

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

Инженерная школа Новых производственных технологий  
 Направление подготовки: 15.04.01. «Машиностроение»  
 Отделение материаловедения школы (НОЦ)

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка математической модели напряженно-деформированного состояния передачи с ПТК

УДК : 519.876:621.83.059.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Ван Фансюань		05.06.2021

Научный руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротков В.С.	к.т.н.		05.06.2021

#### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук И.В.	к.ф.н.		05.06.2021

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			05.06.2021

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП по разделу «Раздел ВКР на иностранном языке»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Айкина Татьяна Юрьевна	к.ф.н.		05.06.2021

#### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01Машиностроение	Мартюшев Н.В.	к.т.н.		05.06.2021

Томск – 2021 г

## Результаты обучения

### ООП: Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла, получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения в том числе в режиме удаленного доступа
УК(У)-3	Способность организовать и руководить работой команды, выработать командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия (-ий), анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-5	Способность на научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности, владеть навыками самостоятельной работы в сфере проведения научных исследований, создавать и редактировать тексты профессионального назначения
УК(У)-6	Способность определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, а также использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способность осуществлять экспертизу технической документации
ОПК(У)-5	Способность организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-6	Способность к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными
ОПК(У)-7	Способность обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов

	интеллектуальной деятельности
ОПК(У)-8	Способность проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способность обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений
ОПК(У)-10	Способность организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников
ОПК(У)-11	Способность подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-13	Способность разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
ОПК(У)-14	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способность разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-2	Способность разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении
ПК(У)-3	Способность оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии
ПК(У)-4	Способность подготавливать заявки на изобретения и промышленные образцы, организовывать работы по осуществлению авторского надзора при изготовлении, монтаже, наладке, испытаниях и с даче в эксплуатацию выпускаемых изделий и объектов машиностроения
ПК(У)-5	Способность разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности на предприятии, оценивать инновационные и технологические риски при внедрении новых технологий, организовывать повышение квалификации и тренинг сотрудников подразделений в области инновационной деятельности и координировать работу персонала при комплексном решении инновационных проблем в машиностроении
ПК(У)-6	Способность разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов машиностроительного производства
ПК(У)-7	Способность организовать развитие творческой инициативы,

	рационализации, изобретательства, внедрение достижений отечественной и зарубежной науки, техники, использование передового опыта, обеспечивающих эффективную работу подразделения, предприятия
ПК(У)-8	Способность организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-9	Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-10	Способность и готовность использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности
ПК(У)-11	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения в области профессиональной деятельности
ПК(У)-12	Способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений в области профессиональной деятельности
ПК(У)-13	Способность применять новые современные методы разработки технологических процессов изготовления изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности с определением рациональных технологических режимов работы специального оборудования в машиностроении

# 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: 15.04.01. «Машиностроение»

Отделение материаловедения школы (НОЦ)

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

Мартюшев Н.В.

(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
4АМ91	Ван Фансюань

Тема работы:

Разработка математической модели напряженно-деформированного состояния передачи с ПТК

Утверждена приказом директора (дата, номер)

от 12.04.2021 №102-33/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

05.06.2021

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

#### Исходные данные к работе

(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.).

Разработка математической модели для моделирования напряженно-деформированного состояния передачи с ПТК

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выбор соответствующее программное обеспечение</li> <li>2. Понимание передача с промежуточными телами качения</li> <li>3. Конвертирование 3D модели редуктора в систему Ansys</li> <li>4. Выбор метода моделирования и задание параметров материалов деталей редуктора</li> <li>5. Задание возможных контактных поверхностей, установление видов контактов</li> <li>6. Получение результатов моделирования</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сборочный чертеж мехатронного модуля</li> <li>2. Выходные эпюры моделирования</li> </ol>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Кащук Ирина Вадимовна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Скачкова Лариса Александровна</p>
<p>Разделы, выполненные на иностранном языке</p>	<p>Айкина Татьяна Юрьевна</p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p style="text-align: center;">Обзор современных САЕ-систем</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p style="text-align: center;">08.09.2019</p>
--	---

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротков В.С.	к.т.н.		08.09.2019

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Ван Фансюань		08.09.2019

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит 109 страниц, 39 рисунка, 22 таблиц, 2 приложения, 30 источника литератур.

Ключевые слова: CAE-систем, передача с промежуточными телами качения, напряженно-деформированного состояния, мощность, моделирование .

Объектом исследования является передача с промежуточными телами качения.

Цель работы: Создание математической модели в системе ANSYS для моделирования напряженно-деформированного состояния редуктора с промежуточными телами качения.

В процессе исследования проводились моделирование НДС редуктора с ПТК и анализ полученных данных.

В результате магистерской диссертации был выполнен анализ существующих методик определения силовых характеристик передач с ПТК. у редуктора нет проблем с безопасностью в работе.

Основные характеристики: габариты привода 81x81x87 мм, масса привода 330 грамм. Крутящий момент 1000 Н\*мм; Частота вращения выходного вала 100...400 об/мин.

Степень внедрения: Разработана конструкторская документация, смоделировано напряженно-деформированное состояние редуктора под нагрузкой.

Экономическая значимость работы: разработанная модель для моделирования НДС редуктора с ПТК дает возможность оценить реальные напряжения, возникающие под нагрузкой. Это сокращает время проектирования мехатронных модулей.

В будущем планируется проведение динамического анализа данного модуля и создание редуктора с равно прочностными деталями.

## Оглавление

Введение.....	9
1.Исследовательская.....	10
1.1 Литературный обзор современных CAE-систем.....	10
1.1.1 Abaqus.....	10
1.1.2 MSC Nastran.....	13
1.1.3 LS-DYNA.....	15
1.1.4 ANSYS.....	17
Выводы по главе I.....	20
1.2 Основные виды передач и Объект исследования(передача с ПТК).....	21
1.2.1 цилиндрическая передача.....	21
1.2.2 Коническая передача.....	23
1.2.3 Червячная передача (редуктор).....	24
1.2.4 Радиальные передачи.....	26
1.2.5 Передача с промежу телами качения.....	30
1.3 Инженерные расчеты напряженно-деформированного состояния редуктора в ANSYS.....	33
1.3.1 Цель исследования.....	33
1.3.2 Принцип работы Редуктор с телами качения.....	33
1.3.3 Объект исследования.....	34
1.3.4 Методика исследования.....	35
1.4 Результаты математического моделирования в ANSYS.....	42
1.4.1 Получить результаты деформации и прочности.....	42
1.4.2 Получить результаты о коэффициенте безопасности .....	46
2.Финансовый менеджмент.....	49
2.1 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	50
2.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	54
2.3 Бюджет научно-технического исследования.....	58
2.4 Определение ресурсной.....	65
Выводы по разделу.....	67
3.Социальная ответственность.....	69
3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности труда	72
3.2 Производственная безопасность.....	73
3.3 Превышение уровня шума.....	75
3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях:.....	86
3.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	90
Заключение.....	92
Список использованных источников.....	93
Приложение 1.....	97
Приложение 2.....	109

## Введение

В последнее время все больше возрастает интерес к Ansys и передачам с промежуточными телами качения (ПТК) . Из - за большого числа зубьев передачи с ПТК, эффект средней ошибки заметен, точность передачи высокая, и нет гибких элементов, высокая жёсткость кручения .

Практическая применимость: передачи с ПТК широко используется в таких отраслях промышленности, как машиностроение, горнорудная промышленность, металлургия, химия, текстильная промышленность, оборонная промышленность и другие отрасли промышленности.

Практическая новизна работы : В литературе практически отсутствует информация о силовом и прочностном расчете передачи с ПТК. Задачей данной работы является разработка математической модели для моделирования НДС такого вида передач.

Таким образом, анализ редуктор с передачи ПТК является актуальным.

Цель работы : создание математической модели в системе ANSYS для моделирования напряженно-деформированного состояния редуктора с промежуточными телами качения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Обзор современных САЕ-систем и их анализ;
2. Общие сведения о редукторах с ПТК, выбор конкретного редуктора;
3. Конвертирование 3D модели редуктора в систему ANSYS;
4. Получение результатов моделирования;

## **1.Исследовательская**

### **1.1 Литературный обзор современных CAE-систем**

CAE (сокращенное на английском языке) - вспомогательное машиностроение (компьютеры) представляет собой обширную область современной компьютерной инженерии, которая связана с предполагаемым обоснованием проектов в различных областях. Наиболее распространенный метод вычисления вычислительной программы CAE основан на числовых дифференциальных уравнениях) наиболее известный метод: метод конечных элементов, метод конечных величин, метод конечных разностей, метод пограничных элементов.

Программа CAE позволяет на стадии проектирования оценивать результаты работы созданного проекта в реальных условиях эксплуатации, прежде всего в аварийном режиме. Программа CAE и CAD интегрированы в систему CAD / CAM / CAE / PDM.

Все разнообразие компьютерных программ, используемых для моделирования объекта, можно разделить на две основные категории: инфраструктура расчетов и программа CAE. Для процесса компьютерного моделирования.

#### **1.1.1 Abaqus**

универсальный пакет программного обеспечения AAQUS, используемый для многоцелевых инженерных работ и междисциплинарного анализа в различных областях деятельности, таких, как:

Динамический анализ вязкостно - упругих / вязко - пластических реакций:  
анализ реакции на конструкцию пластических материалов .

Анализ теплопроводности: анализ переходных или установившихся режимов передачи, излучения и конвекции .

Массовый диффузионный анализ: анализ диффузии и просачивания МАСС из - за гидростатического давления .

Нелинейный динамический анализ напряжений / перемещений: можно имитировать различные изменения во времени

Анализ связи между температурой и перемещением в переходном режиме: решение проблем механики и термической реакции и их связи

Анализ связи: тепловая / силовая связь, тепловая / электрическая связь, связь под давлением / электричеством, связь между потоком / силой, акустическая / силовая связь ит.д.

Система ABAQUS может использоваться для решения таких сложных вопросов, как расчет интенсивности турбины, проектирование двигателя, анализ работы шасси и приводной системы, определение характеристик шин, вычисление сварных деталей, анализ столкновений (имитация сверхпластической формовки, литье металлов, проникающего материала), завершено вычисление конструкции композитного материала с учетом взаимодействия большого количества объектов с соприкосновением, землетрясением и взрывом, вычислено надежность ядерного реактора, анализ прочности электронных элементов и т.д.

Интерфейс системы ABAQUS показан на рис. 1

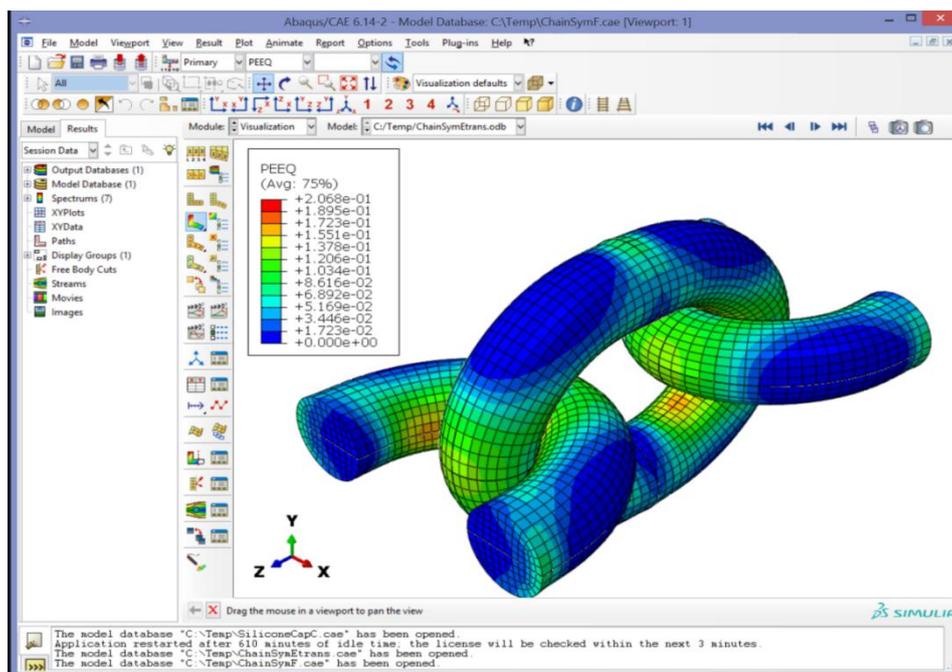


Рисунок 1 - интерфейс ABAQUS

## Особенности системы abqus

Кроме того, междисциплинарный статический и динамический анализ проводится в одном алгоритме. Это понятие помогает проводить различие между ABAQUS и другими аналогичными программами. Система ANSYS использует третий порядок уравнений для анализа сильных нелинейных и быстрых процессов (lesdyna), который позволяет ABAQUS решать многофункциональные проблемы одним и тем же способом, сочетая очевидные и расплывчатые решения, а также, конечно же, преимущества и комбинации модульного анализа.

Основной особенностью пакета ABAQUS является его универсальность. Пакеты программного обеспечения могут применяться на всех этапах проектирования, изготовления, а также производства, проектирования и технического обслуживания практически всех предприятий. Это, несомненно, является важным критерием при принятии решения о приобретении программного обеспечения.

ABAQUS предлагает открытый подход к решению сложных проблем и предоставляет неограниченные возможности для подключения к

каждому этапу вычисления задач программы пользователя. Важно также следить за надежностью пакетов ABAQUS. строгое регулирование процесса, осуществляемого институтом для определения сходимости, автоматически выбирает шаг интегрирования, контролирует выполнение задач на каждом этапе вычисления, множественные функции управления.

ABAQUS тесно интегрирован почти со всеми системами CAD и имеет свой мощный современный процессор ABAQUS/CAE. Она может быть связана с другими программными продуктами, такими, как Adams (кинематика и динамические узлы и институты, Sysnoise) (Moldflow) (литье в пластмассу) и (flowvision) - аэродинамика и гидродинамика.

### **1.1.2 MSC Nastran**

Основным продуктом MSC-nastran является, конечно, элементарная система на рынке. MSC-nastran доказал свою точность и эффективность более 40 лет в области, где ненадежные результаты могут привести к дополнительным издержкам в несколько миллионов долларов. В процессе развития он накопил преимущества новейших технологий, методов и алгоритмов, и по сей день остается главной в мире системы анализа элементов.

MSC - NASTRAN представил полный набор методов вычисления, включая расчет состояния деформации напряжения, запас прочности, расчет частоты и формы колебаний, анализ устойчивости, изучение динамических процессов стабилизации и неустойчивости, решение тепловых проблем, акустические явления, нелинейные статические и нелинейные переходные процессы, анализ сложных взаимодействий, расчет критических частот и вибраций ротора, анализ частотных характеристик случайных нагрузок и широкополосных импульсов. Он может имитировать почти все виды материалов, включая композиционные и сверхэластичные. Его расширенные функции включают в себя нижнюю

конструкцию технологии надстройки, включая передовые технологии динамической конденсации, модульные комплексы и сложные структурные динамические анализы на основе модулей и языка Craig - bampton.

MSC-nastran дает возможность преобразовать модель эластомера в набор программного обеспечения, который будет использоваться Адамсом для создания вычислительной модели машин и машин.

MSC-nastran обладает эффективной машиной, которая может автоматически оптимизировать конструкционные параметры, форму и компоновку. Широкая оптимизация позволяет MSC - Nastran использовать автоматическую идентификацию и экспериментальное планирование компьютерной вычислительной модели.

MSC-nastran обладает особой способностью имитировать кинетику платформ, что делает программное обеспечение незаменимым в отрасли, связанной с развитием гидротурбины

MSC-nastran предоставляет возможность вычислить конструкционные характеристики композиционного материала.

MSC-nastran широко используется в "экспериментальном плане", mscnasran занимается вопросами аналоговых систем управления и систем регулирования температуры, и рассматривает их последствия для проектирования.

в частности, MSC-nastran sol 600 является "MAC - анализатором", который обеспечивает углубленный анализ внутренней нелинейности структуры и теплопередачи, включая связанные с этим вопросы тепловой прочности.

MSC-nastran - современная суперкомпьютерная система. В то же время благодаря тесной интеграции патрана и симmanager с другими передовыми системами: Адамсом, усталостью, полетной нагрузкой и динамикой, Марком, Movieon, DYTRAN, EASY5, SimDesigner и Sft MSC nasran, а также с любой известной системой CAD / CAM / CAE был достигнут новый уровень воды, моделирование системы и междисциплинарный анализ широты и глубины. действительно, на компьютере была создана точная виртуальная модель

продукта, и еще до начала его производства были проведены всесторонние исследования его функционирования в рабочих и экстремальных условиях, что позволило повысить качество, надежность, безопасность, технический и экономический характер компьютерных тестов за счет совершенствования продукции ".это совершенно новая компьютерная система, основанная на знаниях, уровень интеграции которой определяется современной техникой VPD.

Применение " Nastran " в аэродинамике показано на рисунке 2

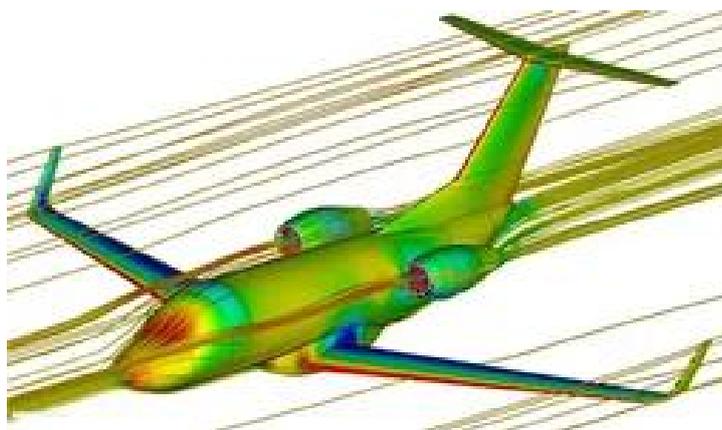


Рисунок 2 - Система "Nastran" в аэродинамике

### 1.1.3 LS-DYNA

LS - DYNA - специализированное программное обеспечение с ограниченным метаанализом и моделированием, используемое главным образом для моделирования и анализа процессов изготовления, моделирования событий с высокой энергией, анализа гидроструктурной связи и термического анализа, в основе которого лежат алгоритмы Лагранжа, а также алгоритмы ALE и Euler, имеющие высокую надежность моделирования, точность данных и т.д.

моделирование аварий на виртуальных транспортных средствах (обнаружение пыли) обычно осуществляется LS - Dyna, а) на одном или нескольких рабочих местах; Кроме того, были разработаны переносные зенитно - ракетные комплексы и современное оружие для анализа различных

производственных процессов: глубокой штамповки, гидравлического формования, сверхпластического формования, прокатки, штамповки, машинной обработки, сверления, смазки, изучения проблемы разрыва лопастей гидротурбины при столкновении с посторонними предметами или птицами. надкритическое поведение и охлаждение, распространение звуковых волн ит.д., решение проблем геологической механики.

Стандартные конфигурации ANSYS дополняют пакет программного обеспечения ANSYS / LS - DYNA. чтобы проиллюстрировать сферу его применения, мы вкратце обсудим основные различия между явными и неявными расчетами. ANSYS поддерживает неявные (implicit) вычисления, которые решают ряд задач, зависящих от времени. в целом, временной шаг может быть не очень небольшим, поскольку в каждом шаге, связанном с операцией матриц, принимаются решения по уравнениям и осуществляется сбалансированное интегрирование. в линейной матрице жесткости интегрирование абсолютно стабильно.

Моделирование процессов столкновения с автомобилями LS - DYNA показано на рис. 3

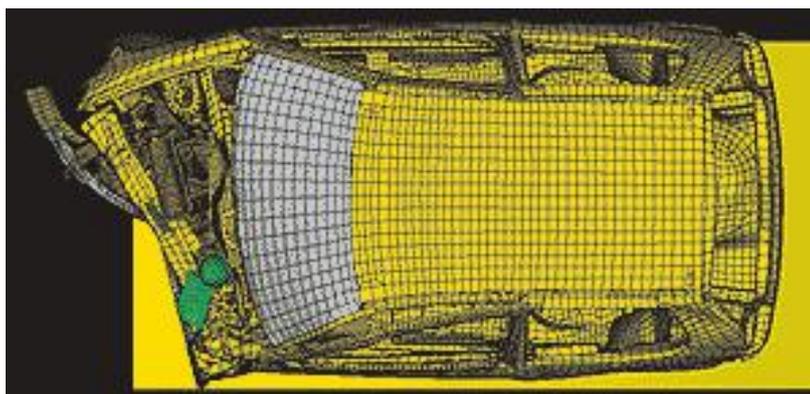


Рисунок 3 - Моделирование столкновения автомобиля с препятствием

### 1.1.4 ANSYS

Программа ANSYS представляет собой крупное универсальное программное обеспечение с ограниченным числом элементов анализа (FEA), разработанное американской компанией ANSYS, которое является самым быстрорастущим в мире компьютерным программным обеспечением (CAE), способным обеспечивать обмен и обмен данными с программным обеспечением, разработанным большинством автоматизированных конструкций (CAD, computer Aided design), таких, как Creo, NASTRAN, Algor, I - DEAS, AutoCAD и т.д. это большое универсальное ограниченное программное обеспечение для анализа талой структуры, жидкости, электрического поля, магнитного поля, звукового поля. широко применяются в таких областях, как ядерная промышленность, железные дороги, нефтехимическая промышленность, авиация и космонавтика, машиностроение, энергетика, автотранспорт, оборонная промышленность, электроника, гражданское строительство, судостроение, биомедицина, легкая промышленность, рудники, гидротехника, бытовая техника ит.д.

#### **Тип анализа**

структурный статический анализ

для решения проблем перемещения, напряжения и напряжения, вызываемых внешней нагрузкой. статический анализ очень пригоден для решения проблем, связанных с воздействием инерции и демпфирования на структуру. статический анализ в программе ANSYS позволяет не только проводить линейные, но и нелинейные анализы, такие, как пластичность, ползучесть, расширение, большая деформация, большая деформация и контактный анализ.

Анализ динамики структуры

Структурно - динамический анализ используется для определения влияния нагрузки на конструкцию или компоненты с течением времени. В отличие от статического анализа динамический анализ учитывает изменение нагрузки с течением времени и ее влияние на демпфирование и инерцию. ANSYS может проводить структурный и динамический анализ, включающий в себя: динамический анализ переходных процессов, анализ мод, анализ реакции гармоник и анализ случайных колебаний.

### Структурный нелинейный анализ

Структурная нелинейность приводит к непропорциональному изменению реакции конструкции или узла с внешней нагрузкой. Программа ANSYS позволяет решать статические и переходные нелинейные вопросы, включая нелинейность материалов, геометрическую нелинейность и нелинейность элементов.

### Динамический анализ

Программа ANSYS позволяет анализировать большие трехмерные движения мягкого тела. Эти функции могут использоваться для анализа кинематических свойств сложных структур в пространстве и для определения связанных с ними напряжений, деформаций и деформаций в структуре, когда они играют основную роль в накоплении движений.

### Термический анализ

Программа может обрабатывать три основных вида теплопередачи: проводимость, конвекция и излучение. три вида теплопередачи могут производить стабильный и переходный, линейный и нелинейный анализ. термоанализ также обладает способностью к анализу фазовых изменений, которые могут имитировать процесс отверждения и плавления

материала, а также к моделированию тепловых и структурных связей между напряжением конструкции.

На диаграмме 4 показано распределение давления на крыльчатках насосов в системе ANSYS.

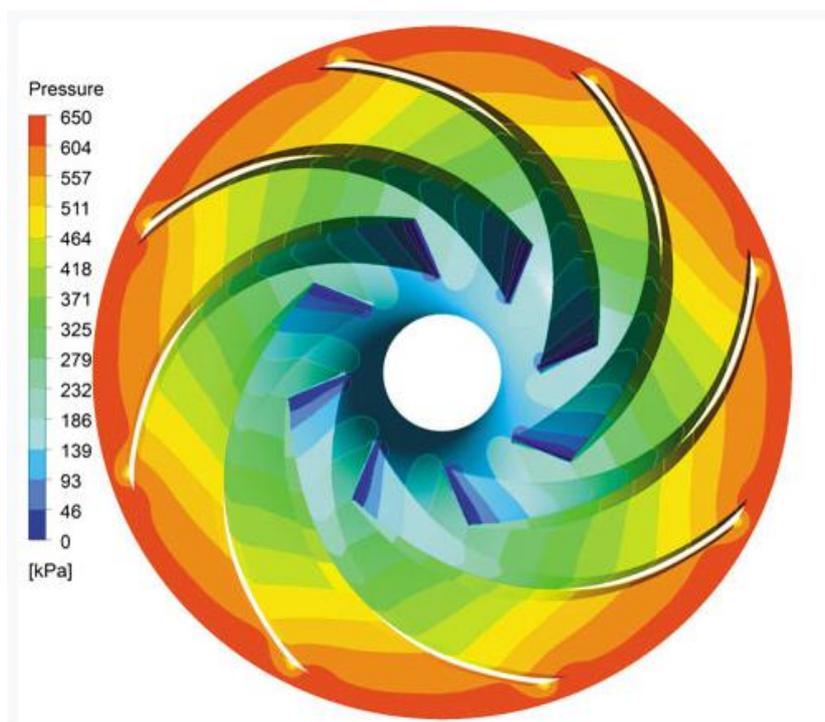


Рисунок 4 - Распределение давления на рабочем колесе насоса

### **Эффективный расчет больших моделей**

в связи с параллельными расчетами ANSYS Ltd весь процесс вычисления был параллельным и включал в себя создание жестких матриц, решение линейных уравнений, разделение результатов и хранение данных о распределении. Другие углубленные методы, такие, как модульный состав, анализ циклической симметрии и методы моделирования, также помогают эффективно обрабатывать крупные модели.

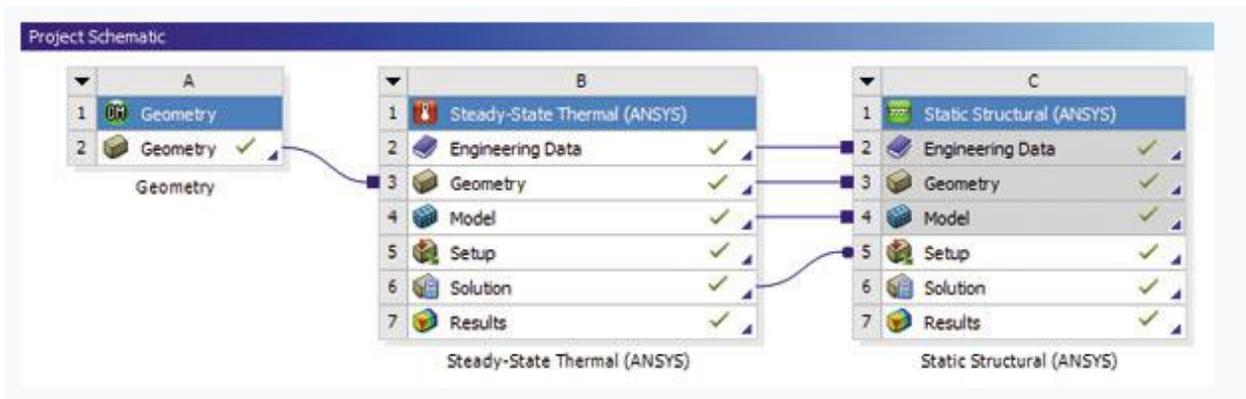


Рисунок 5 - Эффективный расчет больших моделей

### Выводы по главе I

1. Преимущество ABAQUS заключается в нелинейном анализе конечных элементов, который позволяет анализировать сложные механические и конструкционные системы, особенно в том, что касается управления очень крупными сложными системами и моделирования высотных нелинейных задач, но его главный недостаток заключается в том, что моделирование в этой системе требует глубоких познаний в работе системы. Работа с этой системой очень трудна и не подходит новичкам.
2. Преимущество системы NASTRAN заключается в линейном ограниченном элементном анализе и динамическом вычислении, что в основном используется для моделирования в авиации, поэтому механический модуль системы является узконаправленным, что ограничивает его использование при моделировании механических передач.
3. LS - DYNA отлично справляется с ударными и ударными областями, но остальные относительно ansys, относительно слабы. ANSYS также приобрела свой поисковый прибор для вычисления ударных проблем. Однако в ANSYS WORKBENCH программное обеспечение AUTODYN рассчитано на ударные эффекты, и его функции аналогичны функциям LS - DNYA.

4. Поскольку Ansys приобрел много стороннего программного обеспечения, у него имеется много модулей. В настоящее время ANSYS справляется разнообразными задачами, такими как: моделирование структуры сплава, жидкости; анализ электрического, магнитного и акустического полей, в том числе их совместное взаимное влияние; нелинейные задачи с ограниченным элементным анализом, для жидкостного, электромагнитного и механического анализа. Так как данная система наиболее подходит для моделирования механических передач, выберем систему Ansys.

## **1.2 Основные виды передач и Объект исследования(передача с ПТК)**

### **1.2.1 цилиндрическая передача.**

Цилиндрические передачи состоят из прямых, косозубов или шевронных шестерен между параллельными валами.

#### **Преимущества:**

1. Они способны передавать большую мощность почти без потерь.
2. Относительно невысокий люфт выходного вала позволяет использовать их в приводах позиционирующих устройств. Кинематическая точность редукторов цилиндрического типа значительно выше, чем у червячного типа.
3. Вследствие высокого КПД, цилиндрический редуктор обладает невысоким нагревом корпуса. Практически вся энергия передается от источника потребителю, и не рассеивается.
4. При любом передаточном отношении они обладают высокой обратимостью (отсутствие самоторможения). У любого механизма цилиндрического типа а выходной вал можно провернуть.
5. Цилиндрические редукторы демонстрируют уверенную работу даже при неравномерных нагрузках, а так же в условиях частых пусков – остановов.

Таким образом, целесообразно использовать в приводах шредеров, измельчителей, дробилок и других машин, работающих с ударной нагрузкой.

6. Обладают высокой надёжностью. Ресурс, как правило, составляет не менее 25000 часов.

7. Большая степень вариативности зубчатых передач позволяет подобрать редуктор с оптимальным передаточным отношением.

#### **Недостатки:**

1. Очень низкое передаточное число одной ступени редуктора. Передаточное отношение одноступенчатого цилиндрического редуктора не может превышать  $6,3$ . Следовательно, для получения более высокого передаточного отношения необходимо увеличивать количество ступеней, а это ведёт к увеличению габаритов. Даже одноступенчатый механизм с передаточным отношением  $1:5$  имеет внушительные размеры.

2. Высокий уровень шума. Механизмы цилиндрического типа имеют более высокие шумовые характеристики по сравнению с редукторами червячного типа.

3. Отсутствие самоторможения в некоторых случаях является недостатком, когда недопустим поворот выходного вала под воздействием внешней нагрузки. Вследствие чего необходима установка дополнительных устройств для устранения этого явления.

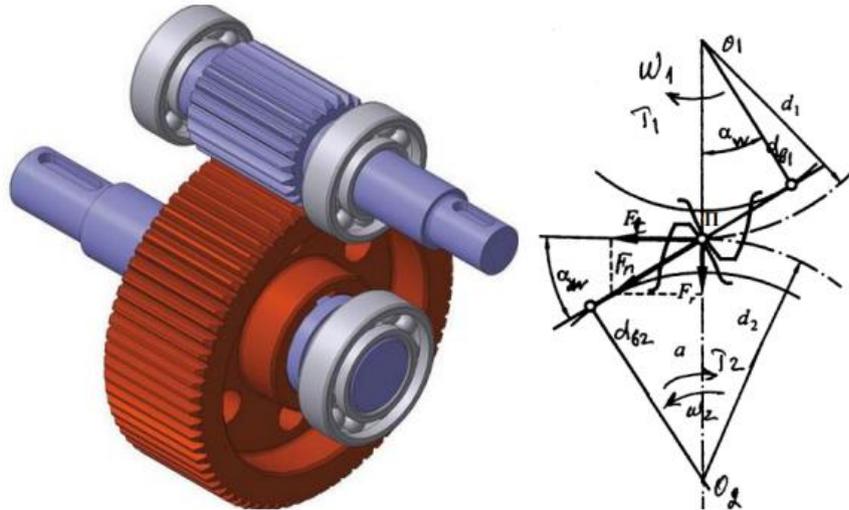


Рисунок 6 - Силы в зацеплении цилиндрической передачи

### 1.2.2 Коническая передача.

Конические шестерни используются для передачи между осью и сигмой.

Наиболее распространенный  $\Sigma = 90^\circ$  угол.

Изготовление и монтаж конических шестерен сложнее, чем цилиндрические шестерни. Для обработки конических шестерен требуются специальные станки и специальные инструменты. Допуск на размер зубчатого кольца  $\Sigma$ . Здесь следует сохранить треугольник, установить его таким образом, чтобы обеспечить равномерность вершины конуса. По сравнению с цилиндрическими шестернями гораздо труднее наладить коническое зацепление с такой же точностью.

#### преимущество:

1. Обеспечивает передачу и преобразование вращательного движения между шатунами и перекрестными вращающимися осями;
2. Могут перемещаться между различными межосевыми углами в различных диапазонах;

3. Усиливать способность развивать комплексные зубчатые и комбинированные механизмы.

### Недостатки:

1. Технология сборки конических шестерен более сложна;
2. Изгибающая нагрузка на большие оси и оси, особенно на кон-сольном положении шестерни.

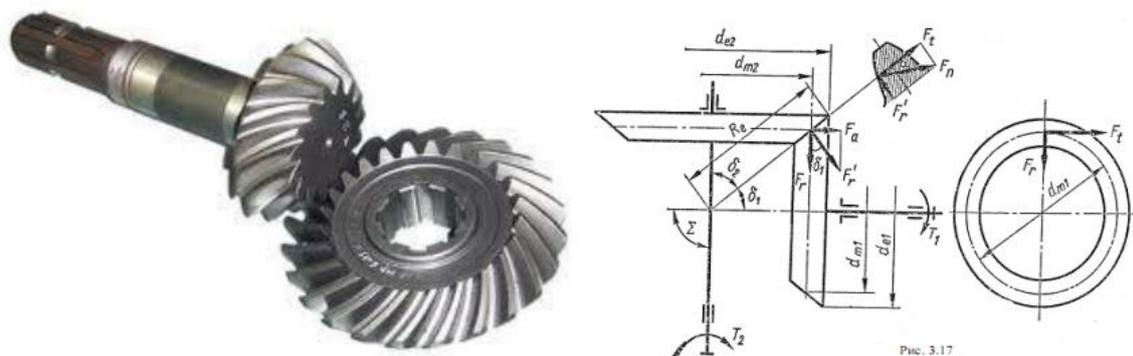


Рисунок 7 - Силы в зацеплении конической передачи

### 1.2.3 Червячная передача (редуктор).

Червячная трансмиссия означает трансмиссионную систему, сцепленную с крестовиной. Угол пересечения обычно составляет около 90 градусов. Другие углы могут отличаться от 90 градусов, но такие колебания очень редки.

Движение червячной червячной передачи осуществляется в соответствии с принципом дополнительной работы винта. Винт червяк, а колесо веер, сгибается длинными гайками.

### Преимущество:

1. стабильная работа

2. молчание

3. Таким образом, гораздо больше червячных редукторов привода, чем аналогичных редукторов.

4. Автоматическое торможение

5. Точность движения

### Недостатки:

1. Низкая эффективность

2. Экзотермия

3. Склонность к чрезмерному износу и засорению

4. Точность требует высокой, нужно регулировать

5. Необходимость принятия специальных мер по усилению теплоотдачи

6. Вращение может осуществляться только в одном направлении (от винта до колеса).

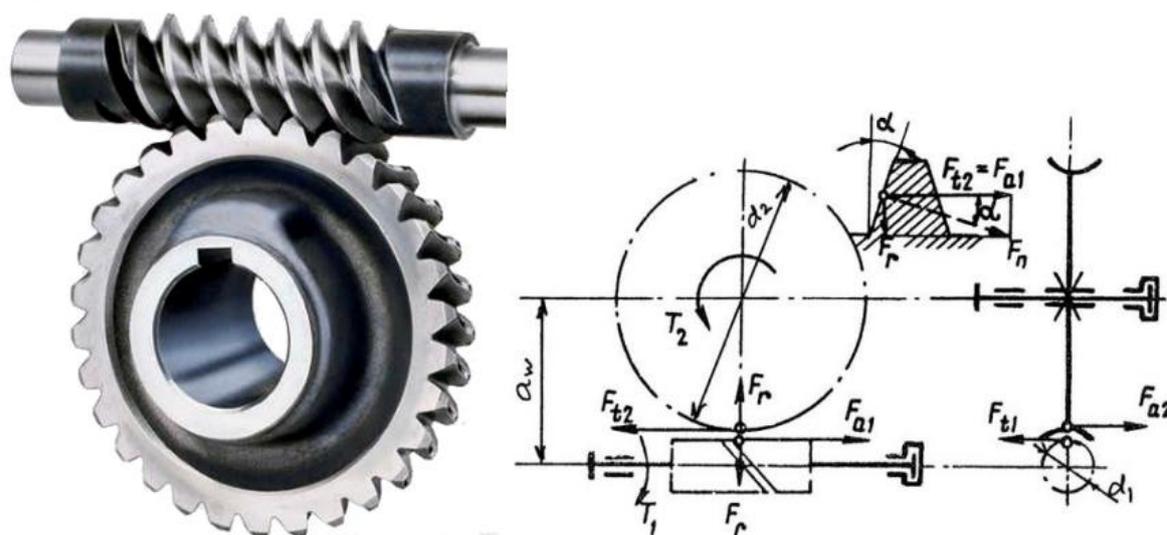


Рисунок 8 - Силы в зацеплении червячной передачи

### 1.2.4 Радиальные передачи.

Радиальные цилиндрические передачи (рис. 9). эти изобретения появились в Германии в 30 - х годах прошлого века, когда были определены направления развития шестерни промежуточного катания .Передача состоит из трех взаимосвязанных звеньев. внешне 1 и 2 кольца внутри соприкасающихся цилиндрических поверхностей имеют 3 и 4 поверхности Кэм - цикла с радиальным кулачковым (зубчатым) направлением. между ними есть 5 сепаратор, в пазе 6 катящихся тел. ролики или шарики [8] и [9]. В работе [10,11] для увеличения площади соприкосновения катящего тела с пазом в последнем пазе устанавливаются ползуны для установки шейки вала ролика. На рисунке 15 показана схема разделения, в соответствии с которой эксцентрик взаимодействует с прокруткой 6 через плавающую шайбу 8, чтобы уменьшить трение. в процессе передачи, для компенсации входных и выходных осей, образующихся в процессе работы преобразователя, поверхность контакта с периодической магнитной дорожкой была выполнена на шар [4].

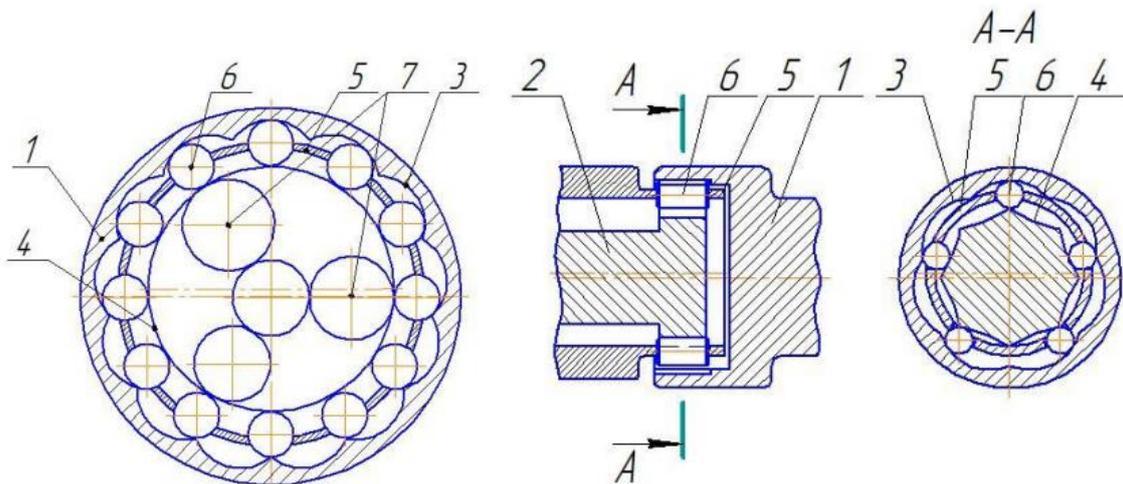


Рисунок 9 - Радиальные передачи с ПТК.

1 – профильный венец, 2 – профильный кулачек, 3,4 – профили, 5 – сепаратор, 6 – тела качения, 7 – сателлиты с разными размерами

Радиальная цилиндрическая шестерня с однопериодным генератором - в 80-х годах это получило дальнейшее развитие. в СССР эта работа была разработана Томским Политехническим университетом на основе Томской организации "Technotron" MVTU. Боуман. Подобные изобретения появились и в США, Германии и Японии. "Technotron" в основном модернизировала простую трехзвенную схему (рис. 1). передаточное отношение определяется числом зубьев колеса, а количество катящихся тел - разницей. Тем не менее, есть и явный недостаток, особенно в том, что касается высокой крутящей шестерни с подвижным телом и большой габарит эксцентриситета, то есть несбалансированность массы, а также связанный с этим шум, биение и износ.

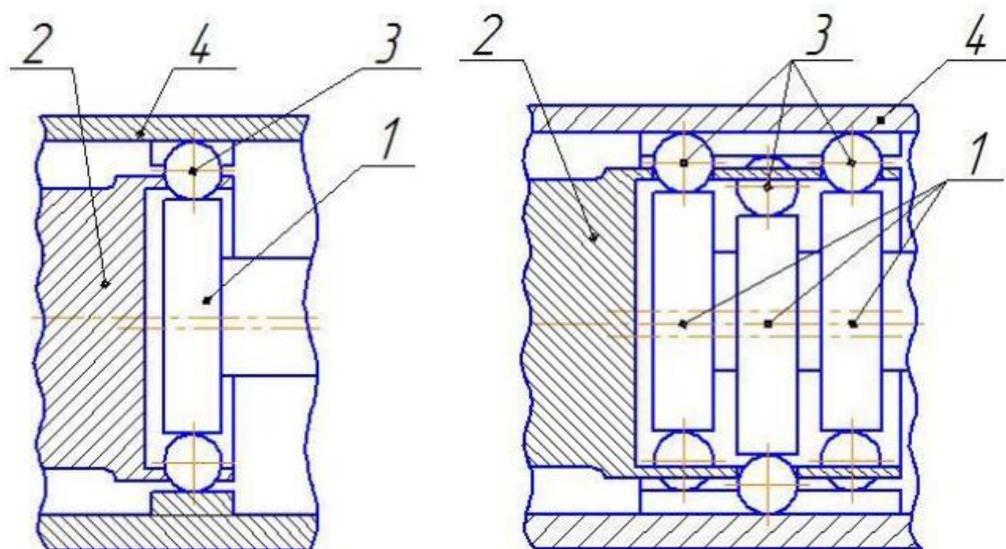


Рисунок 10 - Передачи с промежуточными телами качения с нагруженным сепаратором  
 1 – генератор волн, 2 – сепаратор(выходное звено), 3 – тела качения, 4 –профильный венец.

Чтобы повысить момент передачи, выполнить многорядную передачу, а также улучшить баланс, в строках эксцентрика для фазового сдвига (рис. 10), увеличить передаточное отношение - два уровня .

Вторым недостатком простой шестерни с промежуточным ротором является трение скольжения между катящимся телом и тремя взаимодействующими поверхностями. особенно важно уменьшить трение на стенках изолятора, так как трение на стенах изолятора увеличится. это самое слабое звено.

Некоторые из них изменили дизайн сепаратора, другие изменили дизайн сепаратора. Измените тело прокрутки. в приводном устройстве драйвер делится на два кольца, в которых на шарнире устанавливается катящийся корпус (Рисунок 11). Здесь также описывается структура, в которой два ролика расположены на петле. одно взаимодействие с эксцентриситетом генератора волны, другое взаимодействие с циклическим вращением орбиты, которое уменьшает трение между катящимся телом и каждым из трех взаимодействующих звеньев.

Сепаратор с шарнирным соединением описан также на статье , только шарниры прикреплены не к кольцам, а к вершинам двух звездочек. В передаче для уменьшения, трения тел качения о сепаратор они выполнены в виде роликов 1, показанных на рис. 11. На роликах через тела качения 2 посажены кольца 3. Крайние кольца взаимодействуют с пазами 4 двух дисков 5, образующих водило – сепаратор, а среднее кольцо 3 – с зубчатым венцом неподвижного центрального колеса (на рисунке не показано).

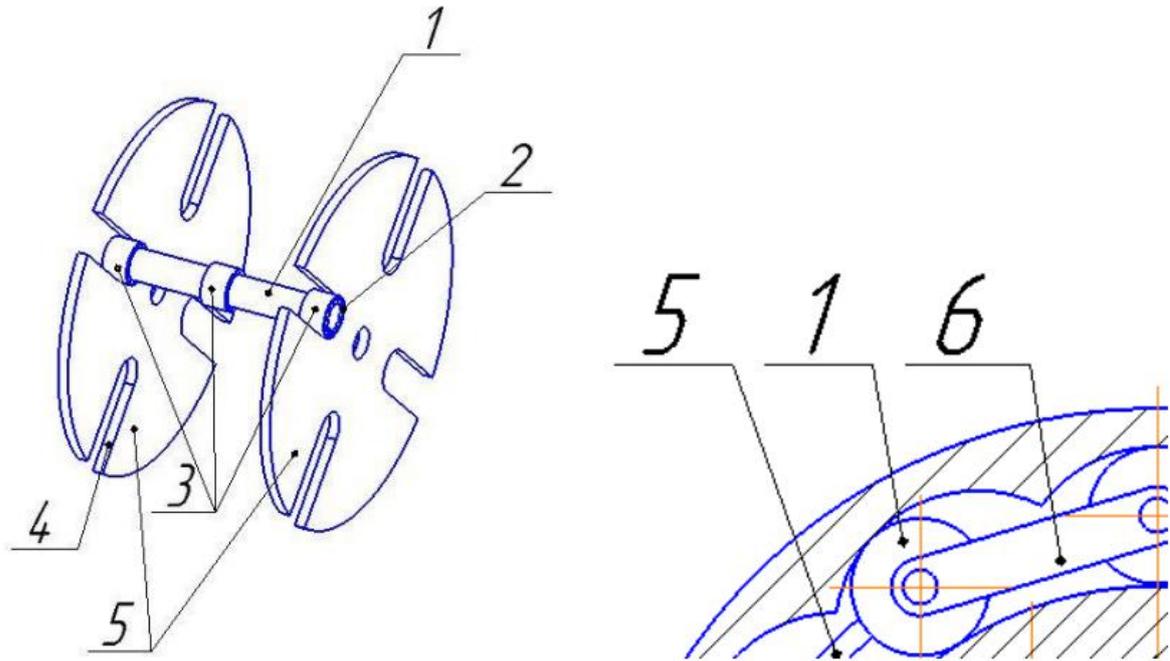


Рисунок 11 - Сепаратор с шарнирным соединением

1 – ролики качения, 2 – тела качения, 3 – кольца, 4 – паз, 5 – диски, 6 – шарнир

Сейчас сепаратор с шарнирным соединением широко применяются в машиностроении.

Эта передача была введена в производство Э.Н. Панкратович «Текнолорон» обладает хорошими техническими характеристиками: большая операция первого уровня (до 60); возможность передаваемая мощность до 85 кВт; эффективность (эффективность) до 0,9 - в соответствии с практическим применением передачи (расчетная величина 0,94 [3]); высокий выходной крутящий момент; компактная конструкция; плавность и непрерывность замыкания движения. Вместе с тем, помимо преимуществ, уступка имеет ряд недостатков:

при длительной работе тяжелой шестерни корпус механической детали нагревается достаточно широко (до 100 - 120°C); затяжка под нагрузкой вызовет трение скольжения, снижает эффективность передачи, вызывает перегрев; при кинематической трансмиссии используются тонкостенные детали, что снижает надежность трансмиссии и всего аппарата.

### 1.2.5 Передача с промежу телами качения

Требования к конкурентоспособным зубчатым машинам становятся все более жесткими по отношению к качеству - размеру - мощности. оптимальное соотношение этих характеристик основано на вращающемся механизме передачи движущихся волн. Эти шестерни могут выдержать нагрузку примерно на половину циклоидальных зубов, т.е. примерно 180 зубов находятся в рабочем районе. Это позволяет увеличить крутящий момент по сравнению с передачами по тем же показателям массы и размера. при проектировании электромеханического модуля встают вопросы о минимизации размеров электромеханического модуля, что позволяет осуществить поиск институциональной схемы, которая может быть установлена на пустотелую часть ротора двигателя 3 dBM 70-0.16-3-3.

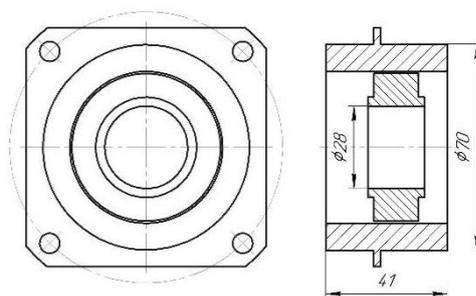


Рисунок 12 – Общий вид электродвигателя 3 ДБМ 70-0,16-3-3

Основными особенностями технической задачи электронного компонента электромеханической интеграции являются трехфазный двигатель BLDC, напряжение питания 27 вольт, точность позиционирования угла поворота в 10 минут, скорость вращения около 3000 оборотов в минуту.

В настоящее время существует четыре поколения интегрированных электромеханических модулей. наиболее продвинутым является согласование механических частей (двигатель + редуктор) электронных частей (драйвер и микроконтроллер) и алгоритмов управления. Отличительной особенностью четвертого поколения является использование алгоритмов оптимального или

адаптивного управления, обычно с помощью искусственного интеллекта.

### Механическая часть мехатронного модуля

Для минимизации габаритов редуктора используем кулачковую коаксиальную радиальную плоскую передачу с промежуточными телами качения, изображенную на рисунке 13, которая является аналогом кинематической волновой передачи.

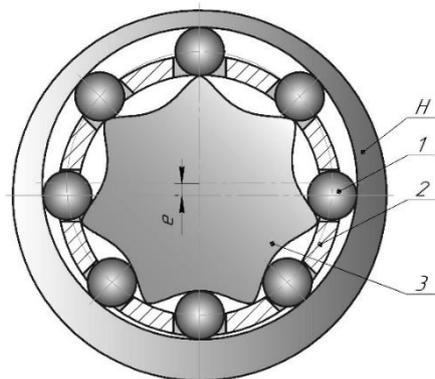


Рисунок 13 – Поперечное сечение плоской радиальной передачи с промежуточными телами качения: Н – генератор (водило); 1 – тела качения; 2 – сепаратор; 3 – профильное колесо; е – эксцентриситет передачи

На рисунке 13 показаны следующие принципы работы по передаче: генератор волны - эксцентрик Н, вращение, приводящее к радиальному перемещению катящегося тела 1 в стационарном слоте сепаратора 2.

В литературе мало информации о динамике и интенсивности таких передач. Цель этой работы заключалась в разработке математической модели для моделирования таких трансфертов с НДС.

По данным Главного управления, выберите параметр передачи промежуточного катания, размер которого может вместить половину ротора. Параметры приведены в таблице 1, чертеж «взрывом» изображен на рисунке 14:

Таблица 1 – Основные параметры передачи

Наименование параметра	Обозначение	Величина
Число тел качения	$Z_2$	8
Число рядов тел качения	–	4
Радиус центров тел качения, мм	$r_2$	7,925
Радиус тела качения, мм	$r_{ik}$	1,6
Эксцентриситет, мм	$e$	0,8
Внутренний радиус генератора, мм	–	9,525
Наружный радиус генератора, мм	–	14
Ширина одного ряда тел качения, мм	–	4,3

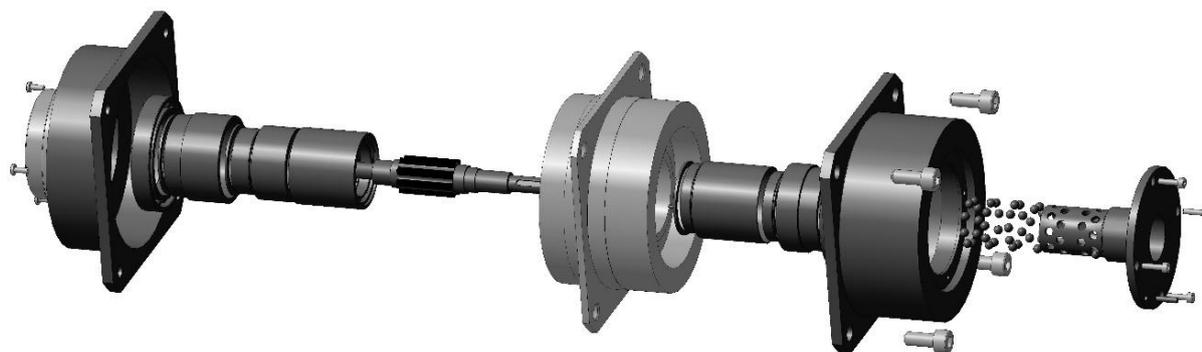


Рисунок 14 – Чертеж «Взрывом» мехатронного модуля

## **1.3 Инженерные расчеты напряженно-деформированного состояния редуктора в ANSYS**

### **1.3.1 Цель исследования**

В рамках этого исследования с помощью систем КОМПАС и ANSYS была разработана математическая модель циклоидального редуктора. Для его основных компонентов проведем анализ конечных элементов, чтобы обеспечить прочную конструкцию редуктора. Опорная база, полезная для обнаружения планет циклоидального колеса на этапе проектирования продукции потенциальная проблема в проектировании редуктора, уменьшение зависимости от физических образцов машин необходимо экономить затраты, сократить цикл разработки продукции, повысить конкурентоспособность продукции.

### **1.3.2 Принцип работы Редуктор с телами качения**

Редуктор с ПТК - это оригинальный привод, использующий принцип планетарной передачи с циклоидальным зацеплением. маятниковый редуктор делится на три части: входную, замедляющую и выходную. на входе осей установлен двухэксцентриковый втулка с смещением на  $180^\circ$  двумя роликовыми подшипниками под эксцентриком, которые образуют механизм Н, центральное отверстие двух циклоидальных колес для эксцентрика роликоподшипника, а также зацепление циклоидального колеса кольцом на игольчатой шестерне, чтобы образовать механизм замедления внутреннего зацепления с отклонением зубьев (для уменьшения трения, в скоростном

соотношении) небольшой редуктор с игольчатыми зубьями.

### 1.3.3 Объект исследования

**(упрощенная модель трехмерный редуктор с циклоидальной иглой)**

Объект исследования: Радиальная передача с промежуточными телами качения(Взрывом).

Из-за того, что количество контактов большое, упростим нашу модель. Оставим в модели только один ряд тел качения и упростим конструкции деталей, убрав все фаски и скругления, приведена на рис. 15.

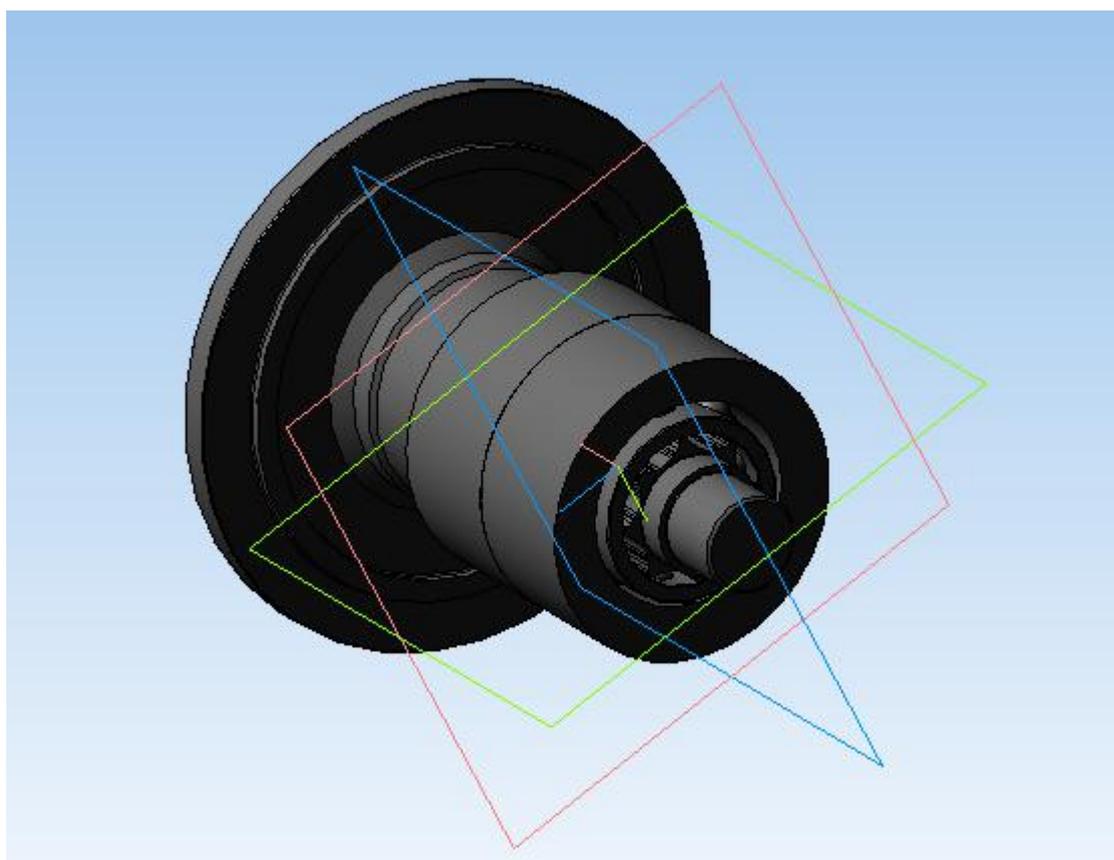


Рисунок 15 – компьютерная трехмерная геометрическая модель -  
редуктор с циклоидальной иглой

### **1.3.4 Методика исследования**

Методы исследования: численный метод интегрирования систем дифференциальных уравнений в частных производных (метод конечных объемов), реализованный в CAE-системе ANSYS.

анализ модели в workbench прежде чем приступать к предварительной обработке, здесь необходимо создать прецедент. Пример из одной системы определены параметры столбца, которые полностью отражают наличие физических проблем ограниченная модель. В число параметров, которые необходимо определить, входят следующие:

поверхность: 1.тип и параметры анализа; 2.определение материала модели; 3.границы модели условия (Установленные ограничения); 4.распределение сетки.

### **1.3.5 виды анализа и параметры материала**

в этом исследовании проводится статический анализ ,для удобства исследования сделать следующие предположения: Элементы редуктора являются жесткими элементами; зазор сборки равен нулю; значение не зависит от трения.

Материал деталей: генератор, шарики, профильное колесо - подшипниковая сталь ШХ-15 , сепаратор - сталь 40Х.

Настройка различных атрибутов материала в библиотеке , приведена на рис.16.17.18 .

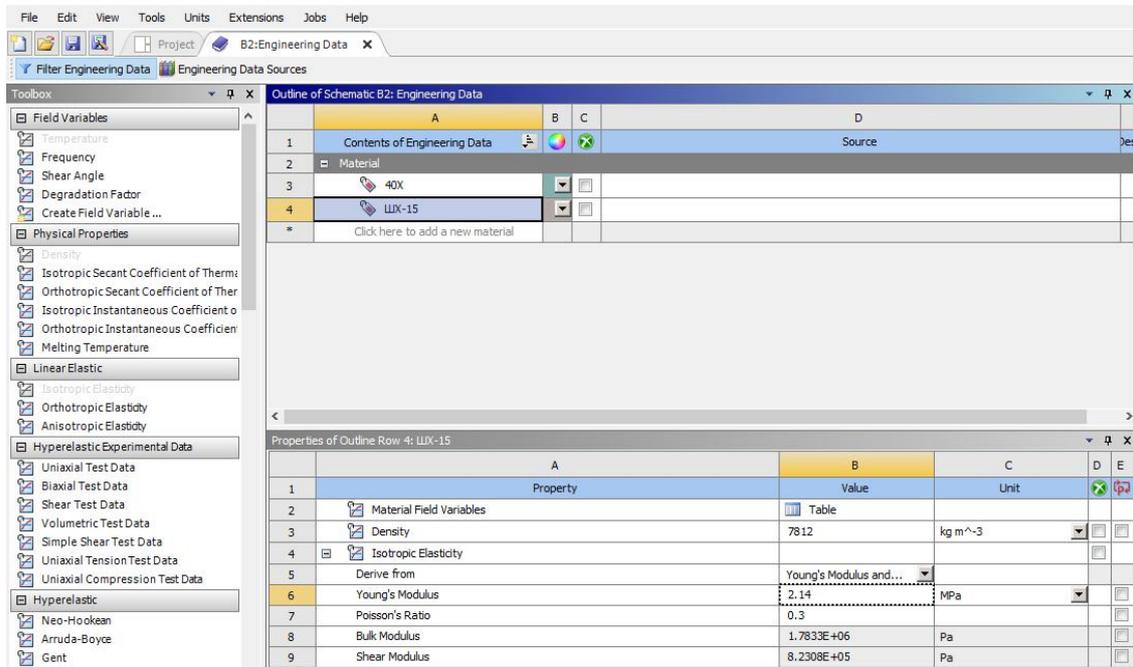


Рисунок 16 – спецификация материалов

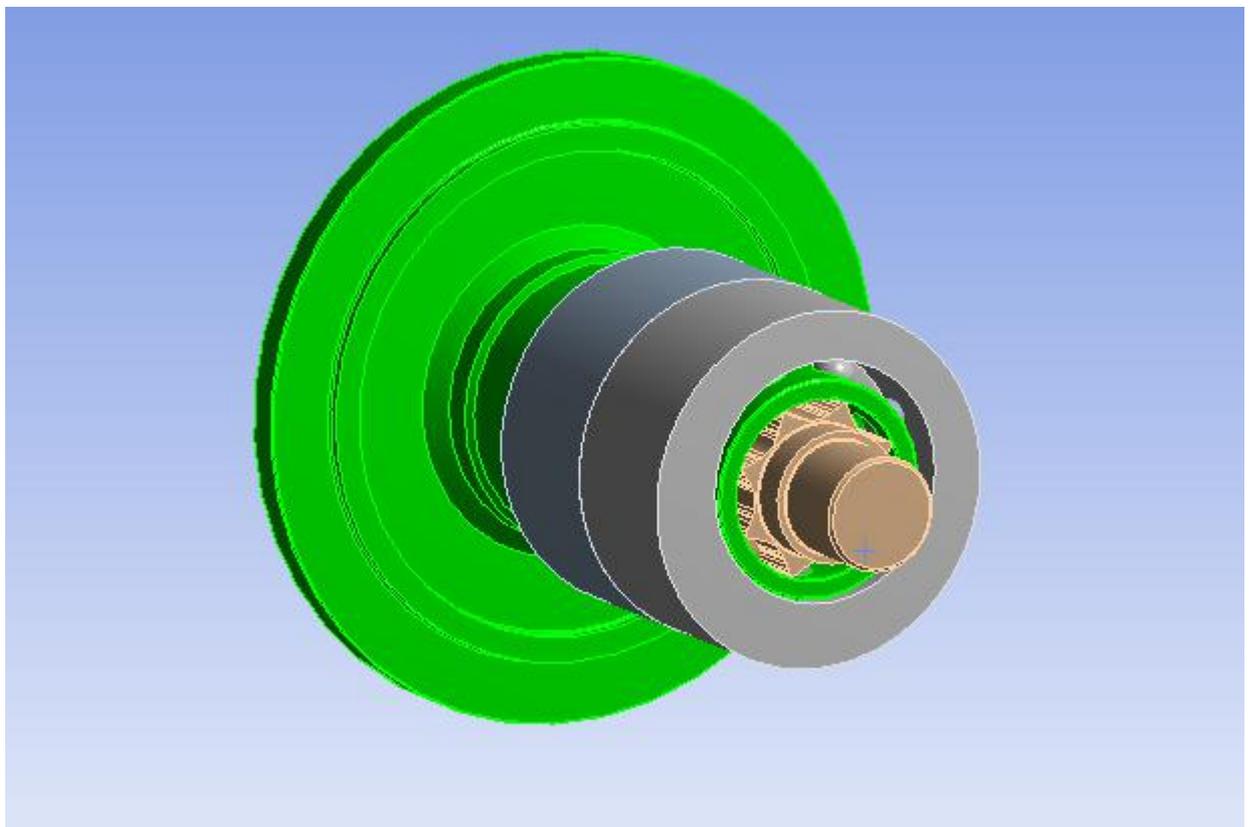


Рисунок 17 – зелёная часть -сепаратор ( сталь 40Х).

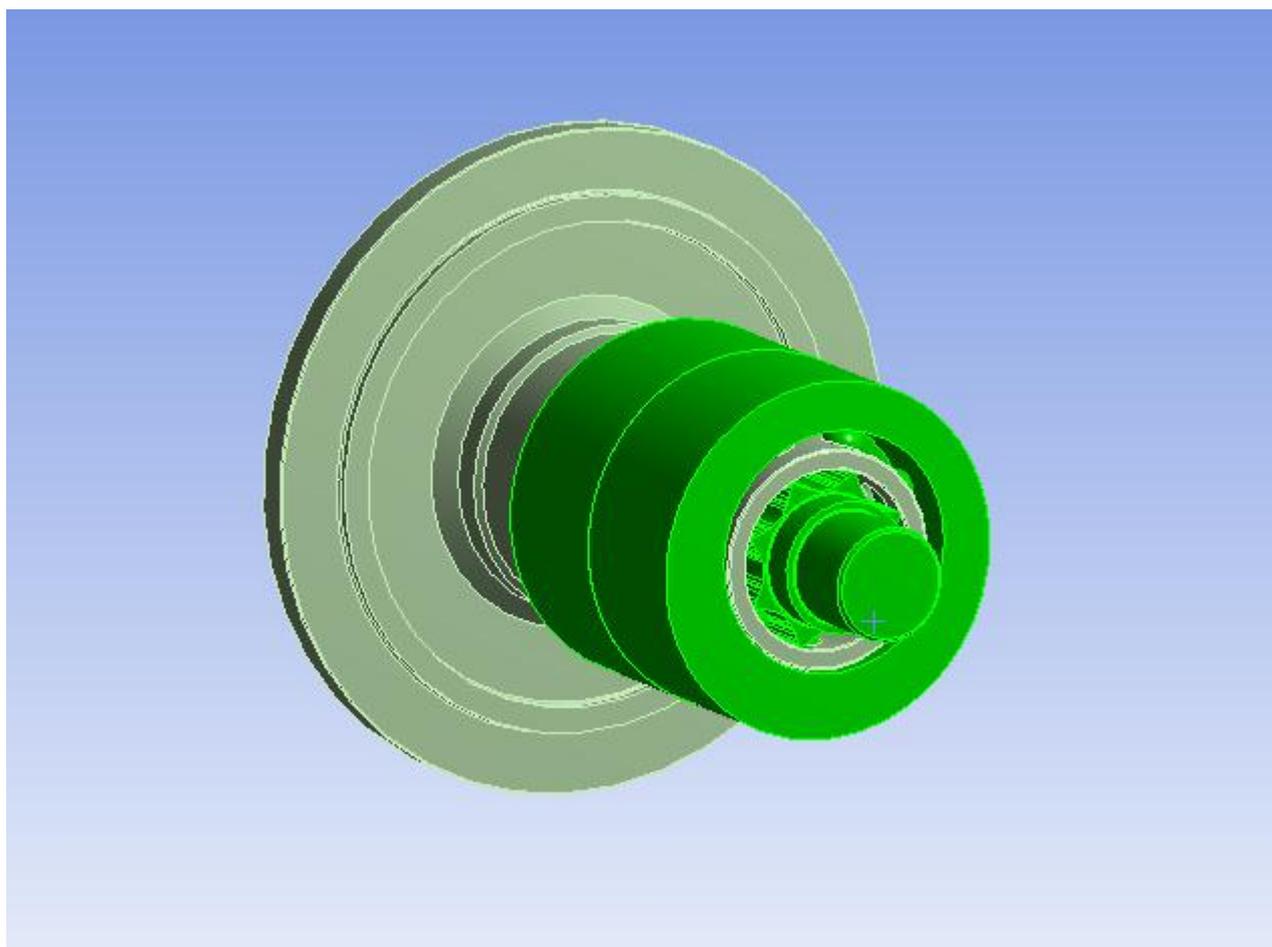


Рисунок 18 – зелёная часть - генератор, шарик, профильное колесо (подшипниковая сталь ШХ-15)

Для удобства исследования сделать следующие предположения:

Элементы редуктора являются жесткими элементами; зазор сборки равен нулю;

значение не зависит от трения.

### **1.3.6 устанавливать контакт**

для статического анализа всей системы необходимо добавить все контакты в системе.

контакты в исследовательской системе включают следующее:

1. контакты между шариками и профильными колесами
2. контакты между шариками и сепараторами

3. контакты между шариками и генераторами  
приведена на рис.19.20.21.

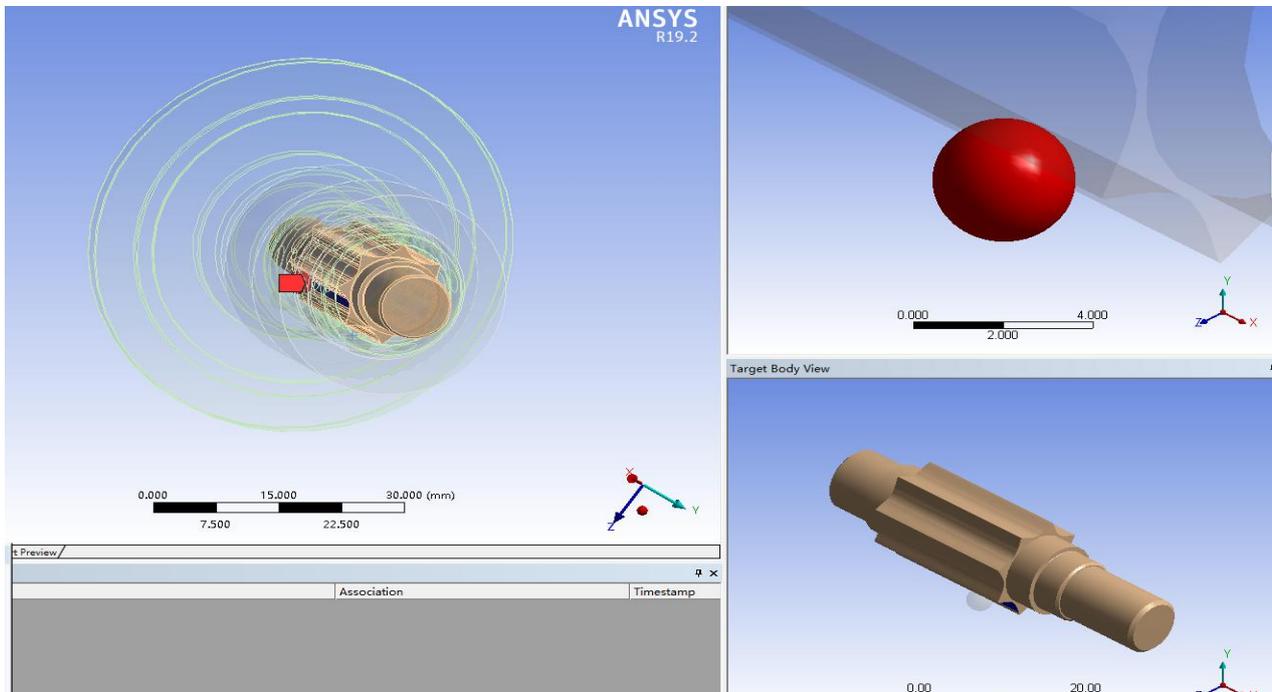


Рисунок 19 – контакты между шариками и профильными колесами

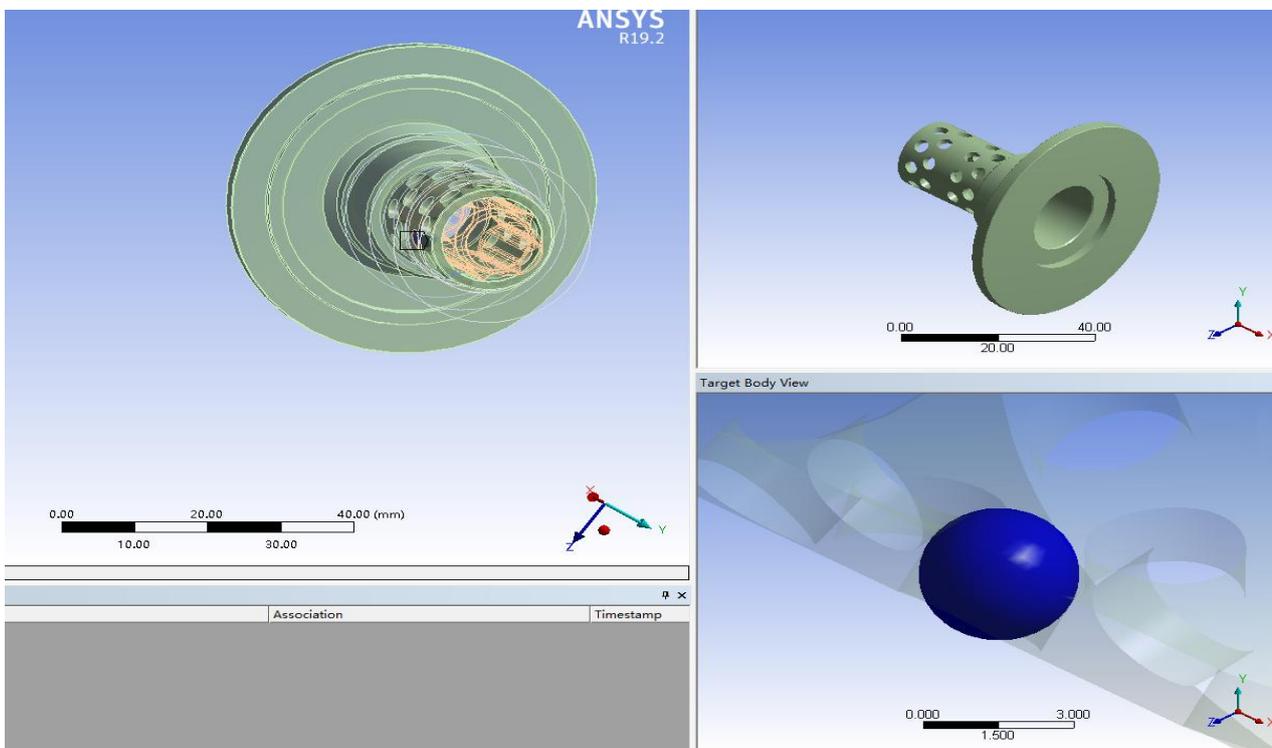


Рисунок 20 – контакты между шариками и сепараторами

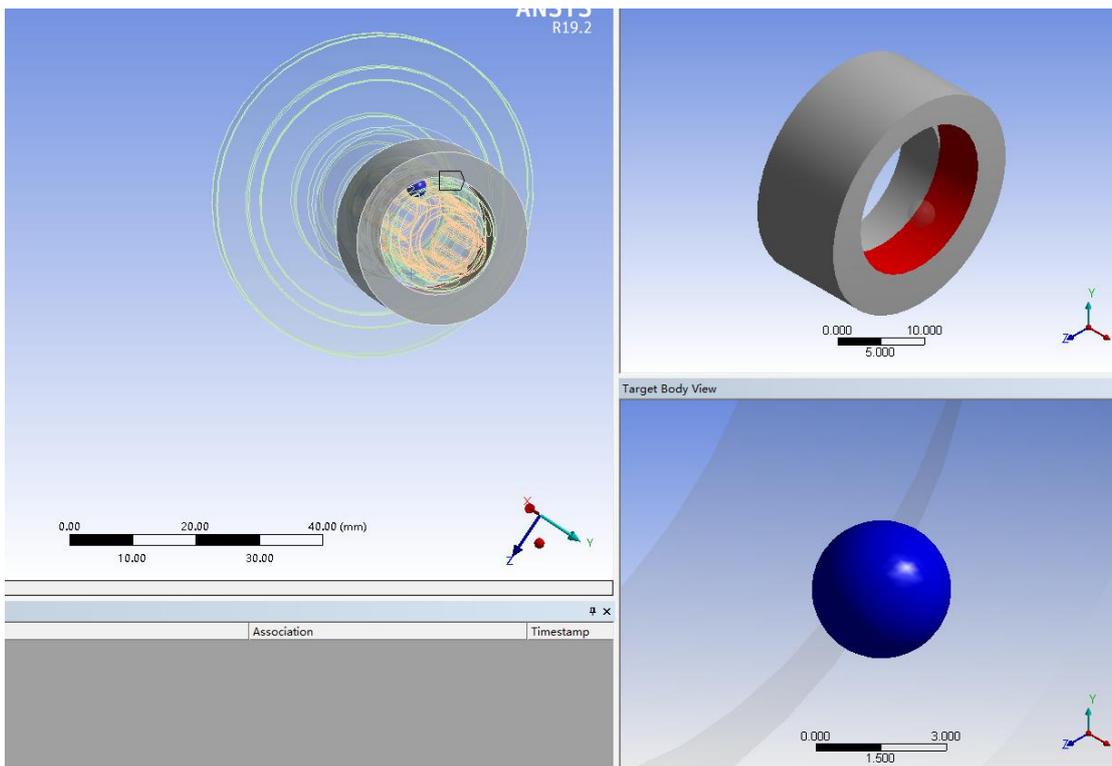


Рисунок 21 – контакты между шариками и генераторами

### 1.3.7 Разбивка сетки

перед имитацией нагрузки необходимо разделить сетку, разграничить каждую часть и выбрать соответствующий размер сетки, чтобы убедиться в точности вычислений .

При создании сетки редуктора в программном обеспечении ANSYS имеется большое количество типов элементов для создания сетки, поскольку трехмерные 11-узловые объекты Solid185 используются для моделирования трехмерных объектов. Он определяется 11 узлами, и каждый узел имеет 3 степени свободы: направления X, Y, Z. С пластичностью, супер эластичностью, усилением напряжений, большой деформацией, большой деформацией. Его можно использовать для моделирования деформации субэластичных материалов,

которые являются практически несжимаемыми, и суперэластичных материалов, которые являются полностью несжимаемыми. Следовательно, сеточное деление модели конечных элементов редуктора выбрано в качестве типа элемента 500мм.

Модель с разделенным редуктора показана на рисунке 22

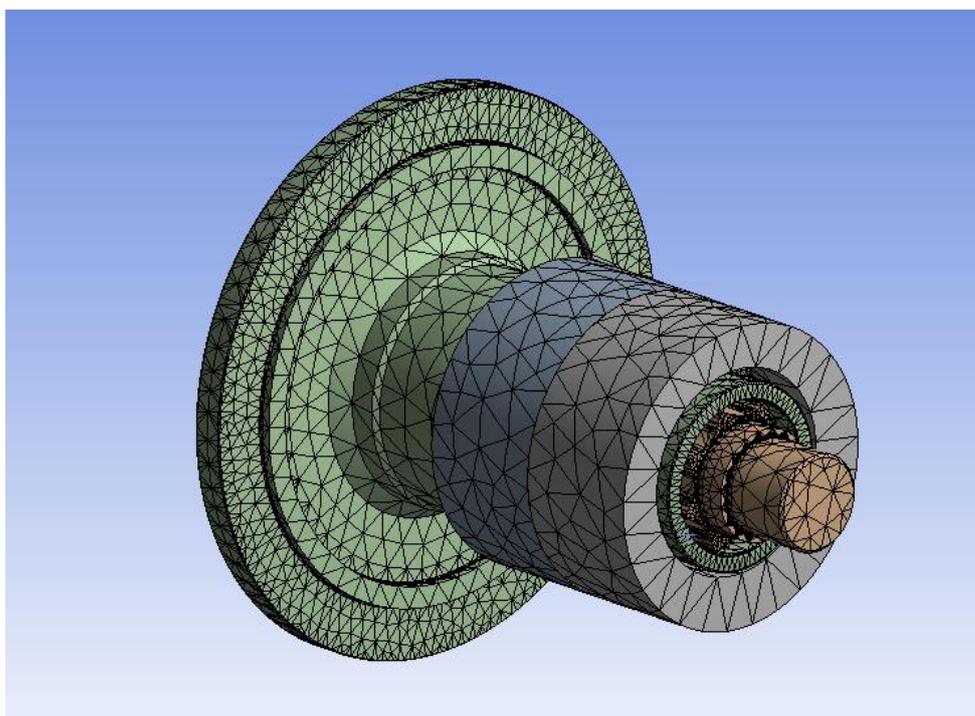


Рисунок 22 – Создание сетки модели

Следовательно, сеточное деление модели конечных элементов редуктора выбрано в качестве типа элемента 500мм. приведена на рис. 23.

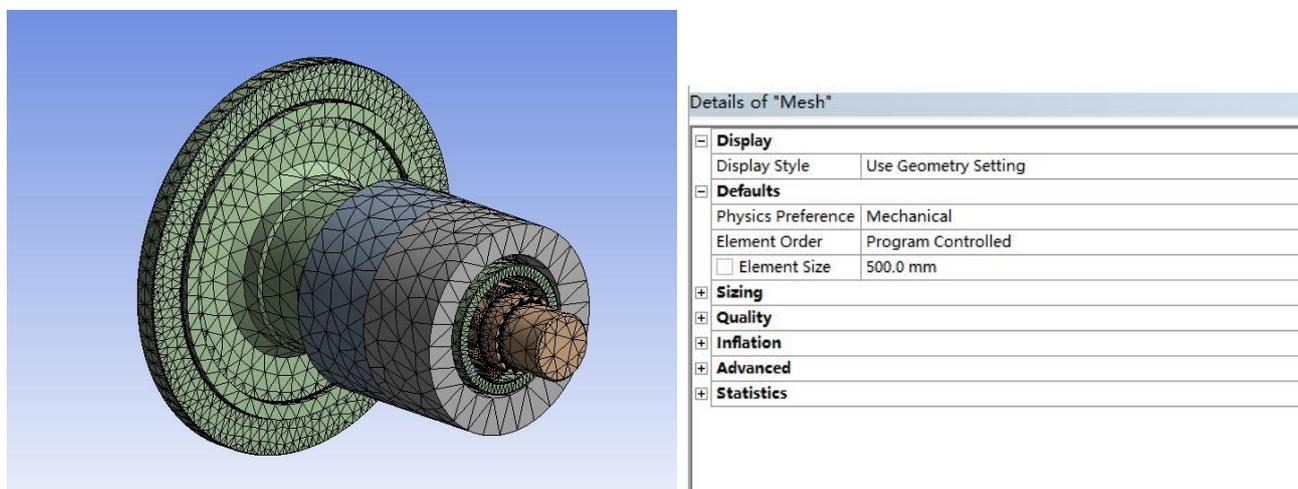


Рисунок 23 – параметры сетки

### 1.3.8 Добавьте нагрузку

Настройки основных параметров:

По работе редуктора: Крутящий момент, приложенный к генератору 1000 Н\*mm. Входное звено - генератор, выходное звено - профильное колесо (при неподвижном сепараторе), состояние нагрузки показано на рис. 24.

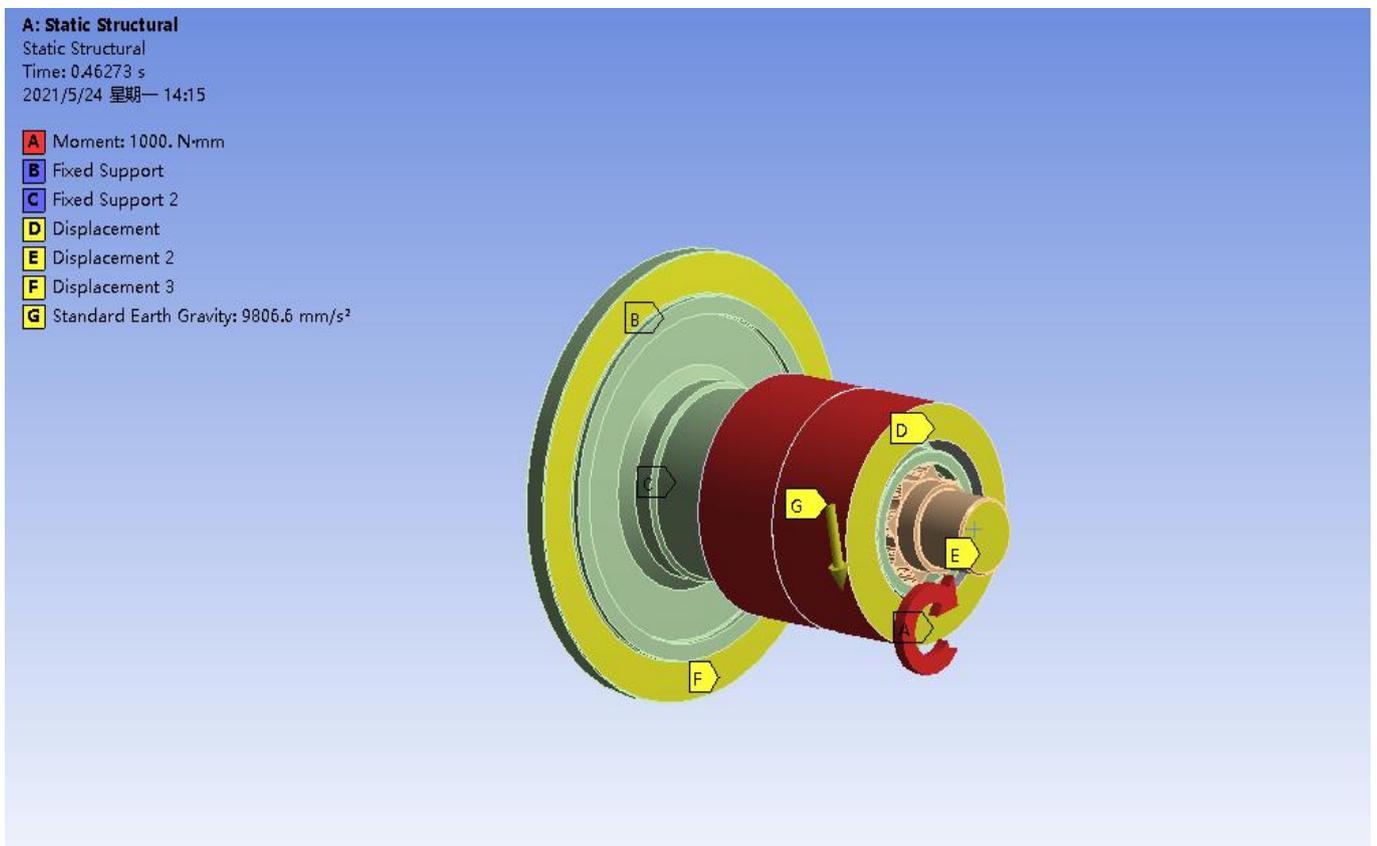


Рисунок 24 – состояние нагрузки

## 1.4 Результаты математического моделирования в ANSYS

### 1.4.1 Получить результаты деформации и прочности

Выбор “Total deformation” , “Equivalent” и “Stress tool” в проекте “Solution” ,Затем нажмите клавишу “solve” , получить результат .

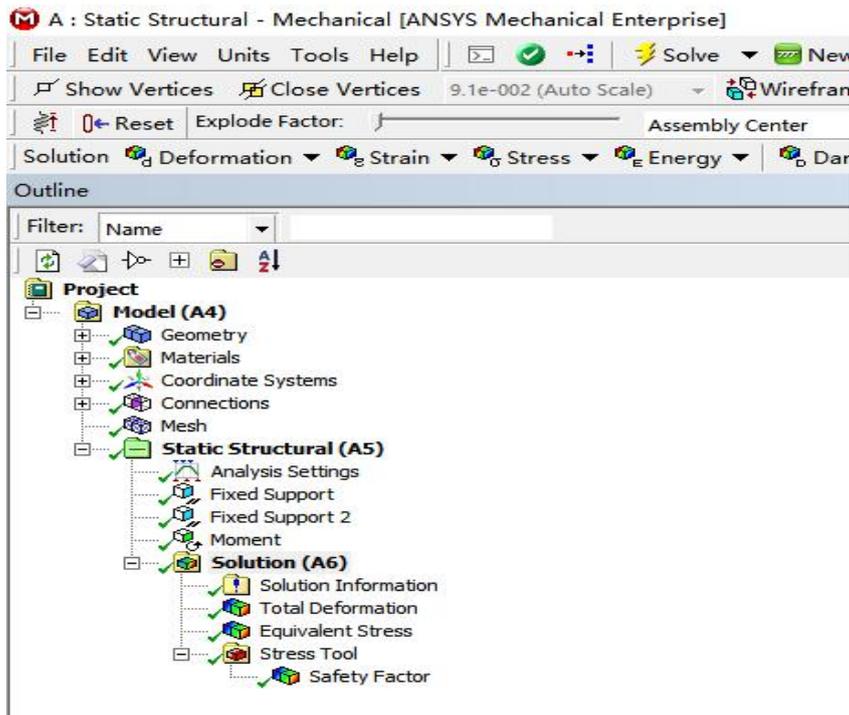


Рисунок 25 – окно “solve”

Для наглядного понимания нагрузки на редуктор мы проводим анализ деформации результатов и прочности .

Результат прочности показан на рис. 26.

Результаты деформации показан на рис. 27.

Результат прочности (шарики и генераторы) показан на рис. 28.

Результаты деформации (шарики и генераторы) показан на рис. 29.

Результат прочности (генератор) показан на рис. 30.

Результаты деформации (генератор) показан на рис. 31.

Эквивалентные напряжения Мизеса Equivalent Stress не превышают 72 МПа:

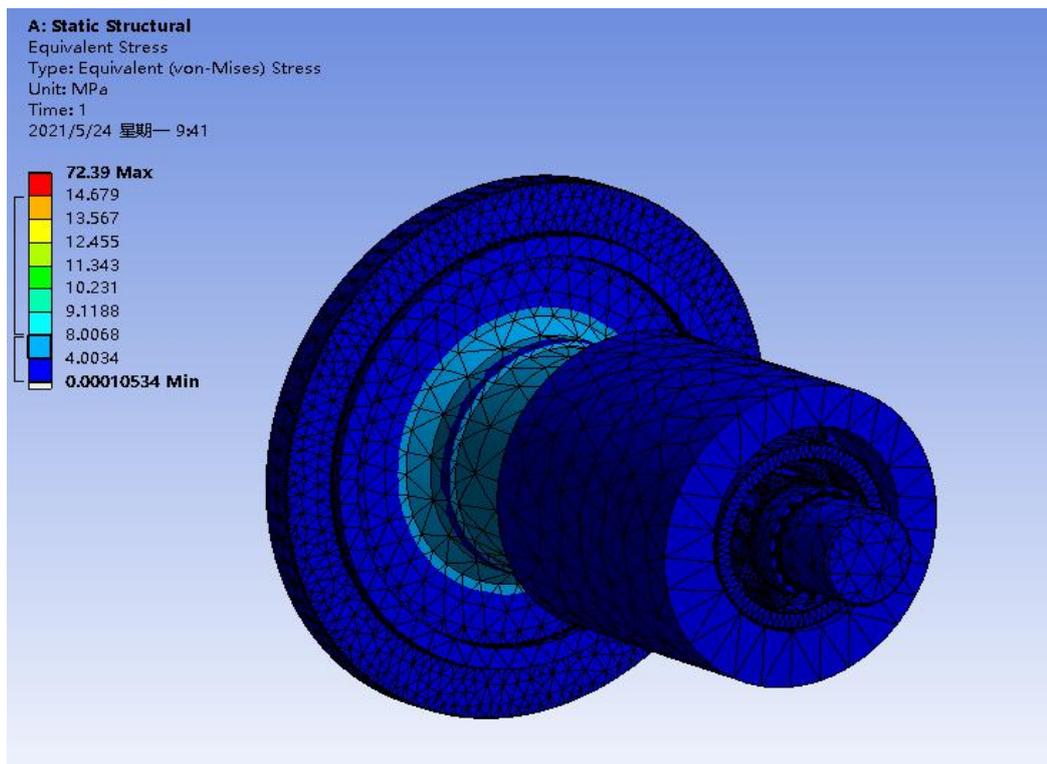


Рисунок 26 – Результат прочности

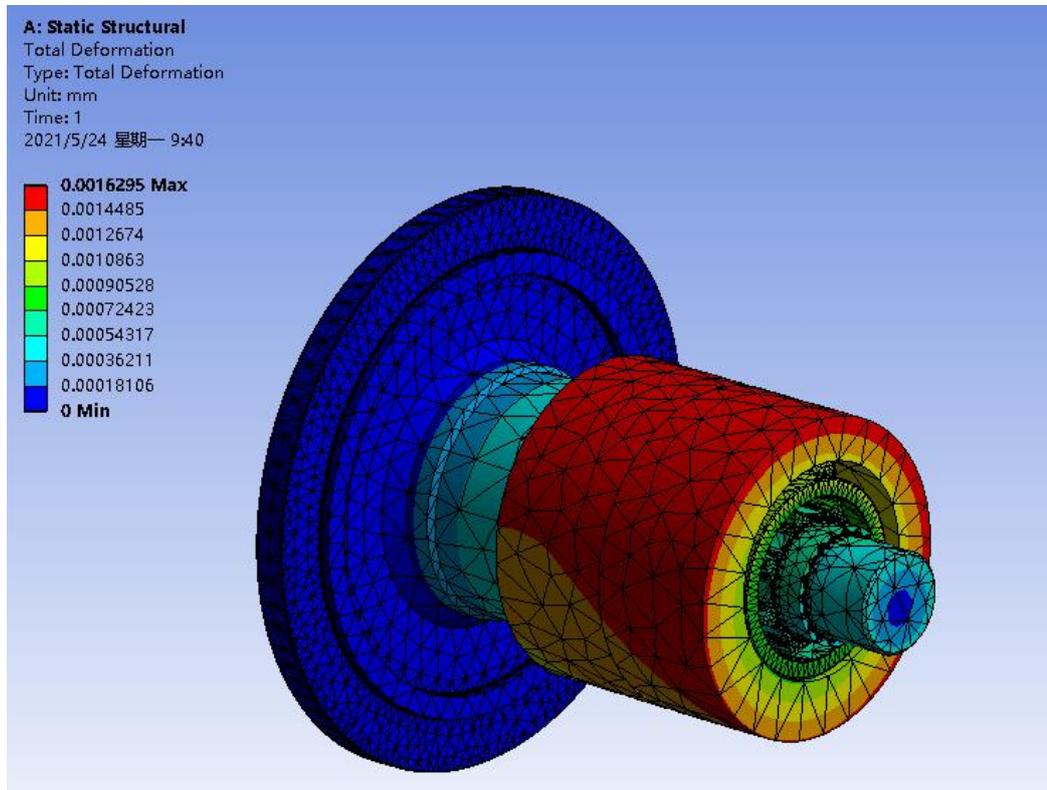


Рисунок 27 – Результаты деформации

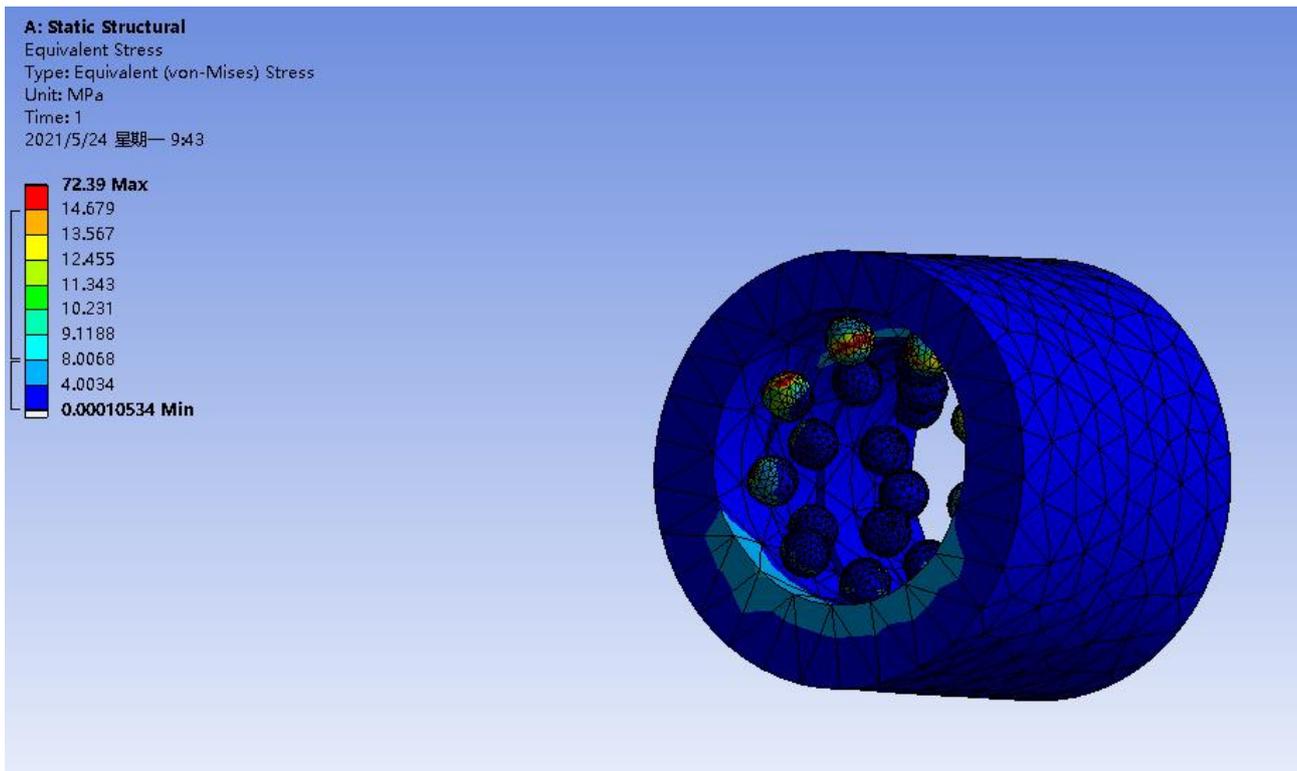


Рисунок 28 – Результат прочности (шарики и генераторы)

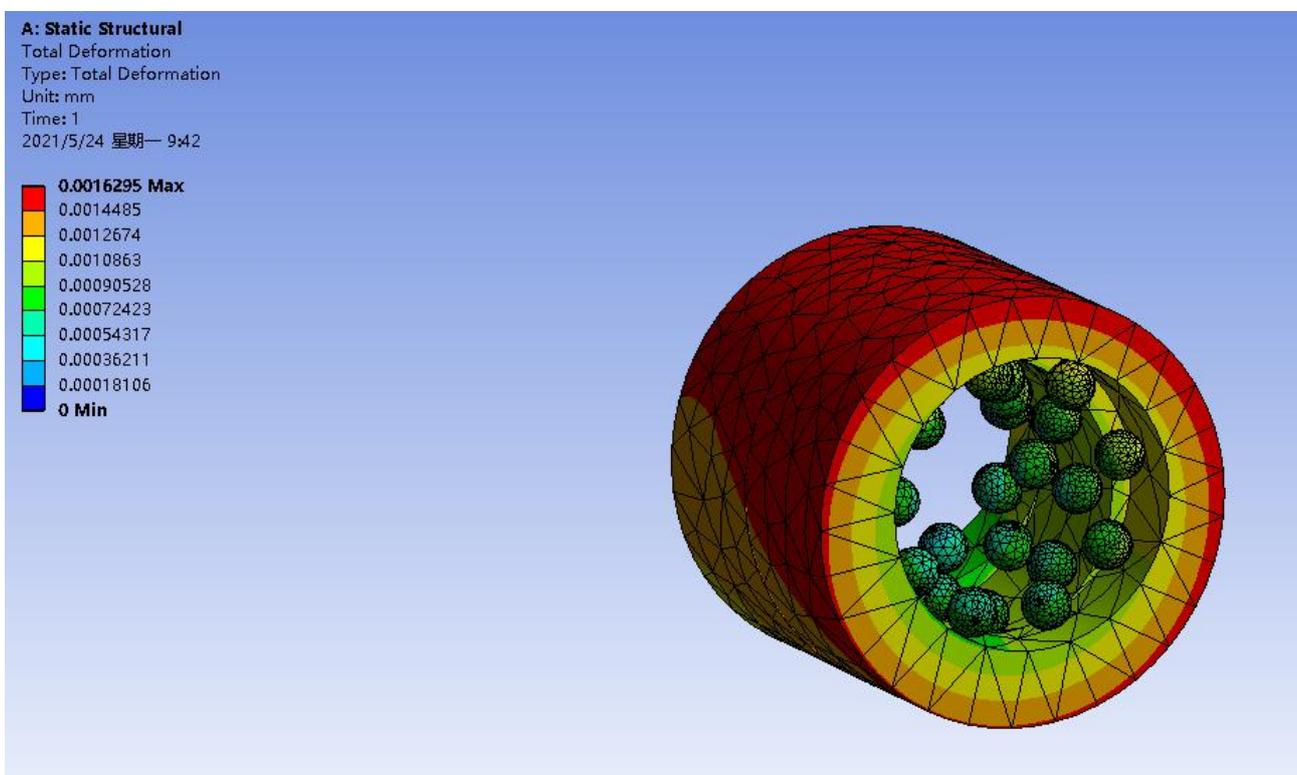


Рисунок 29 – Результаты деформации (шарики и генераторы)

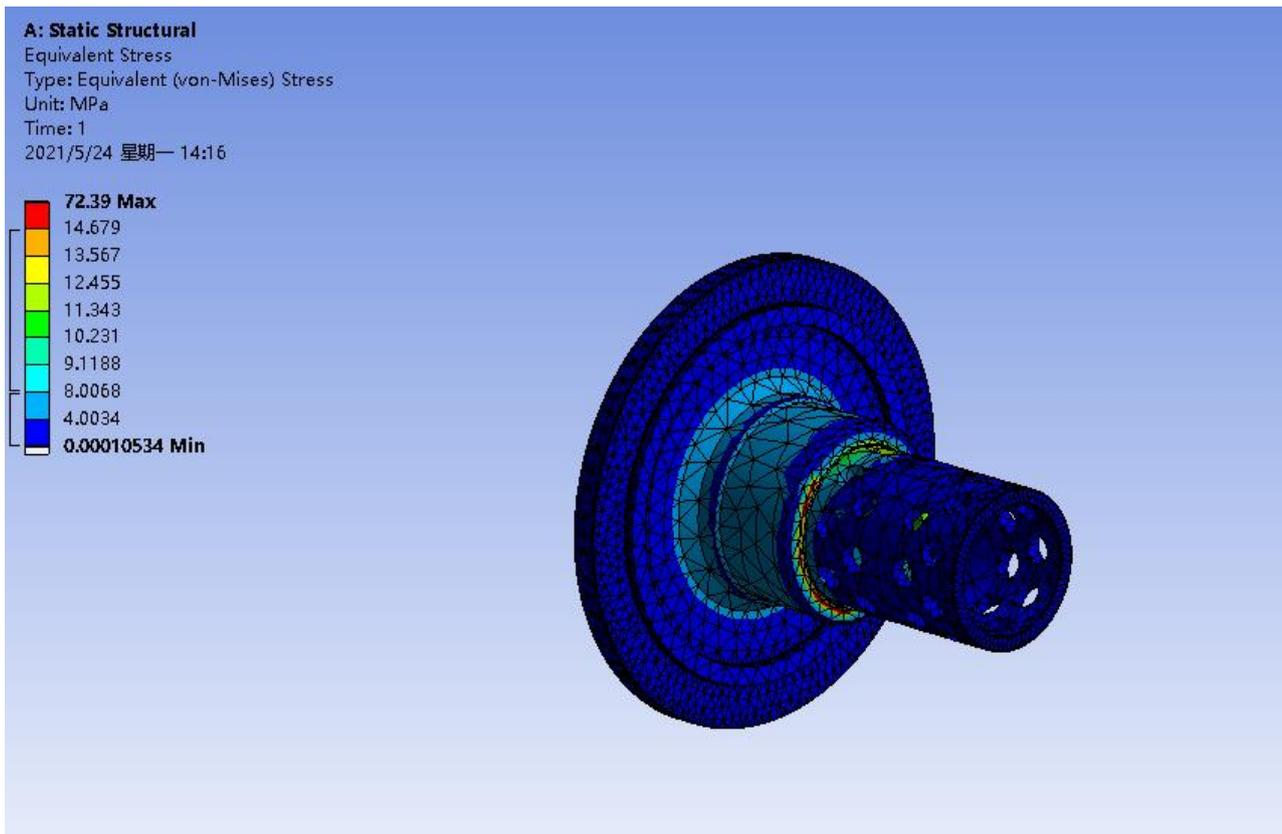


Рисунок 30 – Результат прочности (генератор)

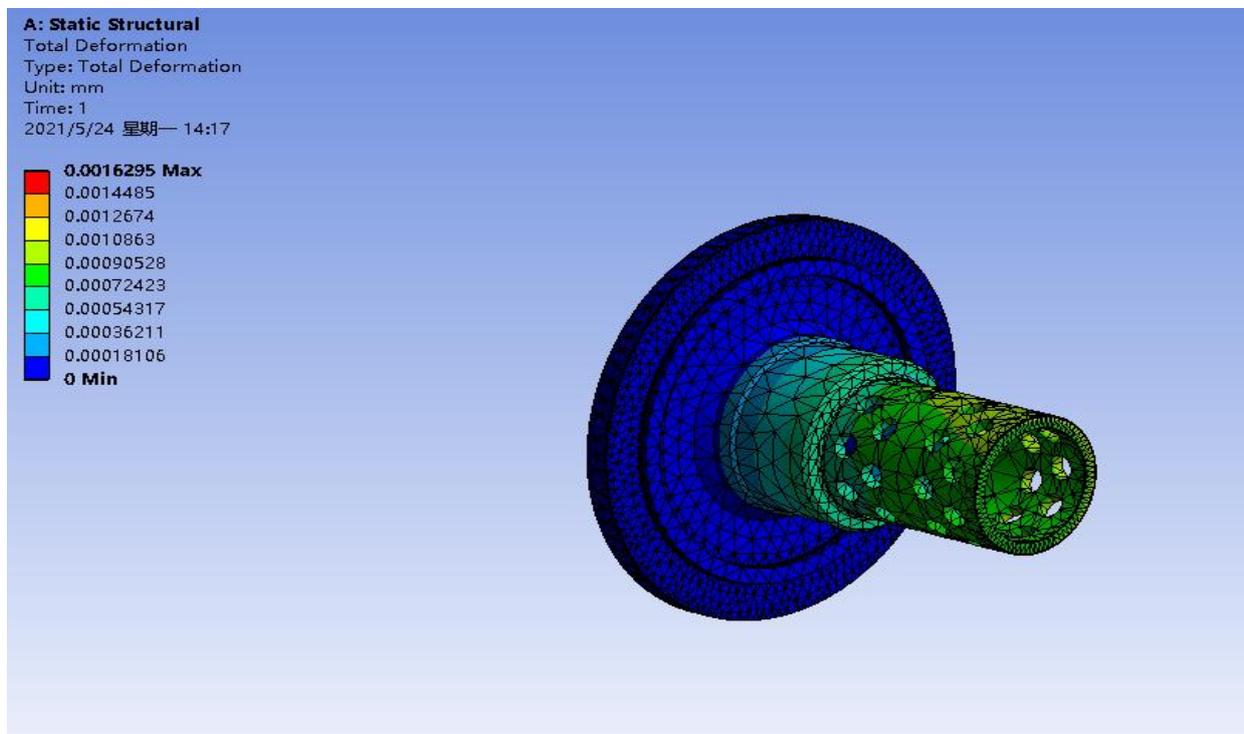


Рисунок 31 – Результаты деформации (генератор)

## 1.4.2 Получить результаты о коэффициенте безопасности

Коэффициент запаса по прочности **Safety Factor** превышает 2.75 при вес редуктора 0.33 кг и Крутящий момент, приложенный к генератору 1 Н\*м.:

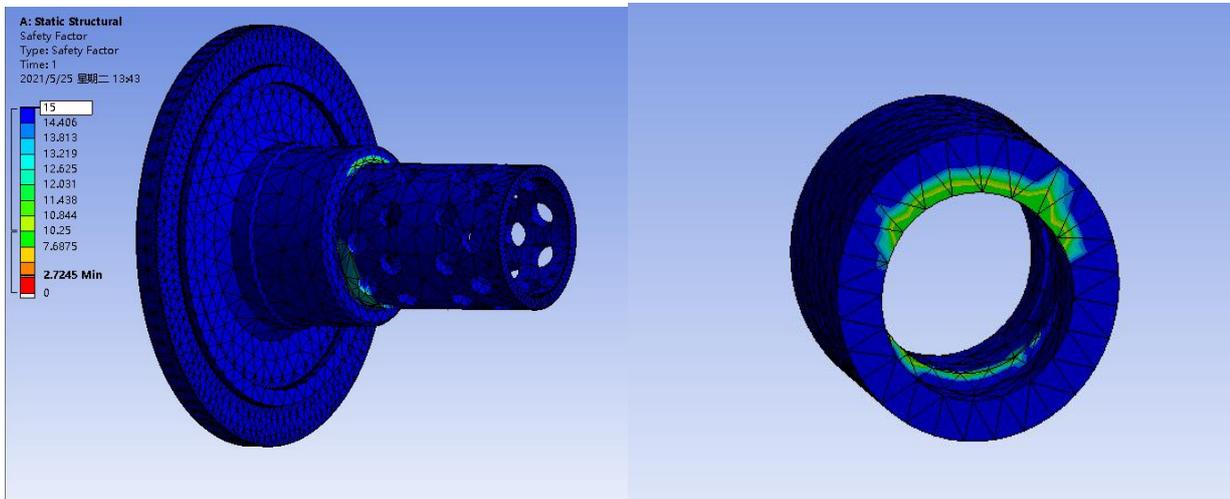


Рисунок 31 – Коэффициент запаса по прочности(генератор и сепаратор)

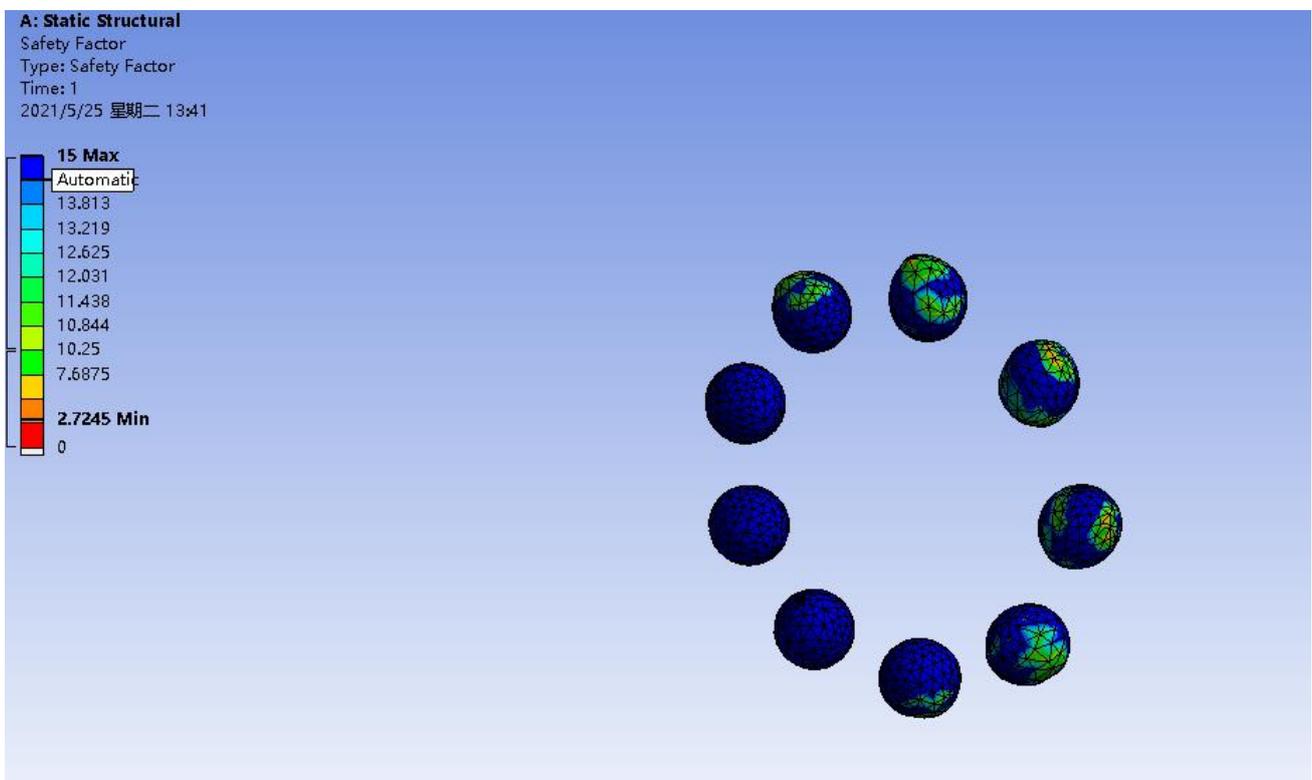


Рисунок 32 – Коэффициент запаса по прочности(тело качения)

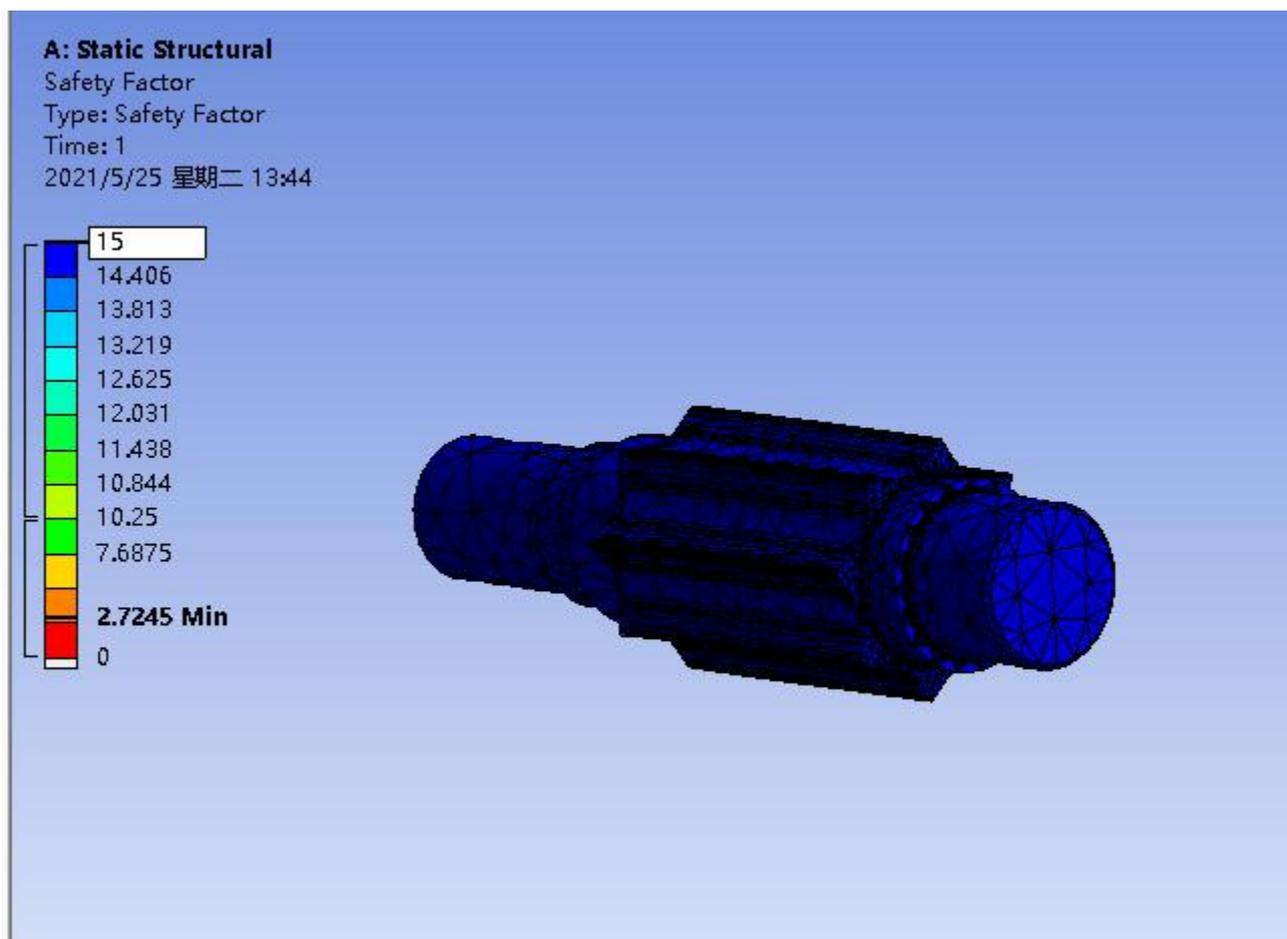


Рисунок 33 – Коэффициент запаса по прочности(выходного вала)

Наибольшая допустимая прочность материалов в различных ситуациях показана в таблице 2.

Таблица 2 – Наибольшая допустимая прочность материалов

Марка стали	Временное сопротивление $\sigma_b$	Предел текучести $\sigma_T$	Допускаемые напряжения, МПа				
			при растяжении $\sigma_p$	при изгибе $\sigma_{из}$	при кручении $\sigma_{кр}$	при срезе $\sigma_{ср}$	при смятии $\sigma_{см}$
ШХ-15	680	333	220	260	180	140	360

Von Mises (напряжение фон Миса, напряжение облачности). фон МИС должен попытаться оценить распределение напряжений, цвет от голубых до красных обозначает постепенное увеличение напряжения, при превышении значения напряжения фон - Миса над максимальной прочностью на рабочем месте возникает текучесть.

Используйте программное обеспечение для анализа рабочего состояния шпинделя токарного станка. Наблюдалось распределение нормального напряжения горизонтального сечения и вертикального сечения, что согласуется с теоретическими расчетами и найдите область концентрации напряжений. После этого мы проанализировали эквивалентное распределение напряжений шпинделя во время работы и проверили прочность шпинделя. Поскольку все значения напряжения фон Миса в результирующей схеме значительно меньше допустимого напряжения, вывод о том, что редуктор удовлетворяет требованиям прочности.

В результате видим, что ролики и генераторы в процессе эксплуатации системы являются самыми уязвимыми местами. Поэтому при выборе роликов и двигателей мы должны выбрать материал с большой интенсивностью. при наведении крутящего момента на приводной вал внимание должно быть соответствующим размеру.

## 2. Финансовый менеджмент

### «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4АМ91	Ван Фансюань

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение Школа</b>	<b>Материаловедение</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01Машиностроение

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

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

<i>1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
<i>2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>
<i>3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>
<i>4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>

**Перечень графического материала**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности ИП</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. Диаграмма Ганта</li> <li>4. Бюджет НИ</li> <li>5. Основные показатели эффективности НИ</li> </ol>
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		22.02.21

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4АМ91	Ван Фансюань		22.02.21

## **2.1 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **Введение**

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью НИР является изучение износа роликов в редукторе редуктора с ПТК .Оценка качества высокоскоростной подшипниковой стали Cr4VMo и ударной подшипниковой стали 20Cr .

### **2.1.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

#### **2.1.1.1 Анализ конкурентных технических решений**

В ходе исследования были изучены две конкурирующие тенденции, касающиеся роликовых колонн различных материалов:

1) Ударная цементационная сталь 20Cr.

2) Высокотемпературная сталь Cr4VMo .

Детальный анализ необходим, т.к. каждый материал подшипников имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 2.1 показано сравнение разработок-конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 2.1 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-способность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Актуальность исследования	0,1	4	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Трещиностойкость	0,14	5	2	3	0,7	0,28	0,42
3. Ударопрочность	0,18	4	3	4	0,72	0,54	0,54
4. Стабильность соединения с подложкой	0,14	5	4	3	0,54	0,56	0,42
5. Простота изготовления	0,05	3	5	5	0,15	0,25	0,2
6. Эффективность работы	0,05	3	4	5	0,25	0,25	0,25
7. Безопасность	0,08	4	4	4	0,32	0,32	0,32
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена сырья	0,12	4	5	3	0,48	0,6	0,36
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	5	3	4	0,24	0,18	0,24
3. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,08	5	4	4	0,7	0,32	0,32
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>41</b>	<b>37</b>	<b>39</b>	<b>4,7</b>	<b>3,6</b>	<b>3,47</b>

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i * B_i = 0,1 * 5 = 0,5$$

где  $K$  – конкурентоспособность проекта;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

### 2.1.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
C1. Низкая цена исходного сырья.	Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.
C2. Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции.	Сл2. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования.
C3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.	Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.
C4. Экологичность технологии.	Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
C5. Квалифицированный персонал.	Сл5. Вероятность получения брака.
Возможности	Угрозы
V1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ и ИФПМ СО РАН.	У1. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
V2. Появление потенциального спроса на новые разработки.	У2. Другие нынешние заменяемые технологии при обработке отверстий.
V3. Внедрение технологии в аэрокосмической области.	
V4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 2.3–2.6.

Таблица 2.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	V1	-	-	-	-	-
	V2	-	+	+	-	-
	V3	-	+	-	+	-
	V4	+	+	-	-	-

Таблица 2.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые

стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	+	+	+
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	-

Таблица 2.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	+	-	-	-
	У2	-	+	-	-	-

Таблица 2.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	+
	У2	-	-	-	-	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>С1. Низкая цена исходного сырья. С2. Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции. С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта. С4. Экологичность технологии С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b></p> <p>Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований. Сл2. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования. Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию. Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности. Сл5. Вероятность получения брака.</p>
<p><b>Возможности</b></p> <p>В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ и ИФПМ СО РАН. В2. Появление потенциального спроса на новые разработки. В3. Внедрение технологии в аэрокосмической области</p>	<p><b>Направления развития</b></p> <p>В1С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта, что соответствует дополнительному спросу на полученные результаты исследования в учебной сфере. В2В3С1С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии и перспективный способ изучения</p>	<p><b>Сдерживающие факторы</b></p> <p>В3Сл2Сл3Сл5. Внедрение технологии в аэрокосмической области требует долгого времени к подготовке моделирования и высококвалифицированных знаний о программе ANSYS и основам процесса дорнования.</p>

В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	соответствуют потенциальному спросу в дальнейшие технологии машиностроения и внедрению технологии в аэрокосмической области.	
<b>Угрозы</b> У1. Снижение стоимости разработок конкурентов. У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.	<b>Угрозы развития</b> У1С2. Несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, наши продукты имеют лучшие механические свойства, больше перспектив развития. У2С2. Наши продукты обладают лучшими механическими свойствами, являются более привлекательными мировом рынке.	<b>Уязвимости:</b> У1Сл4Сл5. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения погрешности и неопределенности.

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

## 2.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 2.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения диссертации.	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Изучение академической литературы по дорнованию обработки.	Инженер
	4	Изучение как работает программа Ansys.	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Определение режимы и особенности нагружения.	Инженер
	6	Создание математическую модель процесса нагружения механической системы.	Инженер , Научный руководитель
	7	Проведение компьютерного эксперимента.	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов.	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки .	Инженер

### 2.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

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

где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{min}i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{max}i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой

работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

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

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

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

$k_{кал}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.4)$$

где  $T_{кал}$  – общее количество календарных дней в году;  $T_{вых}$  – общее количество выходных дней в году;  $T_{пр}$  – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожид}$ , чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения	1	3	3	4	1,8	3,4	3,4	4
3. Обзор научной литературы	-	6	-	8	-	6,8	6,8	10
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	6,8	6,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	12	-	20	-	15,2	15,2	22
8. Обработка полученных данных	-	10	-	18	-	13,2	13,2	20
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,8	5
10. Составление пояснительной записки		8		12	-	9,6	9,6	14
<b>Итого:</b>	7	56	15	87	10,2	69	71,2	101

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 2.10).

Таблица 2.10 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	1											
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4	1											
3	Обзор научной литературы	Исп2	10		1	2									
4	Выбор методов исследования	Исп2	6		1	2									
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7			1	2								
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	9				1	2							
7	Проведение эксперимента	Исп2	22					1	2	3					
8	Обработка полученных данных	Исп2	20							1	2	3			
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5									1	2		
10	Составление пояснительной записки	Исп2	14										1	2	3

Примечание:



– Исп. 1 (научный руководитель),



– Исп. 2 (инженер)

### 2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

### 2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Таблица 2.11 . – материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплексы канцелярских принадлежностей	300	4	1 200
Картридж для лазерного принтера	3 490	1	3 490
Итого:			4690

### 2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.5)$$

где  $n$  – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4.6)$$

где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;  $m$  – время использования, мес.

Таблица 2.12 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	ПЭВМ	1	3	30	30
<b>Итого</b>		30 тыс. руб.			

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации определяется по следующей формуле:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где  $n$  – срок полезного использования в годах.

Амортизация определяется по следующей формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m,$$

где  $I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;

$m$  – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 30000}{12} \cdot 3 = 2475 \text{ руб.}$$

### 2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 4.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m}{F_d} = \frac{58500 \cdot 10.3}{246} = 2449.4 \text{руб}, \quad (4.8)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня –  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней –  $M = 10,3$  месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m}{F_d} = \frac{31200 \cdot 11.3}{213} = 1655.2 \text{руб}. \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_d) k_p = 30000 \cdot (1 + 0.3 + 0.2) \cdot 1.3 = 58500 \text{руб} \quad (4.10)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_d) k_p = 16000 \cdot (1 + 0.3 + 0.2) \cdot 1.3 = 31200 \text{руб}$$

, (4.11)

где  $Z_{mc}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;  $k_{np}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;  $k_{\partial}$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;  $k_p$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 2.13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 2.14 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{mc}, руб$	$k_{np}$	$k_{\partial}$	$k_p$	$Z_m, руб$	$Z_{\partial n}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{ocn}, руб$
Руководитель	30000	0,3	0,2	1,3	58500	2499,4	10,2	25493,88
Инженер	16000	0,3	0,2	1,3	31200	1655,2	69	114208,8
Итого:								139702,68

### 2.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\partial on} = k_{\partial on} * Z_{ocn} = 0,15 * 25493,88 = 3824 руб . \quad (4.12)$$

– для инженера:

$$Z_{\partial on} = k_{\partial on} * Z_{ocn} = 0,15 * 114208,8 = 17131,3 руб , \quad (4.13)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

### 2.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 * (25493,88 + 3824) = 29317,88 \text{ руб.} \quad (4.14)$$

– для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 * (114208,8 + 17131,3) = 131340,1 \text{ руб.}, \quad (4.15)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

### 2.3.6 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.

Величина накладных расходов определяется по формуле

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей} \div 5) \cdot k_{пр}, \quad (4.16)$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

### 2.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Таблица 2.15 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Стоимость бюджета
4690	2475	139702,68	20955,402	48197,42	216020,51	34563,281	250583,79

В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 2.16 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3
1	Материальные затраты НИР	4690	4000	12000
2	Затраты на специальное оборудование	2475	233600	43460
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	139702,68	140088	148886
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	20955,402	22608,7	22260,7
5	Отчисления во внебюджетные фонды	48197,42	52000	51200
6	Накладные расходы	34563,281	49780	49770
Бюджет затрат НИР		250583,79	368462,7	382052,7

Где:

## 2.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

**2.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности** научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- 1) Ударная цементационная сталь 20Cr ;
- 2) Высокотемпературная сталь Cr4VMo .

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.17)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{\text{pi}}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 250583,79$  руб,  $\Phi_{\text{исп.1}} = 368462,7$  руб,  $\Phi_{\text{исп.2}} = 382052,7$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{250583,79}{382052,7} = 0,66$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{368462,2}{382052,7} = 0,96$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{382052,7}{382052,7} = 1$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

**2.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности** вариантов выполнения НИР ( $I_{pi}$ ) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 2.17).

Таблица 2.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

исследования Критерии	Объект	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки		0,2	4	3	4
2. Стабильность работы		0,3	4	4	5
3. Технические характеристики		0,1	6	3	8
4. Механические свойства		0,3	6	4	5
5. Материалоёмкость		0,1	8	6	4
ИТОГО		1	5,2	3,9	5

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,2 * 4 + 0,3 * 4 + 0,1 * 6 + 0,3 * 6 + 0,1 * 8 = 5,2$$

$$I_{p2} = 0,2 * 3 + 0,3 * 4 + 0,1 * 3 + 0,3 * 4 + 0,1 * 6 = 3,9$$

$$I_{p3} = 0,2 * 6 + 0,3 * 5 + 0,1 * 8 + 0,3 * 5 + 0,1 * 4 = 5$$

### 2.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр.i}} \quad (20)$$

$$I_{исп.1} = \frac{5,2}{0,9} = 5,7 \quad I_{исп.2} = \frac{3,9}{0,96} = 4,1 \quad I_{исп.3} = \frac{5}{1} = 5$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.18).

Таблица 2.18 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,66	0,96	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	5,2	3,9	5
3	Интегральный показатель эффективности	5,7	4,1	5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,83	0,79

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

### Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

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

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: Общие количества календарных дней для выполнения работ составляет 101 дней. Общие количество рабочих дней, в течение которых работал инженер, составляет 69 дней. Общие

количества рабочих дней, в течение которых работал руководитель, составляет 10,2 дней.

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 250583,79 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,66, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 5,2 по сравнению с 3,9 и 5;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,7, по сравнению с 4,1 и 5, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

### 3. Социальная ответственность

#### «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4AM91	ВанФансюань

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Материаловедение</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

**Тема ВКР:**

Разработка математической модели напряженно-деформированного состояния передачи с ПТК	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: Напряжение-деформации в передаче с ПТК</p> <p>Область применения: машиностроение</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>1) N 197-ФЗ "Трудовой кодекс Российской Федерации"</p> <p>2) N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда" (с изменениями и дополнениями).</p>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>1) Повышенная или пониженная относительно нормативных требований температура, влажности и подвижности воздуха;</p> <p>2) Повышенный уровень шума;</p> <p>3) Повышенный уровень вибраций</p> <p>4) Недостаточная освещенность</p>

	рабочей зоны; 5)Эмоциональные нагрузки; 6)Электробезопасность
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	1)Влияние деятельности на литосферу, атмосферу и гидросферу: Токсичные выбросы, неразлагающийся мусор. 2)Способы утилизации отходов
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС на производстве: 1)Природного характера - воздействие низких температур 2)Техногенное возникновение пожара

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	<b>16.03.2021</b>
---	-------------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4АМ91	ВанФансюань	ВанФансюань	16.03.2021

## Введение

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

В данной работе рассмотрены распределение остаточного напряжения на профильном колесе.

Рассматриваются на основе проведения эксперимента: Профильное колесо (Деталь в редукторе с промежуточными телами качения) обработать на отрезной станком лазерного, чтобы наблюдать измеренное остаточное распределение напряжений и распределение остаточной деформации.

Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды: В лаборатории, где находится оргтехника, могут быть следующие вредные факторы: а) некомфортные метеоусловия; б) вредные вещества; в) производственный шум; г) недостаточная освещенность.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как лаборатория находится в городе Томске, наиболее типичной ЧС является мороз. Так же, в связи с неспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

### 3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности труда

Для рабочих должны проводиться мероприятия по вопросам обеспечения безопасного труда. В систему таких мероприятий должны входить:

- постоянное совершенствование технологических процессов и оборудования с целью устранить и предотвратить возможность появления производственных вредностей;
- безусловное соблюдение технологических режимов, строгий контроль за их исполнением;
- знание и соблюдение техники безопасности;
- безусловное соблюдение режимов труда и отдыха, правильная организация рабочего места;
- постоянный контроль за состоянием воздушной среды производственных помещений (соблюдение норм предельно допустимого количества абразива в воздухе и паров химических веществ);
- регулярные медицинские осмотры;
- соблюдение требований безопасности труда к освещенности помещения, отоплению, вентиляции (система вытяжной вентиляции), кондиционированию воздуха;
- соблюдение норм допустимой концентрации вредных веществ в воздухе;
- доступ к системе водоснабжения, сан.узлу;
- регламентированные перерывы в работе на обед и на отдых;
- оборудованное помещение для отдыха работников, оснащенное необходимой мебелью (стулья, кресла, столы, холодильник, микроволновая печь, электрический чайник);
- доступ к питьевой воде.

### 3.2 Производственная безопасность

Работа по изготовлению заготовки проводилась на металлообрабатывающем оборудовании, а по измерению – на координатно-измерительной машине:

- 1) Точный токарный станок V-Turn 410/1500;
- 2) Координатно-измерительная машина Coord3 модель EOS.

При работе с обеими машинами существуют ряд вредных и опасных факторов:

Таблица 5.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разраб	Изгот	Экспл	
1.Отклонени показателей микроклимата;	+	+	+	ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное.
2.Превышение уровня шума;		+	+	Общие эргономические требования
3.Повышенный уровень вибраций;	+	+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
4.Отсутствие или недостаток естественного света;	+	+	+	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
5.Недостаточная освещенность рабочей зоны;		+	+	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и
6.Эмоциональные нагрузки;	+	+	+	
7.Движущиеся машины и механизмы,передвигающиеся изделия,заготовки и материалы;	+	+	+	

8.Повышенные температуры материалов;	+	+	+	общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования.
9.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (с изменениями и дополнениями).

В ходе работы необходимо соблюдать допустимые значения на следующие производственные метеоусловия – влажность воздуха на рабочем месте, температура воздуха, скорость движения воздуха, а так же тепловые излучения. Так, при неблагоприятном микроклимате (превышение или же занижение допустимых нормативных показателей указанных в СанПиН 2.2.4.548 – 96) снижается производительность труда и ухудшается здоровье работника.

Неблагоприятные условия вызывают перенапряжение механизма терморегуляции, что приводит к перегреву или переохлаждению. Нарушениями механизма терморегуляции являются:

- Повышенная утомляемость;
- Снижение его производительности труда;
- Повышенный риск простудных и сердечных заболеваний.

Для профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия.

К числу СИЗ от неблагоприятных климатических условий относят спецодежду, спецобувь, средства защиты рук, головные уборы.

### 3.3 Превышение уровня шума

В рабочем помещении должны соблюдаться нормы уровня шума согласно СН2.2.4/2.1.8.562-96.

Источником шума в рассматриваемом рабочем пространстве является токарный обрабатывающий центр, а также пневмопистолет для подачи воздуха под давлением.

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в ГОСТ 12.1.003–83.

Таблица 2.2

Категория напряженности	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя Физическая нагрузка	тяжелый Труд степени 1	тяжелый труд степени 2	тяжелый труд степени 3
трудо­вого процесса					
легкой степени	75	75	70	70	70

Если уровень шума на работе превышает 70-80 дБ необходимо использовать индивидуальные средства защиты (беруши, специальные наушники). Методы и средства коллективной защиты в зависимости от способа реализации подразделяются на:

акустические (звукоизолирующие кожухи, кабины, акустические экраны, выгородки, звукопоглощающие облицовки, объемные поглотители звука и др.). Физическая сущность звукоизолирующих преград состоит в том, что наибольшая часть звуковой энергии отражается от специально выполненных массивных ограждений из плотных твердых материалов (металла, дерева, пластмасс, бетона и др.) и только незначительная часть проникает через ограждение. Уменьшение шума в звукопоглощающих преградах обусловлено переходом колебательной энергии в тепловую благодаря внутреннему трению в звукопоглощающих материалах. Хорошие звукопоглощающие свойства имеют легкие и пористые материалы (минеральный войлок, стекловата, поролон и т.п.).

Для уменьшения воздействия неблагоприятных шумовых эффектов, рабочим следует использовать беруши, наушники. Так же в обеденный перерыв обязательно нужно покидать рабочее место и отправляться в более тихое место, чтобы слух немного отдохнул и адаптировался к нормальному уровню громкости. Не реже 1 раза в год (или в полгода, если уровень шума очень высокий) проверять слух у

врачаоториноларинголога, следует уловить момент ухудшения и принять меры.

### **3.3.2Повышенный уровень вибраций**

В процессе обработки деталей, если режущий инструмент выставлен неправильно, а также если станок не имеет крепкого фундамента под собой, или не установлен на виброопорах, могут возникать вибрации.

Основная цель нормирования вибрации на рабочих местах — это установление допустимых значений характеристик вибрации, которые при ежедневном систематическом воздействии в течение всего рабочего дня и многих лет не могут вызвать существенных заболеваний организма человека и не мешают его нормальной трудовой деятельности.

Основным документом, регламентирующим уровень вибрации на рабочих местах, является СН 2.2.4/2.1.8.566-96 “Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий”. В этом документе приведены предельно допустимые значения колебательной скорости, колебательного ускорения и их уровней в октавных и третьоктавных полосах частот для локальной и общей вибрации в зависимости от источника возникновения, направления действия. Коллективные виды средств защиты от вибрации считаются предпочтительными, в то время как средства индивидуальной защиты принимаются в качестве вспомогательных. К ним относятся: виброзащитныКоллективные виды средств защиты от вибрации считаются предпочтительными, в то время как средства индивидуальной защиты

приеются в качестве вспомогательных. К ним относятся: виброзащитны обувь, перчатки со специальными упруго-демпфирующими элементами, поглощающими вибрацию.

### **3.3.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны**

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда. На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

В цехе используются светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2- 40 дл.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток,

отражённый от потолка и стен. Длина помещения  $A = 10$  м, ширина  $B = 7$  м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом  $h_p = 1$  м.

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами без штор  $\rho_c = 70\%$ , чистого бетонного потолка  $\rho_n = 50\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений со средним выделением пыли равен  $K_z = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $z = 1,1$ .

Выбираем лампу ЛХБ-40, световой поток которой равен  $\Phi_{лд} = 2700$  лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем  $\lambda = 1,2$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле 5.1:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м} \quad (5.1)$$

Индекс помещения определяется по формуле 5.2:

$$i = \frac{A * B}{h * (A + B)} = \frac{10 * 7}{2 * (10 + 7)} = 2,05$$

Коэффициент использования светового потока  $\eta = 0,52$

Потребные группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле 5.3:

$$n = \frac{E * A * B * K3 * Z}{\Phi * \eta} = \frac{150 * 10 * 7 * 1,5 * 1,1}{2700 * 0,52} = 12,3 \approx 12 \text{ ламп}$$

Общее число ламп:  $n=12$ . В каждом светильнике по две лампы, следовательно, число светильников = бшт

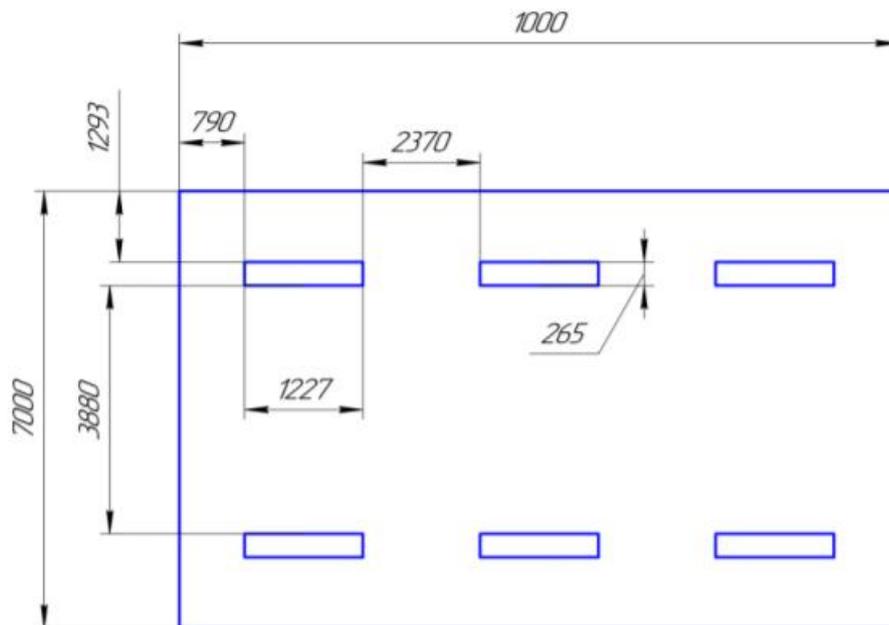


Рисунок 5.1 – План размещения светильников в помещении

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле 5.4:

$$\frac{2}{3} L_1 + 2L_1 + 3 * 1227 = 10000 \text{ мм} \quad (5.4)$$

$$L_1 = 2370 \text{ мм}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле 5.5:

$$\frac{2}{3} L_2 + 2L_2 + 2 * 265 = 7000 \text{ мм}$$

$$L_2 = 3880 \text{ мм}$$

Расчет светового потока группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле 5.6:

$$\Phi_P = \frac{E * A * B * K_3 * Z}{n * \eta} = \frac{150 * 10 * 7 * 1,5 * 1,1}{12 * 0,52} = 2776 \text{ лм}$$

Проверяем выполнение условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} 100\% \leq 20\%$$

$$\frac{2700 - 2776}{2700} * 100 = -2,81 \approx -3\%$$

$$-10\% \leq -3\% \leq 20\% \sim \sim \text{условие выполнено}$$

### 3.3.5 Эмоциональные нагрузки

Эмоциональные нагрузки определяются тремя параметрами:

- степенью ответственности за результат собственной деятельности;
- степенью риска для собственной жизни;
- ответственностью за безопасность других лиц.

Практика аттестации рабочих мест показывает, что оценка всех трех параметров происходит в соответствии с профессией без каких-либо дополнительных измерений, что в данном случае является наилучшим выбором, чем проведение крайне субъективных оценок непрофильными специалистами. Проблема эмоциональных нагрузок не может исчерпываться тремя показателями и требует профессиональных методик оценки, которые должны разрабатываться специалистами в области социальной психологии, психологии труда, психологии мотивации и эмоций и т.д., а не гигиенистами, как это было сделано при разработке гигиенических критериев.

Степень ответственности за результат собственной деятельности, значимость ошибки указывает, в какой мере работник может влиять на результат собственного труда при различных уровнях сложности осуществляемой деятельности. С возрастанием сложности повышается степень ответственности, поскольку ошибочные действия приводят к дополнительным усилиям со стороны работника или целого коллектива,

что соответственно приводит к увеличению эмоционального напряжения.

### **3.3.6 Повышенная температура материала**

В процессе резания металла, он нагревается до высоких температур (200-600°C), большая часть тепла (50-80%) отводится стружкой, однако, при постоянном воздействии резца на заготовку, она разогревается до температур, которые при кратковременном воздействии могут причинить вред человеку (ожог).

Во избежание получения термических травм, рекомендуется использовать специальные приспособления для транспортировки только что обработанных деталей, а так же, применять смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Основы безопасности и требования при работе с движущимися частями машин приводятся в ГОСТ 7599-82.

### **3.3.7 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека**

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Производственные цеха относятся к II классу электроопасности - помещению с повышенной опасностью, которая характеризуется наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную

опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой. Токарный обрабатывающий центр Goodway работает в сети с напряжением 380 В.

Средствами индивидуальной защиты от поражения электрическим током являются инструменты с ручками из изолирующего материала, специальные перчатки и обувь, а также дорожки и коврики.

### **3.3.8 Экологическая безопасность**

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду

Экологическая безопасность – это допустимый уровень негативного воздействия со стороны природных и антропогенных факторов экологической опасности на окружающую среду и человека.

Образование отходов является неотъемлемой частью производственных процессов. Отходы загрязняют окружающую среду и образуют высокие концентрации токсичных веществ

Решения по обеспечению экологической безопасности:

1. для литосферы – вывоз твердых бытовых отходов, с

последующей переработкой;

2. для атмосферы – проведение ежедневной влажной уборки на рабочем месте и проветривание помещения

В аудитории, где проводилась основная работа над ВКР, источником загрязнения окружающей среды являются люминесцентные лампы, с помощью которых реализовано освещение. В трубках люминесцентных ламп содержится от 3 до 5 мг ртути. ЛЛ относятся к первому классу токсичных отходов и являются чрезвычайно опасными, они требуют специальной утилизации.

Для обеспечения экологической безопасности возможны пути решения проблем в соответствии с ГОСТ Р 14.01-2005. [11]

Для перехода к безотходного производства необходимо осуществлять все работы в электронном виде, без использования принтеров соответственно бумаги.

Нужно позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика.

Необходимо утилизировать средства освещения. Все известные сегодня способы утилизации люминесцентных ламп очень трудоемки, опасны, энергозатратны и экономически нецелесообразны: стоимость подобной операции практически сравнима со стоимостью новой лампы.

Специальный химический раствор позволяет полностью удалить все опасные компоненты люминофорного слоя со стекла, и после дальнейшей переработки, использовать их повторно, как, впрочем, и само стекло

### **3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях:**

#### **3.4.1 Защита в чрезвычайных ситуациях (ЧС)**

Так как г.Томск расположен в Сибири, где температура зимой опускается до опасных для человека морозов, существует риск чрезвычайной ситуации природного характера. Природная чрезвычайная ситуация — обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате источника чрезвычайной ситуации, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. Для того, чтобы устранить полностью или снизить ущерб от различных возможных чрезвычайных ситуаций, проводятся профилактические мероприятия, поэтому при аварии на:

- Водоканале: следует обеспечить подвоз питьевой и технической воды рабочим, если нет возможности прервать технологический цикл изготовления деталей. Также в цеху рекомендуется иметь запас питьевой воды из расчёта 2 л/чел. в смену.

- Теплотрассе: предусмотреть обогреватели помещения, работающие от электрической сети, а также СИЗ (тёплая одежда, перчатки, шапки).

- Электросетях: следует обеспечить генератором (бензиновым или дизельным), который сможет производить ток требуемой мощности. Также для профилактики рекомендуется:

1) Снабжение предприятия, учреждения, населенного пункта с двух направлений, от независимых энергоисточников. Это значительно повышает надежность, так как одновременный выход из строя двух линий передачи электроэнергии (при закольцованности) менее вероятен;

2) замена воздушных линий на кабельные подземные;

- Transporte: предприятие, зная механизм образования зимней скользкости, обязано не только ликвидировать ее при обнаружении в установленные сроки, но и проводить профилактические мероприятия при наличии прогноза погодных условий, являющихся причиной образования зимней скользкости на дорогах, в том числе применять меры реагирования по ее устранению после окончания выпадения осадков, не дожидаясь сообщений со стороны третьих лиц.

### 3.4.2 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия. Помещение относится к категории ВЗ – пожароопасное.

Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещения;
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5. В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно

препятствовать безопасной эвакуации людей. Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу(рисунок 5.4).

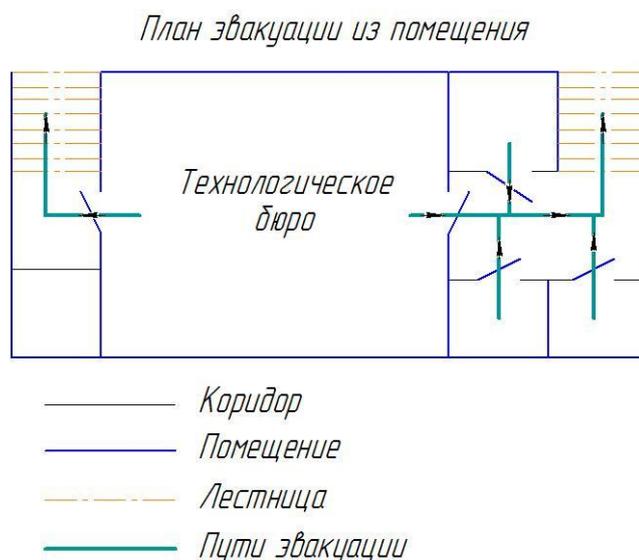


Рисунок 5.4 – План эвакуации.

### 3.4.3 Заключение по разделу социальная ответственность

В данном разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены различные виды вредного воздействия на человека и окружающую среду, а так же, способы уменьшения их воздействия.

К таким вредным воздействиям на организм человека относятся: вибрации, шум, недостаток освещённости, эмоциональные нагрузки. В разделе приведены способы уменьшения воздействия на организм человека вредных факторов, а так же, средства индивидуальной защиты для уменьшения воздействия этих факторов.

### **3.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

1. ОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности

2. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

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

4. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

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

6. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

7. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление.  
Зануление

8. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

9. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности.

10. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха

11. ГОСТ 30775-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами.

Классификация, идентификация и кодирование отходов.

12. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.

13. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

14. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ

(ред. от 09.03.2021)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Наблюдалось выше указанные результаты, значения напряжения фон Миса в разных местах диаграммы меньше максимальной прочности материала. Так что при работе редуктора не будет изгиба. По напряжению фон Миса мы также обнаружили, что редуктор работает стабильно, двигатель получил  $1000\text{N/m}$  крутящего момента, редуктор вполне нормально работает, поэтому у редуктора с ПТК хорошие характеристики.

2. Рисунок 26,27,28 ясно показывается что, Коэффициент запаса по прочности Safety Factor превышает 2,75 при вес редуктора 0.33 кг и Крутящий момент приложенный к генератору  $1000\text{ Н}\cdot\text{мм}$ . Значит, у редуктора нет проблем с безопасностью в работе.

3. Одновременный конечный элемент Анализ и программное обеспечение Workbench в моделировании моделирования и оптимизации применение, значительно снизило затраты на исследования, реализовало Процесс проектирования химическая и визуальная обработка, повышение качества проектирования, сокращение цикла проектирования продукции, имеет большую ценность.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Dettmar J. A Finite Element Implementation of Mooney-Rivlin's Strain Energy Function In Abaqus. 2000: p. 25.
2. US 1813205 Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. Введение в Abaqus. Гуревич Л.М., Волчков В.М., Даненко В.Ф., 2004
3. US 957167. Using MSC/NASTRAN: Statics and Dynamics. Arturo O. Cifuentes , 1989.
4. SU 107278 Расчет торсиона несущего винта в системе MSC.Nastran. Лебедев И.М., 2004
5. SU 1,723,021 Математическое моделирование процессов удара и взрыва в программе LS-DYNA. Муйземнек А.Ю., Богач А.А., 2000.
6. Thomas W. Modellbildung und Simulation: Mit einer Einfuhrung in ANSYS Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010: p. 465.
7. SU 96571 Оценка качества построения конечноэлементной модели в ANSYS. Белобородов А.В., 2000
8. П.В. Гордин, Е.М. Росляков, В.И. Эвелеков. Детали машин и основы конструирования: Учебное пособие. СПб.: СЗТУ, 2006. – 186с
9. А. Е. Беляев. Механические передачи с шариковыми промежуточными телами. Томск: ТПУ, 1992.-231с.
10. А. Е. Беляев. Механические роликовые передачи. Новоуральск: 1994.- 120с.
11. В. В. Становский, Т.А. Ремнева, С.М. Казакиявичюс. Передачи со свободными телами качения, обзор патентной литературы.

12. А.Ф. Крайнев. Словарь-справочник по механизмам – М.: Машиностроение, 1981, с.42-45
13. Э.Н. Панкратов, В.В. Шумский, С.В. Лушников. Волновые редукторы с промежуточными звеньями. Бурения и нефть. 2003. №2. С.28-30
14. US 1,689,285. Differential gear for propelled vehicles. H. Knab, 1928
15. US 1,738,662. Ball transmission. G.S.Morison, 1929.
16. US 1,946,358 Articulated differential gear. F. Porsche et al, 1934.
17. US 1,449,352 Gearless planetary transmission. Seeck F. 1923.Marcel Dekker, 2004. – 396 p.
18. Shibinskiy K. G. Development of Energy Efficient Mechatronic Module for Alternative Energy / K. G. Shibinskiy, E. A. Efremenkov (Ephremenkov), N. E. Galin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — Bristol : IOP Publishing, 2020. — Vol. 795: Mechanical Engineering and Modern Technologies (MEMT2019) : International Conference, 28 October 2019 - 1 November 2019, Tomsk, Russian Federation. — [012026, 10 p.].
19. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. – 3-е изд., перераб. и доп.– К.: «Издательство Дельта», 2008.–816с.
20. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. – Л.: Машиностроение, 1966. – 307 с.
21. Ефременков Е.А., Ан. И-Кан Определение радиусов кривизны циклоидальных профилей с использованием метода Эйлера-Савари // Вестник машиностроения. - 2010. - № 10. - С. 47-50.

22. Ефременков Е.А. Разработка методов и средств повышения эффективности передач с промежуточными телами качения: Дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2002. – 126 с.
23. SU 31272 Экономика знаний: [Оценка интеллектуал. собственности. Оптимизац. модели. Стратег. планирование]: Учеб. пособие для подгот. магистров по направлению "Менеджмент". Глухов В.В., Коробко С.Б., Маринина Т.В., 2003
24. SU 31888 Менеджмент в российском банке: Опыт системного анализа и управления. Камионский С.А., 1998
25. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021)
26. ОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
27. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
28. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
29. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
30. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых,

общественных зданий и на территории жилой застройки

31. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

32. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление

33. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

34. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности.

35. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха

36. ГОСТ 30775-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.

37. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.

38. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

## Приложение 1

### Choice and usage of CAE software to analyze the cycloid pin wheel model

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM91	ВанФансюань		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротков В.С.	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Айкина Т.Ю.	к.ф.н.		

## **Main types of CAE programs**

There are many kinds of Computer-aided engineering (CAE) technology, including finite element method (FEM), boundary element method (BEM), finite difference element method (FDM), etc. Each method has its own application field, and the application field of finite element method is getting wider and wider, it has been applied to structural mechanics, fluid mechanics, circuit science, electromagnetics, thermodynamics, acoustics, chemical reaction and so on.

CAE modeling and analysis can reduce or even avoid the expensive and long-term development cycle of “design manufacture test”. ANSYS, ABAQUS, Nasran, LS-DYNA are the most famous CAE software abroad.

### **ANSYS**

ANSYS software is a large-scale general finite element analysis (FEA) software developed by ANSYS company in the United States. It is the fastest-growing Computer-Aided Engineering (CAE) software in the world. It can interface with most CAD (Computer Aided Design) software and realize data sharing and exchange, such as Creo, NASTRAN, Algor, I-DEAS, AutoCAD, etc.

ANSYS finite element software package is a multi-purpose computer design program of finite element method, which can be used to solve the problems of structure, fluid, electric power, electromagnetic field and collision. Therefore, it can be applied to the following industrial fields: aerospace, automotive industry, biomedicine, bridge, construction, electronic products, heavy machinery, MEMS, sports equipment, etc.

The analysis and calculation module includes structural analysis (linear analysis, nonlinear analysis and highly nonlinear analysis), hydrodynamics analysis, electromagnetic field analysis, acoustic field analysis, piezoelectric analysis and coupling analysis of multiple physical fields. It can simulate the interaction of multiple physical media and has the ability of sensitivity analysis and optimization analysis.

The post-processing module can display the calculation results in color contour display, gradient display, vector display, particle flow trace display, three-dimensional slice display, transparent and translucent display (the structure can be seen inside), and can also display or output the calculation results in graph, curve and linear form.

The software provides more than 100 cell types to simulate various structures and materials in engineering. There are many different versions of the software, which can run on a variety of computer devices from personal computers to mainframes, such as PC, SGI, HP, SUN, DEC, IBM, CRAY, etc.

## **1. ABAQUS**

ABAQUS is widely considered as the most powerful finite element software, which can analyze complex mechanical systems of solid mechanics, especially to control very large and complex problems and simulate highly nonlinear problems. ABAQUS can not only analyze the mechanical and multi physical fields of single parts, but also analyze and study system level. The characteristics of system level analysis of ABAQUS are unique compared with other analysis software. Because of its excellent analytical ability and reliability of simulation complex system, ABAQUS is widely used in industry and research in various countries. ABAQUS products play a great role in a large number of high-tech products research.

ANSYS software focuses on the expansion of application fields, covering a wide range of research fields such as fluid, electromagnetic field and multi physical field coupling. ABAQUS focuses on structural mechanics and related fields, and is committed to solving deep practical problems in this field.

ANSYS system is compatible with many other software products. So compared with ABAQUS, ANSYS has a better cost performance in solving the conventional linear and coupling problems. However, in practical engineering, nonlinearity is a natural phenomenon far more common than linearity, and linearity is usually only an idealized assumption of nonlinearity. With the improvement of research level and the deepening of research problems, nonlinear problems are bound to become a problem faced by engineers and researchers, and become the bottleneck of in-depth research and accurate design. Choosing ABAQUS software can solve these problems, shorten the development cycle, reduce the test investment and avoid redesign. To do a good job, you must sharpen your tools first. The cost of using inappropriate or low-grade analysis tools is far more than the cost of using appropriate tools. Therefore, from the perspective of comprehensive and long-term benefits, the economy of ABAQUS software is also very prominent.

### **3. NASTRAN**

Nastran is a large-scale applied finite element program developed by NASA in 1966 to meet the urgent needs of the aerospace industry at that time.

MSC has been engaged in the development and research of CAE products in the field of computer aided engineering since 1963. MSc participated in the whole NASTRAN development process. In 1969, NASA launched its first version of

NASTRAN, known as NASTRAN level 12. Nastran level 15, February 1973. At the same time of the release of 5, MSC was designated as the specially invited maintenance provider of NASTRAN.

MSC. NASTRAN is highly reliable structural finite element analysis software, which has 36 years of development and improvement history, and has been verified by more than 50000 end users in long-term engineering applications. Msc.nastran's entire development and testing process is completed under the strict control of MSC's QA department, the US Department of defense, NASA, the Federal Aviation Administration (FAA) and the nuclear energy commission. Each release of msc.nastran has to go through four levels and more than 5000 test questions.

MSC. NASTRAN is so highly respected and widely used that its input and output format and calculation results have become the CAE industry standard. Almost all CAD / CAM systems compete to develop its direct interface with msc.nastran. The calculation results of msc.nastran are usually regarded as the reference standard for evaluating the accuracy of other finite element analysis software. At the same time, it is also the preferred finite element analysis tool to deal with large engineering projects and international bidding.

MSC. NASTRAN is not only easy to use, but also has very powerful software functions. Through continuous improvement, such as adding new unit types and analysis functions, providing more advanced user interface and data management means, further improving problem-solving accuracy and matrix operation efficiency, MSC company will provide users with new MSc products at the speed of launching a small version every year and a large version every two years.

MSC. NASTRAN has no restrictions on the number of degrees of freedom, bandwidth or wavefront. It is not only suitable for small and medium-sized projects, but also very effective for dealing with large engineering problems, and has been recognized by the world. MSc. NASTRAN has successfully solved the practical problems with more than 5000000 degrees of freedom.

#### **4. LS-DYNA**

LS DYNA is the most famous general explicit dynamic analysis program in the world. It can simulate various complex problems in the real world, especially for solving the nonlinear dynamic impact problems such as high-speed collision, explosion and metal forming of various two-dimensional and three-dimensional nonlinear structures, and can also solve the problems of heat transfer, fluid and fluid solid coupling. It is widely recognized as the best analysis software package in the field of engineering application. The reliability of the calculation is verified by the numerous comparisons with the experiments.

LS-DYNA functional features:

##### **1. Adaptive mesh generation function**

Automatic mesh generation technology is usually used in sheet metal stamping deformation simulation, thin-walled structure compression buckling, three-dimensional forging problems and other large deformation cases, so that the wrinkles in the area with serious bending deformation are more clear and accurate.

For three-dimensional forging problem, LS-DYNA mainly has two methods: adaptive mesh generation and arbitrary Lagrange Eulerian mesh (ALE) rezoning. The three-dimensional adaptive mesh generation uses tetrahedral elements.

## 2. SPH algorithm

Smoothed particle hydrodynamics (SPH) algorithm is a kind of meshless Lagrange algorithm. It was first used to simulate astrophysical problems. Later, it was found that it is also a very useful tool to solve other physical problems, such as the disintegration and fragmentation of continuum structure, the spallation of solid, brittle fracture and so on. SPH algorithm can solve many problems that can not be solved by common algorithms, and it is a very simple and convenient research method to solve dynamic problems. Because it is meshless, it can be used to study large irregular structures.

SPH algorithm is suitable for the calculation and simulation of hypervelocity impact, target penetration and other processes.

### **Summary**

The advantage of ABAQUS is that it can carry out nonlinear terminal analysis for complex mechanical and structural systems, especially in the following aspects: the management of very large complex systems and the simulation of highly nonlinear tasks, but at this stage we study more linear problems, so we prefer to choose ANSYS software.

Nastran system has the advantage of linear finite element analysis and dynamic calculation. However, it is mainly used in aviation simulation, so it is seldom used in mechanical field.

LS-DYNA has very powerful functions, but its advantages are more prominent in explosion and collision, so it is more used in military.

ANSYS is powerful and easy to operate. Now it has become the most popular finite element analysis software in the world, ranking first in FEA evaluation over the years. ANSYS has more advantages in solving linear problems, which is an important reason for us to choose it.

In conclusion, ANSYS system is selected to simulate cycloid pin gear reducer.

### **Analyzing the cycloid pin wheel model with ANSYS**

The input power of the cycloidal gear reducer is  $p = 1 \text{ kW}$ , the input shaft speed is  $t = 960 \text{ R / min}$ , and the transmission ratio is  $I = 8$ . After determining the main part parameters of cycloid reducer, a model is developed with the help of software Kompas, as shown in the figure 1.

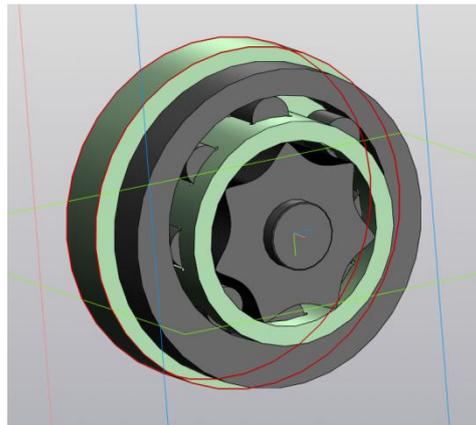


Fig.1 Computer 3D geometric model pinwheel reducer

The model is imported into ANSYS for static analysis. For the convenience of research, the following assumptions are put forward: the contact in the reducer is steel contact; assembly clearance equals zero.

Parts material: a generator, a roller, an output shaft : SH-15, separator :40X.

After setting the material parameters, we determine the contact object, including three kinds of contact:

1. Contact between the roller and the output shaft
2. Contact between the roller and the separator
3. Contact between the roller and the generator

Before simulating the load, it is necessary to split the grid, distinguish each part, and select the corresponding grid size to ensure the accuracy of the calculation. The mesh size of the reducer model is 500mm. as shown in Figure 2.

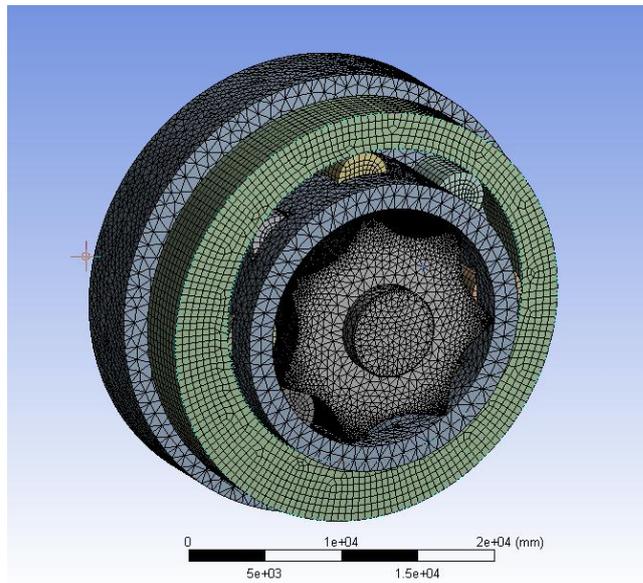


Fig. 2. Building a grid

After applying the load to the reducer, ANSYS software is used to analyze the results to get the following groups of images:

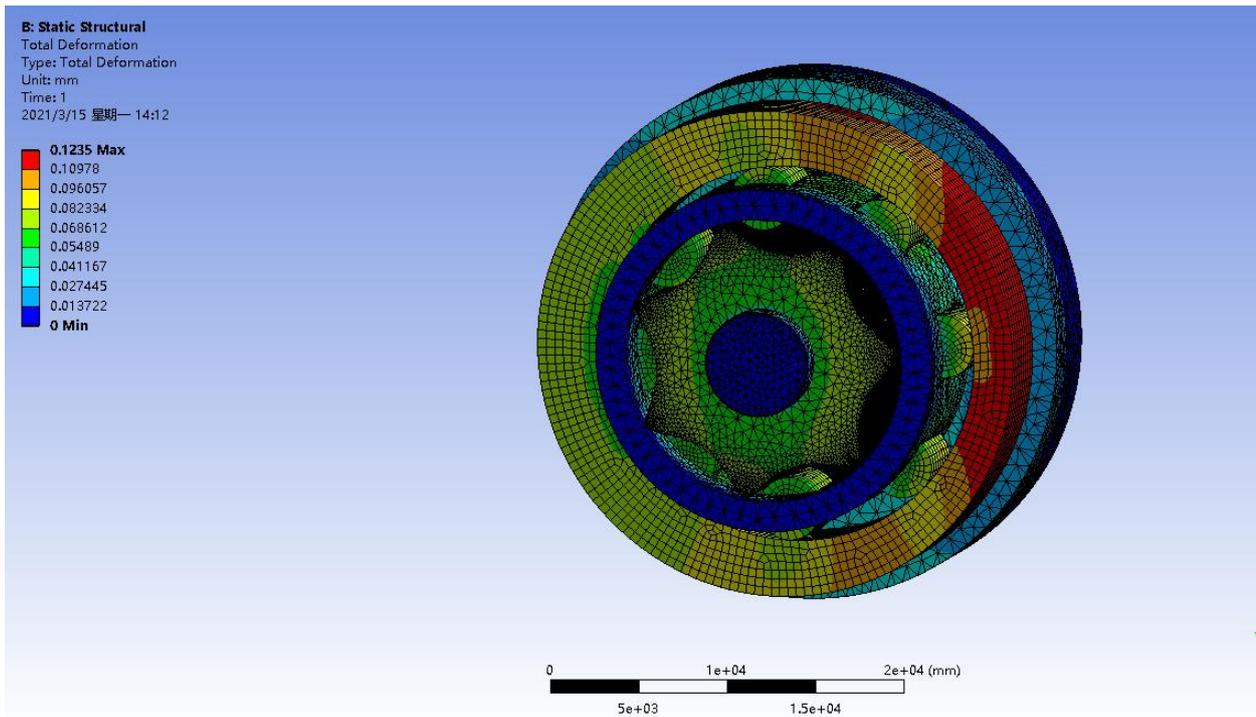


Fig 3. Model deformation diagram

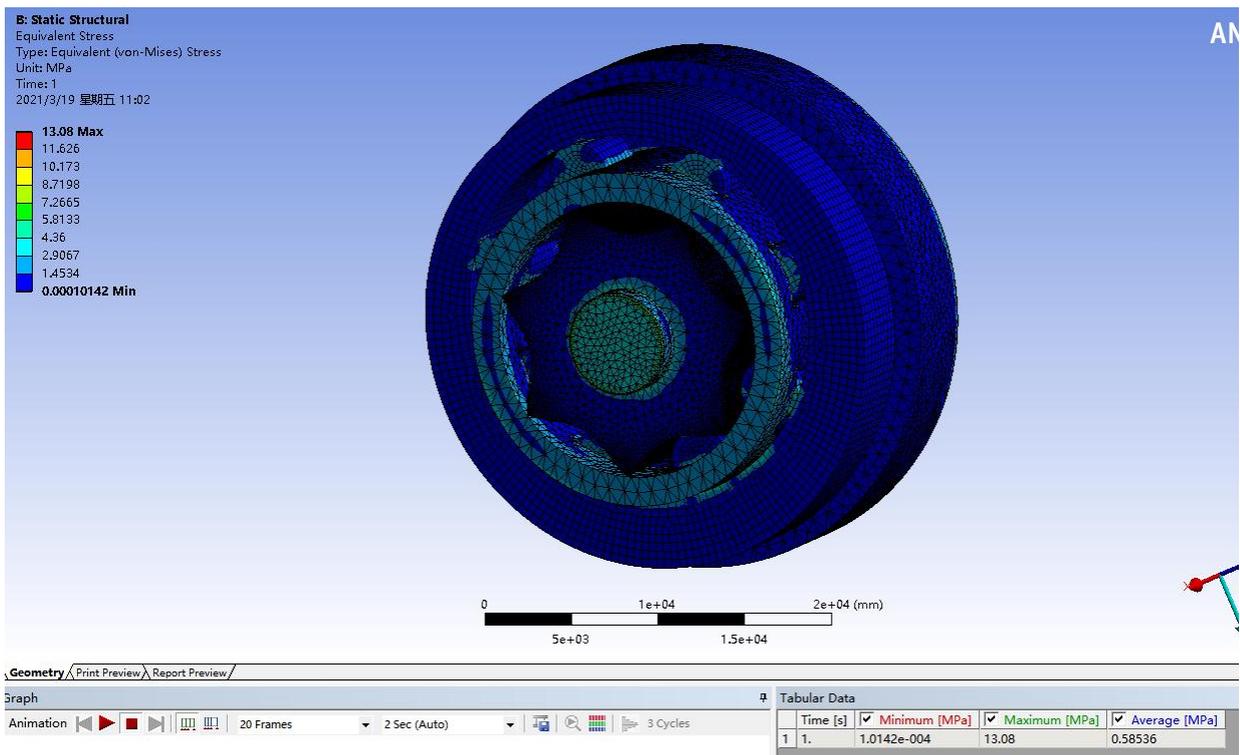


Fig 4. Schematic diagram of model strength distribution

## Conclusion

The maximum allowable strength of the material in various cases is shown in

Table 1.

Table 1

Steel grade	ultimate strength $\sigma_e$	Yield point $\sigma_T$	Permissible voltage, MPa				
			Tension $\sigma_p$	bend $\sigma_{u3}$	reverse $\sigma_{kp}$	cutting $\sigma_{cp}$	Crumple $\sigma_{cm}$
SH-15	680	333	220	260	180	140	360

Comparing the data in Figure 3 and Figure 4 with table 1, we can draw the following conclusions:

We have analyzed the equivalent voltage distribution of the spindle during operation and check the strength of the spindle. By comparing the data in the table, the maximum equivalent voltage is far lower than the allowable value, it is concluded that the reducer meets the strength requirements.

## References

1. Thomas W. Modellbildung und Simulation: Mit einer Einführung in ANSYS Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010: p. 465.
2. Dettmar J. A Finite Element Implementation of Mooney-Rivlin's Strain Energy Function In Abaqus. 2000: p. 25.
3. Birman, V. and L.W. Byrd, Modeling and analysis of functionally graded materials and structures. Applied mechanics reviews, 2007. 60(5): p. 195-216.
4. Lee Lisin. Force analysis of planetary gear with cycloid pin [J]. Chinese Engineering Journal 1986 (1): 77-79.
5. Efremenkov E.A. Development and design of gears with intermediate rolling bodies of a new type // Bulletin of the Tomsk Polytechnic university. - 2005. - T. 308. - No. 1. - S. 131-135.
6. An I-Kan, Il'in A S, Lazurkevich A V 2016 IOP Conference Series: Mechanics and Engeneering. (Part 1).
7. An I-Kan, Il'in A S, Lazurkevich A V 2016 IOP Conference Series: Mechanics and Engeneering. (Part 2).

## Приложение 2

### Сборочные чертежи

