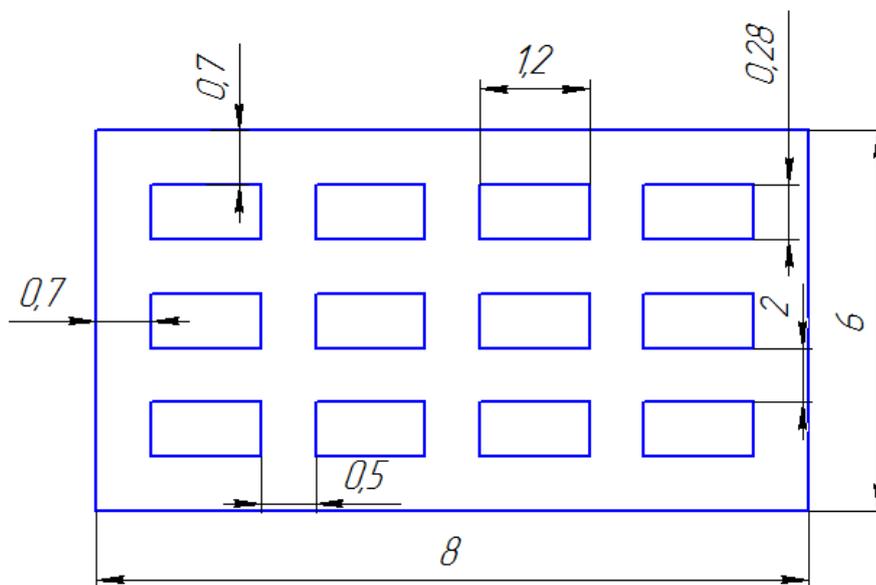


Рис.41 План помещения и размещения светильников

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.

4.3.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Меры защиты от опасных и вредных факторов производства делятся на технические и организационные. Рассмотрим мероприятия по каждому выявленному фактору:

Мероприятия по снижению показателей микроклимата.

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещения должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20м³ на человека – не менее 30м³ в час на человека; при объёме помещения более 40м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

В зимнее время в помещении необходимо предусмотреть систему отопления. Она должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление.

Мероприятия по снижению уровня шума.

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.

Мероприятия по устранению недостаточной освещенности рабочей зоны.

Помещения с ПЭВМ должны иметь естественное и искусственное освещение. Для общего освещения помещений лучше использовать люминесцентные лампы.

В целях устранения бликов отражения поверхность экрана обрабатывается различными способами (кислотой, нанесением рассеивающих покрытий) или используются специальные фильтры. Для общего освещения лучше использовать потолочные или встроенные светильники с люминесцентными лампами. Источники света рекомендуются нейтрально-белого или теплого белого цвета. Световой поток от газоразрядных ламп по спектральному составу близок к естественному освещению и поэтому более благоприятен для зрения. Однако есть и недостаток эти лампы имеют пульсацию светового потока.

Мероприятия по снижению уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ.

При защите от внешнего облучения, возникающего при работе с дисплеем, проводятся следующие мероприятия:

- согласно СанПиН2.2.2.542-96 для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы – при 8-часовом рабочем дне продолжительностью 15 минут через каждый час работы;
- дисплей устанавливается таким образом, чтобы от экрана до оператора было не менее 60-70 см;
- должны использоваться дисплеи со встроенными защитными экранами.

В кабинете мониторы должны быть расположены по периметру задней поверхностью к стенам, а так же на отдельных столах. Поэтому можно считать, что расположение компьютеров удовлетворяет требованиям СанПиН.

Для мониторов рекомендуется следующее дооснащение:

- Защитный фильтр для экрана, ослабляющий переменное электрическое и электростатическое поля;
- Для одиночных ПЭВМ или их однорядном расположении – специальное защитное покрытие на переднюю панель и боковые стенки;
- При многорядном расположении ПЭВМ, если соседние рабочие места располагаются близко друг к другу (на расстоянии 1,2...2,5 м) – защитное покрытие задней и боковых стенок, монтирование специальных экранирующих панелей с задней и боковых сторон монитора, установка перегородок между различными пользователями.

Разработана технология защиты от электростатических, переменных электрической и магнитной составляющих ЭМИ путем нанесения электропроводных покрытий на внутреннюю поверхность корпуса монитора и его заземления, встраивания в дисплей оптического защитного фильтра, защищающего от излучений со стороны экрана.

Для мониторов устаревших конструкций, которые не соответствуют по уровню излучений современным требованиям безопасности и еще не сняты с эксплуатации, рекомендуется применять защитные фильтры (ЗФ), предназначенные для установки на экран. ЗФ представляют собой оптически прозрачную панель, которая жестко закрепляется на корпусе монитора с помощью кронштейна поверх экрана. На панель нанесен тонкий проводящий слой, который заземляется. Это позволяет подавить ЭМИ, исходящие от экрана в осевом направлении. Кроме того ЗФ устраняют блики,

появляющиеся на стеклянных элементах видеомонитора от осветительных приборов или солнечных лучей, которые отрицательно воздействуют на зрение оператора; уменьшают общую яркость экрана дисплея, в то же время детали изображения с малой яркостью становятся лучше видимы, так как общая контрастность увеличивается, при этом краски изображения становятся более сочными.

ЗФ можно разделить на следующие группы: сетчатые, пленочные, поляризационные, стеклянные и смешанного типа.

Наряду с мониторами на основе электронно-лучевой трубки применяют жидкокристаллические дисплеи (ЖК-мониторы). На всех переносных портативных компьютерах применяют ЖК-мониторы. В последнее время они находят применение и для настольных ПК. ЖК-мониторы потребляют значительно меньше энергии и практически полностью безопасны. Без опасения для здоровья ими могут пользоваться и женщины и дети.

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

4.4 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды на предприятии характеризуется комплексом принятых мер, которые направлены на предупреждение отрицательного воздействия человеческой деятельности предприятия на окружающую природу, что обеспечивает благоприятные и безопасные условия человеческой жизнедеятельности. Учитывая стремительное развитие научно-технического прогресса, перед человечеством встала сложная задача охраны важнейших составляющих окружающей среды (земля, вода, воздух),

подверженных сильнейшему загрязнению техногенными отходами и выбросами, что приводит к окислению почвы и воды, разрушению озонового слоя земли и климатическим изменениям. Промышленная политика всего мира привела к таким необратимым и существенным изменениям в окружающей среде, что этот вопрос (охрана окружающей среды на предприятии) стал общемировой проблемой и принудил государственные аппараты разработать долгосрочную экологическую политику по созданию внутригосударственного контроля за ПДВ.

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.

В процессе изготовления механизма «Волновой кинематический редуктор» остаются производственные отходы в виде обрезков и стружки, которые тщательно собираются и увозятся в пункт приема металлолома, где в дальнейшем переплавляются в прокат и поступают опять на производство.

В результате изготовления детали по технологическому процессу, был выявлен источник загрязнения гидросферы – использованная смазочно – охлаждающая жидкость для обработки детали. Приготовление жидкости состоит в смешении масла с водой и эмульгатором. Все масляные эмульсии обладают большой устойчивостью. При обычном отстаивании в течение трех месяцев концентрация масла снижается всего на 10—20 %. Обычно срок службы эмульсий не превышает одного месяца.

Сброс отработанных СОЖ в канализацию наносит вред окружающей среде и является расточительным. Утилизация отработанных СОЖ проводится путем разрушения эмульсии, разделения ее на компоненты и очистки последних. Содержание масла в СОЖ достигает 50 г/л, а количество

СОЖ подлежащих замене на предприятии, составляет от 1 до 300 м³/сут. Поэтому регенерация отработанных эмульсий на предприятиях экономически эффективна.

Для разрушения эмульсий применяют следующие методы:

- центрифугирование,
- реагентную коагуляцию,
- термический метод,
- а также их комбинацию.

Для изготовления данного механизма предлагается применять метод центрифугирования. В процессе центрифугирования при большой частоте вращения происходит разрушение коллоидной системы, в результате которого масло, имеющее меньшую плотность, чем вода, отделяется от дисперсионной среды. Для облегчения этого процесса в эмульсию добавляют кислоту, в присутствии которой разрушается гидратная оболочка эмульгатора на поверхности частиц масла. Содержание ее в смеси должно обеспечивать рН среды, равный 1-2, что требует изготовления центрифуги в кислотостойком исполнении. Таким образом, задача с утилизацией использованной смазочно-охлаждающей жидкости решена.

4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации могут быть техногенного, природного, биологического, социального или экологического характера. Это может быть угроза взрыва бомбы, угроза токсического отравления, угроза вооруженного нападения, угроза стихийного бедствия и т.д.

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

Основы пожарной безопасности определены по ГОСТ 12.1.004-91 и ГОСТ 12.1.010-76. Все производства по пожарной опасности

подразделяются на 5 категорий: А, Б, В, Г, Д. Причинами пожара могут быть: токи короткого замыкания, электрические перегрузки, выделение тепла, искрение в местах плохих контактов при соединении проводов, курение в неположенных местах.

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

- предотвращение пожаров;
- возгорание;
- локализация возникших пожаров;
- защита людей и материальных ценностей;
- тушение пожара.

Пожаром называют неконтролируемое горение во времени и пространстве, наносящее материальный ущерб и создающее угрозу жизни и здоровью людей.

Горение представляет собой сложное, быстро протекающее химическое превращение, сопровождающееся выделением большого количества теплоты и свечением.

Предотвращение пожара достигается исключением образования горючей среды и источников зажигания, а также поддержанием параметров среды в пределах, исключающих горение.

Пожар в лаборатории представляет особую опасность, так как он грозит уничтожением ЭВМ, аппаратуры, инструментов, документов, которые представляют большую материальную ценность, и возникновением пожара в соседних лабораториях.

Возникновение пожара в рассматриваемом помещении обуславливается следующими факторами: возникновение короткого замыкания в электропроводке вследствие неисправности самой проводки или электро-соединений и электrorаспределительных щитов; возгорание

устройств вычислительной аппаратуры вследствие нарушения изоляции или неисправности самой аппаратуры; возгорание мебели или пола по причине нарушения правил пожарной безопасности, а также неправильного использования дополнительных бытовых 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 и организационного плана.

Необходимость строгого соблюдения мер пожарной безопасности при работе с оборудованием и бытовыми приборами требует регулярного

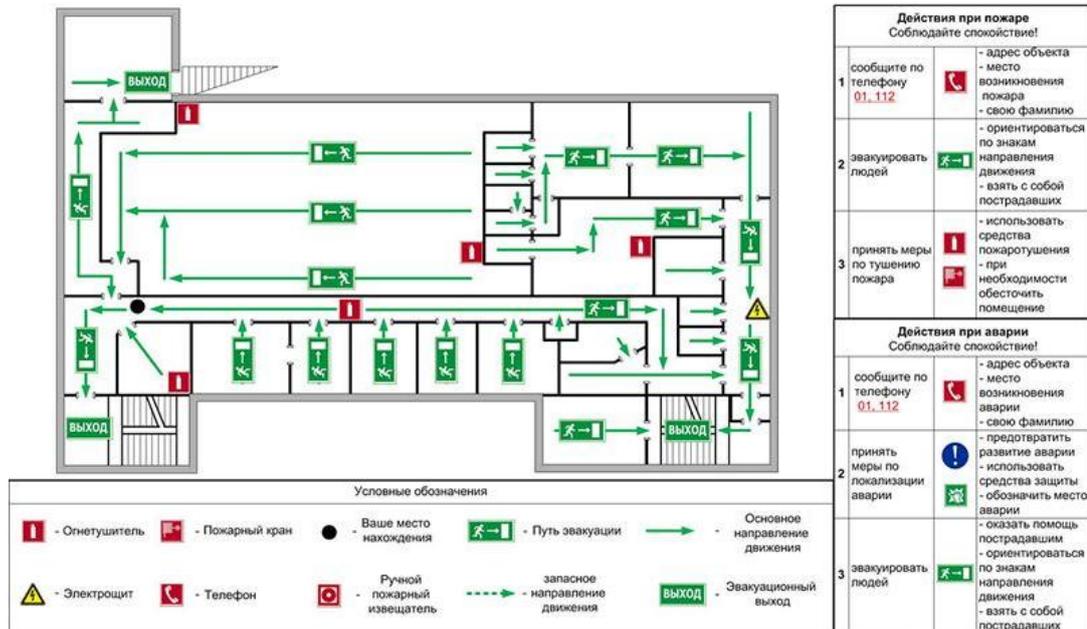
проведения инструктажей работников по пожарной безопасности и их действий в случае возникновения пожара в помещении или в соседних комнатах. При возникновении пожара нужно, прежде всего, вызвать пожарную команду, обеспечить полную эвакуацию людей из помещения, где возник пожар. Вынужденная эвакуация 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 изображен на рисунке 4.

После эвакуации людей необходимо принять меры по пожаротушению. На лестничных площадках каждого этажа здания находятся пожарные щиты. Каждый из этих щитов оборудован лопатами, ведрами, топором и двумя огнетушителями типа ОХВП - 10. Рядом со щитом расположен ящик с песком.

План эвакуации

Утверждаю _____



Действия при пожаре		Соблюдайте спокойствие!	
1	сообщите по телефону 01, 112		- адрес объекта - место возникновения пожара - свою фамилию
2	эвакуировать людей		- ориентироваться по знакам направления движения - взять с собой пострадавших
3	принять меры по тушению пожара		- использовать средства пожаротушения - при необходимости обесточить помещение
Действия при аварии		Соблюдайте спокойствие!	
1	сообщите по телефону 01, 112		- адрес объекта - место возникновения аварии - свою фамилию
2	принять меры по локализации аварии		- предотвратить развитие аварии - использовать средства защиты - обозначить место аварии
3	эвакуировать людей		- оказать помощь пострадавшим - ориентироваться по знакам направления движения - взять с собой пострадавших

Рис. 43 План эвакуации

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной работы был проведен патентно-литературный обзор, в рамках которого ознакомились с принципиальными схемами конструкций. В рамках проведения патентного поиска не было найдено ни одного аналога предложенной схемы волнового кинематического редуктора и результаты данного анализа были положены в основу разработки собственной принципиальной схемы, кинематика которой полностью удовлетворяет требованиям технического задания.

На втором этапе работы выполнены виртуальные эксперимент в программе Solidworks и рассчитаны параметры, необходимые для ее исследования. Опытным путем определена нагрузочная и несущая способность волнового кинематического редуктора. Проведены некоторые изменения в геометрии, которые позволили получить более простой и прочный профиль зуба по сравнению с классическим зацеплением Новикова. Так же составлена математическая модель и проведено математическое исследование в программном обеспечении Paskal ABS с помощью метода Рунге-Кутта,

На третьем этапе было рассчитано ресурсоэффективность проекта. И можно сказать что рассматриваемый проект является очень перспективной темой для исследований и внедрения в различные отрасли промышленности.

В ходе проведения части «Социальная ответственность», был предложен конкретный способ утилизации смазочной охлаждающей жидкости для производства исследуемого объекта. Данный способ называется центрифугированный.

Для офисных помещений чрезвычайной ситуацией является пожар. Следовательно, был предложен план эвакуации для помещения, в котором проходят исследования волнового кинематического редуктора.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Статья «ВАРИАНТЫ КОНСТРУКЦИЙ МАЛОГАБАРИТНОГО МЕХАТРОННОГО УЗЛА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ» Санникова Е.В. , Крауиньш П.Я. в журнале Современные технологии концептуального конструирования: труды II Международной конференции(г.Томск, 12 ноября 2018г.) под ред. А.С. Соколова. – Томск: STT, 2019-44с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Козырев В.В. Планетарные редукторы в составе роботов и мехатронных систем. Учебное пособие, Владимир 2008г
- 2) Иванов М.Н. Детали машин.-М: Высшая школа 1999. – 400с.
- 3) Решетов Д.Н. Детали машин-М: Машиностроение1989.-655с.
- 4) Янгулов В.С. Техническая механика: Волновые и винтовые механизмы и передачи. Учебное пособие для СПО. – Саратов: Проф Образование, 2017г.- 183с.
- 5) Степанов В.С. Методика проектирования привода на основе волновой передачи с телами качения. Автореферат. Москва 2009г.
- 6) Егоров О.Д. Прикладная механика мехатронных устройств. Учебное пособие. – М.: ФГБОУ ВПО МГТУ «Станкин», 2013-229с.
- 7) Передача Новикова: http://tehpromcomplect.ru/peredachi_novikova
- 8) Признаки и состав мехатронных систем:
<https://emkelektron.webnode.com/news/priznaki-i-sostav-mekhatronnykh-sistem/>
- 9) Перель Л. Я. Подшипники качения: Расчет, проектирование и обслуживание опор: Справочник,—М.: Машиностроение, 1983.— 543 с, ил.
- 10) Крагельский И.В. Трение волокнистых веществ – М.:Гизлегпром, 1941.- 214с.
- 11) ПЕРЕДАЧА ВИНТ – ГАЙКА: учебное пособие / сост. В. О. Варганов, М.В. Аввакумов, М. В. Колычев, В.М. Гребенникова, В. А. Романов; СПбГТУРП. – СПб., 2015. – 57 с.
- 12) Патент № 2099614 «Прецессионная передача»
<https://findpatent.ru/patent/209/2099614.html>
- 13) Степанова Д.Л., Никулин П.А., Крауиньш П.Я. Исследование распределения нагрузки волнового кинематического редуктора с модифицированным профилем зуба и зависимости нагрузочных способностей по отношению к его передаточному числу и габаритным размерам // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №4 (2016)
<http://naukovedenie.ru/PDF/96TVN416.pdf> (доступ свободный).

- 14) Анурьев В.И. Справочник конструктора – машиностроителя Том 2
- 15) Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. – М.: «Наука», 1991.
- 16) Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2010. 464 с., ил. (Серия «Проектирование»).
- 17) Вирт Н. Алгоритмы +структуры данных = программы: Пер. с англ. – М.:мир, 1985. – 406 с., ил .
- 18) Организация рабочего места должна удовлетворять требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.
- 19) Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).
- 20) ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
- 21) ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
- 22) ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. - Требования к микроклимату по ГОСТ 12.1.005-88 .
- 23) Требования к уровню шума на рабочих местах СН 2.2.4/2.1.8.562–96.
- 24) Требования к освещению СП 52.13330.2016.
- 25) Естественное и искусственное освещение СНиП 23-05-95.
- 26) Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ

Приложение А

Раздел 1

Литературный обзор

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ71	Санникова Е.В.		

Консультант отделения Материаловедения школы ИШНПТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Крауиньш П.Я.	д.т.н.		

Консультант – лингвист отделения Иностранных языков школы ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Устюжанина А.К.	к.ф.н.		

1. LITERARY AND PATENT REVIEW

1.1 Mechatronics device

Mechatronic device is a device built on the principles of synergetic integration of elements of different physical nature and designed for control functional movements of its output links.

Depending on the level of integration of mechatronic device elements and its functional purpose are differ:

- mechatronic modules;
- mechatronic machines;
- mechatronic system;
- mechatronic complexes.

Mechatronic module is a functionally and constructively independent product, built with interpenetration and synergetic hardware-software integration of its constituent elements having different physical nature, and designed to implement the required controlled functional movement of its output link [6].

Mechatronic device has the following characteristics:

1. Presence of the output mechanical link (further VMZ) performing external functions of the mechatronic device; the impact electromechanical driver of the output link; the device of program control of the drive; of information system, controlling the state of the environment or the state of the mechatronic device itself.

2. Minimum transformation of information and energy (for example, the use of high-torque or linear motors without reduction gears) – the principle of minimum transformation.

3. Using one and the same element of a mechatronic device for realization several functions is the principle of combining functions.

4. Combining mechatronic device cases is the principle of combining cases.
5. The use of ultra-dense mounting elements.

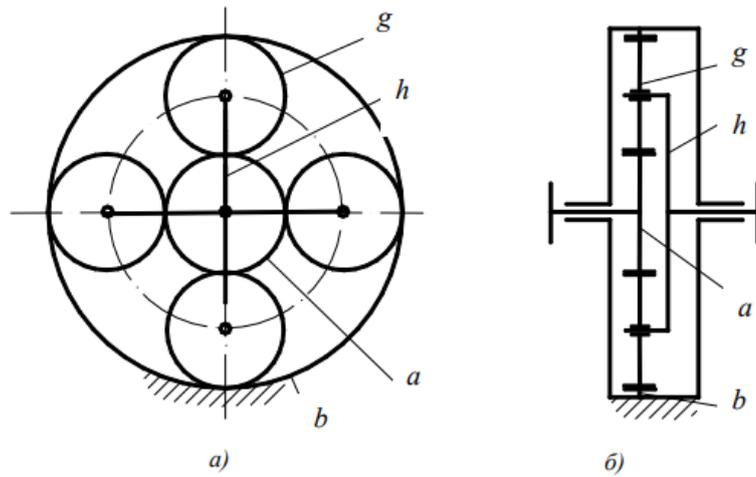
Examples of modern mechatronic devices are: modules of machine tools and industrial robots, external memory devices of computers, printers, household appliances, etc. the Mechatronic device can be either a machine or a assemblies (functional element, module) of machine [8].

And because that the designed mechatronic device will include a reducer with internal gearing, we will review the available types of reducers.

1.2 Planetary gear

Planetary gears are gears having gears with moving axes [2, 3]. Links with fixed axles of rotation are called the main links, links with moving axles – satellites. There are many constructive schemes planetary transmission. At their designations, the main links are indicated: the Central wheels with the letter "k", and the driver with the letter "h".

For example, the $2k-h$ indicates a constructive diagram with a sun and crown wheels, and drove, and $3k$ – structural scheme that contains a sun wheel, the stationary and movable crown wheel. Satellite gears are not indicated in the designations. Let us first consider the simplest and most widely used transmission $2k-h$ (Fig. 1, a, b). If you fasten the crown wheel b, the movement can be transmitted from the solar wheel a to the driver h or from h to a. If you fasten the solar wheel a, the movement can be transmitted from the crown wheel b to the driver h or from h to b.

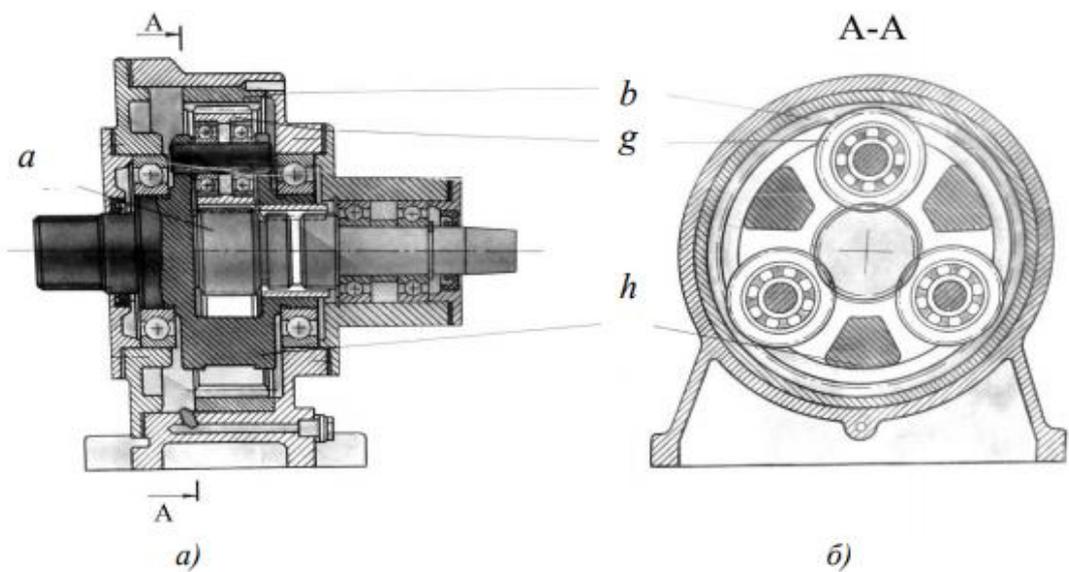


Picture 1 Planetary gear

a) Scheme 2k-h, b) Scheme 3k-h.

If we leave all the links free, instead of a mechanism with one degree of freedom we get a mechanism with two degrees of freedom, that is, a differential mechanism. By means of the differential mechanism of movement of two links it is possible to put or movement of one link can be decomposed on movements of two other links.

The design of the planetary gear 2K-h is shown in Fig.2 a, b



Picture 2 Design of planetary gear 2K-h.

Advantages of planetary gears:

1. Wide kinematic possibilities, because the planetary gear can perform the functions of a reducer with a constant gear ratio (for example, when the crown wheel is fixed), the speed-change box with the successive fixing of the various main links, a differential mechanism for adding and subtracting movements.

2. Outline dimensions and weight of gearboxes on the basis of planetary gears can be 2 – 4 times smaller than the overall dimensions and weight of ordinary gearboxes.

Reduction of overall dimensions and weight is explained by the following features:

a) multithreading – power is transmitted from the input link to the output by several parallel streams, the number of which is equal to the number of satellites (for example, with four satellites, the load in the gear engagement of each satellite is on average four times less than in the gear coupling of an ordinary single-stream transmission, which allows to reduce the diameters of the solar wheel and satellites);

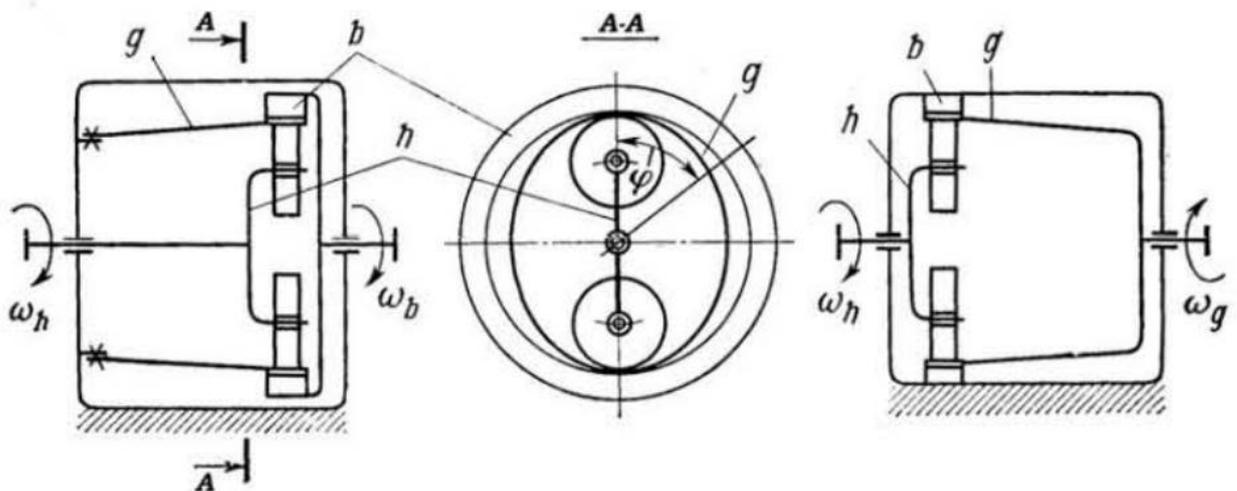
b) the design scheme of the planetary gear is a symmetrical structure and because of this symmetry of the load components in the gear meshes are mutually balanced and practically not transmitted to the bearings of the main links, so these bearings can be performed small sizes;

c) in planetary gears without a solar wheel, the internal gearing of satellites and the crown wheel provides a reduced radius of curvature of the internal gearing greater than that of a similar external gearing of an ordinary transmission [1].

1.3 Wave transmission

One of the relatively new mechanical transmissions with internal gearing is the wave gear mechanism (next - VZP), based on the principle of wave deformation of one of the links - a thin-walled gear wheel. Wave mechanical transmission is based on the principle of transmission and transformation of motion by wave deformation of one of links mechanism. Possessing a number of positive qualities, wave transmission has received a wide vocation and distribution.

The scheme of one of the simple variants of the wave transmission is shown picture 3. The transmission includes three kinematic links: the flexible wheel g , the hard wheel b and the generator of deformation waves h . The flexible wheel is made in the form of a ring passing into a flexible cylinder. In this case, the kinematic link is a flexible ring, and the flexible cylinder acts as an elastic connection of the deformable ring with another rigid non-deformable transmission element, for example, with a driven shaft or with housing. In the above transmission scheme, the flexible wheel is connected to the shaft by a flexible cylinder. The length of the flexible cylinder is usually much larger than the width of the toothed crown and determines the axial dimension transfers. In addition, it is this part of the flexible wheel makes it difficult to manufacture.



Picture 3 Wave transmission.

The first attempts to solve the issues related to the development, manufacture and operation of gearboxes based on wave gears, were associated with high costs. Cyclic alternating loads on the thin-walled gear and on the outer ring of the flexible bearing of the generator with the usual technology of their manufacture led to breakage of these parts, i.e. the resource and reliability of the gears were low.

The rapid development of robotics in the United States, Japan, South Korea and other countries required the creation of a whole range of actuators, including small drives with gearboxes. New technologies in materials science, heat treatment, metal processing and research on the calculation and development of the CP allowed to solve the problem of using in robotics wave transmissions in gear drives actuators. Picture 4 shows the transmission made in Japan, which is used in the actuators of the automatic line.



Picture 4 Wave transmission with a flexible wheel.

Simultaneously with VSP research, the world is constantly searching for transmissions that would have their positive qualities, but would have a higher resource and reliability. One of them is the wave transmission with intermediate bodies. Its distinctive feature is the replacement of a thin-walled gear on a

composite wheel, consisting of a cage, in the radial grooves of which are placed intermediate bodies in contact under the action of the generator with the teeth of the hard wheel.

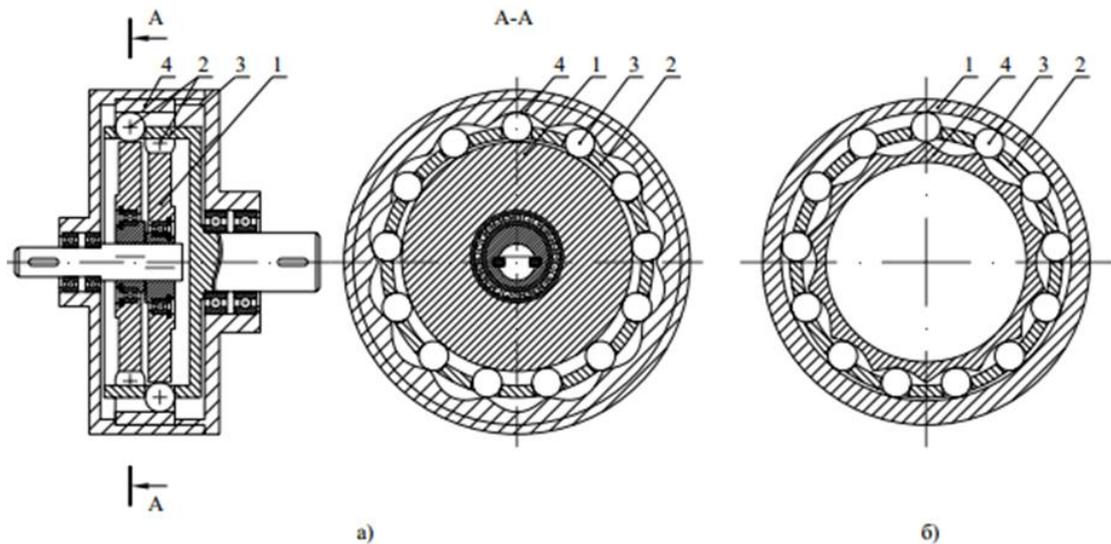
As intermediate bodies various details were used: plungers pushers, coils of a serpentine spring, bodies of rotation (balls and rollers), etc.



Picture 5 of the Wave gear with a intermediate rolling elements.

Use as intermediate rolling elements of balls or rollers allows to obtain high hardness of the working surfaces in the points of contact of these bodies with the working surfaces of the hard wheel. Upon picture 5 the first stage of the gearbox of the rotation drive of the gimbal framework of the Electromechanical Executive body of the spacecraft orientation and stabilization system is presented. It is a wave gear with intermediate rolling elements [4].

The wave transmission ball (roller) contains four main elements: a wave former, a separator, a rolling body and a rigid wheel. The waveguide is the leading link of the transmission, while the slave can be a hard wheel (when the separator is stopped) or separator (when the hard wheel is stopped). The hard wheel is located outside the separator (picture 6a) or inside it (picture 6b) [5].



Picture 6 Constructive scheme of wave transmission

a) with external hard wheel

b) with inner hard wheel

1- waveguide, 2- separator, 3- rolling elements, 4- hard wheel

An important place in the calculations of wave transmissions with a flexible gear wheel and with an intermediate coil spring is the choice of tooth profiles [4].

1.4 Novikov's transmission

1.4.1 Transmission and Novikov's involute engagement. Main difference

The most common and widely used involute profile has gained its fame due to the high manufacturability of their production and significant operational advantages over gears with other gearwheels profiles. Their key advantages include the fact that the gear ratio and the correct engagement lag behind distance, as well as the fact that involute gearing can be applied in interchangeable wheels.

In the manufacture of transmission with one line of engagement is necessary to have two special cutters (one for cutting the teeth of the wheel, and the second - the gear).

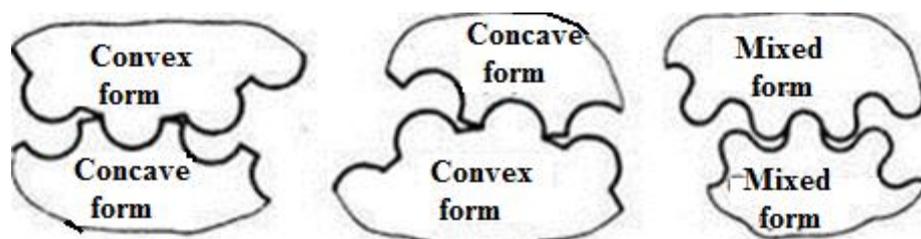
Many scientists agree that both types of transmission still have considerable potential for improvement and may well coexist for many years in engineering.

1.4.2 Technical features of Novikov's transmission

The main task facing the designers who worked on the modification of gears was to increase the bearing capacity of the latter. Developed by Novikov, the original version of the interface of the surfaces of the teeth was a real breakthrough in the field of mechanical engineering.

Novikov's idea was to replace the linear contact of the tooth surfaces with a point contact. Accordingly, this approach made it possible to change the type of tooth profiles observed in the end section: instead of mutually bending curves Novikov used teeth, outlined by circles of radii having a minimum curvature difference. One of profiles thus usually carry out convex, and the second, respectively, concave.

However, in some cases, the gear teeth and wheels may have a different profile, as shown in picture 7:



Picture 7 Shape of the teeth of the transmission Novikov.

The combination of such tooth profiles allows to ensure that the area of their contact is shifted in the process of working along the profile, and is not located directly along its entire line. At the same time, both the speed of movement and the created pressure angle remain unchanged.

Initially, Novikov created a type of engagement with only one line of engagement, which, depending on where in which of the points of contact, could be either "pre-polar" or "polar". However, the best performance (greater load capacity and manufacturability, less noise and sensitivity to axial displacement) has subsequently created a transmission with two lines of engagement (pre-polar engagement). In this version, the legs of each of the wheels are concave, and the heads are convex. In addition to the advantages in operation, the advantage of pre-polar engagement is that the cutting of teeth on the gear and wheel can be carried out with one tool. This simplifies the technology of work and increases their accuracy.

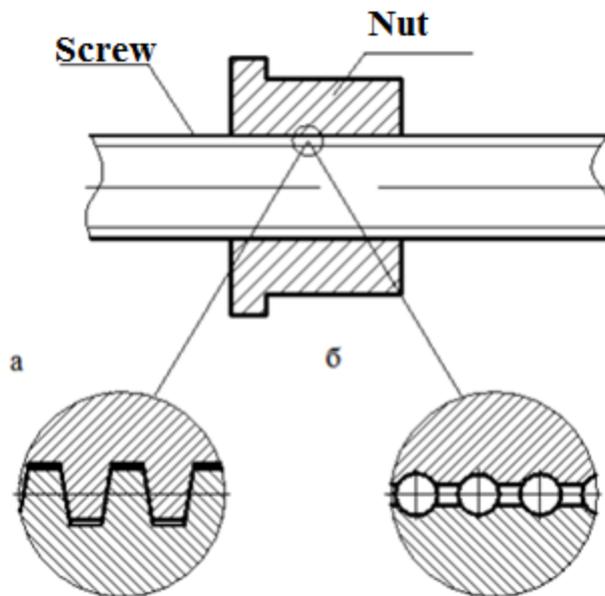
1.4.3 Scope of Novikov's gears

As it often happened in the history of the world industry, the invention, which found wide circulation in the national economy, was originally intended for the needs of the military-industrial complex. Although the specialization of M. L. Novikov were aircraft engines, he developed a system of engagement (in the West it is often, and quite unreasonably, called the Wilbager-Novikov system) helped to solve many problems in the design of powerful low-speed heavy units - such as tanks, tractors, tractors, etc.

The most widespread engagement of Novikov found in the General gear construction, mainly in the USSR and in the later formed post-Soviet States. However, in General, the production of gearboxes, which used the transfer of Novikov, in the 60-70-ies of the last century was established in 49 countries [7].

1.5 Transmission Screw-nut

The transmission screw-nut is mainly designed to convert rotational motion into translational motion. In the transmission using a pair of screw – nut sliding (Fig. 8a) or rolling (Fig. 8b) .



Picture 8 Transmission screw-nut: a-slip; b-rolling.

Helical gears can be divided into the following main groups: propellers for converting rotational motion into translational; cargo screws for moving loads and transferring forces; set screws used to fix parts in machines and mechanisms.

The field of application of screw-nut gears is quite extensive – from accurate measuring devices (mechanisms of dividing devices) to heavily loaded pressure devices of rolling mills. Screw gears are used in screw jacks and presses, pullers, various types of ties, tension and clamping devices, clamping devices, machine feed mechanisms, etc. According to the scheme of execution and design solutions of the screw-nut transmission are very diverse. In the overwhelming majority of designs the nut motionless, and the screw makes rotational and translational movement, but there are screw transfers in which the nut rotates, and the screw makes only translational movement (some jacks and clamps, mechanisms of change of departure of cranes, etc.). The advantages of the screw-nut transmission are the ability to obtain a slow translational motion at relatively high speeds; a significant gain in strength; high accuracy of movement; simplicity of design; small size; the ability to provide self-braking. The disadvantages of sliding transmission include large friction losses and, accordingly, a relatively low

efficiency. Rolling gears are devoid of this disadvantage, but their design is more complex and the cost is higher.

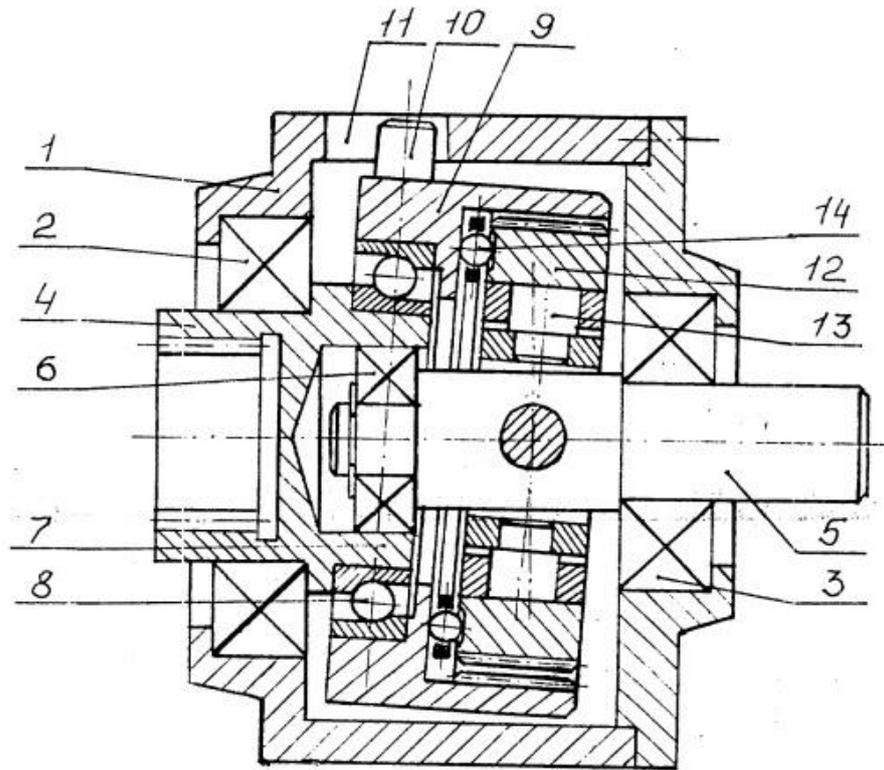
Thread profile in the gear slip is selected depending on the accuracy requirements of the movement, efficiency and adaptability. In order to increase the efficiency in the transmission of screw-nut sliding threads are used, having a reduced coefficient of friction.

Metric (triangular) threads are used in transmissions of instruments and measuring machines, where small movements with high accuracy are required, and the efficiency is not significant [11].

1.6. Patent review

Precession transmission, made in the form of a reducer, contains a body of pos.1, in which by means of bearing pos.2 and pos.3, respectively located in the input shaft pos.4 and coaxially to it, the output shaft pos.5, with the inner end of the output shaft pos.5 placed in the bore of the input shaft pos.4 using bearing pos.6. On the input shaft pos.4 is a wave generator precessional motion poses.7, in the form of an oblique crank on which the bearing pos.8 planted the drive wheel pos.9 with internal cylindrical gear ring. On the hub of the drive wheel 9 is rigidly fixed cylindrical finger pos.10, whose axis is perpendicular to the axis of rotation of the drive wheel pos.9, and the free end of the finger poses.10 placed in the longitudinal, relative to the axis of the input shaft, the groove pos.11, made in the case of pos.1 gear. Driving wheel pos.9 engages with driven wheel pos.12 having an external cylindrical toothed crown and planted with a universal joint pos.13 on output shaft pos.5. Hubs leading poses.9 and slave pos.the 12 gears are further interconnected by means of a thrust ball bearing pos.14, for this purpose on one of the hubs of these wheels is made raceway.

The transmission works as follows.



Picture 9 Precessional transfer.

When rotating the input shaft pos.4 rotates performed on it the wave generator precession motion 7, reporting through the bearing pos.8 drive wheel pos.9, braked on the body pos.1 from rotation by finger poses.10, entering the groove pos.11 corps pos.1, the precessional motion. In turn, the driving wheel poses.9, interacting with the driven wheel pos.12 in the gear teeth, and further through the bearing pos.14, according to the wheel pos.12, synchronized to its motion, precessional motion. In this case, the plane of the maximum angle of inclination of the hubs of the driving positions.9 and slave pos.12 gears relative to the axis of the input shaft pos.4, in which the engagement of the teeth, also "rotates". Wave of mutual engagement of the teeth of the wheels pos.9 and pos.12 moves around the circumference of their toothed crowns and all the teeth of the leading postures.9 and slave pos.12 gears sequentially engage with each other. Due to the difference in the number of teeth of the leading poses.9 and slave pos.12 gears, per revolution of the input shaft pos.4 driven wheel pos.12 turns relative to the drive wheel 9 at an angle corresponding to this difference. Because the drive wheel pos.9 braked from rotation on the body pos.1 gear and driven wheel pos.12

braked from rotation by means of a universal joint pos.13 on the output shaft pos.5. Then, in one revolution of the input shaft 4, the output shaft 5 will rotate relative to the body pos.1 transfer also the angle corresponding to the difference of teeth leading positions.9 and slave pos.12 gears. Thus, the transfer ratio of such a transfer is equal to:

$$R = \left| \frac{z_1}{z_2 - z_1} \right| ,$$

where Z1 and Z2 respectively, the number of teeth of the slave pos.12 and the leading pos.9 gears [12].

Приложение Б

```
Program MatMod;
Uses GraphABC;
var k1,k2,k3,k4,x1,x0,dt,t,t0: double;
    g1,g2,g3,g4,y0,y1,c,xmax,vmax,xmin,vmin,
    dyy,dxx,Ky,kyx,dyx,
    m,A,h,ff,ff0,J,w,w0,e,m0:double;
    k,xn,yn,dx,dy,ax,bx,l:integer;
    i,ii,ij:longint;
    tx,ty:byte;
    s:String;

//правые части (f1,f2) системы дифференциальных уравнений первого порядка
function f1(x,y:double):double;
begin
    f1:=(ff-h*y-c*x)/m; {dv/dt}
end;//f1

function f2(y:double):double;
begin
    f2:=y; {dx/dt}
end;//f2

begin
SetWindowSize(640,680);// размеры графическая область
SetWindowCaption('Результаты моделирования');
Font.Name := 'Times New Roman';
    Font.Style := fsItalic;
    Font.Size := 10;
    Font.Color := clBlack;
    xn:=80;
    yn:=340; //340
    dx:=60; // клетка
    dy:=40 ; //клетка в сетке
    tx:=2*TextWidth('M');
    ty:=TextHeight('M');

    for i:=-5 to 5 do
    for k:=0 to 8 do
begin
    ax:= xn+dx*k;
    bx:=yn-dy*i;
    DrawRectangle(xn,yn,ax,bx);
    if k=0 then begin
case i of
-1: s:='-20';
-2: s:='-40';
-3: s:='-60';
-4: s:='-80';
-5: s:='-V%';
0:s:='';

1: s:='40';
2: s:='40';
3: s:='60';
4: s:='90';
5: s:='v %';

end; //case
S:=copy(s,1,4);
```

```

TextOut (xn-round (2*ty), yn-dy*i, s);
end;l:=0;
if i=5 then begin
case k of
0: s:=' 0';
1: s:='';
2: s:=' 25';
3: s:='';
4: s:=' 50';
5: s:='';
6: s:=' 75';
7: s:='';
8: s:=' t %';//+' t,c';
end; //case

S:=copy (s,1,4);
TextOut (xn+dx*k, yn+2, s);
inc (l);
end;

end;

//Data
m:=3.7; //[кг]
c:=111; //[Н/М]
h:=18; //[Н*сек/М]
dt:=0.005; // шаг
ii:=10000; ij:=9000;
m0:=0.05; //[кг]
e:=0.00075; //[М]
w0:=sqrt (c/m);
w:=4.9*w0; //[рад/сек]
A:=0.0055; //[М]
t0:=dt*(ii-ij);

ff0:=(A*m0*e*w*w);
xmax:=ff0/c;//статика отклонение
vmax:=xmax*w0;
//End Data

// метод Рунге-Кутты
x0:=0; y0:=0; ff:=0;
for i:=0 to ii do
begin
ff:=ff0*sin (w*dt*i);

k1:=dt*f1 (x0,y0);
k2:=dt*f1 (x0+k1/2,y0+g1/2);
k3:=dt*f1 (x0+k2/2,y0+g2/2);
k4:=dt*f1 (x0+k3,y0+g3);
g1:=dt*f2 (y0);
g2:=dt*f2 (y0+g1/2);
g3:=dt*f2 (y0+g2/2);
g4:=dt*f2 (y0+g3);
y1:=y0+(k1+2*k2+2*k3+k4)/6 ;//v
x1:=x0+(g1+2*g2+2*g3+g4)/6 ; //x
x0:=x1;
y0:=y1; t:=t+dt;

//SetPenWidth (2);

```

```

//Строим решение
if i>j then begin
  PutPixel(xn+trunc(8*dx*(i-ij)/(ii-ij)),yn-trunc(5*dy*x0/xmax),clred);
  PutPixel(xn+trunc(8*dx*(i-ij)/(ii-ij)),yn-round(5*dy*y0/vmax),clblue);
end;

end;// графическое решение построено

Font.Color := clblue;
TextOut(xn+3*dx+2*tx,yn-6*dy-4*ty,'Скорость  $\varphi$ ');

Font.Color :=clred;
TextOut(xn+3*dx+2*tx,yn-6*dy-3*ty,'Перемещение  $\varphi$ ');

Font.Name := 'Times New Roman';
Font.Style := fsBold;
Font.Size := 12;
Font.Color :=clblue;
s:=FloatToStr(0.01*vmax);
S:=copy(s,1,4);
TextOut(xn,yn-6*dy-4*ty,'V= $\varphi$ -100%='+s+'mm/sec');
Font.Color :=clred;
s:=FloatToStr(0.01*xmax);
S:=copy(s,1,4);
TextOut(xn,yn-6*dy-3*ty,'X= $\varphi$ -100%='+s+'mm');
Font.Color :=clblack;
str(t0:3:2,s);
TextOut(xn,yn-5*dy-2*ty+3,'t0 =' +s+'sec');
Repeat
case 1 of
  1: begin str(m:2:2,s);s:='m= '+s+'kg';end;
  2: begin str(c:2:2,s);s:='c= '+s+'N/m';end;
  3: begin str(h/(2*sqrt(c*m)):2:2,s);s:='zt=' +s;end;
  4: begin str(w:2:2,s);s:='w= '+s+'rad/sec';end;
end;
TextOut(xn-3*dy+7*ty*1,yn-5*dy-3*ty,s);
inc(l);
until l>4;
end.

```