



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»

ООП Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

Отделение машиностроения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование напряженно-деформированного состояния сепаратора для ручного гайковерта

УДК 621.928.4.011–047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ11	Ван Чэнвэй		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ ИШНПТ	Коротков В. С.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ШБИП	Гасанов М. А	Д.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШБИП	Антоневич О. А.	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ	Сорокова С. Н.	к.ф-м.н.		

Результаты обучения
Направление 15.04.01 Машиностроение

ООП: Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследования
ОПК(У)-2	Способен осуществлять экспертизу технической документации при реализации технологического процесса
ОПК(У)-3	Способен 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, разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-4	Способен разрабатывать методические и нормативные документы при реализации разработанных проектов и программ, направленных на создание узлов и деталей машин
ОПК(У)-5	Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов
ОПК(У)-6	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской деятельности
ОПК(У)-7	Способен проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-8	Способен подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способен подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения

ОПК(У)-10	Способен разрабатывать методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий
ОПК(У)-11	Способен организовывать и осуществлять профессиональную подготовку по образовательным программам в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые системы автоматизированного проектирования деталей и узлов машин и оборудования различной сложности на современном машиностроительном предприятии
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен разрабатывать технические задания на НИР и ОКР при исследовании, проектировании и изготовлении машин, приводов, оборудования, систем, нестандартного оборудования и средств технологического оснащения.
ПК(У)-2	Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки при исследовании самостоятельных тем или тем организаций.
ПК(У)-3	Способен подготавливать заявки на изобретения, полезные модели и промышленные образцы с использованием средств и методов патентного поиска.
ПК(У)-4	Способен разрабатывать технологии и управляющие программы изготовления особо сложных деталей на многокоординатных токарно-фрезерных обрабатывающих центрах с ЧПУ и многокоординатных фрезерных обрабатывающих центрах с ЧПУ.
ПК(У)-5	Способен производить технологическую подготовку и обеспечение производства деталей машиностроения средней и высокой сложности
ПК(У)-6	Способен проектировать особо сложные станочные, сборочные и контрольно-измерительные приспособления.
ПК(У)-7	Способен производить автоматизированное проектирование технологических процессов изготовления деталей и сборки сборочных единиц изделий высокой сложности.
ПК(У)-8	Способен производить автоматизацию и механизацию производственных процессов механосборочного производства.
ПК(У)-9	Способен организовать инструментальное обеспечение механосборочной организации.
ПК(У)-10	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий
ПК(У)-11	Способен обеспечить качество изделий высокой сложности в механосборочном производстве.
ПК(У)-12	Способен управлять развитием литейного производства
ПК(У)-13	Способен производить технологическое проектирование механосборочной организации

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

Инженерная Школа новых производственных технологий
Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
ООП Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении
Отделение машиностроения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
Сорокова С. Н.
«___» _____ 2023 г.

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4AM11	Ван Чэнвэй

Тема работы:

Исследование напряженно-деформированного состояния сепаратора для ручного гайковерта	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№32–55/с от 01.02.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2023
--	------------

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.).	1. Объект проектирования: насадка, выполняющая функцию гайковерта для многофункционального привода 2. Объект исследования: сепаратор второй ступени редуктора 3. Крутящий момент на сепараторе: 800 Нм 4. Частота вращения рабочего органа: 6,3...7,3 об/мин 5. Режим работы: периодический 6. Полезная мощность двигателя: 1,4 кВт
Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке: (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).	1. Литературный обзор. 2. Разработка конструкции насадки, выполняющей функцию гайковерта для многофункционального привода ручной машины. 3. Исследование напряженно-деформированного состояния сепаратора волновой передачи с ПТК в программе ANSYS workbench.

	4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность. 6. Выводы. 7. Заключение.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Демонстрационный материал (презентация в MS PowerPoint)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Исследовательский	Коротков В. С.
Конструкторский	Коротков В. С.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М. А.
Социальная ответственность	Антоневич О.А.
Конструкторский (на англ. яз.)	Гутарева Н. Ю.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Расчет напряжено-деформированного состояния сепаратора	Calculation of the stress-strain state of cage

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	07.02.2022
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Коротков В. С.	К.Т.Н		07.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM11	Ван Чэнвэй		07.02.2022

Перечень сокращений:

ВППТК - волновая передача с промежуточными телами качения

ВЗП – волновая зубчатая передача

РМ - ручная машина

КД - коллекторный двигатель

ПТК - промежуточное тело качения

КПД - коэффициент полезного действия

НИР - научно-исследовательская работа

ПК - персональный компьютер

САПР - система автоматизированного проектирования

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 124 с., 27 рис., 31 табл., 23 источников, 1 прил.

Ключевые слова: многофункциональный привод, насадка, гайковерт, редуктор с промежуточными телами качения, сепаратор, эквивалентное напряжение.

Объектом исследования является сепаратор второй ступени редуктора с промежуточными телами качения, который используется в ручном гайковерте.

Предметом исследования являются эквивалентные напряжения, возникающие в различных частях сепаратора второй ступени редуктора с промежуточными телами качения в ручном гайковерте.

Цель работы: разработать конструкцию насадки, выполняющей функцию гайковерта для многофункционального привода и исследовать напряженно-деформированное состояние элемента конструкции: сепаратора волновой передачи с промежуточными телами качения.

Научная новизна: установлена зависимость эквивалентного напряжения на пазах сепаратора ВППТК в зависимости от расположения тела качения при номинальной нагрузке на выходном валу.

Практическая ценность работы: разработана конструкция насадки для многофункционального привода, выполняющей функцию гайковерта. Ручная машина с такой насадкой может использоваться для закручивания и откручивания гаек на строительных металлоконструкциях, системах трубопроводов и т. п.

Многофункциональный привод ручной машины разработан на базе однофазного коллекторного двигателя с полезной мощностью 1,4 кВт. В режиме работы гайковерта крутящий момент на рабочем органе достигает 800 Нм, при частоте вращения 6,3...7,3 об/мин.

В процессе выполнения работы использовались методы математического моделирования, метод конечных элементов, метод сравнения, методы анализа и синтеза.

В результате исследования определены эквивалентные напряжения в сепараторе ВППТК под номинальной нагрузкой. Моделирование напряженно-деформированного состояния сепаратора производилось в САЕ системе ANSYS.

Оглавление

Введение	12
1 Исследовательская часть	15
1.1 Литературный обзор	15
1.2 Объект и методы исследования	16
1.3 Общие сведения о волновой передаче с ПТК	17
1.4 Обоснование применения ВППТК в приводе гайковерта	18
1.4.1 Техническая характеристика различных видов гайковертов	19
1.4.2 Виды приводов для механизированных гайковертов	25
1.4.3 Принцип работы ВППТК	27
1.5 Обоснование параметров ВППТК для гайковерта	28
1.5.1 Определение геометрических параметров ВППТК	28
1.5.2 Определение диаметра выходного конца вала	31
1.6 Расчёт эквивалентных напряжений в сепараторе	32
1.6.1 Расчёт нагрузки приложенной к сепаратору	32
1.6.2 Построение геометрической модели	33
1.6.3 Назначение материала детали	33
1.6.4 Генерирование сетки	34
1.6.5 Граничные условия	35
1.6.6 Результаты расчёта	36
1.6.7 Анализ результатов расчёта	38
Выводы	45
2 Конструкторская часть	46
2.1 Расчёт эквивалентных напряжений в сепараторе	46
2.1.1 Расчёт напряжений при кручении	46
2.1.2 Расчёт напряжений при изгибе в сепараторе	48
2.1.3 Расчёт эквивалентного напряжений	50
2.2 Проектирование сборочного приспособления	50
2.2.1 Разработка компоновки приспособления	51
2.2.2 Описание конструкции и принцип работы приспособления	52
Вывод	54
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	56
Введение	56

3.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения...	56
3.1.1	Анализ конкурентных технических решений.....	56
3.1.2	SWOT-анализ.....	58
3.2	Планирование научно-исследовательских работ	61
3.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	61
3.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	62
3.3	Бюджет научно-технического исследования.....	66
3.3.1	Расчет материальных затрат научно-технического исследования	67
3.3.2	Расчет амортизации специального оборудования.....	67
3.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы	68
3.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	70
3.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	71
3.3.6	Накладные расходы.....	72
3.3.7	Бюджетная стоимость НИР	72
3.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	73
3.4.1	Интегральный финансовый показатель разработки вариантов ..	73
3.4.2	Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов....	74
3.4.3	Интегральные показатели эффективности вариантов.....	75
	Вывод.....	77
4	Социальная ответственность	80
	Введение	80
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	81
4.1.1	Правовые нормы трудового законодательства.....	81
4.1.2	Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны	82
4.2	Производственная безопасность	84
4.2.1	Повышенный уровень общей вибрации	84
4.2.2	Превышение уровня шума.....	85
4.2.3	Низкая и недостаточная освещенность рабочей зоны	86
4.2.4	Повышенная запылённость воздуха рабочей зоны	89

4.2.5 Электромагнитные поля, воздействующие в процессе деятельности.....	90
4.2.6 Кинетическая энергия машин либо оборудования, их движущихся и вращающихся частей	90
4.2.7 Напряжение в электрической цепи	91
4.3 Экологическая безопасность	93
4.3.1 Утилизация картриджей	93
4.3.2 Утилизация люминесцентных ламп	93
4.3.3 Утилизация макулатуры	94
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	94
4.4.1 Анализ пожарной безопасности	94
Вывод по разделу	97
Заключение	99
Список литературы	100
Нормативные ссылки	103
Приложение – Раздел на иностранном языке	105

Введение

Объект исследования: сепаратор второй ступени редуктора с промежуточными телами качения в ручном гайковерте.

Предмет исследования: эквивалентные напряжения, возникающие в различных частях сепаратора второй ступени редуктора с промежуточными телами качения в ручном гайковерте.

Цель работы: разработать конструкцию насадки, выполняющей функцию гайковерта для многофункционального привода и исследовать напряженно-деформированное состояние элемента конструкции: сепаратора волновой передачи с промежуточными телами качения.

Задачи:

1. Создать 3Д модель сменной насадки, выполняющей функцию гайковерта для многофункционального привода ручной машины.
2. Разработать 3Д модель ручной машины гайковерт на базе многофункционального привода ручной машины.
3. Разработать расчетную модель для сепаратора второй ступени редуктора с ПТК.
4. Исследовать напряженно-деформированное состояние сепаратора в САЕ программе ANSYS workbench.
5. Произвести инженерный расчет эквивалентных напряжений на границах пазов сепаратора и сравнить полученные результаты с результатами автоматизированного расчета в САЕ системе ANSYS workbench.

Актуальность: Стоимость профессионального ручного инструмента, предназначенного для выполнения одной рабочей функции достаточно высока.

Для небольшого объема работ использование такого профессионального инструмента становится экономически не выгодным. Поэтому для небольших строительных фирм, фермеров и мелких предпринимателей в Томском политехническом университете разработан многофункциональный привод

для ручной машины, который в сочетании со специализированными насадками способен выполнять функции бура, гайковерта, резьбонарезной машины и т. п.

Исследование напряженно-деформированного состояния сепаратора волновой передачи с ПТК, используемой в насадке для высокомоментного статического гайковерта, и определение численных значений эквивалентных напряжений в различных частях сепаратора, позволит сделать заключение о его работоспособности и снизит количество и стоимость натурных испытаний.

Научная новизна: установлена зависимость эквивалентного напряжения на пазах сепаратора ВППТК в зависимости от расположения тела качения при номинальной нагрузке на выходном валу.

Практическая значимость: заключается в разработке конструкции насадки для многофункционального привода, выполняющей функцию гайковерта. Ручная машина с такой насадкой может использоваться для закручивания и откручивания гаек на строительных металлоконструкциях, системах трубопроводов и т. п.

Выпускная квалификационная работа состоит из четырех частей и приложения на английском языке.

В исследовательской части произведен анализ напряженно-деформированного состояния сепаратора редуктора с ПТК, используемого в сменной насадке для ручной машины, выполняющей функцию гайковерта. Моделирование рабочих нагрузок на сепаратор проводилось в САЕ системе ANSYS workbench.

В конструкторской части разработана конструкция насадки для многофункционального привода, выполняющая функцию гайковерта; выполнен инженерный расчет эквивалентных напряжений в опасных сечениях сепаратора; спроектировано приспособление для сборочной операции.

В части менеджмент произведен анализ конкурентных технических решений, разработан график проведения исследования, составлен бюджет инженерного проекта и оценен ресурсная, финансовая, бюджетная эффективность (НИ).

В части социальная ответственность установлены вредные и опасные факторы, возникающие на предприятии и мероприятия по снижению их воздействия на здоровье человека.

1 Исследовательская часть

1.1 Литературный обзор

Волновые редукторы широко используются в различных отраслях промышленности, их используют в маломощных приводах приборов и в мощных приводах строительных машин, а также в различных по назначению механизмах и устройствах. В настоящее время наибольшее распространение получили два типа волновых передач: волновая зубчатая передача и волновая передача с промежуточными телами качения.

Достоинства и недостатки волновых зубчатых передач описаны и проанализированы во многих работах [1,2,3,4], также в этих работах даны рекомендации по проектированию и изготовлению ВЗП. Тем не менее, разработки по улучшению технической характеристики этой передачи продолжаются до сих пор в области повышения надежности редукторов и др.[5,8].

Сравнительно новым видом волновых редукторов является волновой редуктор с ПТК. Главными преимуществами передачи являются надежность, компактность, высокие передаточные отношения КПД и ресурс работы. Различные исследователи во многих областях техники интересуются данным типом редукторов, и прежде всего это относится к авиационной и космической технике[5,6,7,8].

С 1975 г. в Томском политехническом университете Беляев А. Е. [6] начал исследовать и проектировать редуктор с ПТК. После него исследованием прочностных характеристик редукторов с ПТК различного назначения занимался Янгулов В. С. [5]

В настоящее время в г. Томске многие компании продолжают заниматься разработкой приводов на базе редукторов с ПТК: НПО «Сибирский Машиностроитель», ООО «Томские трансмиссионные системы» и ООО «Сибирская машиностроительная компания» [9,10].

Следует отметить, что выбором и обоснованием параметров ВЗП и ВППТК для ручных машин различного назначения занимался Коротков В. С. [11,12,13].

Напряженно-деформированное состояние деталей различных механизмов и устройств определяется, в настоящее время, с помощью автоматизированных программ CAE [14]. Автоматизацией прочностных расчётов деталей машин с использованием CAE системы ANSYS занимался Шимкович Д.М. [15,16]

Кроме того, достаточно хорошо известна CAE-система - Solidworks. В Solidworks входит модуль экспресс-анализа прочности, предназначенный в первую очередь для инженеров-проектировщиков, не обладающих глубокими познаниями в теории конечно-элементного анализа [17,18].

ANSYS можно запускать на большинстве компьютеров, от ПК до рабочих станций и гигантских компьютеров.

Программное обеспечение ANSYS может использоваться совместно с большинством программ САПР для обмена данными, например с отечественной системой Компас [19].

1.2 Объект и методы исследования

Объектом исследования является насадка для ручной машины гайковерт, которая используется в качестве второй ступени редуктора с ПТК.

К теоретическим методам, использованным в данной работе, относятся: анализ, синтез и формализация. В ходе исследования выполнен анализ эквивалентных напряжений и деформаций в сепараторе, а также анализ и синтез конструкции РМ гайковерт.

В процессе выполнения работы применялись метод конечных элементов, метод сравнения и метод формализация. Метод конечных элементов использовался для анализа напряженно-деформированного

состояния в различных элементах детали сепаратор. Метод сравнения использовался при анализе различных типов гайковертов и их технических характеристик. А также при сравнении напряжений и деформаций, возникающих в разных рядах сепаратора. Метод формализация используется для построения графических зависимостей и инженерного расчета напряженного состояния четырехрядного сепаратора.

1.3 Общие сведения о волновой передаче с ПТК

Основы теории зацепления волновой передачи заложены в 80-е годы и длительное время успешно использовались преимущественно в ракетно-космической и оборонной промышленности. Главными преимуществами передачи являются надежность, компактность, высокие передаточные отношения КПД и ресурс работы, а также простота и ремонтпригодность конструкции. Это передача состоит из эксцентрикового генератора волн, подшипников качения, сепаратора, тела качения и профильного венца с внутренними зубьями.

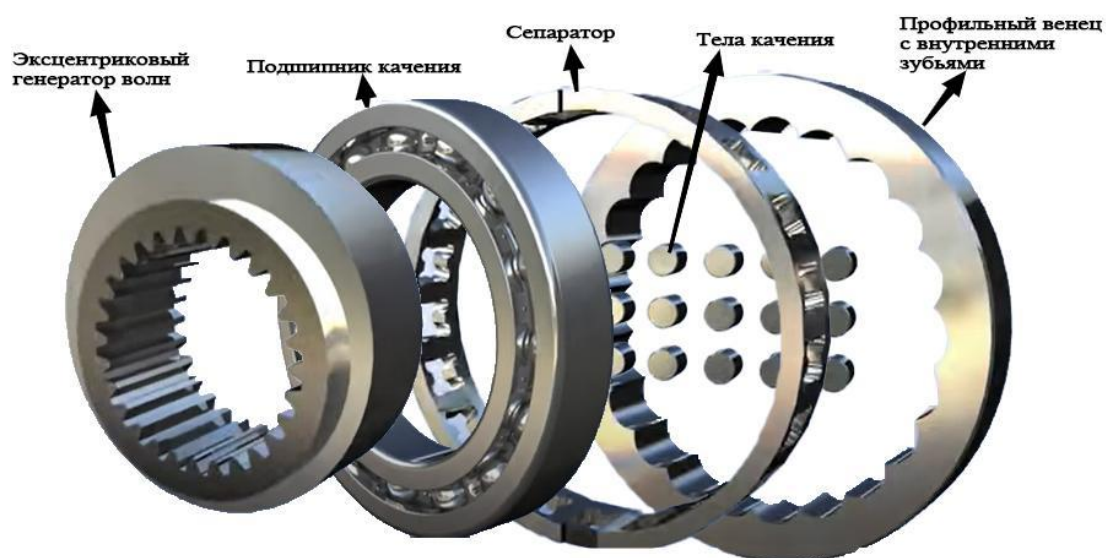


Рисунок 1.1 – Основные элементы ВППТК

Процесс сборки волновой передачи с ПТК заключается в монтаже подшипника качения на эксцентриковый генератор волн и далее

последовательно устанавливается сепаратор, тела качения и профильный венец. При вращении эксцентрикового генератора подшипник вызывает радиальные перемещения тел качения в пазах сепаратора, тела качения в свою очередь откатываются по внутреннему профилю зубчатого венца, вызывают вращение сепаратора. За каждый оборот эксцентрикового вала сепаратор поворачивается на угол равный 360 градусам, разделенный на количество тел качения, таким образом передаточное отношение механизма равно количеству тел качения.

1.4 Обоснование применения ВППТК в приводе гайковерта

Исследования показали, что подавляющее большинство машин с ручным управлением спроектировано и построено на базе коллекторных двигателей (КД) мощностью от 180 Вт до 2 кВт. КД имеет малый удельный вес, и частота вращения якоря этого двигателя находится в пределах 12000...18000 об/мин. Поэтому для получения высокого крутящего момента на выходном валу необходимо увеличить передаточное число с помощью многоступенчатой редуктора или одноступенчатой редуктора с высоким передаточным отношением. Для некоторых видов работ, например, закручивание и выкручивание гаек, нарезание и прогонка резьбы, бурение грунта и др. требуется повышенный крутящий момент в сочетании с невысокой частотой вращения на рабочем органе. Сочетание коллекторного двигателя и ВППТК в приводе РМ гайковерт позволяет получить заданные характеристики на рабочем органе.

Преимущества ВППТК:

1. Габаритные размеры в 1,5–4 раза меньше по сравнению с зубчатыми аналогами;
2. Передаточное отношение, а одной ступени от 11 до 50;
3. Высокий ресурс работы;
4. Плавность и бесшумность работы;

5. Большие перегрузочные резервы, высокая жёсткость и стойкость к ударным нагрузкам.

Основным преимуществом ВППТК по сравнению с зубчатыми аналогами являются многопарность зацепления. Например, если в цилиндрических эвольвентных передачах крутящий момент может передаваться максимально двумя зубьями, то волновая передача обеспечивает передачу нагрузки примерно 50 процентами всех тел качения, то есть при передаточном отношении 30, нагрузка передается примерно 15 телами качения, что в семь раз превышает нагрузочную способность цилиндрической и эвольвентной передачи.

1.4.1 Техническая характеристика различных видов гайковертов

Электрогайковерт динамометрический однокоростной FROSP LDA-04:

Производитель – компания FROSP занимается производством электроинструмента для бытовых и профессиональных строительных работ. Производственные базы располагаются в Китае на Тайване. Бренд



Рисунок 1.2 Электрогайковерт FROSP LDA-04 и его схема

изготавливает пневматические гвоздезабивные пистолеты, оборудование для вязки арматуры и другие электроинструменты.

Описание:

Предустановленный крутящий момент и автоматическое отключение при достижении заданного крутящего момента

Высокая производительность и точность повторения: $\pm 5\%$ и $\pm 3\%$

Цифровая система контроля крутящего момента со ЖК-дисплеем

Переносная и прочная конструкция, низкий уровень шума, защита от перегрузок

Промышленный дизайн, непрерывная работоспособность

Таблица 1.1 Технические характеристики электрогайковерта FROSP LDA-04

Момент затяжки, Нм	80 - 450
Квадрат шпинделя	3/4"
Частота вращения, об/мин	21
Напряжение	220
Вес, кг	5,4

Электрические динамометрические гайковерты Losomat сери LDE – 15:

Производитель - Losomat, немецкий производитель оборудования для крутящего момента привода. Компания существует с 1970-х годов и создала надежный и качественный бренд во всем мире для крупных и сложных строительных проектов. С 2016 года она является частью компании Gedore, что подтверждает высочайшее качество инструментов и дает большую уверенность в долговечности оборудования и высоком качестве поддержки клиентов. Каждый динамометрический ключ поставляется с индивидуальным сертификатом проверки Gedore.

Описание:

Функция переключения направления вращения;

Высокое входное напряжение и частота (200–260 В, 47–63 Гц) для международного использования;

Ярлычок на корпусе с доступными моментами затяжки;

Цифровой дисплей со звуковыми сигналами для более простого контролирования операций;

Планетарный редуктор с керамическим тефлоновым покрытием боковых поверхностей зубьев;

Реакционная опора из хром-ванадиевого сплава для более высокой стабильности работы.



Рисунок 1.3 Электрогайковерт Losomat сери LDE - 15

Таблица 1.2 Технические характеристики электрогайковерта Losomat сери LDE - 15

Момент затяжки, Нм	250–1500
Квадрат шпинделя	1"
Частота вращения, об/мин	20
Напряжение	220
Вес, кг	6,1
Длина, мм	455

Электрогайковерт динамометрический FROSP LDA-38S:

Описание:

Предустановленный крутящий момент и автоматическое отключение при достижении заданного крутящего момента;

Высокая производительность и точность повторения: $\pm 5\%$ и $\pm 3\%$;

Цифровая система контроля крутящего момента со ЖК-дисплеем;

Хорошая непрерывная работоспособность, подходящая для сборочной линии, установки и обслуживания.



Рисунок 1.4 Электрогайковерт FROSP LDA-38S

Таблица 1.3 Технические характеристики электрогайковерта FROSP LDA-38S

Момент затяжки, Нм	500 - 3800
Квадрат шпинделя	11/2"
Частота вращения, об/мин	5
Напряжение	220
Вес, кг	9,8
Длина, мм	475

Электрические динамометрические гайковерты EMEG 800:

Производитель - компания Inno Torgs, которая с 2014 года производит инструмент высокого качества, используемый в мире. Главной целью была разработка гайковерта с точной регулировкой момента, отвечающего всем современным стандартам качества, по демократичной цене.

Описание:

Двигатель Metabo Marathon с защитой от пыли для обеспечения длительного срока службы;

Автоматическая предохранительная муфта Metabo S-automatic: механическое отсоединение привода при блокировке рабочего инструмента для обеспечения безопасности во время работ и длительного срока службы;

Защита от повторного пуска: предотвращает непреднамеренный запуск после прерывания электропитания;

Индикатор износа угольных щеток, лёгкая замена угольных щёток при необходимости - не более 5 мин. Времени;

Автоматическая регулировка скорости, благодаря инновационной электронике Vario-Tacho-Constamatic (VTC), которая позволяет управлять числом оборотов привода в зависимости от рабочей нагрузки;

Производство и сборка в Германии;

Доступны аналогичные гайковёрты в угловом исполнении;



Рисунок 1.5 Электрогайковерт Inno Torc сери EVEG 800

Отображение крутящего момента и угла;

Удобство работы;

При необходимости возможна настройка для работы по индивидуальным значениям момента;

Высокопроизводительная коробка передач.

Таблица 1.4 Технические характеристики электрогайковерта Inno Torc сери EVEG 800

Момент затяжки, Нм	1500–8000
Квадрат шпинделя	1 1/2"
Частота вращения, об/мин	2,5
Напряжение	220
Вес, кг	16,9
Длина, мм	455

5. Электрические динамометрические гайковерты Losomat сери LEW - 120

Описание:

Функция переключения направления вращения;

Высокое входное напряжение и частота (200–260 В, 47–63 Гц) для международного использования;

Ярлычок на корпусе с доступными моментами затяжки;

Цифровой дисплей со звуковыми сигналами для более простого контролирования операций;



Рисунок 1.6 Электрогайковерт Losomat сери LEW - 120

Планетарный редуктор с керамическим тефлоновым покрытием боковых поверхностей зубьев;

Таблица 11.5 Технические характеристики электрогайковерта Losomat сери LEW - 120

Момент затяжки, Нм	1800–13000
Квадрат шпинделя	1 1/2"
Частота вращения, об/мин	2
Напряжение	220
Вес, кг	20,6
Длина, мм	340

Гайковерт имеет реакционную опору из хром-ванадиевого сплава для более высокой стабильности в работе.

1.4.2 Виды приводов для механизированных гайковертов

Гайковерты предназначены для быстрого закручивания, выкручивания гаек, болтов и других крепежных элементов с резьбой в различные изделия из металла, дерева, пластмассы. Используются как в быту при ремонте, так и в поточном производстве, когда важную роль играет скорость сборки, а гайковерт значительно ее увеличивает.

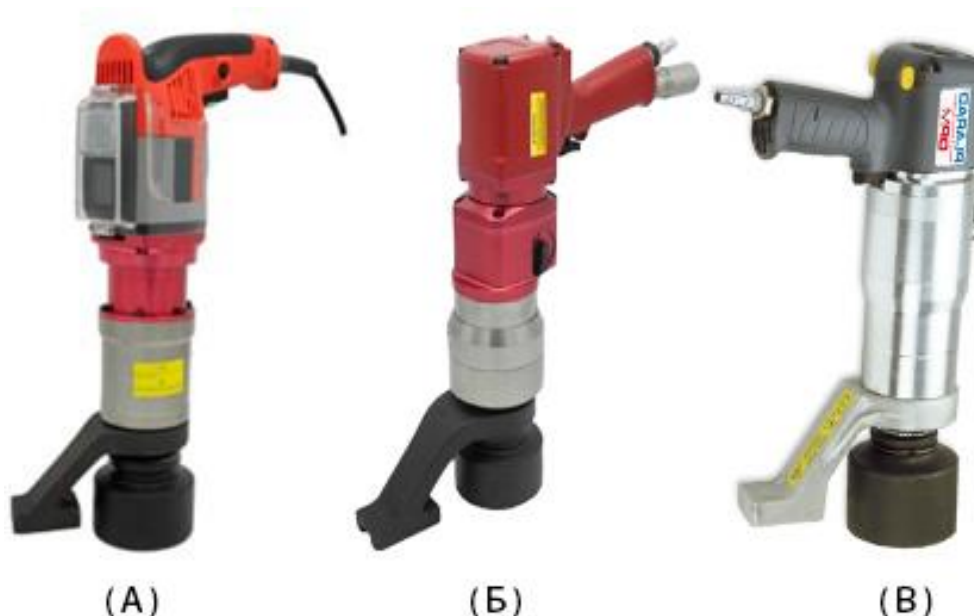


Рисунок 1.7 – Три типа гайковерта: А) Электрический; Б) Гидравлические; В) Пневматические

Наибольшее распространение они получили в строительной области, а также в промышленности, особенно в машиностроении.

Составные части гайковерта — это двигатель, редуктор и головка. Гайковерты делятся на три типа в зависимости от источника энергии: электрические, пневматические и гидравлические. Двигатели постоянного тока и коллекторные двигатели используются в электрических гайковертах. Три типа гайковерта показаны на рисунке 1.7.

Электрические – работают от электросети или аккумулятора. В первом случае инструмент будет иметь большую мощность, а также позволит работать без перерывов. Аккумуляторные модели работают автономно и не привязывают вас к одному месту. Электрические динамометрические гайковерты подходят как для работы в быту, так и для производства.

Гидравлические гайковёрты развивают огромный крутящий момент и выкручивают крепёж сложной формы. Они работают в грязи и под водой, но требуют подключения к мощному масляному насосу. Их используют в строительстве мостов, линий электропередач и других инженерных сооружений.

Пневматические гайковёрты легче и мощнее, но их нужно подключать к громоздкому и шумному компрессору. Их чаще используют на сборочных конвейерах и в крупных автосервисных центрах.

1.4.3 Принцип работы ВППТК

Волновая передача с ПТК в зацеплении показана в следующий рисунок 1.8

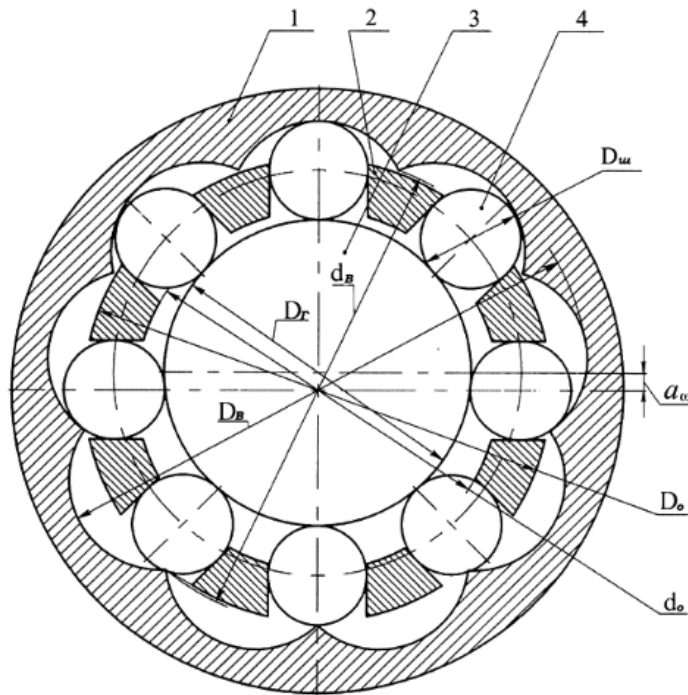


Рисунок 1.8 - Волновая передача с промежуточными телами качения

D_p — диаметр ролика; $D_в$ — диаметр впадин профильного венца; $d_в$ — диаметр выступов профильного венца; D_o — наружный диаметр сепаратора; d_o — внутренний диаметр сепаратора; D_r — диаметр генератора; a_ω — эксцентриситет генератора

Передача состоит из четырех основных элементов: входного вала с эксцентриком 3, сепаратора 2, тел качения 4 и профильного венца жесткого колеса 1. Эксцентриковый вал 3, вращаясь, вызывает радиальное перемещение тел качения 4 в пазах сепаратора 2. Тела качения, контактируя с рабочими поверхностями венца жесткого колеса 1 (или сепаратора 2), вызывают его вращение. За каждый оборот эксцентрикового вала профильный венец (или сепаратор) поворачивается на один сектор кулачка. Таким образом, передаточное отношение определяется количеством профильного венца. Для

повышения динамического баланса и грузоподъемности эксцентрик выполнен в сдвоенным.

1.5 Обоснование параметров ВППТК для гайковерта

Основные параметры ВППТК второй ступени редуктора настоящего проекта:

Частота вращения входного звена $n = 220 \dots 254$ об/мин;

Крутящий момент на входном валу ВППТК $M = 35$ Нм;

Передаточное отношение ВППТК $U_2 = 35$;

Крутящий момент на выходном валу ВППТК $M = 800$ Нм;

Частота вращения на выходном валу ВППТК $n = 6,3 \dots 7,3$ об/мин;

Величина КПД редуктора $\eta = 0,8$

Диаметр тела качения – ролика $D_p = 4$ мм

Диаметр эксцентрикового диска $D_r = 78$ мм

1.5.1 Определение геометрических параметров ВППТК

Чтобы определить основные геометрические параметры волной передачи, его работу лучше всего описать с помощью сменного осевого кривошипно-ползунного механизма (рис. 1,9). Роль ведущего кривошипа здесь играет эксцентриковый генератор [7.стр 234].

Длина ведущего кривошипа равна величина эксцентриковый генератор a_w , функцию воображаемого шатуна выполняет отрезок прямой R_Σ . Соединяющий центры ролика O_p и генератор O_r , который, как известно, проходит через точку касания ролика с генератором, тогда:

$$R_\Sigma = 0,5 \cdot (D_r + D_p) \quad (1)$$

Где: D_p - диаметр ролика;

D_r - диаметр эксцентрикового диска генератора.

$$R_\Sigma = 0,5 \cdot (78 + 4) = 41 \text{ мм}$$

Поскольку пазы сепаратора, являющиеся направляющими, радиальные. То центр ролика перемещается по оси паза. Тогда:

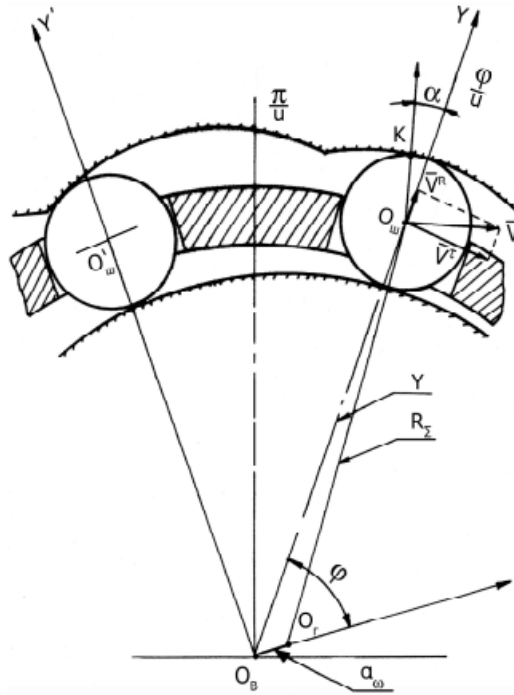


Рисунок 1.9 Схема кривошипно-шатунного механизма, заменяющего ВППТК

$$Y = a_w \cdot \cos \varphi + \sqrt{R_Z^2 - (a_w \sin \varphi)^2} \quad (2)$$

Где: Y - расстояние от центра ролика O_p до центра профильного венца O_B ;

φ - текущий угол поворота входного звена.

a_w - эксцентриситет, для этого рекомендуется значение $0,25D_p = 1$ мм.

$$Y = \cos \varphi + \sqrt{1681 - (\sin \varphi)^2}$$

Поскольку при закрепленном сепараторе профильный венец вращается в U раз медленнее генератора, то:

$$U = Z + 1 \quad (3)$$

Где: Z - количество промежуточных тел в одном ряду сепаратора, равно передаточному отношению.

$$U = 35 + 1 = 36$$

Тогда переход осуществляется поворотом системы координат на угол φ/U . В новой системе координат центр ролика O_p опишет

центральной профиль. Профиль зуба описывает точка К на шарике. Отрезок $O_p K$ перпендикулярен касательной к профилю зуба, и угол α является углом передачи движения профилю.

Из рис.6.1 следует, что:

$$\tan \alpha = \frac{V_R}{V_T} \quad (4)$$

Где: V_R - радиальная составляющая скорости V движения центра ролика;

V_T - тангенциальная составляющая скорости V движения центра ролика

V_R определяется дифференцированием уравнения (2) по φ с учетом, что производная от φ по времени есть постоянная угловая скорость ω вращения входного звена:

$$V_R = - \frac{a_w \cdot \sin \varphi}{\sqrt{R_\Sigma^2 - (a_w \sin \varphi)^2}} \quad (5)$$

Из рис.6.1 следует, что:

$$V_T = Y \cdot \frac{\omega}{U} \quad (6)$$

Тогда из уравнений (4) следует, что:

$$\tan \alpha = - \frac{U \cdot a_w \cdot \sin \varphi}{\sqrt{R_\Sigma^2 - (a_w \sin \varphi)^2}}$$

Параметрические уравнения профиля венца запишутся в виде [5. стр 75]:

$$X_n = Y \cdot \sin \frac{\varphi}{U} + 0.5 D_p \cdot \sin \left(\alpha + \frac{\varphi}{U} \right) \quad (7)$$

$$Y_n = Y \cdot \cos \frac{\varphi}{U} + 0.5 D_p \cdot \cos \alpha + \frac{\varphi}{U} \quad (8)$$

Наружный диаметр сепаратора D_c и внутренний d_c определяются из условия контакта с роликом соответственно в начале и конце зацепления:

$$D_c \leq 2 \cdot \sqrt{X_n^2(\varphi_x) + Y_n^2(\varphi_x)} \quad (9)$$

Аналогично внутренний диаметр d_c сепаратора не касается выступов венца:

$$d_c > D_r + 2 \cdot a_w \quad (10)$$

Диаметр окружности впадин равен:

$$D_b = D_r + 2 \cdot (a_w + D_p) \quad (11)$$

При этом следует учитывать, что сепаратор не должен касаться выступов венца

$$d_b \geq D_c \quad (12)$$

Таким образом, можно получить результаты:

Диаметр сепаратора наружный $D_c = 83,935578$ мм;

Диаметр сепаратора внутренний $d_c = 80,199997$ мм;

Диаметр впадин профильного венца $D_b = 88,00$ мм;

Диаметр выступов профильного венца $d_b = 84,135567$ мм;

Эксцентриситет $a_w = 1,00$ мм.

1.5.2 Определение диаметра выходного конца вала

При проектном расчете определяется диаметр выходного конца вала по следующему формуле [20]:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{T}{0.2 \cdot [\tau_k]}} \quad (13)$$

Где: T - крутящий момент на валу, Н·мм;

$[\tau_k]$ - допускаемое напряжение на кручение.

Диаметр выходного конца тихоходного вала:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{800 \times 10^3}{0,2 \cdot 186}} = 30,1 \text{ мм}$$

Принимаем: $d = 35$ мм

Для соединения с головкой принимаем форму конца вала в виде квадрата с размером стороны в 1 дюйм.

1.6 Расчёт эквивалентных напряжений в сепараторе

Для расчёта напряженно-деформированного состояния сепаратора используются с помощью системы ANSYS [16,17].

Ниже приведены конкретные шаги по использованию ANSYS workbench для расчета напряженно-деформированного состояния сепаратора:

1. Расчёт нагрузки на перемычки в сепараторе
2. Построение геометрической модели
3. Генерирование сетки
4. Приложение граничных условий
5. Получение результата расчёта

1.6.1 Расчёт нагрузки приложенной к сепаратору

В таблице 1 приведена техническая характеристика РМ гайковерт с двухступенчатым передаточным механизмом.

Таблица 1.1 - Техническая характеристика статического гайковерта

$N_{дв}$, кВт	$n_{дв}$, об/мин	U_1	U_2	$T_{ро}$, Н · м	$n_{ро}$, об/мин
1,4	13000...15000	59	35	800	6,3...7,3

Примечание:

$N_{дв}$ - потребляемая мощность двухфазного коллекторного двигателя; $n_{дв}$ – номинальная частота вращения якоря двигателя; U_1 – передаточное отношение первой ступени редуктора; U_2 – передаточное отношение второй ступени редуктора; $T_{ро}$ – крутящий момент на рабочем органе; $n_{ро}$ – частота вращения рабочего органа.

Общая сила, действующая на сепараторе, будет равна:

$$F_{об} = \frac{2T}{d} \quad (14)$$

Где: T – Крутящий момент на выходном валу;

d – Средний диаметр сепаратора.

$$F_{об} = \frac{2 \times 800}{82 \times 10^{-3}} = 19512 \text{ Н}$$

В данной ВППТК 12 роликов, участвующих в зацеплении, 4 ряда пазах на сепараторе. Сила, действующая на одной перемычке сепаратора, будет равна:

$$F = \frac{F_{06}}{12 \cdot 4}$$

Где: F_{06} – Общая сила, действующая на сепараторе.

$$F = \frac{19512}{12 \cdot 4} = 406,5 \text{ Н}$$

1.6.2 Построение геометрического модели

Для исследования напряженно-деформированного состояний сепаратора в программе CAE, сначала построим 3Д-модель в Компасе, потом преобразуем формат файла в STEP и откроем этот файл в ANSYS Workbench.

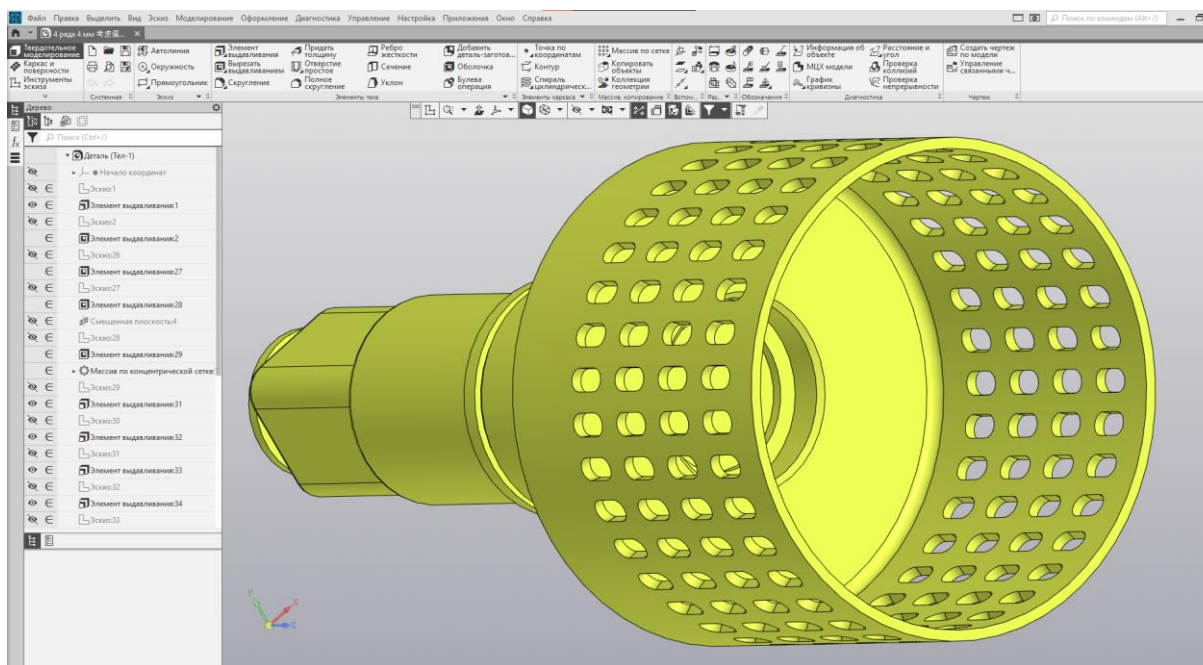


Рисунок 1.5 – 3Д модель сепаратора в Компасе

1.6.3 Назначение материала детали

В системе ANSYS задаём свойство материала для стали 40X:

Сначала определить материал. Импортировать материалы, вводя различные свойства стали 40X.

Таблица 1.1 Свойства стали 40X

Свойства стали 40X	
Плотность, кг/м ³	7850

продолжение табл.1.1

Модуль упругости, МПа	214000
Модуль сдвига, МПа	85000
Твердость по Бринеллю, НВ	217
Ударная вязкости, Дж/см ²	160
Предел прочности при растяжении, МПа	1275
Предел текучести, МПа	1079
Предел выносливости при растяжении, МПа	510
Предел выносливости при изгибе, МПа	637
Предел выносливости при кручении, МПа	373

Property	Value	Unit
Density	7.85E+09	kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1.2E-05	C ⁻¹
Isotropic Elasticity	Young's Modulus and Poisson's Ratio	
Young's Modulus	2E+11	Pa
Poisson's Ratio	0.3	
Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa
Shear Modulus	7.6923E+10	Pa
Bilinear Isotropic Hardening		
Yield Strength	1.079E+09	Pa
Tangent Modulus	7.692E+10	Pa
Strain-Life Parameters		
Display Curve Type	Strain-Life	
Strength Coefficient	9.2E+08	Pa
Strength Exponent	-0.106	
Ductility Coefficient	0.213	
Ductility Exponent	-0.47	
Cyclic Strength Coefficient	1E+09	Pa
Cyclic Strain Hardening Exponent	0.2	
S-N Curve	Tabular	
Interpolation	Log-Log	
Scale	1	
Offset	0	Pa
Tensile Yield Strength	2.5E+08	Pa
Compressive Yield Strength	2.5E+08	Pa
Tensile Ultimate Strength	4.6E+08	Pa
Compressive Ultimate Strength	0	Pa

Рисунок 1.6 – Материал сталь 40X система затвердевания

1.6.4 Генерирование сетки

Для достижения необходимой точности расчета и четкого отображения распределения напряжений на эскизе необходимо подобрать размер сетки на валу сепаратора.

Размер сетки установлен 3 мм на поверхностях вала сепаратора, что достаточно для точного расчета эквивалентных напряжений в этих местах.

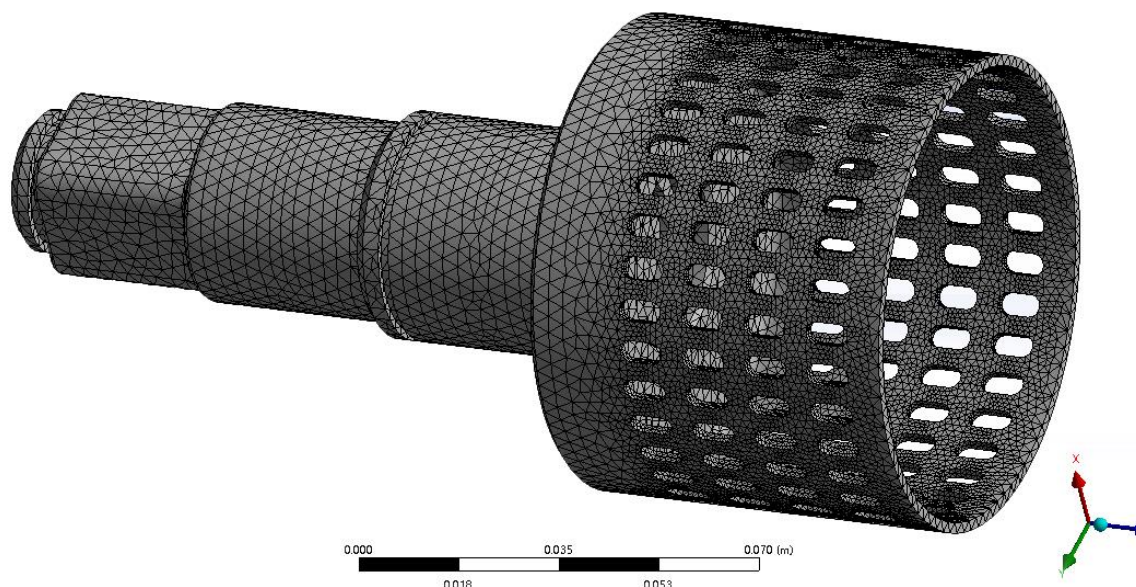


Рисунок 1.7 – Размер сетки на валу сепаратора

Для анализа напряжений на перемычках сепаратора задаем сетку меньшего размера 1мм, т.к. это необходимо для обеспечения достоверности отображения результатов расчета. Результат разделения сетки показан на рисунке 1.7.

1.6.5 Граничные условия

На расчетной схеме фиксируем квадратный участок вала, а нагрузку прикладываем в двух противоположных направлениях к 48 перемычкам, по 24 перемычки в каждом направлении и с усилием 406,5 Н на одну перемычку. Общее усилие составляет 19512.

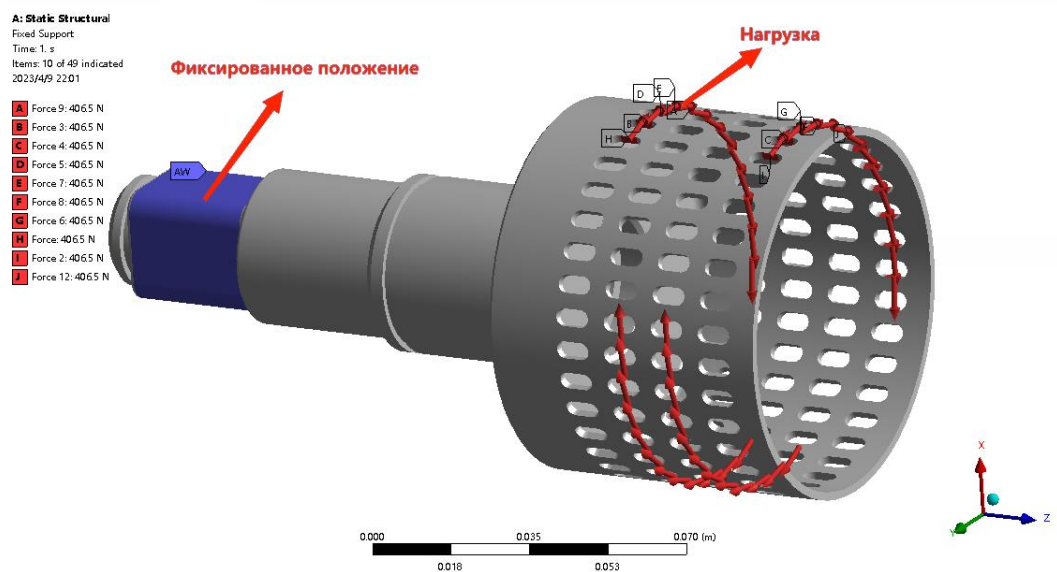


Рисунок 1.8 – Расчётная схема для программы САЕ

1.6.6 Результаты расчёта

Результаты расчета эквивалентных напряжений показаны на рисунке 1.9

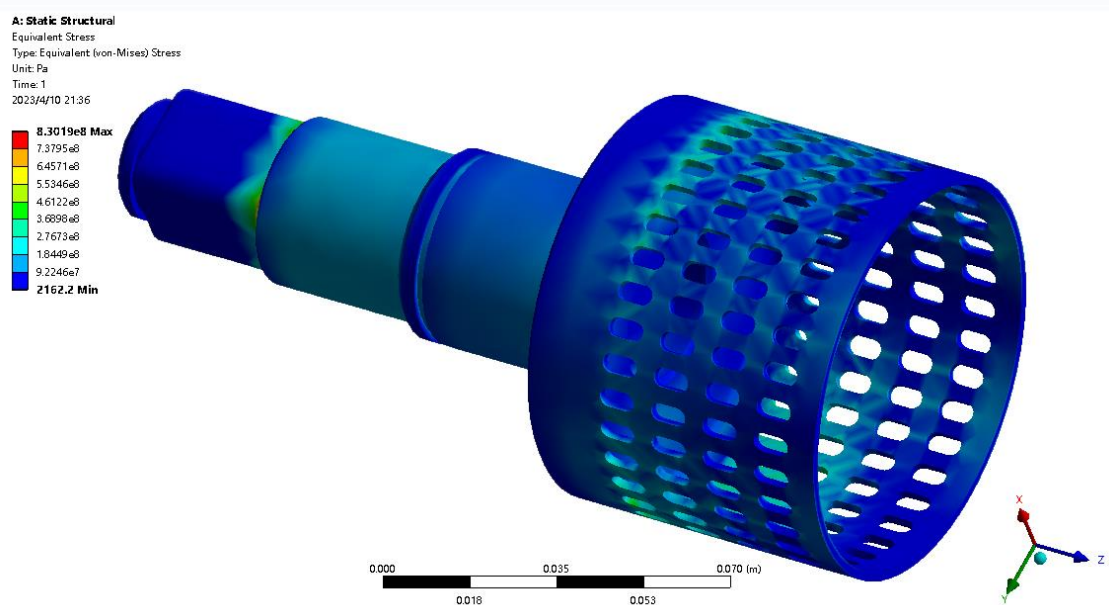


Рисунок 1.9 – Распределение эквивалентного напряжения на сепараторе при нагрузке 800 Нм

Из рисунка видно, что после приложения нагрузки к перемычкам сепаратора значение эквивалентных напряжений значительно больше в тонкостенных перемычках, чем в других частях вала.

Перемычки сепаратора отделяют тела качения друг от друга и являются самыми нагруженными частями детали, поэтому необходимо установить зависимость распределения возникающих напряжений и деформаций в перемычках, расположенных, как в одном, так и в разных рядах сепаратора.

Далее, увеличим изображение, чтобы рассмотреть перемычки и пазы сепаратора. Из рисунка 1.10 видно, что максимальное значение эквивалентного напряжения на перемычках сепаратора находится в интервале 461,22 МПа-553,46 МПа.

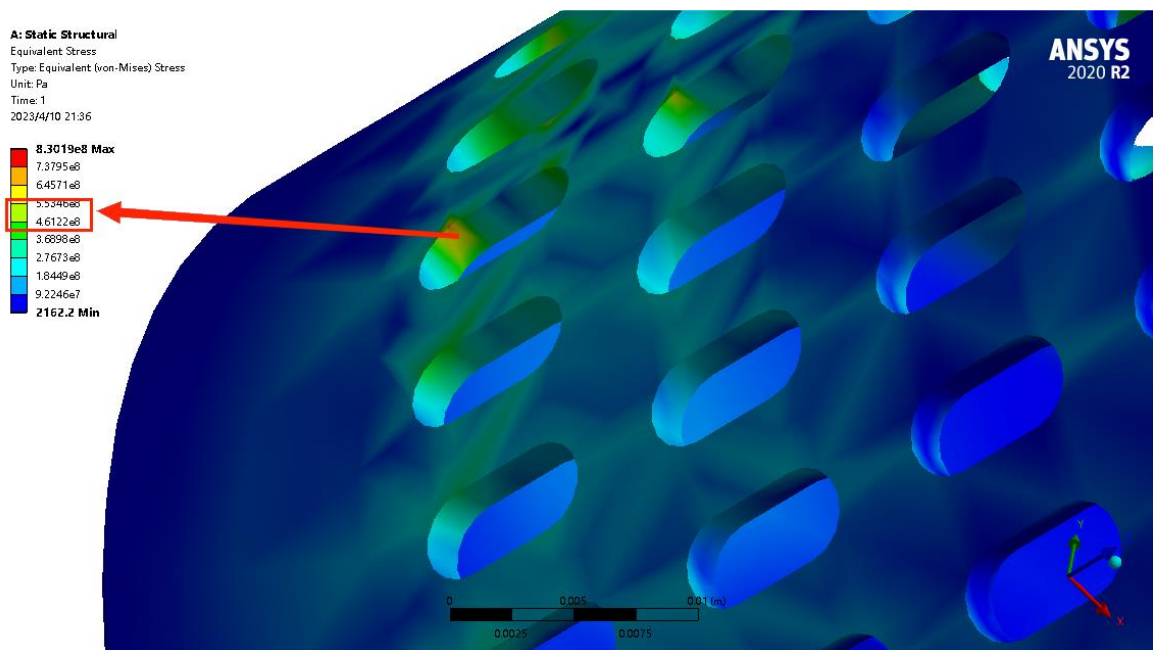


Рисунок 1.10 – Максимальные эквивалентные напряжения на пазе при нагрузке 800 Нм

Далее покажем полную деформацию сепаратора (изменение его формы под нагрузкой):

Как видно из рисунка 1.11: после приложения нагрузки к перемычкам сепаратора наибольшая деформация сепаратора происходит в торце четвёртого ряда сепаратора. Величина деформации постепенно уменьшается от торца пазах к торцу вала.

Максимальное значение деформации 0,447 мм. Эта величина находится в торце четвертого ряда сепаратора, то есть форма сепаратора изменяется значительно всего у четвертого ряда тел качения.

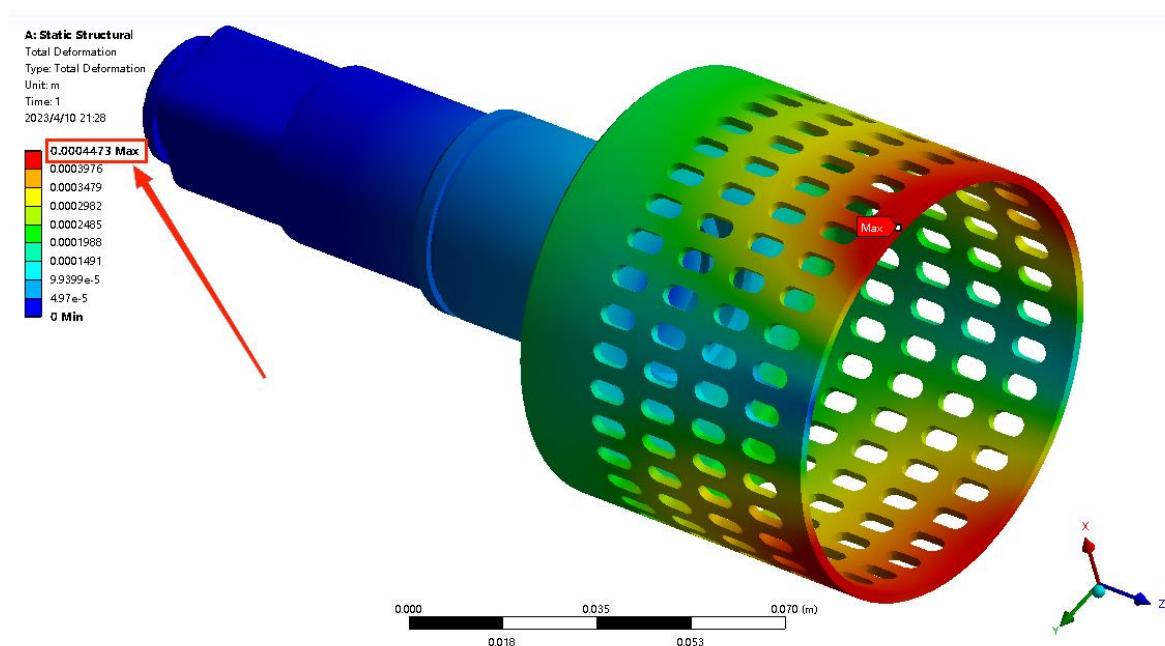


Рисунок 1.11 – Полная деформация на сепараторе при нагрузке 800 Нм

Максимальная величина деформации участка вала, примыкающего к сепаратору, составляет 0,0497 мм. Значение этой переменной деформации очень мало, и в реальном рабочем состоянии им можно пренебречь. А поскольку к части квадрата приложена неподвижная опора, деформация этой части оси составляет 0 мм.

1.6.7 Анализ результатов расчёта

Для того чтобы получить четкое представление о характере распределения напряжений на перемычках сепаратора, максимальные значения эквивалентных напряжений для каждой перемычки первого, второго, третьего и четвертого ряда на сепараторе были записаны и занесены в таблицу 1.2.

Каждая перемычка пронумерована (см. рис.1.12), чтобы облегчить запись максимальных значений эквивалентных напряжений. Черным цветом обозначены номера перемычек, на которые нагрузка не прикладывается, красными цифрами обозначены номера перемычек, нагрузка на которые прикладывается.

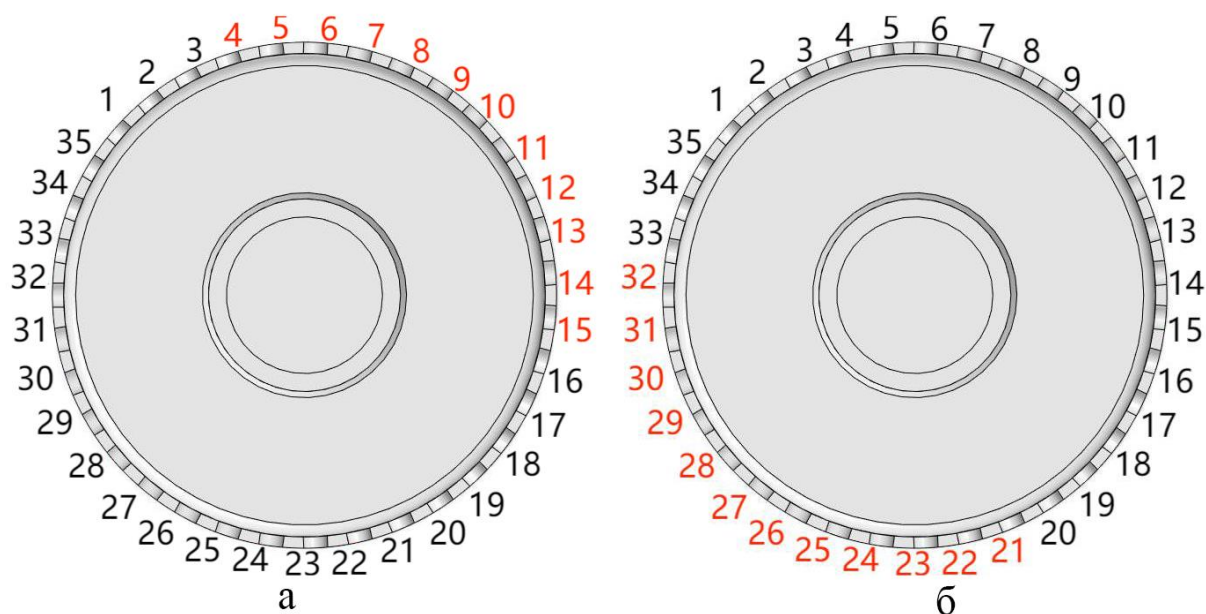


Рисунок 1.12 – Пронумерованные перемычки: а) в первом и четвертом рядах; б) во втором и третьем рядах

Таблица 1.2 – Конкретные цифры распределения максимальных напряжений на перемычках сепаратора.

D_c , мм	F_c , Н	Номер перемычек	$\sigma_{\text{экв } 1}$, МПа	$\sigma_{\text{экв } 2}$, МПа	$\sigma_{\text{экв } 3}$, МПа	$\sigma_{\text{экв } 4}$, МПа
82	19512	1	147	100	97	78
		2	185	110	120	92
		3	251	114	125	101
		4	345	153	132	123
		5	383	195	187	133
		6	363	201	189	141
		7	362	223	212	150
		8	360	226	213	149
		9	362	232	227	151
		10	343	238	218	154
		11	301	220	208	143
		12	312	182	176	131

продолжение табл.1.2

		13	247	160	154	156
		14	225	159	146	153
		15	213	138	136	127
		16	158	125	120	104
		17	161	122	110	78
		18	185	127	84	55
		19	250	134	97	63
		20	296	186	105	78
		21	343	243	110	82
		22	394	286	118	72
		23	456	406	202	59
		24	396	328	151	41
		25	414	409	167	42
		26	431	387	165	41
		27	413	360	157	37
		28	408	357	152	51
		29	403	273	139	53
		30	377	295	141	80
		31	294	272	150	82
		32	275	245	170	81
		33	213	173	126	77
		34	171	127	95	76
		35	133	108	89	64

Примечание:

Dc – диаметр сепаратора; Fc – сила, приложенная к телам качения; $\sigma_{\text{ЭКВ1}}$ – максимальное напряжение в стенках первого ряда сепаратора; $\sigma_{\text{ЭКВ2}}$ – максимальное напряжение в стенках второго ряда сепаратора; $\sigma_{\text{ЭКВ3}}$ – максимальное напряжение в стенках третьего ряда сепаратора; $\sigma_{\text{ЭКВ4}}$ – максимальное напряжение в стенках четвертого ряда сепаратора.

По данным таблицы 1.2 построены графические зависимости эквивалентных напряжений, возникающих в перемычках сепаратора ВППТК в зависимости от расположения тела качения (см. рис. 1.13) [23].

Как видно из рисунка 1.13 первый ряд перемычек нагружен максимально, во втором, третьем и четвертом ряду эквивалентные напряжения последовательно снижаются. Следует отметить, что в одном ряду перемычки нагружены также не равномерно, слегка склоняется к синусоидальной кривой.

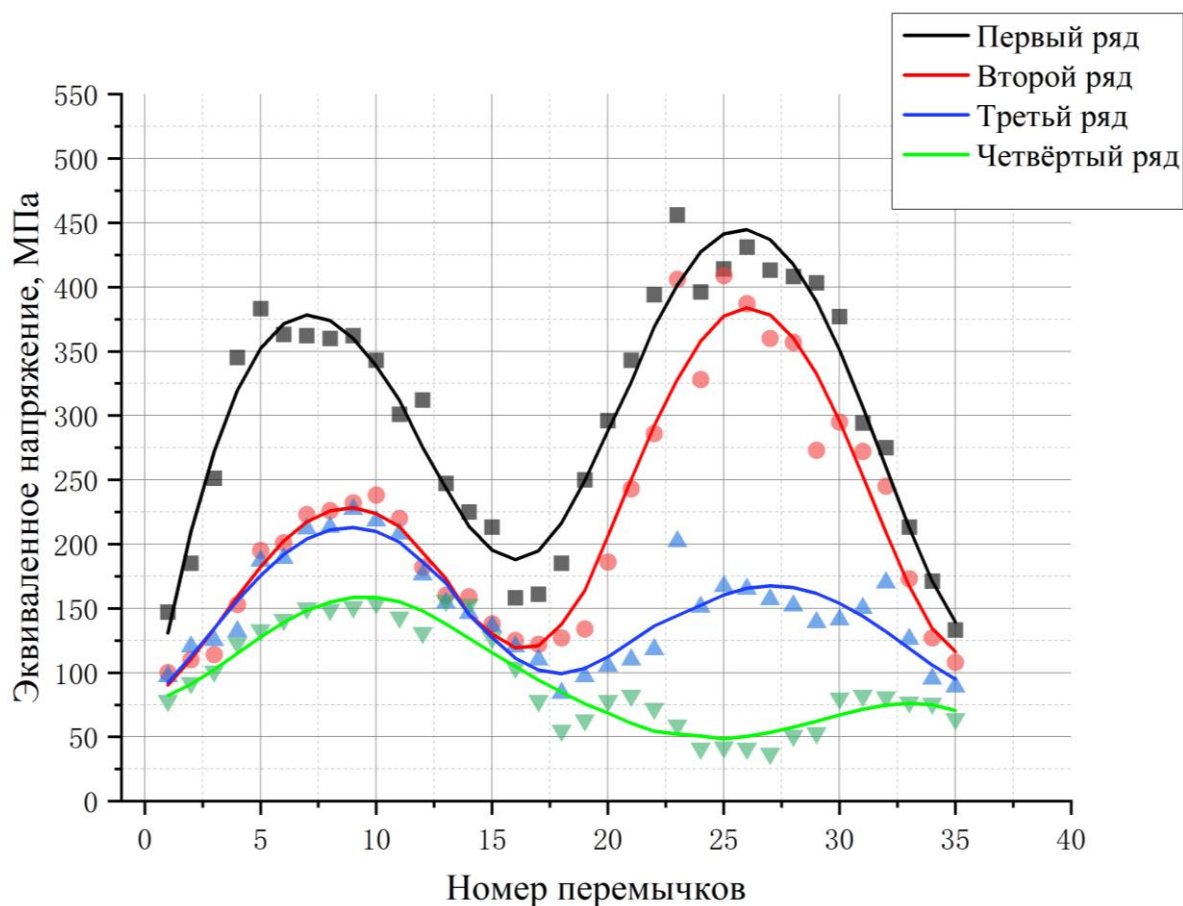


Рисунок 1.13 – Зависимость эквивалентного напряжения на пазах сепаратора ВППТК от расположения тела качения

Первый гребень синусоидальной кривой появляется на 12 перемычке в первом и четвертом рядах, к которым прикладывается нагрузка. Второй гребень появляется на 12 перемычке во втором и четвертом рядах, к которым прикладывается нагрузка. Впадины появляются на оставшихся 11 перемычках, где нагрузка не прикладывается.

Таблица 1.3 – Максимальные значения деформаций для каждой перемычек на сепараторе

D_c , мм	F_c , Н	Номер перемычек	$f_{\text{деф } 1}$, мм	$f_{\text{деф } 2}$, мм	$f_{\text{деф } 3}$, мм	$f_{\text{деф } 4}$, мм
82	19512	1	0,171	0,170	0,187	0,204
		2	0,204	0,234	0,266	0,303
		3	0,232	0,278	0,330	0,376
		4	0,254	0,307	0,362	0,413
		5	0,266	0,320	0,373	0,422
		6	0,273	0,323	0,373	0,417
		7	0,277	0,324	0,370	0,408
		8	0,280	0,324	0,368	0,403
		9	0,281	0,324	0,367	0,402
		10	0,280	0,323	0,368	0,406
		11	0,278	0,322	0,369	0,410
		12	0,274	0,317	0,367	0,411
		13	0,265	0,305	0,353	0,397
		14	0,251	0,281	0,321	0,359
		15	0,232	0,247	0,270	0,292
		16	0,215	0,212	0,209	0,209
		17	0,209	0,196	0,180	0,163
		18	0,218	0,218	0,214	0,206
		19	0,237	0,262	0,277	0,287
		20	0,257	0,299	0,330	0,355
		21	0,272	0,323	0,362	0,394
		22	0,281	0,334	0,375	0,410
		23	0,287	0,340	0,378	0,411
		24	0,290	0,342	0,378	0,405
		25	0,290	0,343	0,377	0,402
		26	0,289	0,345	0,379	0,403
		27	0,287	0,343	0,382	0,410
		28	0,283	0,343	0,385	0,418
		29	0,276	0,339	0,386	0,424
		30	0,264	0,329	0,377	0,416
		31	0,242	0,304	0,348	0,382
		32	0,216	0,259	0,290	0,315
		33	0,182	0,196	0,208	0,216
		34	0,156	0,139	0,121	0,105
		35	0,153	0,133	0,114	0,099

Примечание:

D_c – диаметр сепаратора; F_c – сила, приложенная к телам качения; $f_{\text{деф } 1}$ – максимальное значение деформаций в стенках первого ряда сепаратора; $f_{\text{деф } 2}$ – максимальное значение деформаций в стенках второго ряда сепаратора; $f_{\text{деф } 3}$ –

максимальное значение деформаций в стенках третьего ряда сепаратора; $f_{\text{деф } 4}$ - максимальное значение деформаций в стенках четвертого ряда сепаратора.

По данным, приведенным в таблице 1.3 построена графическая зависимость значений деформаций на перемычках сепаратора ВППТК от расположения тела качения (см. рис.1.14).

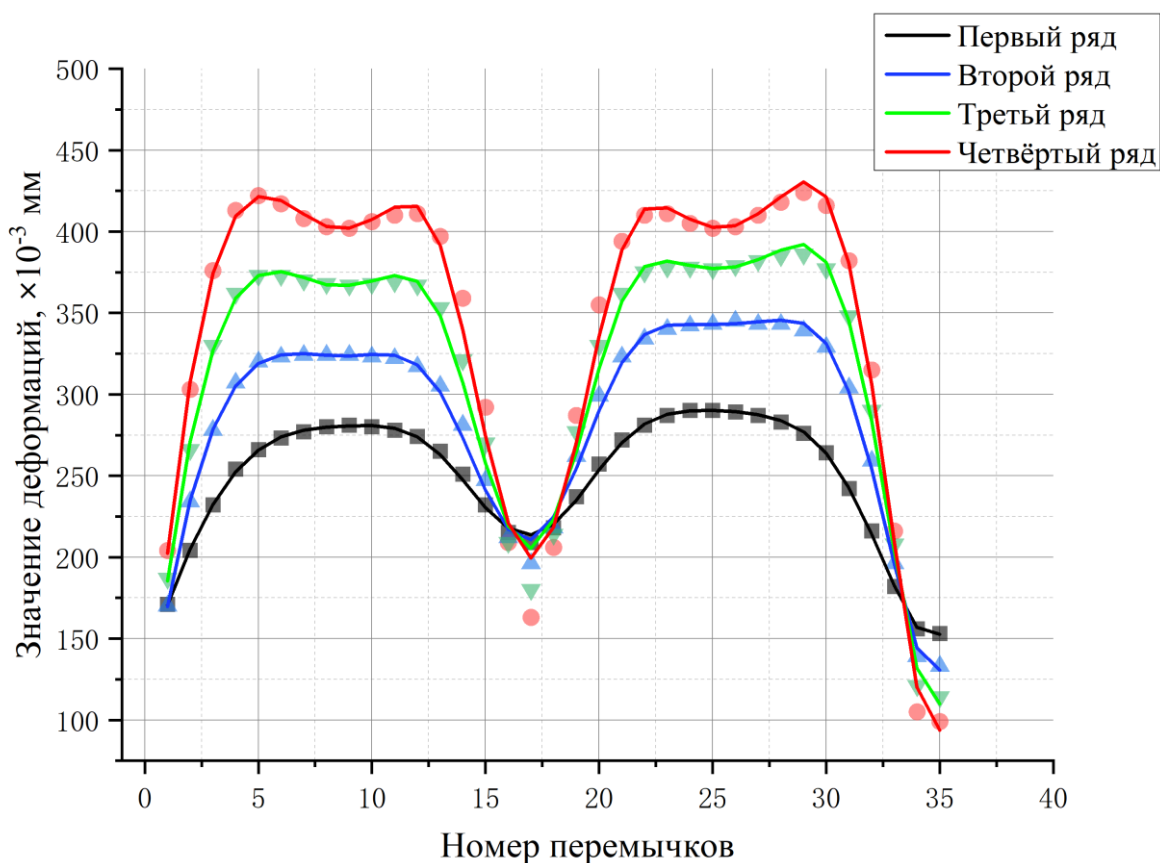


Рисунок 1.14 – Зависимость эквивалентного напряжения на пазах сепаратора ВППТК от расположения тела качения

Как видно из рисунка 1.14, четвертый ряд перемычек деформируется максимально, в третьем, втором и первом ряду значения деформаций последовательно снижаются, то есть величина деформации постепенно уменьшается от торца сепаратора к торцу вала. Следует отметить, что в одном ряду перемычки деформируются также не равномерно.

Первый гребень синусоидальной кривой появляется на 12 перемычке в первом и четвертом рядах, к которым прикладывается нагрузка. Второй гребень появляется на 12 перемычке во втором и четвертом рядах, к которым прикладывается нагрузка. Впадины появляются на оставшихся 11 перемычках, где нагрузка не прикладывается.

Величина допускаемого напряжения определяется по формуле [21]:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n} \quad (15)$$

Где: $[\sigma]$ - допускаемое напряжение;

σ_T - предел текучести для стали 40Х;

n - коэффициент запаса прочности (2...2,3).

$$[\sigma] = \frac{1078}{2,3} = 468 \text{ МПа}$$
$$456 \text{ МПа} < 468 \text{ МПа}$$

Таким образом, можно сделать вывод, что применение волновой передачи с ПТК с $U_2 = 35$ с четырехрядным расположением тел качения в сепараторе во второй ступени передаточного механизма обеспечит работоспособность редуктора в приводе РМ гайковерт.

Выводы

В ходе выполнения работы установлено:

1. Волновая передача с ПТК с $U_2 = 35$ может применяться во второй ступени редуктора привода РМ гайковерт.
2. Наибольший допустимый крутящий момент на сепараторе не должен превышать 800 Нм.
3. Наибольшие напряжения в детали возникают на сепараторе в месте перехода цилиндрической поверхности вала в квадратное сечение.
4. Эквивалентные напряжения в различных областях перемычек находятся в пределах от 37 до 456 МПа.
5. Максимальное значение деформации 0,447 мм, которая находится в торце четвёртого ряда сепаратора.
6. Перемычки, участвующие в зацеплении, подвергаются повышенным нагрузкам, перемычки, не участвующие в зацеплении, также подвергаются нагрузке, но величина напряжений в них относительно мала.

2 Конструкторская часть

2.1 Расчёт эквивалентных напряжений в сепараторе

2.1.1 Расчёт напряжений при кручении

Расчёт для сечения сплошного кольца:

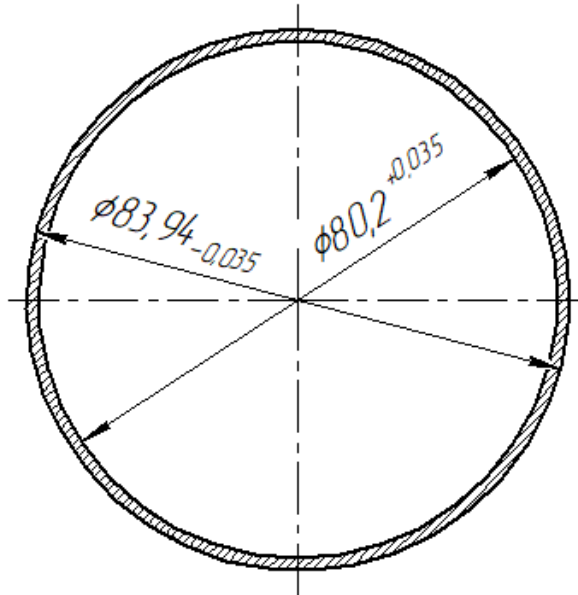


Рисунок 2.1 – Сплошное сечение сепаратора

Полярный момент сопротивления сечения сплошного кольца будет равен:

$$W_p = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{16D} \quad (16)$$

Где: D – наружный диаметр сепаратора;

d – внутренний диаметр сепаратора.

$$W_p = \frac{\pi(0,08394^4 - 0,0802^4)}{16 \cdot 0,08394} = 1,94 \times 10^{-5} \text{ м}^3$$

Касательные напряжения:

$$\tau_{кр} = \frac{T}{W_p} \quad (17)$$

Где: T – крутящий момент на выходном валу(сепаратор), Нм;

W_p – полярные моменты сопротивления сечения сплошного кольца, м^3 .

$$\tau_{кр} = \frac{800}{1,94 \times 10^{-5}} = 41,24 \text{ МПа}$$

Расчёт для сечения, ослабленного отверстиями:

Площадь сечения сплошного кольца:

$$S_1 = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \quad (18)$$

Где: D – наружный диаметр сепаратора, м;

d – внутренний диаметр сепаратора, м.

$$S_1 = \frac{\pi}{4}(0,08394^2 - 0,0802^2) = 4,84 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

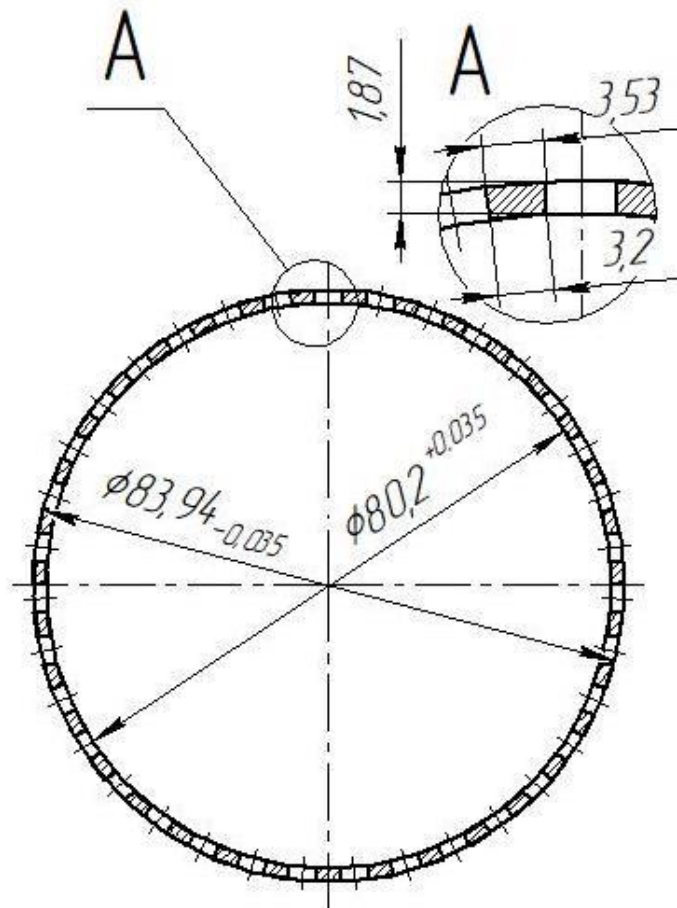


Рисунок 2.2 – Сечения, ослабленного отверстиями

Площадь сечения одного сектора кольца:

$$S' = \frac{1}{2} \times 1,87 \times (3,53 + 3,2) = 6,32 \times 10^{-6} \text{ м}^2$$

Площадь сечения, ослабленного отверстиями:

$$S_2 = 35 \cdot S' = 35 \times 6,32 \times 10^{-6} = 2,212 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

Коэффициент отношения площади сечения сплошного кольца к площади сечения, ослабленного отверстиями:

$$K = \frac{S_1}{S_2} \quad (19)$$

Где: S_1 – площадь сечения сплошного кольца, м^2 ;

S_2 – площадь сечения, ослабленного отверстиями, м^2 .

$$K = \frac{4,84 \times 10^{-4}}{2,212 \times 10^{-4}} = 2,18$$

Полярные моменты сопротивления сечения, ослабленного отверстиями, будут равны:

$$W'_\rho = \frac{W_\rho}{K} \quad (20)$$

Где: W_ρ – полярные моменты сопротивления сечения сплошного кольца, м^3 ;

K – коэффициент отношения площади сечения сплошного кольца к площади сечения, ослабленного отверстиями.

$$W'_\rho = \frac{1,94 \times 10^{-5}}{2,18} = 8,9 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

Отношение общего количества тел качения к количеству тел качения, участвующих в зацеплении равно: $\frac{35}{11} = 3,18$.

$$W''_\rho = \frac{W'_\rho}{3,18} = \frac{8,9 \times 10^{-6}}{3,18} = 2,8 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

Максимальное напряжение при кручении:

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{T'}{W''_\rho} \quad (21)$$

Где: T' – крутящий момент на одном ряду сепаратора равно $800/4=200$ Нм.

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{200}{2,8 \times 10^{-6}} = 285,6 \text{ МПа}$$

2.1.2 Расчёт напряжений при изгибе в сепараторе

Общая сила, действующая на сепараторе, будет равна:

$$F_{\text{об}} = \frac{2T}{d} \quad (22)$$

Где: T – крутящий момент на выходном валу(сепаратор), Нм;

d – средний диаметр сепаратора, м.

$$F_{об} = \frac{2 \times 800}{82 \times 10^{-3}} = 19512 \text{ Н}$$

Сила, действующая на одном перемычке сепаратора, будет равна:

$$F = \frac{F_{об}}{12 \cdot 4}$$

Где: $F_{об}$ – общая сила, действующая на сепараторе, Н.

$$F = \frac{19512}{12 \cdot 4} = 406,5 \text{ Н}$$

Равномерная нагрузка:

$$\rho = \frac{F}{l_p} \quad (23)$$

Где: l_p – длина ролика, м.

$$\rho = \frac{406,5}{4 \times 10^{-3}} = 101625 \text{ Н/м}$$

Максимальный внутренний момент:

$$M_{max} = \frac{ql_p^2}{12} \quad (24)$$

Где: q – равномерная нагрузка, Н/м;

l_p – длина ролика, м.

$$M_{max} = \frac{101625 \times (4 \times 10^{-3})^2}{12} = 0,14 \text{ Нм}$$

Геометрическая характеристика сечения, которая называется осевым моментом сопротивления сечения:

$$W = \frac{bh^2}{6} \quad (25)$$

$$W = \frac{1,87 \times 10^{-3} \times (3,36 \times 10^{-3})^2}{6} = 3,52 \times 10^{-9}$$

Максимальное напряжение при изгибе:

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W} \quad (26)$$

Где: M_{max} – максимальный внутренний момент, Нм;

W – осевой момент сопротивления сечения.

$$\sigma = \frac{0,14}{3,52 \times 10^{-9}} = 69,6 \text{ МПа}$$

2.1.3 Расчёт эквивалентного напряжений

По четвертой теории прочности (гипотеза энергии формоизменения) [21]:

Согласно этой теории прочности, материал находится в опасном состоянии сложного напряжения, когда удельная потенциальная энергия изменения формы достигает предельного значения материала:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (27)$$

Где: σ – максимальное напряжение при изгибе, МПа;

τ – максимальное напряжение при кручении, МПа.

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{69,6^2 + 3 \cdot 285,6^2} = 499,55 \text{ МПа}$$

Коэффициент отклонения ручного расчета и расчета в системе ANSYS:

$$K_o = \frac{499,55 \text{ МПа} - 456 \text{ МПа}}{499,55 \text{ МПа}} = 8,7\%$$

Результаты расчета показывают, что нет существенной разницы между результатами ручного расчета и расчета в системе ANSYS.

2.2 Проектирование сборочного приспособления

Для сборки насадки гайковерта, для плавного опускания профильного венца на сепаратор с телами качения, необходимо спроектировать сборочное приспособление.

Конструкция сборочного приспособления определяется конструкцией и техническими характеристиками сборочной единицы, подлежащей сборке в приспособлении [22], например

- геометрией и габаритными размерами изделия, определяющими конструкцию сборочного приспособления
- выбранным способом крепления, который определяет форму и количество элементов крепления
- тип и размеры соединительных узлов, определяющие конструкцию разъемных пластин и крепежных элементов узлов каркаса
- способ подключения технического оборудования.

2.2.1 Разработка компоновки приспособления

Перед разработкой принципиальной схемы и перед компоновкой приспособления, необходимо определить относительно каких поверхностей профильного венца будет происходить фиксация во время сборки тел качения на сепаратор.

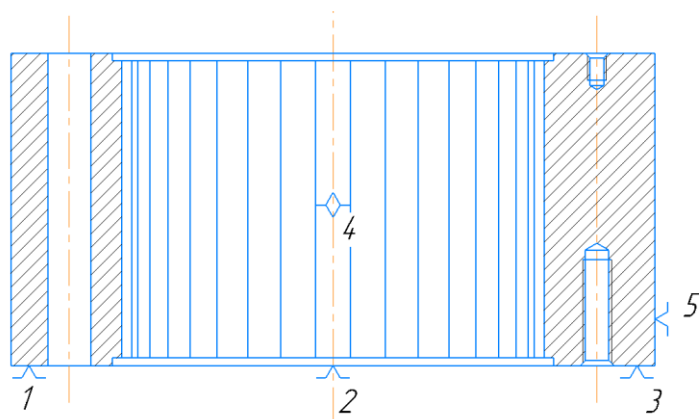


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема базирования венца в приспособлении

Изобразим принципиальную схему базирования профильного венца в приспособлении (Рисунок 2.3.)

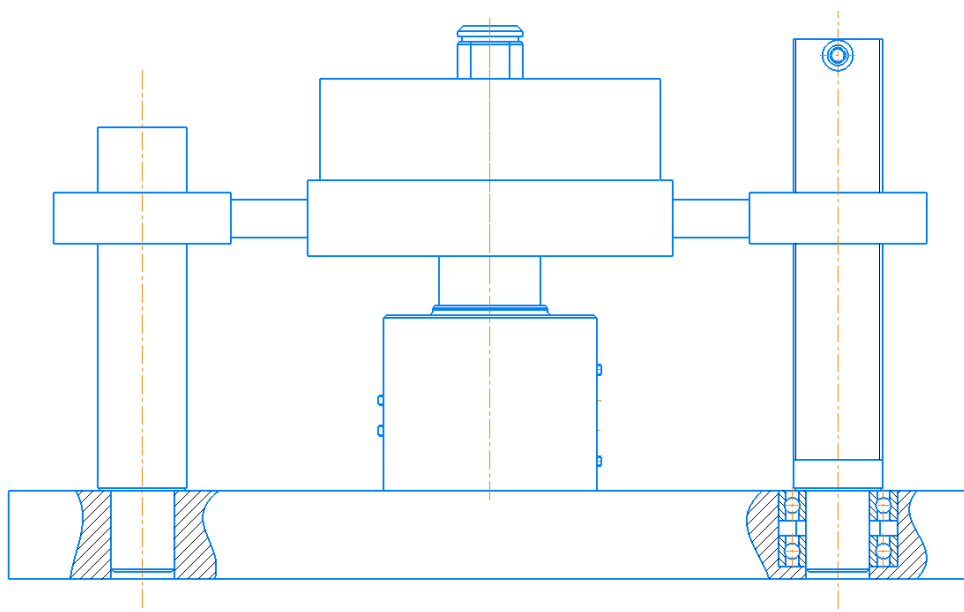


Рисунок 2.4 – Компоновка (общий вид) приспособления

2.2.2 Описание конструкции и принцип работы приспособления

Приспособление применяется для плавного опускания профильного венца на сепаратор с телами качения при ее сборке. Компоновка приспособления приведена на рисунке 2.4. Сборочный чертеж приспособления приведен на формате А1.

Основой приспособления является основание 1. В приспособлении имеются две стойки - гладкая и резьбовая. При работе профильный венец будет размещены в обойме 2, и повернуть болт 11, чтобы зафиксировать профильный венец в обойме, как показано на рис. 2.5.

Вращение рукоятки 10 через резьбовое соединение 14 позволит перемещать вверх-вниз обойму 2 по резьбовой стойке, тем самым приводя в движение вверх-вниз профильный венец 12, который затем будет собраны с сепаратором 13 в сборе, размещенной на основе 1, тем самым устанавливая каждое тело качения в паз сепараторе, и затем, тела качения входят в зацепление с профильным венцом.

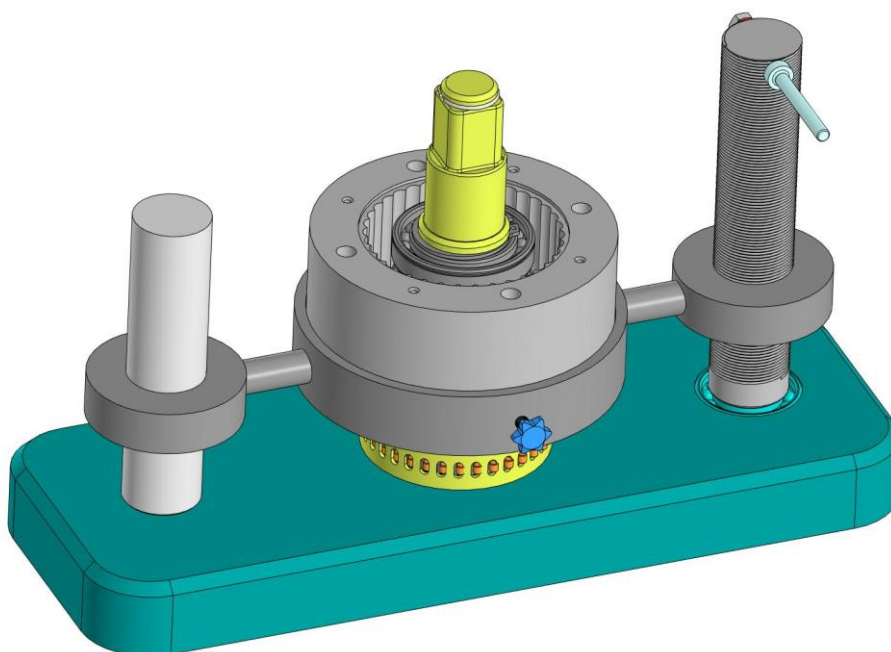


Рисунок 2.5 – 3D модель приспособления

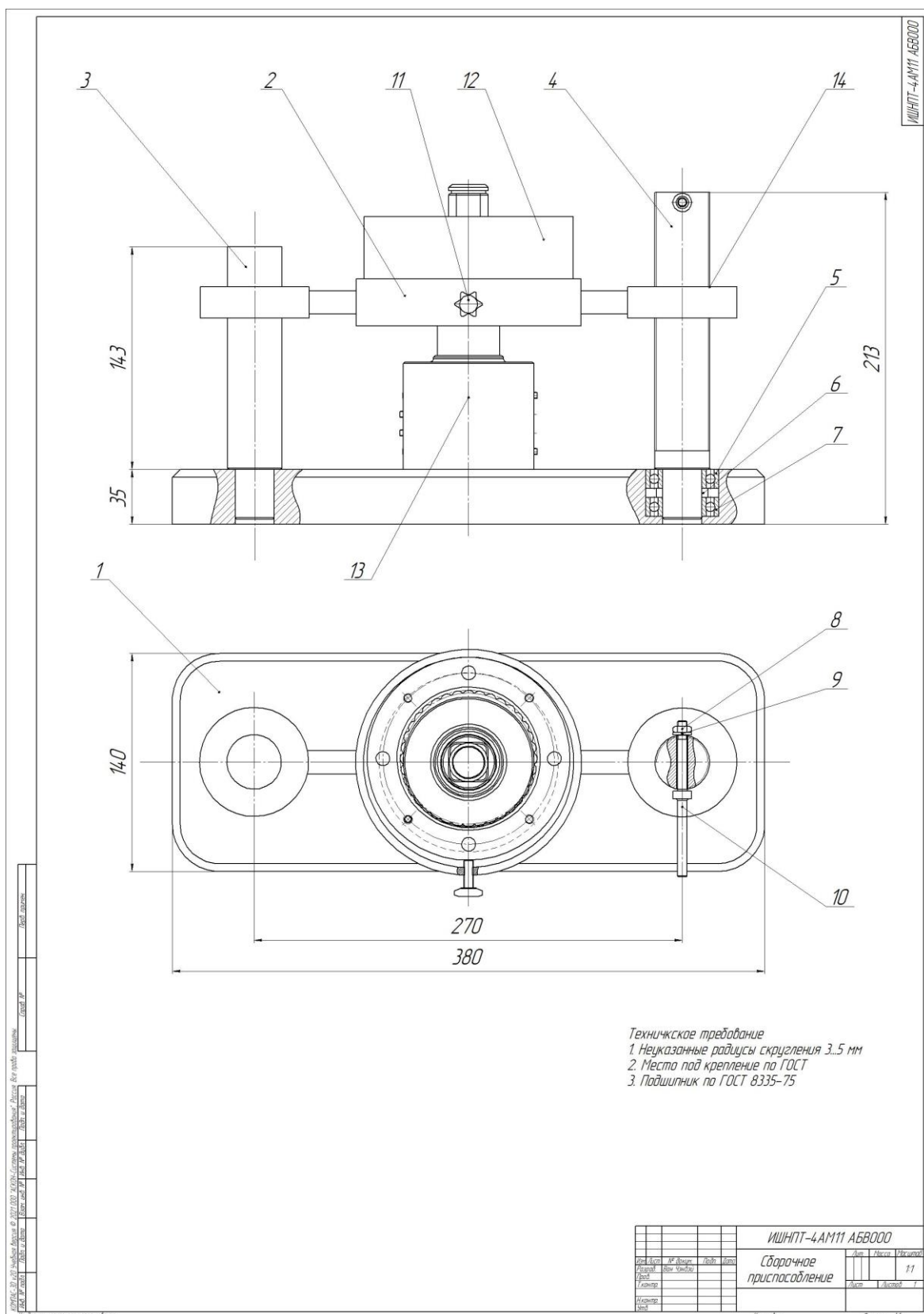


Рисунок 2.5 Сборочный чертеж приспособления

Вывод

1. Разница между результатами ручного инженерного расчета эквивалентных напряжений в сепараторе волновой передачи с ПТК, который применяется во второй ступени редуктора, и расчета в системе ANSYS не превышает 9%, что подтверждает достоверность полученных результатов и как следствие, работоспособность сепаратора.

2. Спроектировано сборочное приспособление для плавного опускания профильного венца на сепаратор с телами качения. Это приспособление повысит производительность сборочной операции.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4AM11	Ван Чэнвэй

Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	Машиностроение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01Машиностроение

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

1. <i>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>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИП
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.03.2023
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Гасанов М. А.	д.э.н.		12.03.2023

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM11	Ван Чэнвэй		12.03.2023

3 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 разработка конструкций насадки гайковерта на многофункциональный привод и исследование напряженно-деформированного состояния сепаратора волновой передачи с промежуточными телами качения (ВППТК).

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

3.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие разработки:

- 1) Использование материалов обработки стали 30ХГСА.
- 2) Использование материалов обработки сталь 38ХМЮА.

Детальный анализ необходим, т. к. каждый вариант имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 3.1 показано сравнение разработок-

конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 3.1 – Сравнение конкурентных технических решений (исследовательских работ).

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,05	5	5	4	0,25	0,25	0,2
2. Трещиностойкость	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
3. Производительность устройства	0,05	3	5	3	0,15	0,25	0,15
4. Простота изготовления	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
5. Надёжность	0,2	4	3	4	0,8	0,6	0,8
6. Эффективность работы	0,2	4	4	3	0,8	0,8	0,6
7. Безопасность	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена на расходы	0,075	3	4	3	0,225	0,3	0,225
2. Конкурентоспособность исследовательской работы	0,025	4	4	3	0,1	0,1	0,075
3. Финансирование научного исследования	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
Итого	1	41	44	35	4,225	4,15	3,5

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (28)$$

Где:

K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

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

3.1.2 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.

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

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. приведены в таблице 3.2:

Таблица 3.2 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Возможность при определенных входных параметрах, выбрать оптимальную модель редуктора с ВППТК или модель электродвигателя.	Сл1. Сложный процесс изготовления и сборки в сравнение с обычными зубчатыми редукторами.
С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями.	Сл2. Необходимость подключения к сети переменного тока, либо к генератору.
С3. Снижения затрат в эксплуатационный период.	Сл3. Продукт ранее не производился отечественными.
С4. Простота эксплуатации.	Сл4. Большие затраты на этапе производства.
Возможности	Угрозы
В1. Использование гидроабразивной и электроискровой обработки для получения профиля.	У1. Появление новых более технологичных машин, так как в данном направлении ведется большое количество исследований.
В2. Появление новых партнеров, которые упростят работу группы.	У2. Рост числа конкурентов (Ваши позиции могут ослабнуть).
В3. Внедрение или развитие технологии в производство.	У3. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях.
В4. Так как группа имеет знания и опыт в направлении редукторов с ПТК, то есть возможность улучшить свойства для других изделий.	У4. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надёжность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 3.3–3.6:

Таблица 3.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны».

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

Таблица 3.4 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны».

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	0	-	+
	B2	-	-	-	-
	B3	+	0	+	-
	B4	-	0	-	+

Таблица 3.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны».

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	+	+	0	+
	У2	-	-	+	-
	У3	+	-	-	-
	У4	+	-	0	-

Таблица 3.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны».

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

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в работе (табл. 3.7).

Таблица 3.7 SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Возможность при определенных входных параметрах, выбрать оптимальную модель редуктора с ВППТК или модель электродвигателя.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Сложный процесс изготовления и сборки в сравнение с обычными зубчатыми редукторами. Сл2. Необходимость подключения к сети
--	---	---

	С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями. С3. Снижения затрат в эксплуатационный период. С4. Простота эксплуатации.	переменного тока, либо к генератору. Сл3. Продукт ранее не производился отечественными. Сл4. Большие затраты на этапе производства.
Возможности: В1. Использование гидроабразивной и электроискровой обработки для получения профиля. В2. Появление новых партнеров, которые упростят работу группы. В3. Внедрение или развитие технологии в производство. В4. Так как группа имеет знания и опыт в направлении редукторов с ПТК, то есть возможность улучшить свойства для других изделий.	В1С1С2 - возможность сокращения времени изготовления других механизмов, за счет использования технологии производства данного изделия В4С1 - возможность адаптации устройства к потенциальным потребителям в других сферах В2С3 - качество изделия будет являться конкурентным преимуществом на российском рынке.	В1Сл2 -новейшее оборудование и компьютерное моделирование, позволит на ранних стадиях исследования, выявить и предотвратить появление брака В2 Сл3 -может не быть быстрого продвижения на рынок так как ранее продукт не продавался, и потребители не знают о нем. В3Сл1Сл4 - может потребоваться значительное изменение технологического процесса изготовления деталей из-за их высокой стоимости при обработке
Угрозы: У1. Появление новых более технологичных машин, так как в данном направлении ведется большое количество исследований. У2. Рост числа конкурентов (Ваши позиции могут ослабнуть). У3. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях. У4. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.	У1С1 - возможность за счет многофункциональности изделия создавать новые и более качественные универсальные изделия, а также устойчивость к борьбе с конкурентами, за счет особенностей типа привода У2С3 - исследование недостатков конструкции, поможет модернизировать уже производящиеся типы редукторов с ПТК У4С4 - возможность разработки новых типов приводов для определенных нужд конкретных сфер деятельности	У1Сл1Сл3 -вероятность появления более выгодных по цене, но менее эффективных продуктов от зарубежных производителей с традиционными типами редукторов У3Сл4 -Низкий спрос продукции. У4Сл1 - Проектируемый продукт может ещё не скоро выйти на рынок потребителей

Вывод SWOT-анализу: в ходе анализа были рассмотрены все сильные и слабые стороны научного проекта, а также разъяснены все его последствия. Как позитивные, так и негативные – возможности и угрозы. SWOT-анализ показал что, данная разработка может иметь два координально отличающихся исхода событий. Первый это очень хороший вариант, при котором к данной разработке появится интерес у сторонних производителей, исследователей. Что приведет к увеличению финансирования и появлению новых кадров, которые ускорят разработку либо при помощи своей высокой квалификации, либо простым увеличением количеством исполнителей, что позволит более быстро проводить некоторые этапы разработки. Второй вариант это тот при котором исследование не найдет должного финансирования, и будет либо закрыто, либо будет двигаться к конечному этапу с сильным промедлением.

Трудности и проблемы, с которыми может столкнуться данный проект, можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон исследования.

3.2 Планирование научно-исследовательских работ

3.2.1 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 3.8:

Таблица 3.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка темы диссертации	1	Составление и утверждение темы диссертации, утверждение плана-графика.	Научный руководитель
Постановка целей и задач	2	Постановка цели и задач, Необходимо которые выполнить для достижения	Инженер, Научный руководитель
Разработка технического задания	3	Составление и утверждение технического задания	Инженер, Научный руководитель
Выбор направления исследований	4	Проведение литературного обзора	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Инженерные расчеты математической модели и анализ напряжения сепаратора ВППТК с использованием ANSYS.	Инженер
	6	Разработка 3D модели устройства	Инженер
	7	Исследование недостатков 3D модели в программной среде	Инженер, Научный руководитель
	8	Сборка все детали устройства	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки.	Инженер

3.2.2 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:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (29)$$

Где:

$t_{ожи}$ — ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{мини}$ — минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{махи}$ — 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.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i} \quad (30)$$

Где:

T_{pi} — продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожи}$ — ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k \quad (31)$$

Где:

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

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

k — календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{праз}}} = \frac{365}{365 - 89 - 29} = 1,48$$

Где:

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

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

$T_{\text{праз}}$ — общее количество праздничных дней в году;

Расчеты временных показателей проведения научного исследования представляются в таблице 3.9:

Таблица 3.9 – Временные показатели проведения научного исследования.

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{Pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{mini} , чел-дни		t_{maxi} , чел-дни		$t_{ожи}$, чел-дни					
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Составление и утверждение темы диссертации, утверждение плана-графика.	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-	2,1	-
2. Постановка цели и задач, необходимо которые выполнить для достижения	1	2	2	3	1,4	2,4	0,7	1,2	1	1,8
3. Составление и утверждение технического задания	2	2	3	10	2,4	5,2	1,2	2,6	1,8	3,8
4. Проведение литературного обзора	-	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-	5,6

продолжение табл.3.9

5. Инженерные расчеты математической модели и анализ напряжения сепаратора ВППТК с использованием ANSYS.	-	20	-	30	-	24	-	24	-	35
6. Разработка 3D модели устройства	-	10	-	25	-	16	-	16	-	24
7. Исследование недостатков 3D модели в программной среде	10	10	20	20	14	14	7	7	10,4	10,4
8. Сборка все детали устройства	-	4	-	10	-	6,4	-	6,4	-	9,5
9. Оценка эффективности полученных результатов	5	5	6	8	5,4	6,2	2,7	3,1	4	4,6
10. Составление пояснительной записки.	-	10	-	25	-	16	-	16	-	24
Итого:	19	66	33	136	24,6	94	13	80.1	19,3	119

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

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Диаграмма Ганта.

	Вид работ	Исп	Т _{кi} , кал, дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение темы диссертации, утверждение плана-графика.	Исп1	2,1												
2	Постановка цели и задач, необходимо которые выполнить для достижения	Исп1 Исп2	1 1,8	 											
3	Составление и утверждение технического задания	Исп1 Исп2	1,8 3,8	 											
4	Проведение литературного обзора	Исп2	5,6												
5	Инженерные расчеты математической модели и анализ напряжения сепаратора ВППТК с использованием ANSYS.	Исп2	35												
6	Разработка 3D модели устройства	Исп2	24												
7	Исследование недостатков 3D модели в программной среде	Исп2	10,4 10,4							 					
8	Сборка все детали устройства	Исп2	9,5												
9	Оценка эффективности полученных результатов	Исп1 Исп2	4 4,6									 			
10	Составление пояснительной записки.	Исп2	24												

Примечание:

– Исп. 1 (научный руководитель);



– Исп. 2 (инженер).

3.3 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.

3.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при исследовании. Результаты расчета затрат представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Материальные затраты.

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Пруток стали 40X размер 90мм 5кг	295	2	590
Подшипники	413	3	1239
Головки 1 дюйм для гайковерта	373	4	1492
Манжет	158	1	158
Картридж для лазерного принтера	3 480	1	3480
Офисные бумаги А4 (в форме малой коротки)	450руб/уп	1	450
Папка для бумаг	150	1	150
Итого:	7559		

3.3.2 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:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (32)$$

Где:

n – срок полезного использования в количестве лет

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \times t \quad (33)$$

Где:

$И$ – итоговая сумма, тыс. руб.;

t – время использования, мес.

Таблица 3.12 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Персональный компьютер (ноутбук)	1	4	50	50
Итого		50 тыс. руб.			

Рассчитывается норма амортизации для ноутбука, с учётом того, что срок полезного использования составляет 4 года (по формуле):

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{4} = 0,25$$

Общая сумма амортизационных отчислений (по формуле):

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \times t = \frac{0,25 \cdot 50000}{12} \cdot 12 = 12500 \text{ руб}$$

3.3.3 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 одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \times T_p \quad (34)$$

Где:

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дней. (по таблице 4.9 для инженера: $T_{p2} = 94$ дней, для руководителя: $T_{p1} = 24,6$ дней).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \times M}{F_{\text{д}}} \quad (35)$$

Где:

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

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. Дней (в данном случае $F_{\text{д}} = 247$ дней);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 118 раб. дней, $M = 8,1$ месяц, 6-дневная рабочая неделя);

Должностной оклад работника за месяц определяется по формуле:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{мс}} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \times k_{\text{р}} \quad (36)$$

Где:

$З_{\text{мс}}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб (для руководителя $З_{\text{мс1}} = 25600$ руб, а для инженера $З_{\text{мс2}} = 6500$ руб);

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томск);

По формуле 4.10 определяется должностной оклад руководителя за месяц:

$$З_{\text{м1}} = З_{\text{мс1}} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \times k_{\text{р}} = 25600 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 = 49920 \text{ руб}$$

По формуле 4,10 определяется должностной оклад инженера за месяц:

$$З_{м2} = З_{мс2} \times (1 + k_{пр} + k_d) \times k_p = 6500 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 = 12675 \text{ руб}$$

Среднедневная заработная плата у руководителя рассчитывается по формуле:

$$З_{дн1} = \frac{З_{м1} \times M}{F_d} = \frac{49920 \times 8,1}{247} = 1637,52 \text{ руб}$$

Среднедневная заработная плата у инженера рассчитывается по формуле 4.9:

$$З_{дн2} = \frac{З_{м2} \times M}{F_d} = \frac{12675 \times 8,1}{247} = 415,66 \text{ руб}$$

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле 4,8:

$$З_{осн1} = З_{дн1} \times T_{p1} = 1637,52 \times 24,6 = 40283,0 \text{ руб}$$

Основная заработная плата инженера рассчитывается по формуле 4,8:

$$З_{осн2} = З_{дн2} \times T_{p2} = 415,66 \times 94 = 39072,04 \text{ руб}$$

Таким образом, затраты на общую основную заработную плату составляют:

$$З_{осн \text{ обще}} = З_{осн1} + З_{осн2} = 40283,0 + 39072,04 = 79355,04 \text{ руб}$$

Перечисленные информации представляются в таблице 3,14:

Таблица 3.13 – Расчеты основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$З_{мс}$, руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$, руб	$З_{дн}$, руб	T_p , дн	$З_{осн}$, руб
Руководитель	25600	0,3	0,2	1,3	49920	1637,52	24,6	40283,0
Инженер	6500	0,3	0,2	1,3	12675	415,66	94	39072,04
Итого:								79355,04

3.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \times З_{осн} \quad (37)$$

Где:

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата;

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

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

По формуле определяется дополнительная заработная плата для руководителя:

$$Z_{\text{доп1}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн1}} = 0,15 \times 40283,0 = 6042,45 \text{ руб}$$

По формуле 4.11 определяется дополнительная заработная плата для инженера:

$$Z_{\text{доп2}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн2}} = 0,15 \times 39072,04 = 5860,8 \text{ руб}$$

Таким образом, общая дополнительная заработная плата составляет:

$$Z_{\text{доп общ}} = Z_{\text{доп1}} + Z_{\text{доп2}} = 6042,45 + 5860,8 = 11903,25 \text{ руб}$$

3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле 4.12:

$$Z_{\text{внеб1}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн1}} + Z_{\text{доп1}}) \quad (38)$$

Где:

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2023 году –30% (ст. 425 НК РФ).

Отчисления во внебюджетные фонды для руководителя определяются по формуле 4.12:

$$\begin{aligned} Z_{\text{внеб1}} &= k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн1}} + Z_{\text{доп1}}) = 30\% \times (40283,0 + 6042,45) \\ &= 13897,64 \text{ руб} \end{aligned}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для инженера определяются по формуле 4.12:

$$\begin{aligned} Z_{\text{внеб2}} &= k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн2}} + Z_{\text{доп2}}) = 30\% \times (39072,04 + 5860,8) \\ &= 13479,85 \text{ руб} \end{aligned}$$

Таким образом, общие затраты на составяется отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{внеб\ общ} = З_{внеб1} + З_{внеб2} = 13897,64 + 13479,85 = 27377,49 \text{ руб}$$

3.3.6 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 т. д.

Величина накладных расходов определяется по формуле 4.13:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) k_{нр} \quad (39)$$

Где:

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

$$\begin{aligned} З_{накл} &= (7559 + 12500 + 79355,04 + 11903,25 + 27377,49) \times 0,16 \\ &= 22191,16 \text{ руб} \end{aligned}$$

3.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Группировка затрат по статьям представляется в таблице 3.14:

Таблица 3.14 – Группировка затрат по статьям.

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Материалы, руб	Амортизация, руб	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб	Отчисления на социальные нужды, руб	Итого без накладных расходов, руб	Накладные расходы, руб	Стоимость бюджета, руб
7559	12500	79355,04	11903,25	27377,49	138694,78	22191,16	160885,94

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «Исследование прочности сменных многогранных пластин при обработке титанового сплава» по форме, приведенной в таблице 3.15.

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

Таблица 3.15 – Группировка затрат по статьям.

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3
1	Материальные затраты НИР	7559	8637,56	6697
2	Затраты на специальное оборудование	12500	9066	28626
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	79355,04	391582,82	296333,26
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	11903,25	58737,42	55623,54
5	Отчисления во внебюджетные фонды	27377,49	135096,07	96591,08
6	Накладные расходы	22191,16	97139,18	77419,34
Бюджет затрат НИР		136435,78	160885,94	704259,05

3.4 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.

3.4.1 Интегральный финансовый показатель разработки вариантов

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.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается по формуле 4.14:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (40)$$

Где:

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

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения из всех вариантов;

По перечисленным вычислениям определяются общие затраты для всех вариантов:

$$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 160885,94 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{исп.2}} = 704259,08 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{исп.3}} = 561290,22 \text{ руб}$$

$$\Phi_{max} = \Phi_{\text{исп.2}} = 1677938,42 \text{ руб}$$

По формуле 4,14 определяется интегральный финансовый показатель для текущего проекта:

$$I_{\text{финр}}^{\text{текущ.проект}} = \frac{\Phi_{\text{текущ.проект}}}{\Phi_{max}} = \frac{160885,94}{704259,08} = 0,228$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{max}} = \frac{704259,08}{704259,08} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{max}} = \frac{561290,22}{704259,08} = 0,335$$

В результате расчетов интегральных финансовых показателей по трем вариантам разработки текущий проект с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

3.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов

Интегральные показатели ресурсоэффективности всех вариантов определяются путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 3.16).

Таблица 3.16 – Сравнительная оценка характеристик всех вариантов.

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

продолжение табл.3.16

4. Механические свойства	0,2	5	5	3
5. Материалоёмкость	0,15	5	5	5
ИТОГО	1	4,85	4,65	4,1

По данным из таблицы 4.17 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для текущего проекта:

$$I_p^{\text{текущ.проект}} = 0,3 \times 5 + 0,15 \times 4 + 0,2 \times 5 + 0,2 \times 5 + 0,15 \times 5 = 4,85$$

По данным из таблицы 4.17 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для первого конкурентного проекта:

$$I_p^{\text{исп.2}} = 0,3 \times 5 + 0,15 \times 4 + 0,2 \times 4 + 0,2 \times 5 + 0,15 \times 5 = 4,65$$

По данным из таблицы 4.17 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для второго конкурентного проекта:

$$I_p^{\text{исп.3}} = 0,3 \times 4 + 0,15 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,2 \times 3 + 0,15 \times 5 = 4,10$$

В результате расчетов интегральных показателей ресурсоэффективности по трем вариантам разработки текущий проект с большим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения ресурсной эффективности.

3.4.3 Интегральные показатели эффективности вариантов

Интегральные показатели эффективности всех вариантов вычисляются на основании показателей ресурсоэффективности и интегральных финансовых показателей по формуле 4.15:

$$I_{\text{эф.}i} = \frac{I_p^{\text{исп.}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}} \quad (41)$$

Где:

$I_{\text{эф.}i}$ – интегральный показатель эффективности i -ого варианта разработки;

$I_p^{\text{исп.}i}$ – интегральный показатель ресурсной эффективности i -ого варианта разработки;

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

По формуле 4.15 определяется интегральный показатель эффективности для текущего проекта:

$$I_{\text{эф.текущ.проект}} = \frac{I_p^{\text{текущ.проект}}}{I_{\text{финр}}^{\text{текущ.проект}}} = \frac{4,85}{0,228} = 21,27$$

По формуле 4.15 определяется интегральный показатель эффективности для первого конкурентного проекта:

$$I_{\text{эф.исп.2}} = \frac{I_p^{\text{исп.2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}}} = \frac{4,65}{1} = 4,65$$

По формуле 4.15 определяется интегральный показатель эффективности для второго конкурентного проекта:

$$I_{\text{эф.исп.3}} = \frac{I_p^{\text{исп.3}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}}} = \frac{4,10}{0,335} = 12,24$$

Далее среднее значение интегрального показателя эффективности каждого варианта НИР сравнивалось со средним значением интегрального показателя эффективности текущего проекта с целью определения сравнительной эффективности проектов (таблица 3.17).

Таблица 3.17 – Сравнительные эффективности разработок.

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,228	1	0,335
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,85	4,65	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	21,27	4,65	12,24
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	4,57	1,74

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансовым и ресурсным эффективным вариантом является текущий проект. Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Вывод

В ходе работы был проведен экономический анализ проекта, посчитаны разного рода затраты, зарплатные отчисления, составлен SWOT анализ, выявлены сильные и слабые стороны проекта, выявлены конкуренты и произведено сравнение с похожими конкурирующими разработками, составлен календарный рейтинг план с расчетом трудозатрат, а также построена диаграмма Ганта на основе этих данных.

Можно сделать вывод о том, что наиболее финансовым и ресурсным эффективным вариантом является текущий проект. Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 4AM11		ФИО Ван Чэнвэй	
Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Машиностроение
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Тема ВКР:

Исследование напряженно-деформированного состояния сепаратора для ручного гайковерта	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации	Объект исследования: сепаратор второй ступени редуктора с промежуточными телами качения в ручном динамометрическом гайковерте. Область применения: небольшие строительные фирмы, фермеры, индивидуальные предприниматели для выполнения малых объемов работ. Рабочая зона: офис Размеры помещения климатическая зона: 6х5м Количество и наименование оборудования рабочей зоны: 15 персональных компьютеров, климатическая установка, лазерный принтер и ручная машина гайковерт. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: спроектировать 3D-модель второй ступени редуктора для РМ гайковерта, нарисовать чертеж и выполнить расчет напряжений в системе САЕ.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) 2. ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность при разработке проектного решения: – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора	Возможные вредные факторы: • Повышенный уровень общей вибрации; • Превышение уровня шума; • Низкая и недостаточная освещенность рабочей зоны; • Повышенная запылённость воздуха рабочей зоны; • Электромагнитные поля, воздействующие в процессе деятельности; Возможные опасные факторы:

	• кинетическую энергию машин либо оборудования, их движущихся и вращающихся частей; • Напряжение в электрической цепи; Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: Обратите внимание на безопасное использование электричества и пожарную безопасность. Обратите внимание на внутреннюю вентиляцию. Приобретите огнетушитель и установите пожарную сигнализацию в помещении. Разработайте учебное пособие по безопасному электричеству. Разумно организуйте рабочее время и планировку студии, отрегулируйте сидячее положение персонала. Расчет: расчет системы искусственного освещения
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:	Разделить на влияние на гидросферу, атмосферу, литосферу • Утилизация картриджей (Отработанные картриджи, израсходованные при печати чертежей, следует утилизировать надлежащим образом); • Утилизация люминесцентных ламп (что делать в случае поломки или износа осветительного оборудования); • Утилизация макулатуры (экономьте бумагу, чтобы защитить окружающую среду).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения: - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС;	Возможных ЧС на объекте: сильные морозы, диверсия; Наиболее типичной ЧС – возникновение пожара, так как используется электрическое оборудование.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
12.03.2023	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Антоневич О. А.	к.б.н.		12.03.2023

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM11	Ван Чэнвэй		12.03.2023

4 Социальная ответственность

Введение

Данный раздел представляет собой сбор информации, её обработка, проведение расчётов. А также составление рекомендаций, на основе полученных данных. Выполняется в закрытом помещении (кабинет, аудитория) на персональном компьютере, с помощью которого обрабатываются вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды. Цель работы: Исследование напряженно-деформированного состояния сепаратора второй ступени редуктора с ПТК в ручном динамометрическом гайковерте.

Рабочее место располагается в аудитории 203 корпуса 16А НИ ТПУ, на 2 этаже, помещение представляет собой комнату размером 6х5м, высотой 3,5м, 2 окна выходящих на восток. В помещении находятся 15 персональных компьютеров, климатическая установка и медиа-проектор.

Следует отметить, что меры по охране труда при работе с персональным компьютером должны носить комплексный характер и включать в себя полный спектр работ, направленных на ликвидацию источников вреда. Следите за чистотой и гигиеной вокруг компьютера, обращайте внимание на пыль, влагу, статическое электричество, сильные магнитные поля, чрезмерное тепло и холод, избегайте прямого солнечного света.

В данном разделе дипломного проекта рассматриваются следующие вопросы:

- организация рабочего места пользователя ПЭВМ;
- определение оптимальных условий труда пользователя ПЭВМ.

Рабочее место оборудовано персональным компьютером и жидкокристаллическим монитором.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.1.1 Правовые нормы трудового законодательства

Согласно трудовому кодексу Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.03.2021) каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы

(должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

- повышенные или дополнительные гарантии и компенсации за работу на работах с вредными и (или) опасными условиями труда могут устанавливаться коллективным договором, локальным нормативным актом с учетом финансово-экономического положения работодателя.

4.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Одним из факторов комфортности рабочей среды является организация рабочего места. Рабочее место должно соответствовать ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ.

Рабочее место при выполнении. Общие эргономические требования.

Общие положения состоит из следующих элементов:

- 1) Рабочее место для выполнения работ сидя организуют при легкой работе, не требующей свободного передвижения работающего, а также при работе средней тяжести в случаях, обусловленных особенностями технологического процесса. Категории работ - по ГОСТ 12.1.005–88.

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

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

4) Конструкцией рабочего места должно быть обеспечено выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля.

5) Выполнение трудовых операций "часто" и "очень часто" должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля.

6) При проектировании оборудования и организации рабочего места следует учитывать антропометрические показатели женщин (если работают только женщины) и мужчин (если работают только мужчины); если оборудование обслуживают женщины и мужчины - общие средние показатели женщин и мужчин

7) Конструкцией производственного оборудования и рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием. Конструкция регулируемого кресла оператора должна соответствовать требованиям ГОСТ 21889–76.

8) Конструкцией производственного оборудования и рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием.

9) Форму рабочей поверхности различного оборудования следует устанавливать с учетом характера выполняемой работы. Она может быть прямоугольной, иметь вырез для корпуса работающего или углубление для настольных машин и т. д. При необходимости мости на рабочую поверхность следует устанавливать подлокотники.

10) Подставка для ног должна быть регулируемой по высоте. Ширина должна быть не менее 300 мм, длина - не менее 400 мм. Поверхность подставки должна быть рифленой. По переднему краю следует предусматривать бортик высотой 10 мм.

11) Аварийные органы управления следует располагать в зоне досягаемости моторного поля, при этом необходимо предусмотреть специальные средства опознавания и предотвращения их

непроизвольного и самопроизвольного включения в соответствии с ГОСТ 12.2.003—74.

4.2 Производственная безопасность

Таблица 4.1 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте название рабочего места

Факторы (ГОСТ 12.0.003–2015)	Нормативные документы
Повышенный уровень общей вибрации	ГОСТ 31192.1–2004 Вибрация. Изменение локальной вибрации и оценка её воздействия на человека
Превышение уровня шума	Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003–83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32–2002.
Низкая и недостаточная освещенность рабочей зоны	СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение
Повышенная запылённость воздуха рабочей зоны	ГОСТ 12.1.005–88. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
Электромагнитные поля, воздействующие в процессе деятельности	СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях
Кинетическую энергию машин либо оборудования, их движущихся и вращающихся частей	ГОСТ ИСО/ТО 12100-2-2002 Безопасность оборудования.
Напряжение в электрической цепи	ГОСТ 12.1.038–82 «ССБТ. Электробезопасность

4.2.1 Повышенный уровень общей вибрации

Основная цель нормирования вибрации на рабочих местах — это установление допустимых значений характеристик вибрации. Основным документом, регламентирующим уровень вибрации на рабочих местах, является ГОСТ 31192.1–2004.

Показатели вибрационной нагрузки на оператора – виброускорение и время действия вибрации. Корректированный уровень локальной вибрации (ЛВ) используют для характеристики ручных машин по степени виброопасности. Эквивалентный корректированный уровень ЛВ используют для оценки нагрузки на человека-оператора за смену.

К способам борьбы с вибрацией относятся: снижение вибрации в источнике, виброгашение, виброизоляция, вибродемпфирование, применение индивидуальных средств защиты.

Основной причиной возникновения вибрации в приводе машины гайковерта является волновая передача с промежуточными телами качения. Такой характер вибрации относится к локальной вибрации. Колебания, возникающие в процессе работы машины, передаются на рукоятки инструмента. Рукоятки гайковерта прорезинены специальными вставками. При эксплуатации ручной машины рекомендуется работать в перчатках.

4.2.2 Превышение уровня шума

Предельно допустимый уровень шума – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Основным источником шума является исследуемый привод, так как оператор находится в непосредственной близости. Уровень звукового давления, воспроизводимый опытным образцом, равен приблизительно 85–95 дБ на средних частотах, что эквивалентно шуму при работе отбойного молотка. Причиной столь громкого шума являются: электродвигатель, в котором подшипники ротора создают шум, контактируя с дорожками качения, так как частота вращения вала приблизительно 15 000 об/мин; промежуточные тела качения волновой передачи, в передаче их содержится 35 штук.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003–83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32–2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 65 дБА (в залах обработки информации на вычислительных машинах). В нашем случае этот параметр соответствовал значению 75 дБА.

При эксплуатации ручной машины необходимо использовать беруши, либо наушники. В качестве средств коллективной защиты можно применить заградительные щиты из звукопоглощающего материала.

4.2.3 Низкая и недостаточная освещенность рабочей зоны

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом рабочего 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 аудитории 203 корпуса 16А находится 2 окна размерами 1460x1170мм, обеспечивающими естественное освещение днем.

Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отраженный от потолка и стен. Длина помещения $A = 10$ м, ширина $B = 8$ м, высота = 5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м.

Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 300 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B$$

Где:

A — длина, м;

B — ширина, м.

$$S = 7,5 \times 7 = 52,2 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения покрашенных светло-зеленых стен с окнами, без штор $\rho_c = 40\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{\text{п}} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,2$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем светильники VARTON E070 V1-E0-00070-01000-2003639 для учебных классов и аудиторий, световой поток которой равен $\Phi_{\text{лд}} = 4000$ Лм.

Этот светильник имеет лампы мощностью 36 Вт каждая, длина светильника равна 595 мм, ширина равна 595 мм.

Принимаем интегральный критерий оптимальности расположения светильников $\lambda=1,2$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,05$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p$$

Где:

h_n — высота светильника над полом, высота подвеса;

h_p — высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для светильников: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,05 = 2,45 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \times 2,45 = 2,69 \approx 2,5 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{7}{2,5} = 2,8 \approx 3$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{7,5}{2,5} = 3$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 3 \times 3 = 9$$

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

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,5}{3} = 0,83 \approx 0,8$$

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{7,5 \times 7}{2,45 \times (7,5 + 7)} = 1,5$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОД с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{п}} = 70\%$, $\rho_{\text{с}} = 40\%$ и индексе помещения $i = 1$, равен $\eta = 0,65$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \times 7,5 \times 7 \times 1,2 \times 1,1}{9 \times 0,65} = 3554 \text{ ЛМ}$$

Делаем проверку выполнения условия:

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

$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% = \frac{4000 - 3554}{3554} = 12,5\%$$

Таким образом: $-10\% \leq 12,5\% \leq 20\%$ необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

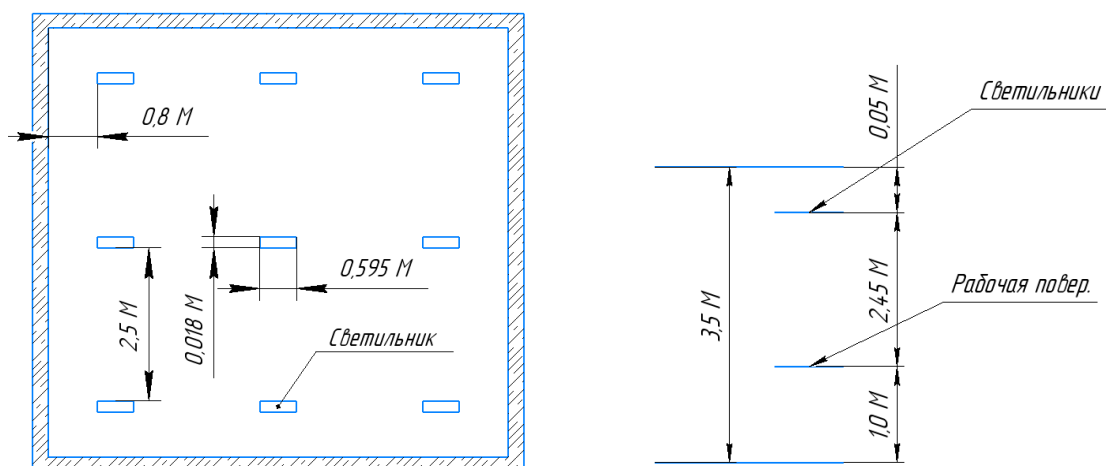


Рисунок 4.1 - План размещения светильников

4.2.4 Повышенная запылённость воздуха рабочей зоны

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а также для сохранности оборудования. Согласно ГОСТ 12.1.005–88 класс опасности пыли ПДК в лаборатории должен быть не ниже класса 3.

Система вентиляции служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний. Она обеспечивает снижение содержания в воздухе помещения пыли, газов до концентрации, не превышающей ПДК. Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более однократного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже

допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточновытяжную вентиляцию. Кратность воздухообмена не ниже 3.

4.2.5 Электромагнитные поля, воздействующие в процессе деятельности

Электромагнитные поля пагубно влияют на здоровье человека. Но в нынешнем этапе развития человек уже не сможет без этого прожить. Ведь сейчас даже маленьких детей не отпускают на улицу без телефонов, а телефон первый в списке пагубных влиятелей на здоровье человека. Кроме того, электромагнитное излучение, испускаемое компьютерами на работе, может быть очень вредным для людей. Уровень биологического воздействия электромагнитных полей не зависит от длительности его воздействия. При воздействии электромагнитного поля у человека может наблюдаться повышенная утомляемость, вялость, изменение кровяного давления и пульса, возникновение болей в сердце, боли. Согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 предельные допустимые уровни электромагнитного поля частотой 50 Гц.

Чтобы не подвергать себя чрезмерным дозам радиации, не забывайте выключать электроприборы, когда они больше не используются; регулярно занимайтесь спортом и больше бывайте на природе.

4.2.6 Кинетическая энергия машин либо оборудования, их движущихся и вращающихся частей

Когда мы работаем с гайковертами, рабочий орган вращается, что может угрожать безопасности пользователя. Согласно техническим правилам и техническим требованиям ГОСТ ИСО/ТО 12100-2-2002 для области механического оборудования, конструкторы и производители могут добиться безопасности при проектировании машин для

промышленного и непромышленного применения. Конкретные требования, следующие:

На доступных деталях недопустимы острые углы, острые кромки, неровные поверхности, выступающие части, которые могут вызвать травму, а также отверстия, из-за которых может произойти захват части одежды или части тела человека.

На краях листов металла должны быть удалены заусенцы, края должны быть отбортованы или скруглены. Должны быть закрыты свободные концы труб, которые могут вызвать захват, и т. д.

Безопасность машины обеспечивают путем:

- выбора формы и относительного расположения механических составных частей.
- существенного ограничения приводных усилий, в результате которого деталь не представляла бы собой механической опасности, а такое ограничение не препятствовало выполнению этой деталью ее функции;
- ограничения массы и/или скорости подвижных деталей и, следовательно, их кинетической энергии;

4.2.7 Напряжение в электрической цепи

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.

В нашем случае рабочий кабинет не имеет токопроводящий пол и т. п. опасные среды повышенной опасности. Поэтому помещения относятся к классу мало опасные помещения поражения электрическим током. ПК работает в сети с напряжением 220 В.

В соответствии с электрическими опасностями помещения. Электрические цепи, образующие искры, дуги или нагревательные части под напряжением. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность.

Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, для машины и механизмы.

- Без необходимости часто не включать и выключать компьютер.
- Не прикасаться к экрану и к тыльной стороне блоков компьютера.
- Не работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании мокрыми руками.
- Не работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса, нарушения изоляции проводов.
- При неисправной индикации включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе, класть на средства вычислительной техники и периферийное оборудование посторонние предметы.
- Запрещается под напряжением очищать от пыли и загрязнения электрооборудование.
- Запрещается проверять работоспособность электрооборудования в непригодных для эксплуатации помещениях с токопроводящими полами, сырых, не позволяющих заземлить доступные металлические части.
- При обнаружении неисправности немедленно обесточить электрооборудование. Продолжение работы возможно только после устранения неисправности.
- При обнаружении оборвавшегося провода необходимо немедленно принять меры по исключению контакта с ним людей. Прикосновение к проводу опасно для жизни.
- Во всех случаях поражения человека электрическим током немедленно вызывают врача.
- До прибытия врача нужно, не теряя времени, приступить к оказанию первой помощи пострадавшему.

- После окончания работы необходимо обесточить все средства вычислительной техники и периферийное оборудование.
- В случае непрерывного производственного процесса необходимо оставить включенными только необходимое оборудование.

4.3 Экологическая безопасность

4.3.1 Утилизация картриджей

Сам картридж относится к III и IV классам опасности и является опасным веществом.

Различными большими компаниями-производителями предлагается утилизация картриджей бесплатно. Оптовым покупателям предоставляется специальная тара для хранения отработанных изделий. При ее полном заполнении производится сбор и дальнейшая утилизация.

Отработанное оборудование также может сдаваться в специализированные сервисные центры, где выдается, при необходимости, соответствующая документация об утилизации.

4.3.2 Утилизация люминесцентных ламп

Люминесцентные лампы содержат ртуть, которая является веществом класса I.

Можно сдать перегоревшие люминесцентные лампы по месту жительства. Существуют специальные контейнеры, и можно отнести их в местную жилищно-коммунальную или местную энергораспределительную компанию. Там можно забрать их бесплатно. Они должны быть вывезены бесплатно. Основанием для приема ваших ламп в зоне уничтожения является постановление Правительства Российской Федерации "Об утверждении правил обращения с отходами производства и потребления". Основанием для их приема является постановление Правительства Российской Федерации "Об утверждении правил утилизации отходов производства и потребления, относящихся к осветительным приборам" от 3 сентября 2010 г. N 681.

4.3.3 Утилизация макулатуры

Утилизация макулатуры — это процесс переработки макулатуры с целью получения квалифицированных волокон для производства бумажной продукции.

Сегодня бумага составляет около 40% от общего объема твердых отходов. При этом макулатура оказывается в одном контейнере с другими отходами и неизбежно становится не перерабатываемой.

Утилизация и использование макулатуры способствуют охране окружающей среды, защите лесов и сохранению ресурсов. Макулатура может быть использована многократно.

Не перемешивать бумагу с остальным мусором. Сбирать в отдельный урну или контейнер, и сдать в пункт переработки макулатуры.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация — это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Производство по взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории Ан, Бн, Вн, Гн и Дн. Согласно НПБ 105–03 компьютерная аудитория 203 корпуса 16А относится к категории В3 – пожароопасное.

4.4.1 Анализ пожарной безопасности

Причины возникновения пожара неэлектрического характера: - халатное неосторожное обращение с огнем - оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня (в аудитории

203 корпуса 16А установлена климатическая установка с автоматической регулировкой температурного режима);

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Все оборудование, находящееся в аудитории 203 корпуса 16А заземлено.

Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- а) использование только исправного оборудования;
- б) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- в) отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;
- г) курение в строго отведенном месте;
- д) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов.

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 (рис.4.2).

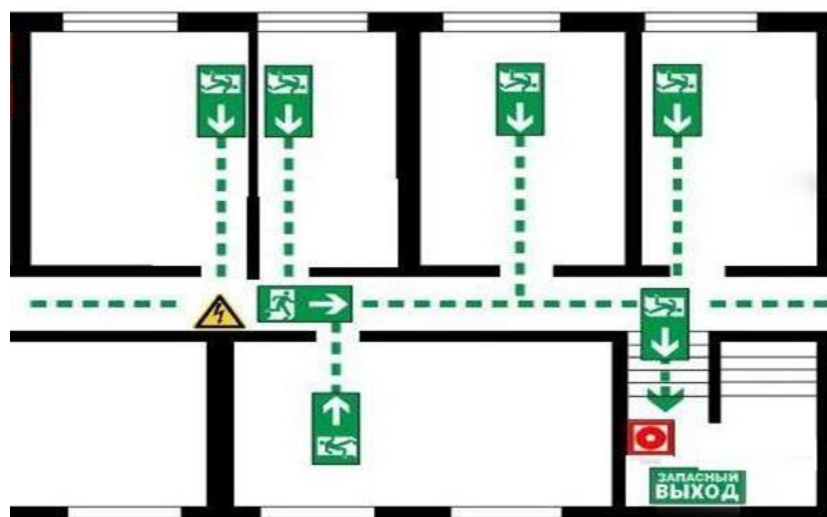


Рисунок 4.2. Пути эвакуации компьютерные классы 2 этаж, корпус 16А

Вывод по разделу

В данном разделе был произведен анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды, вредных веществ, производственного шума, освещенность помещения, пожарной безопасности, защита в ЧС, способы их уменьшения.

В разделе производственная безопасность были изучены вопросы безопасности, рассмотрены вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке. К таким вредным воздействиям на организм человека относятся: шум, вибрация, недостаток освещённости, электробезопасность. Значение всех производственных факторов на изучаемом рабочем месте соответствует нормам, которые также были продемонстрированы в данном разделе.

Категория помещения по электробезопасности, согласно ПУЭ, соответствует первому классу – «помещения без повышенной опасности».

Помещение, в котором производится исследование, что соответствует категории ВЗ. Освещение в помещении соответствует расчетным данным. Рассмотрены негативные факторы, влияющие на безопасность труда при проведении исследования, определены средства и мероприятия для обеспечения пожарной безопасности.

Производственные цеха корпуса 16А соответствует требованиям пожарной безопасности, корпус 16А оснащён эвакуационными выходами, огнетушителями и схемами эвакуации, электрическая сеть имеет линию заземления. Освещение в аудитории соответствует нормам СНиП 23-05-95.

В разделе экологическая безопасность рассмотрен характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду, указаны опасные и вредные производственные факторы, а также методы борьбы с ними. Для устранения бытовых отходов отдельные контейнеры,

предложен способ утилизации картриджей, люминесцентных ламп и макулатуры.

В подразделе безопасность в чрезвычайных ситуациях приведены возможные ЧС на рабочем месте, предусмотрены мероприятия по устойчивости работы.

Заключение

В результате проделанной работы разработана конструкция насадки, выполняющей функцию гайковерта для ручной машины. В ходе исследования определены эквивалентные напряжения в опасных сечениях вала-сепаратора при помощи САЕ системы ANSYS. Установлены зависимости распределения эквивалентных напряжений на каждой перемычке сепаратора в зависимости от номинального момента на рабочем органе. Подтверждена работоспособность расчетной модели изделия. Результаты проделанной работы опубликованы в материалах сборника трудов XV Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиностроения» в ноябре 2022г.

На следующем этапе работы необходимо детально проработать сборочный чертеж ручной машины с насадкой, выполняющей функцию гайковерта и рабочие чертежи деталей. Затем изготовить экспериментальный образец и провести стендовые и натурные испытания, подтверждающие работоспособность изделия. Опубликовать результаты работы в материалах конференций или тематических журналах.

Список литературы

1. Гинзбург Е. Г., Волновые зубчатые передачи [Текст]. - Ленинград: Машиностроение. [Ленингр. отд-ние], 1969. - 159 с.
2. Волновые зубчатые передачи [Текст] / Д-ра техн. наук Д. П. Волков, А. Ф. Крайнев, канд. техн. наук С. В. Бондаренко и др.]; Под ред. д-ра техн. наук Д.П. Волкова и д-ра техн. наук А.Ф. Крайнева. - Киев: Техника, 1976. - 221 с.: ил.; 22 см.
3. Волновые передачи и их применение в строительных и дорожных машинах [Текст] / Д-р техн. наук Д. П. Волков, канд. техн. наук А. Ф. Крайнев, канд. техн. наук А. И. Жидяев; М-во строит., дор. и коммун. машиностроения. Центр. науч.-исслед. ин-т информации и техн.-экон. исследований по строит., дор, и коммун. машиностроению. - Москва: [б. и.], 1970. - 67 с.: черт.; 21 см.
4. Иванов М. Н. Волновые зубчатые передачи: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высш. Школа, 1981. 184с.,
5. Янгулов В. С. Детали машин. Волновые и винтовые механизмы и передачи: учебное пособие для вузов / В. С. Янгулов. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 183 с. — (Высшее образование). - Текст: непосредственный.
6. Беляев А.Е. Механические передачи с промежуточными телами повышенной точности и долговечности. – Томск: ТПИ, 1986. – 60 с.
7. Панкратов Э. Н., Проектирование механических систем автоматизированных комплексов для механообрабатывающего производства: Практикум лидера-проектировщика. — Томск: Изд-во ТГУ, 1998. — 295 с.
8. Янгулов В. С. Геометрические и конструкторские соотношения в волновых передачах с промежуточными телами качения //Известия томского политехнического университета. –2008. Т.312. №2.
9. НПО «Сибирский Машиностроитель» [Электронный ресурс] /. — Электрон. журн. — Режим доступа: <https://www.nposibmach.ru/>, свободный

10. SIMACO - Сибирская машиностроительная компания [Электронный ресурс] /. — Электрон. журн. — Режим доступа: <https://smc.tomsk.ru/>, свободный
11. Пат. 52067 RU, МПК Е 21 В 3/02. Электробур с редуктором с промежуточными телами качения / В. С. Коротков; Томский политехнический университет (ТПУ). — № 2005124607/22; заявл. 02.08.05; опубл. 10.03.06.
12. Коротков В. С., Создание и исследование работоспособности ручной машины с волновой передачей: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.05.04 / Том. гос. архитектур.-строит. ун-т. - Томск, 2003. - 22 с.
13. Коротков В. С. Создание ручной машины с волновой передачей и исследование ее работоспособности. Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 5. – С.126-130.
14. Липин, А.А. Системы автоматизированного проектирования: учеб. пособие / А. А. Липин; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2018. – 108 с.
15. Шимкович, Д.М. Femap & Nastran. Инженерный анализ методом конечных элементов /Д.М. Шимкович. — Москва: ДМК Пресс, 2008. — 423с.
16. ANSYS Meshing User's Guide, ANSYS, Inc., 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317, November 2013.
17. Алямовский, А.А. Инженерный анализ методом конечных элементов /А.А. Алямовский. — Москва: Книга по требованию, 2007. — 5с.
18. Алямовский, А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи /А.А. Алямовский. — Москва: БХВ-Петербург, 2011. — 784с.
19. Аскон - Компас 3D [Электронный ресурс] /. — Электрон. журн. — Режим доступа: <https://kompas.ru/>, свободный
20. Гурин В.В. Детали машин и основы конструирования: Учеб. для вузов / В.В.Гурин, В.М.Замятин, А.М.Попов.— Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 427 с., ил.
21. Хохлов В. А. Сопротивление материалов: учебное пособие / В. А. Хохлов, К.Н. Цукублина, Н. А. Куприянов, Н. А. Логвинова;

Юргинский технологический институт. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011,-228 с.

22. Хайдарова А.А. Сборочно-сварочные приспособления. Этапы конструирования: учебное пособие / А. А. Хайдарова; Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013.— 132 с.
23. Смит Р.А., Андранович О.С., Демьянцева Е.Ю. Использование программного пакета Origin для обработки экспериментальных данных: учеб. пособие /ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2018.- 45 с.

Нормативные ссылки

1. ГОСТ 7798–70. Болты с шестигранной головкой класса точности В. Конструкция и размеры (с Изменениями N 2–6)
2. ГОСТ 1491–80. Винты с цилиндрической головкой классов точности А и В
3. ГОСТ 5915–70. Гайки шестигранные класса точности В. Конструкция и размеры (с Изменениями N 2–7)
4. ГОСТР 57977–2017. Сменные головки. Типы и основные размеры
5. ГОСТ 13942-86. Кольца пружинные упорные плоские наружные эксцентрические и канавки
6. ГОСТ 2893–2022. Подшипники качения. Канавки под установочные пружинные кольца. Кольца установочные пружинные. Размеры и допуски
7. ГОСТ 8338–75. Подшипники шариковые радиальные однорядные. Основные размеры
8. ГОСТ 22696—77. Подшипники качения. Ролики цилиндрические короткие
9. ГОСТ 1139–80. Соединения шлицевые прямобоочные размеры и допуски
10. ГОСТ 23360–78. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки
11. N 123-ФЗ от 22.07.2008 (ред. от 30.04.2021) Технический регламент о требованиях пожарной безопасности
12. ГОСТ 12.0.003–2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
13. ГОСТ 12.1.003–2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности
14. ГОСТ 12.1.005–88. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
15. ГОСТ 12.2.032–78 Рабочее место при выполнении работ сидя
16. ГОСТ 31192.1–2004 (ИСО 5349–12001) Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека

17. ГОСТ ИСО 12100-2-2002 Безопасность оборудования
18. ГОСТ Р 22.0.01–2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях
19. ГОСТ Р 53692–2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов».
20. СанПиН 2.2.4.1191-03 электромагнитные поля в производственных условиях
21. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение
22. Трудовой кодекс Российской Федерации

Приложение – Раздел на иностранном языке
(справочное)

Calculation of the stress-strain state of cage

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM11	Ван Чэнвэй		

Консультант отделения машиностроения ИШНПТ:

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

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гугарева Н. Ю.	к.п.н..		

1 Literature review on the research topic

Harmonic reducers are utilized in a variety of industries, ranging from low-power instrument drives to high-powered construction machinery drives, as well as in mechanisms and devices for various purposes. Currently, the two most common types of harmonic transmissions are the standard harmonic transmission and the harmonic transmission with intermediate rolling elements.

The advantages and disadvantages of the harmonic gear transmissions are described and analyzed in many works, also in these works recommendations on design and manufacturing of wave gears are given. Nevertheless, developments to improve the technical characteristics of this transmission are continuing in the field of improving the reliability of reducers.

A relatively new type of a harmonic reducer is the harmonic reducer with intermediate rolling elements. The main advantages of the transmission are reliability, compactness, high efficiency ratios and service life. Various researchers in many fields of engineering are interested in this type of reducers, and first of all it refers to aviation and space technology.

Since 1975, A. E. Belyaev at Tomsk Polytechnic University started to research and design a reducer with intermediate rolling elements. After him, V.S. Yangulov studied the strength characteristics of reducers with intermediate rolling elements for various applications.

Currently, many companies in Tomsk continue to develop the drives based on reducer with intermediate rolling elements: NPO "Sibirsky Mashinostroitel", LLC "Tomsk Transmission Systems" and LLC "Siberian Machine Building Company".

It should be noted that the selection and justification of harmonic gear transmission and harmonic transmission with intermediate rolling elements parameters for manual machines of various purposes was carried out by Korotkov V. S.

The stress-strain state of parts of various mechanisms and devices is determined, nowadays, by means of the automated CAE programs. The automation of strength calculations of machine parts using CAE system ANSYS was done by D.M. Shimkovich.

In addition, the CAE system Solidworks is quite well known. Solidworks includes an express strength analysis module designed primarily for design engineers who do not have deep knowledge in the theory of finite element analysis.

ANSYS can be run on most computers, from PCs to workstations to giant computers.

The ANSYS software can be used in conjunction with most CAD software for data exchange, such as the domestic Compass system.

2 Introduction

Tomsk Polytechnic University has developed a design of manual machine electric drill (Fig 1) based on collector motor with harmonic

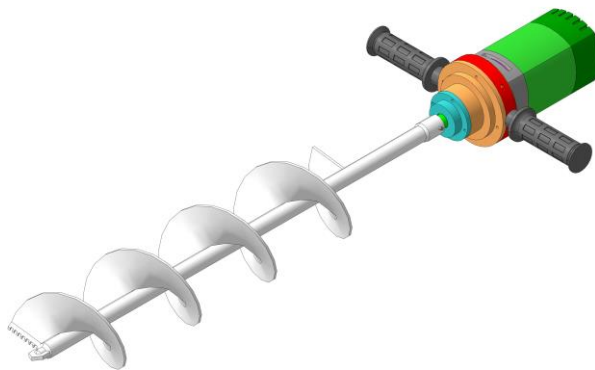


Fig 1 - 3D model of an existing electric drill.

transmission with intermediate rolling elements, which is designed for drilling boreholes in engineering surveys, drilling holes for fence posts, foundations for small buildings, etc. Such manual machine is in demand by small construction firms, farmers, individual entrepreneurs for small amount

of works. As a rule, small construction firms don't have enough money to purchase expensive professional tools, designed for performing strictly definite working functions (soil drilling, threading, nut-tightening, etc.), therefore, we suggest developing an additional attachment for existing electric drill, which allows using it as a high-torque nut wrench.

Such a technical solution would reduce the cost for users to perform this type of work in their professional activities.

3 General information on harmonic transmission with intermediate rolling elements

The fundamentals of harmonic transmission engaging theory were established in the 80's and have been used successfully for a long time, mainly in the space rocket and defence industry. The main advantages of the gear are

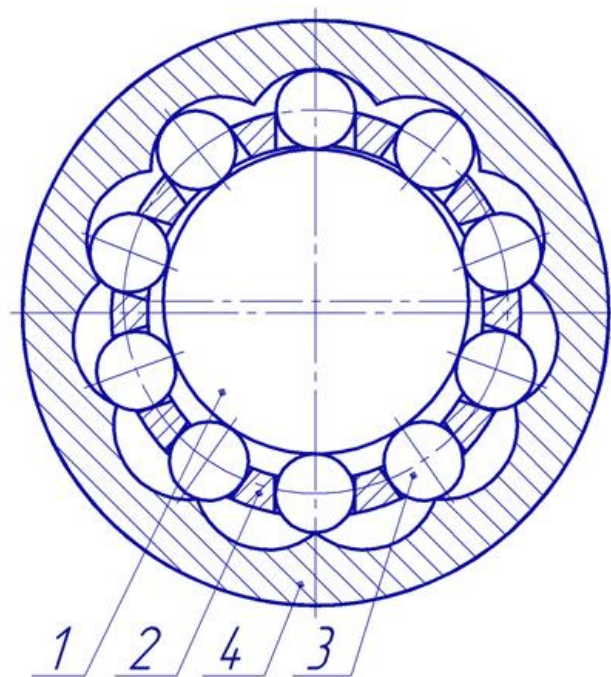


Fig 2 - The main elements of the harmonic transmission with intermediate rolling elements

reliability, compactness, high efficiency ratios and operating life, as well as simple and maintainable design. The main elements of the transmission are an eccentric wave generator 1, a cage 2, rolling elements 3 and a profiled ring gear with internal teeth 4.

The assembly process of the harmonic transmission with intermediate rolling elements consists of mounting the rolling bearing on the eccentric wave generator and then installing the cage, rolling elements and profile ring in series. As the eccentric shaft generator rotates, the bearing causes the rolling elements to move radially in the cage grooves, the rolling elements, in turn, refusing the inner profile of the gear ring, cause the cage to rotate. Each revolution of the eccentric shaft rotates the cage by an angle of 360 degrees, divided by the number of rolling elements, so that the transmission ratio of the mechanism equals the number of rolling elements.

4 Rationale for the use of the harmonic transmission with intermediate rolling elements in the nut wrench drive

Studies have shown that the vast majority of manually operated machines are designed and built around collector motors with a capacity of 180W to 2kW. The collector motor has a low specific weight and the speed of the armature of this motor is in the range 12000...18000 rpm. Therefore, in order to obtain high torque at the output shaft, it is necessary to increase the gear ratio by means of a multi-stage reducer or a reducer with a larger ratio in one stage. Some applications, e.g. tightening and unscrewing nuts, threading and tapping, drilling etc., require higher torque in combination with low speeds at the implement. The combination of a collector motor and harmonic transmission with intermediate rolling elements in the manual machine wrench drive allows you to obtain the specified characteristics at the working organ.

The advantages of the harmonic transmission with intermediate rolling elements:

1. Overall dimensions are 1.5-4 times smaller than their toothed counterparts;
2. Transmission ratio, and one stage from 11 to 50;
3. High service life;
4. Smooth and quiet operation;

5. Large overload reserves, high rigidity and resistance to shock loads.

The main advantage of harmonic transmission with intermediate rolling elements over its toothed counterparts is the multi-pairing of the gearing. For example, while in cylindrical involute gears the torque can be transmitted by a maximum of two teeth, the harmonic transmission provides load transfer by about 50 percent of all rolling elements, i.e. at a transmission ratio of 30, the load is transmitted by about 15 rolling elements, which is seven times the load capacity of a cylindrical and involute gear.

5 Types of drives for mechanized nut wrench

The nut wrench is designed for fast tightening and unscrewing nuts, bolts and other fasteners with threads in various products made of metal, wood or plastic. They are used both in household repairs and in stream production, when the important role is played by the speed of assembly, and the nut wrench significantly increases it. They are most widely used in the construction sector and also in industry, especially in mechanical

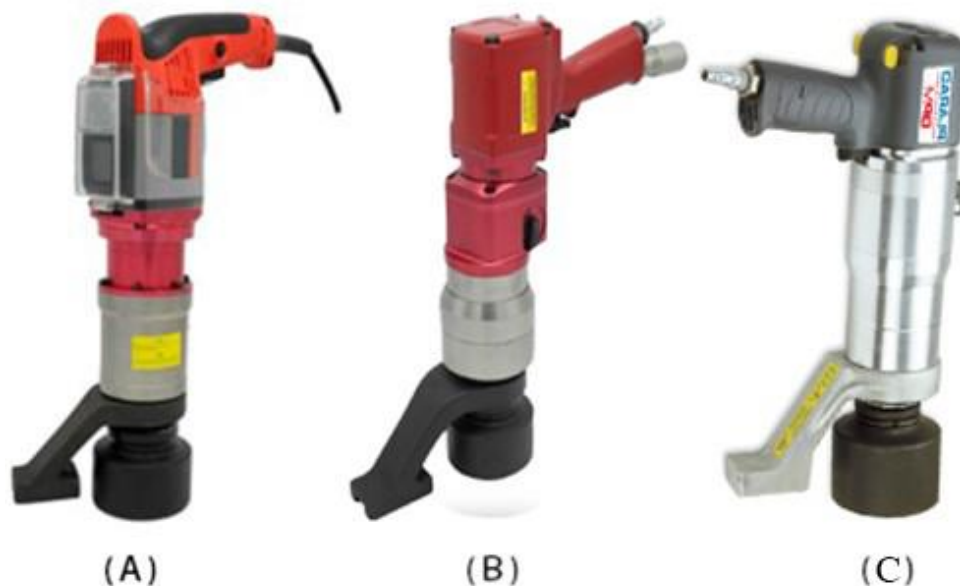


Fig 3 - Three types of nut wrench: A) Electric; B) Hydraulic; C) Pneumatic engineering.

The components of the nut wrench are the motor, reducer and the head. Nut wrenches are divided into three types depending on their power source:

electric, pneumatic and hydraulic. Direct current motors and collector motors are used in electric nut wrenches. The three types of nut wrench are shown in figure 1.2.

Electric nut wrenches are either mains or battery powered. In the former case, the tool will have more power and also allow you to work without interruption. Cordless models work autonomously and do not tie you to a single location. Electric nut wrenches are suitable for both domestic and commercial use.

Hydraulic nut wrenches develop enormous torque and unscrew complex fastenings. They work in mud and under water but require a powerful oil pump. They are used in the construction of bridges, power lines and other engineering structures.

Pneumatic nut wrenches are lighter and more powerful but need to be connected to a bulky and noisy compressor. They are more commonly used on assembly lines and in large car repair centres.

6 Harmonic transmission with intermediate rolling elements operating principle

The harmonic transmission with intermediate rolling elements in meshing is shown in the following figure 4.

The transmission consists of four main elements: input shaft with eccentric shaft 3, cage 2, rolling elements 4 and profile ring of rigid wheel 1. The eccentric shaft 3, rotating, causes radial movement of the rolling elements 4 in the grooves of the cage 2. The rolling elements come in contact with the running surfaces of the runner of the rigid wheel 1 (or cage 2) and cause it to rotate. Each complete revolution of the eccentric shaft rotates the ring (or cage) by one cam sector. Thus, the transmission ratio is determined by the number of rigid gear wheels of the girth gear. To increase dynamic balance and load capacity, the eccentric shaft is designed as a double eccentric shaft.

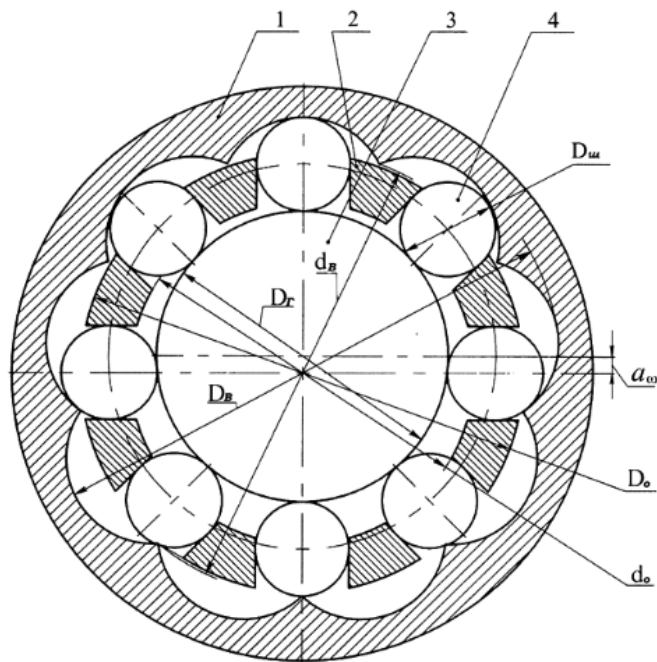


Fig 4 -Harmonic transmission with intermediate rolling elements

6 Justification of the harmonic transmission with intermediate rolling elements parameters in the nut wrench

Tomsk Polytechnic University has developed a design of a high torque wrench (Fig 5) based on a drive for a manual machine electric drill, 1.4 kW.

A two-stage harmonic transmission with intermediate rolling elements

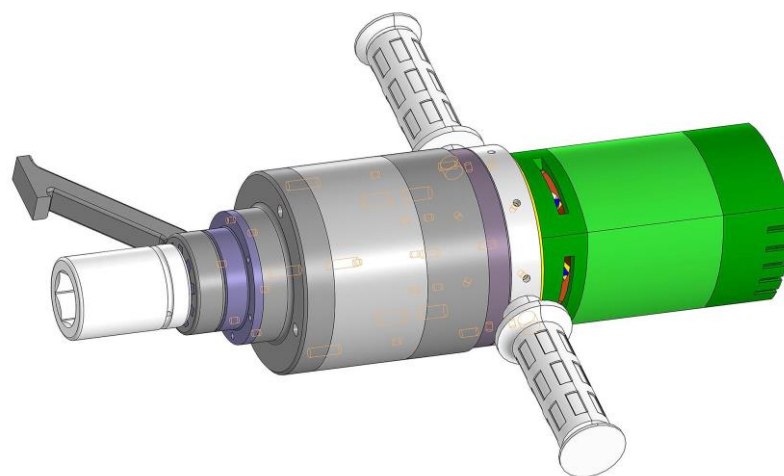


Fig 5 - High torque nut wrench

is used as a reducer in the manual machine design.

The use of a harmonic transmission with intermediate rolling elements in the second stage of the nut wrench ensures high torque at the operating element. This torque is sufficient for mounting bolted connections on small pipe flanges as well as for fastening various parts of prefabricated steel structures for various applications.

The main parameters of the harmonic transmission with intermediate rolling elements second stage gearbox of the present design:

Input shaft speed $n = 220 \dots 254 \text{ r/min};$

Torque on input shaft of harmonic transmission with intermediate rolling elements $M = 35 \text{ H} \cdot \text{m};$

Transmission ratio of harmonic transmission with intermediate rolling elements $U_2 = 35;$

Torque at the output shaft of the harmonic transmission with intermediate rolling elements $M = 800 \text{ H} \cdot \text{m};$

Speed of rotation on the output shaft of the pump shaft $n = 6,3 \dots 7,3 \text{ r/min};$

Value of gear efficiency $\eta = 0,8;$

Diameter of rolling element - roller $D_p = 4 \text{ mm};$

Diameter of eccentric disk $D_r = 78 \text{ mm}$

6.1 Determination of the geometric parameters of the harmonic transmission with intermediate rolling elements

To determine the basic geometrical parameters of the transmission, it is advisable to describe its operation using a replacement axial crank-slide mechanism (Fig.5). The role of the leading crank here is played by the eccentric generator.

The length of the leading crank is equal to the value of eccentric oscillator a_w , the function of imaginary crank is fulfilled by the straight piece R_Σ . Connecting the centres of the roller O_p and the generator O_p , which is

known to pass through the point of contact of the roller with the generator, then:

$$R_{\Sigma} = 0,5 \cdot (D_r + D_p)$$

Where: D_p - roll diameter;

D_r - generator eccentric disc diameter.

$$R_{\Sigma} = 0,5 \cdot (78 + 4) = 41 \text{ mm}$$

Because the grooves of the cage, which are the guides, are radial. The centre of the roller moves along the axis of the slot. Then:

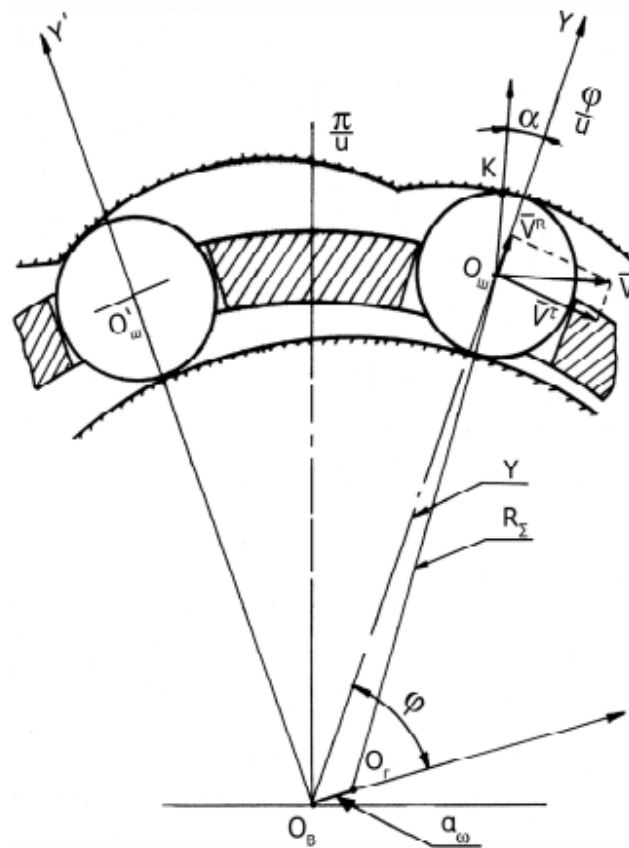


Fig 5 - Schematic diagram of the crank mechanism replacing the harmonic transmission with intermediate rolling elements.

$$Y = a_w \cdot \cos \varphi + \sqrt{R_{\Sigma}^2 - (a_w \sin \varphi)^2}$$

Where: Y - distance from centre of roller O_p to centre of profile ring O_B ;

φ - current input rotation angle;

a_w - eccentricity, for which a value of $0,25D_p = 1 \text{ mm}$ is recommended.

$$Y = \cos \varphi + \sqrt{1681 - (\sin \varphi)^2}$$

As the profile girth rotates U times slower than the generator when the cage is fixed, the

$$U = Z + 1$$

Where: Z - the number of intermediate rolling elements in one cage row, equals the transmission ratio.

$$U = 35 + 1 = 36$$

The transition is then made by rotating the coordinate system by an angle φ/U . In the new coordinate system, the centre of the roller O_p will describe the center profile. The tooth profile will be described by the point K on the ball. The segment $O_p K$ is perpendicular to the tangent to the tooth profile and the angle α is the angle of motion transfer to the profile.

Figure 6.1 shows that:

$$\tan \alpha = \frac{V_R}{V_T}$$

Where: V_R - the radial component of the velocity V of the centre of the roller;

V_T - the tangential component of the velocity V of the centre of the roller

V_R is determined by differentiating equation () by φ , taking into account that the time derivative of φ is the constant angular velocity ω of the input link rotation:

$$V_R = - \frac{a_w \cdot \sin \varphi}{\sqrt{R_\Sigma^2 - (a_w \sin \varphi)^2}}$$

Figure 1.3 shows that:

$$V_T = Y \cdot \frac{\omega}{U}$$

Then it follows from equations (5) that:

$$\tan \alpha = - \frac{U \cdot a_w \cdot \sin \varphi}{\sqrt{R_\Sigma^2 - (a_w \sin \varphi)^2}}$$

The parametric equations for the crown profile will be written as [3. page 75]:

$$X_n = Y \cdot \sin \frac{\varphi}{U} + 0.5D_p \cdot \sin \left(\alpha + \frac{\varphi}{U} \right)$$

$$Y_n = Y \cdot \cos \frac{\varphi}{U} + 0.5D_p \cdot \cos \alpha + \frac{\varphi}{U}$$

The outer diameter of the cage D_c and the inner diameter d_c are determined from the roller contact condition at the beginning and end of the engagement respectively:

$$D_c \leq 2 \cdot \sqrt{X_n^2(\varphi_x) + Y_n^2(\varphi_x)}$$

Similarly, the inside diameter d_c of the cage does not touch the girth protrusion:

$$d_c > D_r + 2 \cdot a_w$$

The diameter of the circumference of the troughs is equal:

$$D_B = D_r + 2 \cdot (a_w + D_p)$$

Make sure that the cage does not touch the girth protrusion:

$$d_B \geq D_c$$

Thus, the results can be obtained:

Cage outer diameter $D_c = 83.935578$ mm;

Cage inside diameter $d_c = 80.199997$ mm;

Diameter of crown crown hollows $D_B = 88.00$ mm;

Diameter of protrusions of profile ring $d_B = 84.135567$ mm;

6.2 Determining the diameter of the output end of the shaft

For the design calculation, the diameter of the shaft outlet end is determined using the following formula:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{T}{0.2 \cdot [\tau_k]}}$$

Where: T - shaft torque, Hm;

$[\tau_k]$ - torsional stress tolerance.

Diameter of the output end of the slow-speed shaft:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{800 \times 10^3}{0.2 \cdot 186}} = 30,1 \text{ mm}$$

Take: $d = 35$ mm

For connection to the head, the shape of the shaft end is square with a side dimension of 1".

7 Calculation of the stress-strain state of cage

Table 1.1 shows the technical specifications of the manual nut wrench.

Table 1 - Technical data of the static nut wrench

N_{mo}, kW	$n_{mo}, r/min$	U_1	U_2	$T_{wb}, N \cdot m$	$n_{wb}, r/min$
1,4	13000...15000	59	35	800	6,3...7,3

Annotation:

N_{mo} - power consumption of a two-phase collector motor; n_{mo} – rated frequency of the motor armature; U_1 – drive ratio of the first reducer stage; U_2 – drive ratio of the second reducer stage; T_{wb} – torque on the working body; n_{wb} – rotation speed of the working body.

The geometrical parameters of the harmonic transmission with intermediate rolling elements for the second stage are calculated according.

7.1 Calculation of the load applied to the cage

The total force acting on the separator will be equal:

$$F_{o6} = \frac{2T}{d}$$

Where: T – Torque on the output shaft;

d – Average cage diameter.

$$F_{o6} = \frac{2 \times 800}{82 \times 10^{-3}} = 19512 \text{ H}$$

There are 12 rollers involved in this harmonic transmission with intermediate rolling elements, 4 rows of slots on the cage. The force acting on one lintel of the cage will be:

$$F = \frac{F_{o6}}{12 \cdot 4}$$

Where: F_{o6} – Total force acting on the cage.

$$F = \frac{19512}{12 \cdot 4} = 406,5 \text{ H}$$

7.2 Calculation of the stress-strain state of the cage in ANSYS program

In ANSYS program the equivalent stresses and deformations in the crosspieces of a four-row cage of the second stage of the transmission mechanism are investigated.

To investigate the stress-strain state of the separator in CAE, we first build the 3D model in Compass, then convert the file format to STEP and open this file in ANSYS Workbench

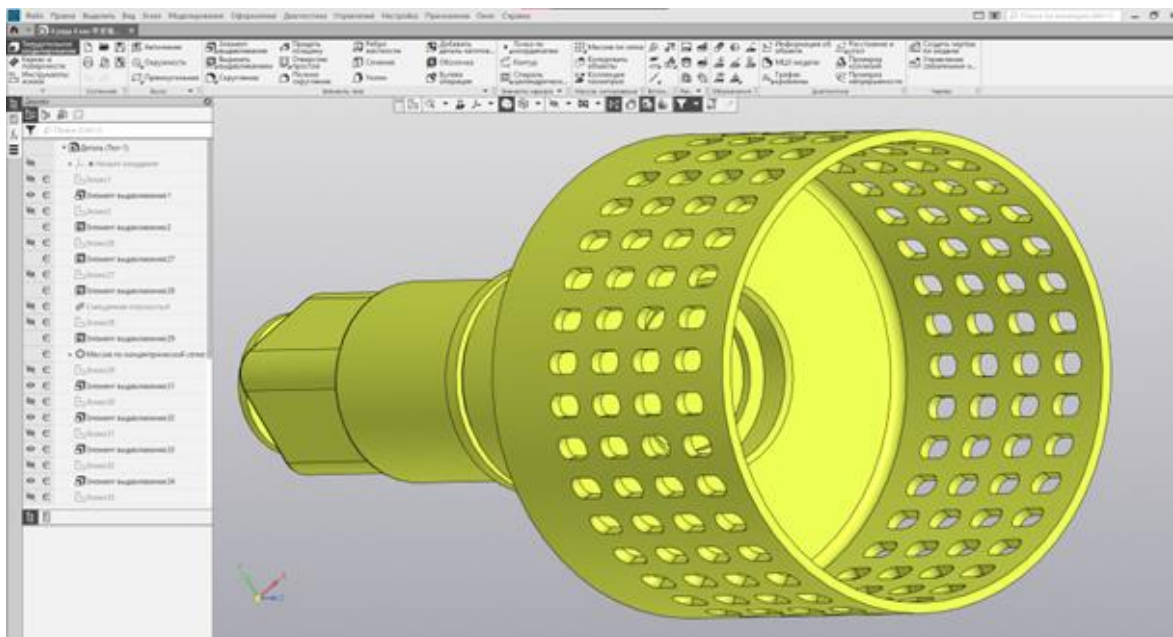


Fig 7 - 3D model of the cage in Compass.

Then define the material first. Import the materials by entering different properties of 40X steel.

Table 1.2 - Properties of steel 40X

Properties of steel 40X	
Density, kg/m^3	7850
Modulus of elasticity, MPa	214000
Shear modulus, MPa	85000
Brinell hardness, HB	217
Impact viscosity, J/cm^2	160

Tensile strength limit, MPa	1275
Yield strength, MPa	1079
Tensile endurance limit, MPa	510
Flexural endurance limit, MPa	637
Torsional endurance limit, MPa	373

Figure 1.4 shows that after the load is applied to the cage, the equivalent stress values are much higher in the thin-walled lintels than in the other parts of the shaft. The lintels of the cage separate the rolling elements from each other and are the most stressed parts of the part, so it is necessary to establish the distribution of the occurring stresses and strains in the lintels located both in the same and in different rows of the cage.

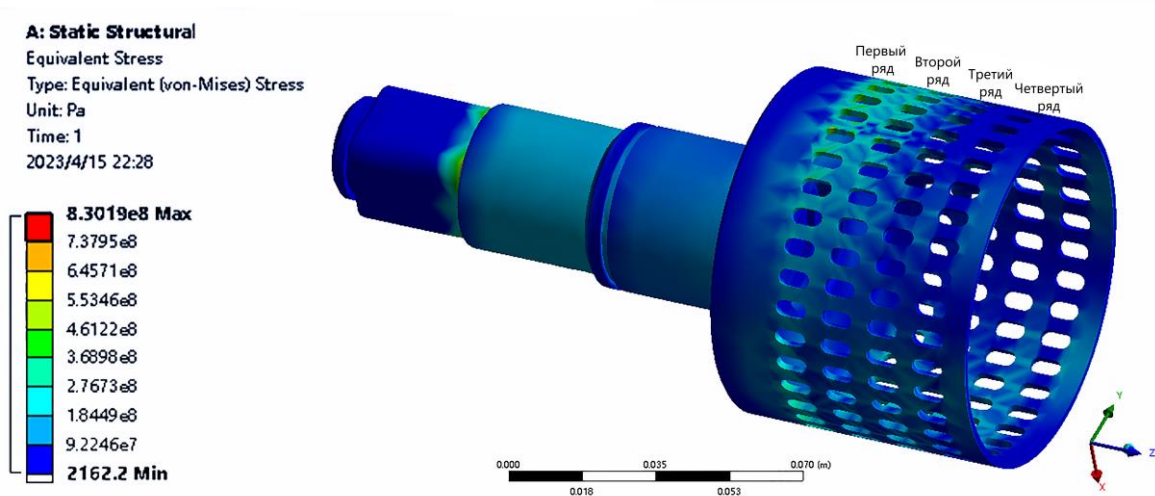


Fig 8 - Distribution of equivalent stresses between cage rows

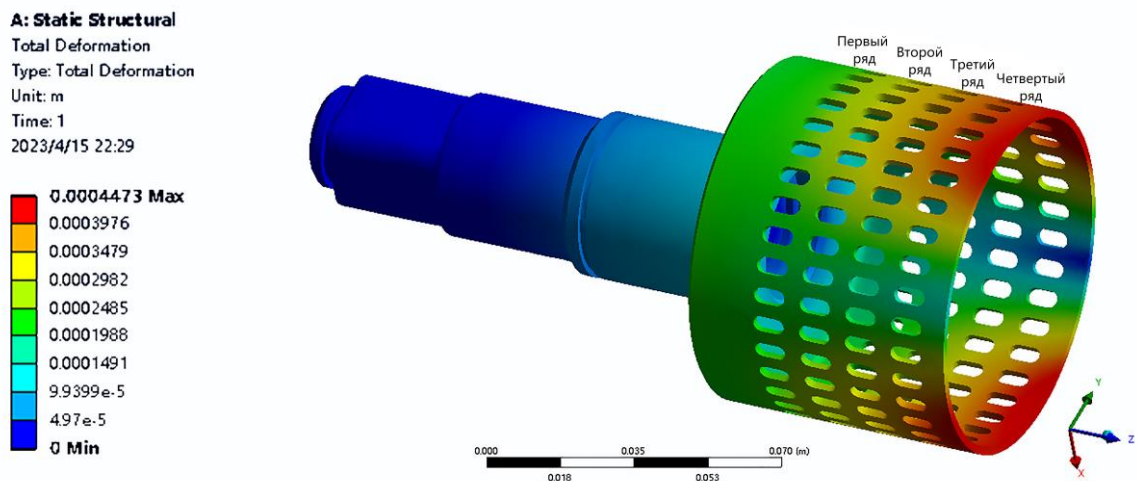


Fig 9 - Distribution of equivalent stresses between cage rows

Figure 1.5 shows that the greatest cage deformation of 0.447 mm occurs at the end of the cage. The deformation gradually decreases in the direction from the end of the cage to the first row of rolling element holes.

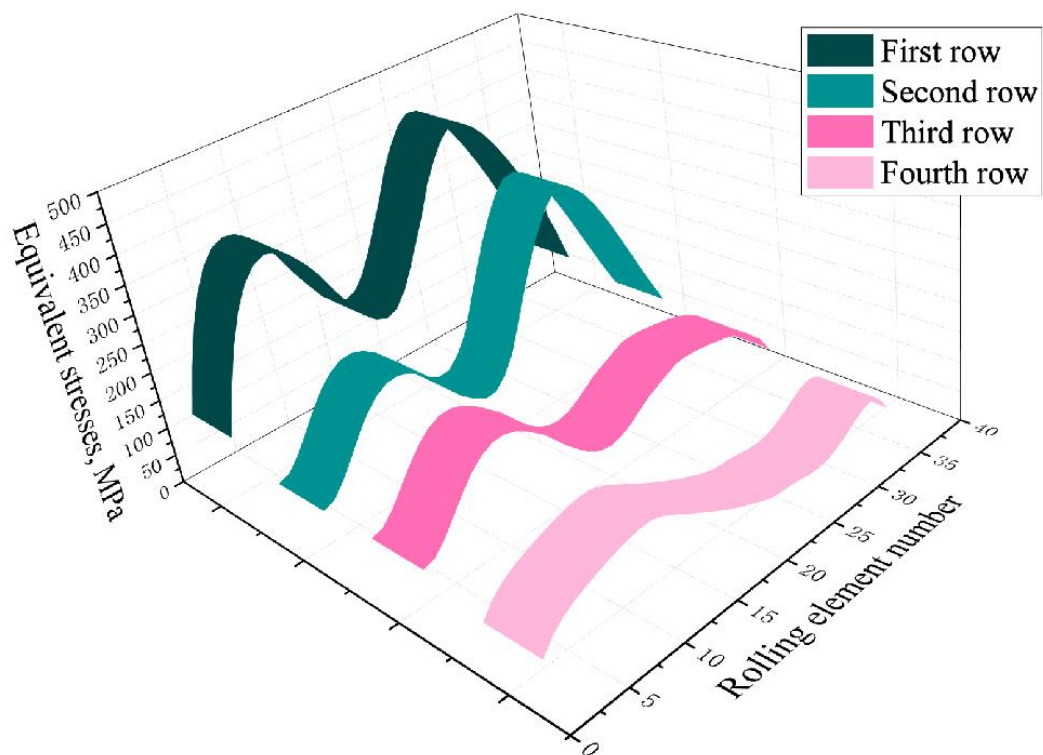


Fig 10 - Graphical relationship of the distribution of equivalent stresses on the cage lintels

The graphical relationship between the distribution of equivalent stresses and strain values in the cage lintels is shown in Fig. 1.6 and Fig. 1.7.

The graph in Fig. 1.6 shows that the first row of cage lintels is the most heavily loaded, with the second, third and fourth rows showing successively lower equivalent stresses. It should be added that the cage lintels are not loaded evenly in each row either. The maximum value of the equivalent stress reaches 450 MPa.

The graph in Figure 1.7 shows that the fourth row of lintels deforms to the maximum. Figure 1.7 shows that the fourth row of lintels deforms to the maximum, while in the third, second and first rows the deformation values gradually decrease, i.e. the amount of deformation gradually decreases in the direction from the fourth row to the first row. In each row, the lintels also deform unevenly.

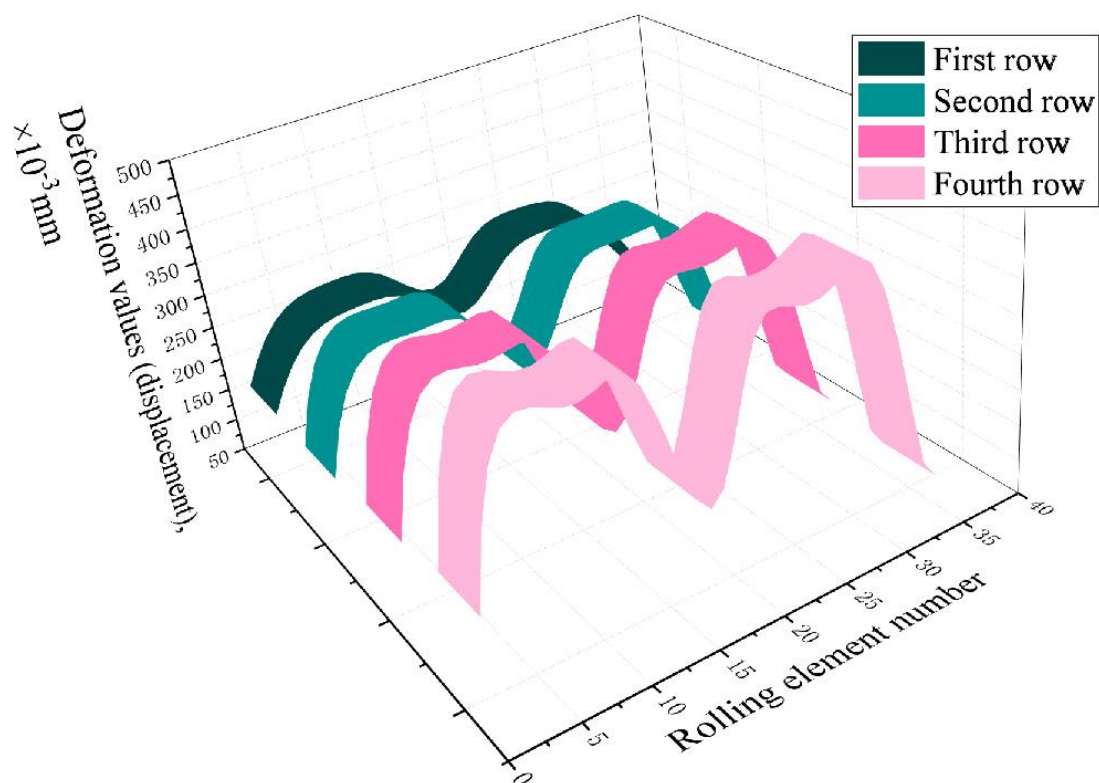


Fig 11 - Graphical relationship of deformation value distribution on cage lintels

The value of the allowable stress is determined by the formula:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n}$$

Where: $[\sigma]$ - allowable stress; σ_T - yield strength for steel 40Kh; n - safety factor (2...2,3).

$$[\sigma] = \frac{1078}{2,3} = 468 \text{ MPa}$$

Thus, it can be concluded that the use of a harmonic transmission with intermediate rolling elements with a four-row arrangement of the rolling elements in the cage in the second stage of the transmission mechanism will ensure the performance of the reducer in the manual machine nut wrench drive.

Conclusions

In the course of the work it has been established:

1. The harmonic transmission with intermediate rolling elements with $U_2 = 35$ can be used in the second stage of the reducer drive PM of an impact wrench.
2. The maximum permissible torque on the flexible wheel must not exceed 800 Nm.
3. The highest stresses in the part occur at the cage of the transition of the cylindrical surface of the shaft to the square cross-section.
4. Equivalent stresses in the different areas of the lintels range from 37 to 456 MPa.
5. The maximum strain value is 0.447 mm, which is located at the end of the fourth row of the cage.

References:

1. Korotkov V. S. Creation of manual machine with harmonic transmission and study of its performance. Proceedings of Tomsk Polytechnic University. 2005. T. 308. № 5. - C.126-130.
2. Pat. 52067 RU, MPC E 21 B 3/02. Electric drill with a reducer with intermediate rolling elements / V.S. Korotkov; Tomsk Polytechnic University (TPU). - № 2005124607/22; application form. 02.08.05; publ. 10.03.06.
3. Korotkov V. S. Selection and justification of parameters of multifunctional manual machine / V. S. Korotkov, Wang Chengwei // Modern Problems of Mechanical Engineering: Proceedings of XV International Scientific and Technical Conference, Tomsk, 22-25 November 2022 - Tomsk : Tomsk Polytechnic University, 2022. - [C. 132-133].
4. ANSYS Meshing User's Guide, ANSYS, Inc., 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317, November 2013.
5. Shimkovich, D.M. Femap & Nastran. Engineering analysis by finite element method / D.M. Shimkovich. - Moscow: DMK Press, 2008. - 423c.