

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

Школа ИШНПТ

Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) Материаловедение

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование напряженного состояния элементов редуктора с ПТК

УДК 621.83.06

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Куклин Михаил Олегович		10.06.2020

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротков В.С.	К.Т.Н.		10.06.2020

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу на иностранном языке

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Кобзева Н.А.	к.п.н.		08.06.2020

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		04.06.2020

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Сечин А.И.	Д.Т.Н.		06.06.2020

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01	Арляпов А.Ю.	К.Т.Н.		

Томск – 2020 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 15.04.01
«Автоматизация технологических процессов и производств
в машиностроении»

Код	Результат обучения
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин.
P2	Способность выполнять и обосновывать инженерные проекты для создания сложных конкурентоспособных изделий машиностроения и технологий их производства, в том числе с использованием современных CAD/CAM/CAE продуктов.
P3	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения.
P4	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники.
P5	Готовность обеспечивать прогрессивную эксплуатацию оборудования и других средств технологического оснащения автоматизированного производства изделий машиностроения, осваивать и совершенствовать технологические процессы изготовления новых конкурентоспособных изделий, обеспечивать их технологичность.
P6	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента в качестве предприятия.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Готовность следовать кодексу профессиональной этики и социальным нормам ведения инженерной деятельности.
P8	Готовность к непрерывному самосовершенствованию в инженерной педагогической и исследовательской деятельности и способность критически переосмысливать накопленный опыт.
P9	Способность организовывать и эффективно управлять работой коллектива, состоящего из специалистов различных направлений и квалификаций, а также готовность нести ответственность за результаты выполненной работы
P10	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной среде, презентовать и защищать результаты инженерной и исследовательской деятельности, в том числе и на иностранном языке

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Школа ИШНПТ

Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) Материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель: ООП 15.04.01

_____ Арляпов А.Ю.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

В форме: **на выполнение выпускной квалификационной работы**

Магистерской диссертации

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

Группа	ФИО
4АМ82	Куклину Михаилу Олеговичу

Тема работы:

Исследование напряженного состояния элементов редуктора с ПТК

Утверждена приказом директора (дата, номер)

59-118/С от 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:

10.06.2020

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.).

- привод ручной машины электробур на базе коллекторного двигателя мощностью 1,5 кВт с волновой передачей с промежуточными телами качения имеющей передаточное число 59;
- режим работы: периодический.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определение нагрузок в деталях редуктора; 2. Определение критических нагрузок в редукторе; 3. Инженерный расчет элементов редуктора; 4. Определение опасных сечений в элементах редуктора;
--	--

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>– Демонстрационный материал (презентация) - 24 слайда PowerPoint</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Исследовательский	Коротков В.С.
Конструкторский	Коротков В.С.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Т.Б.
Социальная ответственность	Сечин А.И.
Исследовательский (на английском языке)	Кобзева Н.А.

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

<p>1.5 Порядок расчета напряжений в CAE-системах 1.5 Calculation orders in CAE systems</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>1.10.2018</p>
--	------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротков Владимир Сергеевич	к.т.н.		1.10.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Куклин Михаил Олегович		1.10.2018

Список принятых сокращений

PM – ручная машина;

ПТК – промежуточные тела качения;

CAE – Computer-aided engineering;

САПР – система автоматизированного проектирования;

SW – SolidWorks;

IT – information technology;

ПО – программное обеспечение;

НР – научный руководитель;

И – инженер;

ПДУ – предельно допустимый уровень;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

КЭ – конечные элементы;

МКЭ – метод конечных элементов;

ЧС – чрезвычайная ситуация.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа имеет объем 118 с., включает в себя 65 рисунков, 25 формул, 29 таблиц, 20 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: допускаемое напряжение, запас прочности, критическое сечение, приложенная нагрузка, САЕ-система, редуктор с промежуточными телами качения, ручная машина электробур.

Объектом исследования являются внутренние напряжения в деталях редуктора с ПТК ручной машины электробур.

Целью работы является исследование напряженного состояния деталей редуктора с промежуточными телами качения с использованием САПР.

Исследование напряженного состояния элементов редуктора проводилось с использованием метода конечных элементов в САЕ-системах ANSYS и SolidWorks.

Новизна результатов исследования заключается в определении опасных сечений в различных элементах редуктора с ПТК и получении картины распределения напряжений внутри этих сечений. Проведенные исследования показывают, что полученные коэффициенты запаса прочности в опасных сечениях деталей редуктора с ПТК обеспечат безаварийную работу привода ручной машины электробур в период эксплуатации.

Алгоритмы расчета напряжений в различных сечениях элементов редуктора могут использоваться для анализа и определения напряженного состояния деталей привода ручной машины электробур с другими параметрами или при проектировании новых типоразмеров таких устройств. Использование разработанных алгоритмов расчета напряжений сократит время, затрачиваемое на проектирование новой техники.

Результаты работы используются в ООО «Сибирская машиностроительная компания» г. Томск при создании приводов на базе редукторов с промежуточными телами качения.

Оглавление

Введение.....	9
1. Исследовательская часть	
1.1 Обзор литературы по теме исследования.....	10
1.2 Объект и методы исследования.....	12
1.3 Анализ CAE-систем.....	13
1.4 Методы расчета в CAE-системах.....	15
1.5 Порядок расчета напряжений в CAE-системах ANSYS и SW Simulation.....	17
1.6 Расчет элементов редуктора в CAE-системах	
1.6.1 Расчет напряжений на выходном валу	25
1.6.2 Расчет напряжений в ролике.....	37
1.6.3 Расчет напряжений в сепараторе.....	34
1.6.4 Расчет напряжений в венце.....	39
Выводы по разделу.....	45
2. Конструкторская часть	
2.1 Инженерный расчет элементов редуктора	46
2.2 Рекомендации по проектированию и изготовлению некоторых деталей	
2.2.1 Анализ возможности облегчения вала-сепаратора с сохранением запаса прочности в CAE ANSYS.....	51
2.2.2 Возможность изготовления детали вал-сепаратор из двух частей.....	61
2.2.3 Использование смазочных материалов.....	62
Выводы по разделу.....	63
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
3.1 Общие сведения о научно-техническом исследовании.....	65
3.2 Сегментирование рынка.....	65

3.3 Анализ конкурентных решений	66
3.4. Анализ рисков.....	67
3.5 SWOT-анализ.....	68
3.6 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	70
3.7 Планирование научно-исследовательских работ.....	71
3.8 Определение трудоемкости выполнения работ.....	72
3.9 Основная заработная плата исполнителей.....	78
3.10 Накладные расходы.....	82
3.11 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования....	83
Выводы по разделу.....	85
4. Социальная ответственность	
4.1 Описание рабочего места.....	88
4.2 Анализ условий труда на рабочем месте.....	89
4.3 Анализ выявленных опасных факторов производственной среды.....	95
4.4 Факторы пожарной и взрывной природы.....	97
4.5 Охрана окружающей среды.....	99
4.6 Защита в чрезвычайных ситуациях.....	100
4.7 Правовые нормы.....	101
4.8 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	101
Выводы по разделу.....	103
Заключение.....	104
Список литературы.....	105
Приложение А.....	110

Введение

Объект исследования - редуктор с промежуточными телами качения используемый в приводе ручной машины электробур.

Предмет исследования - напряженное состояние деталей редуктора.

Актуальность. В настоящее время широкое распространение для инженерных расчетов получили автоматизированные САЕ-системы. С их помощью можно производить расчеты напряженного состояния деталей машин с высокой производительностью и достоверностью. Передовые позиции на рынке IT технологий занимают такие программы как ANSYS Mechanic, SolidWorks Simulation, Компас 3D APM WinMachine и др.

Цель. Исследовать напряженное состояние деталей редуктора с промежуточными телами качения с использованием САПР.

Задачи:

1. Выбрать современную САПР для расчета напряжений в элементах редуктора.
2. Произвести расчет напряженного состояния деталей редуктора при номинальной и критической нагрузке.
3. Сравнить результаты расчетов в САПР с результатами, полученными традиционными инженерными методами расчета.

Научная новизна заключается в определении напряженного состояния элементов деталей редуктора с ПТК при различных режимах нагружения и прогнозирование работоспособности механизма с заданными характеристиками.

Практическая применимость. Современные САЕ системы широко используются в проектных организациях в России и за рубежом. Для их использования требуются компьютеры средней мощности. Алгоритмы расчетов, описанные в работе, могут быть легко воспроизведены и модернизированы для различных вариантов конструкций редукторов с ПТК.

1 Исследовательская часть

1.1 Обзор литературы по теме исследования

Редукторы находят широкое применение в различных отраслях экономики, их используют в маломощных приводах приборов и в мощных приводах строительной техники, а также в различных по назначению механизмах и устройствах. Достоинства и недостатки зубчатых передач описаны и проанализированы во многих работах [1,2,3]. Тем не менее, разработки в этом направлении продолжают до сих пор в области обеспечения улучшения параметров передач [4].

Одним из сравнительно новых видов редукторов является редуктор с промежуточными телами качения. К достоинствам передачи, в первую очередь можно отнести большое передаточное отношение в одной ступени, при небольших массо-габаритных характеристиках устройства. Этот факт привлек интерес исследователей к данному типу редукторов во многих областях техники, прежде всего авиационной и космической [3,4].

В России с различной интенсивностью проводились и ведутся работы по разработке работоспособных конструкций волновых передач с промежуточными телами качения. Уровень разработок редукторов с ПТК доведён до стандартных инженерных расчетов [4].

В России работы над исследованием и проектированием редукторов с ПТК начали вестись с 1975г. в Томском политехническом университете сотрудниками А.Е. Беляевым и Э.Б. Гиндиным. В настоящее время в г. Томске ряд организаций продолжает исследование по разработке приводов на базе редукторов с промежуточными телами качения: НПО «Сибирский Машиностроитель», ООО «Томские трансмиссионные системы» и ООО «Сибирская машиностроительная компания» [5,6].

Исследованием прочностных характеристик редукторов с ПТК занимались А.Е. Беляев и В.С. Янгулов в Томском политехническом университете [3].

Следует отметить, что существующие российские разработки по приводам с ПТК не захватывают область ручных машин, в связи с чем рассматривается разработка отечественной ручной машины электробур, созданная на базе коллекторного двигателя и волнового редуктора с промежуточными телами качения. [7]

В настоящее время для расчета напряжений в узлах и сложных сборках используются CAE-системы, которые позволяют рассчитывать и анализировать работоспособность отдельных элементов, а так же конструкции в целом ещё на этапе её проектирования. Обычно данные модули непосредственно интегрированы в CAD-системы, такие как Компас 3D, SolidWorks, либо наоборот имеют в своей системе CAD-модуль – такие как ANSYS [8].

ANSYS — универсальная программная система конечно-элементного анализа, существующая и развивающаяся на протяжении последних 30 лет – является довольно популярной у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчётов (САПР, или CAE) и конечно-элементные решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей. Моделирование и анализ в некоторых областях промышленности позволяет избежать дорогостоящих и длительных циклов разработки типа «проектирование — изготовление — испытания». Система работает на основе геометрического ядра Parasolid [9].

SolidWorks был представлен в 1995 году на выставке National Design Engineering Show в Чикаго. Продукт SolidWorks позволял создать расчетную модель МКЭ из геометрической модели SolidWorks, приложить нагрузки и граничные условия, произвести расчет и увидеть его результаты. Смысл этой

разработки заключался в том, чтобы дать инженеру возможность производить расчеты самому, нежели обращаться в специальный отдел, использующий сложное ПО метода конечных элементов, такое как ANSYS, работающее на мейнфреймах.

В актуальную версию SolidWorks входит модуль экспресс-анализа прочности, предназначенный в первую очередь для инженеров-проектировщиков, не обладающих глубокими познаниями в теории конечно-элементного анализа. Тем не менее, данная система позволяет проектировщику определить, где расположены концентраторы напряжений, оценить «перетяжеленные» элементы конструкции, из которых может быть удален избыточный материал с целью снижения веса и соответственно стоимости будущего изделия [10].

1.2 Объект и методы исследования

Объектом исследования является нагруженное состояние элементов привода ручной машины электробур. К теоретическим методам, использованным в данной работе, относятся: анализ материалов и формализация. В результате исследования проанализированы: методы работы с САЕ-системами для исследования внутренних напряжений в больших сборках, опасные сечения некоторых деталей редуктора, запас прочности деталей с большими напряжениями при критической нагрузке. САЕ-системы при расчете используют метод конечных элементов, основанный на делении тела на полигоны и индивидуальный расчет каждого из них, а так же их граничных условий. Для анализа расчетов используется теория эквивалентных напряжений Мизеса – одна из пяти теорий, в которой учитываются все три главных напряжения [11].

В качестве метода оценки полученных результатов был применен метод сравнения полученных данных. Произведено сравнение результатов полученных в САЕ-системах с инженерными расчетами, а так же результатов исследований в двух различных САЕ-системах между собой.

1.3 Анализ CAE-систем

CAE-системы — это разнообразные программные решения, позволяющие при помощи метода конечных элементов рассчитать, как поведёт себя компьютерная 3D модель в реальных условиях эксплуатации. Оценить работоспособность изделия, ещё на этапе его разработки.

В России разработками модулей расчета и моделирования напряжений одними из первых фирм занимались такие крупные фирмы как: ООО Лира сервис и ООО НТЦ "АПМ". ООО «Ли́ра сервис» выпустили модуль расчета нагрузок в модуле «ЭСПРИ 2.1» в 2009 году. ООО НТЦ «АПМ» в 2004 выпустили версию APM WinMachine 8.3, которая позволяла выполнять расчет и моделирование деформации и разрушения при приложении различных видов нагрузок к деталям. В 2015 году комплекс прочностного анализа APM-FEM был интегрирован в САД-систему Компас 3D, позволяющий проводить комплексный прочностный анализ в интерфейсе Компас 3D [11].

Современные САПР, позволяющие моделировать, рассчитывать и исследовать напряжения и разрушения представляют собой основную программу, которая может быть использована для создания модели (сборки) и дополнительные модули, которые производят расчет напряжений и деформаций. Наиболее популярными являются такие программы как: SolidWorks, КОМПАС 3D (с интегрированной системой APM FEM с 2015 года), APM Winmachine, ANSYS [12,13].

ANSYS — универсальная САПР для анализа, существующая и развивающаяся на протяжении последних 30 лет, является довольно популярной у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчётов (САПР, или CAE) и КЭ решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа,

теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей .

В настоящее время решения Ansys охватывают практически все сегменты инженерной отрасли: от тяжелого машиностроения, оборонной промышленности и аэрокосмической техники до микроэлектроники, медицины и симуляторов для тестирования ПО [14].

Моделирование и анализ в некоторых областях промышленности позволяет избежать дорогостоящих и длительных циклов разработки типа «проектирование — изготовление — испытания». Система работает на основе геометрического ядра Parasolid. Программная система САПР анализа ANSYS разрабатывается американской компанией Ansys inc. Разработка ANSYS началась в начале 70-х годов прошлого века. Первая реализация программы значительно отличалась от последних её версий и касалась только решения задач теплопередачи и прочности в линейной постановке. Как и большинство других программ того времени, она работала в пакетном режиме и лишь на супер-ЭВМ. В начале 70-х годов XX века в систему было внесено много изменений в связи с внедрением новой вычислительной технологии и реализацией запросов пользователей. Были добавлены нелинейности различной природы, появилась возможность использовать метод подконструкций, была расширена библиотека конечных элементов. Компания обратила внимание на появившиеся в то время персональные компьютеры и векторные графические терминалы. В течение нескольких лет эти новые аппаратные средства были освоены программными разработками компании.

В конце 70-х гг. существенным дополнением к системе ANSYS явился интерактивный режим работы. Это значительно упростило процедуры создания КЭ модели и оценку результатов (пре- и пост-процессорная обработка). Стало возможным использовать интерактивную графику для проверки геометрии модели, заданных свойств материала и граничных

условий перед началом счёта. Графическая информация могла быть сразу же выведена на экран для интерактивного контроля результатов решения.

Предлагаемые фирмой ANSYS Inc. средства численного моделирования и анализа совместимы с некоторыми другими пакетами, в частности система ANSYS сопрягается с CAD-системами NX, CATIA, Pro/ENGINEER, SolidEdge, SolidWorks, Autodesk Inventor и некоторыми другими [15].

SolidWorks – программа САПР разработчика “Dassault Systemes”. Первая версия SolidWorks была выпущена в 1995 году. SolidWorks 95 был твердотельным моделлером с историей построения и управляющими размерами, он создавал плоские чертежи прямо из модели. В настоящее время, данная программа является одним из самых популярных САПР. Программный комплекс SolidWorks включает базовые конфигурации SolidWorks Standard, SolidWorks Professional, SolidWorks Premium, а также различные прикладные модули:

Управление инженерными данными: SolidWorks Enterprise PDM

Инженерные расчеты: SolidWorks Simulation Professional, SolidWorks Simulation Premium, SolidWorks Flow Simulation

Электротехническое проектирование: SolidWorks Electrical

Разработка интерактивной документации: SolidWorks Composer

Механообработка, ЧПУ: CAMWorks

Верификация УП: CAMWorks Virtual Machine

Контроль качества: SolidWorks Inspection

Анализ технологичности: SolidWorks Plastics, DFM и пр.

Бесчертежные технологии: SolidWorks MBD [16].

1.4 Методы и порядок расчета напряжений в элементах конструкции редуктора с промежуточными телами качения

Расчет напряжений в элементах конструкции в CAE-системах производится по теории прочности Мизеса – эквивалентных (приведенных)

напряжений, которая основана на том, что напряженные состояния равноопасны в том случае, если у них совпадает величина удельной потенциальной энергии формоизменения. Данная теория прочности устанавливает критерий появления в конструкции необратимых деформаций, аналогично теории наибольших касательных напряжений Треска, но в отличие от теории Треска, в теории Мизеса учитываются все три главных напряжения, вместо двух. Для главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, формула Мизеса выражается как:

$$\sigma_{\text{vonMises}} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}} \quad (1),$$

Для расчета твердых тел, САЕ-системы используют метод конечных элементов. Метод конечных элементов – 3D модель, в которой ищется решение дифференциальных уравнений, разбивается на конечное количество элементов, в каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции. Вне своего элемента аппроксимирующая функция равна нулю. Значения функций на границах элементов являются решением задачи и заранее неизвестны. Коэффициенты аппроксимирующих функций обычно ищутся из условия равенства значения соседних функций на границах между элементами. Затем эти коэффициенты выражаются через значения функций в узлах элементов. Составляется система линейных алгебраических уравнений. Количество уравнений равно количеству неизвестных значений в узлах, на которых ищется решение исходной системы, прямо пропорционально количеству элементов [17,18].

Конечные элементы в САЕ-системах создаются так называемой «сеткой» модели. Исходя из заданных пользователем параметров формируется полигональная сетка с объемными геометрическими объектами заданной формы или размера. Расчет данной «сетки» производится на вершинах, сторонах и гранях составных элементов под нагрузкой, либо закреплением, с переносом краевых расчетов на последующие элементы [18].

1.5 Порядок расчета в CAE-системах

Расчет напряжений деталей в редукторе с промежуточными телами качения производится в CAE-системах ANSYS и Solid Works 2018 Premium SP4. Для получения картины напряжений в элементах редуктора необходимо создать 3D модель исследуемого элемента и выполнить следующие действия:

1. Загрузить 3D модель в Solid Works и выбрать модуль Simulation;
2. Создать новое исследование. Статическое исследование;
3. Выделить несколько опасных сечений на валу сепаратора;
4. Задать материал детали;
5. Задать точки закрепления;
6. Задать точки приложения нагрузки;
7. Создать сетку модели;
8. Произвести расчет напряжений.

Для расчета напряжений деталей редуктора в САПР, нам необходимо спроектировать 3D модель. Данная модель загружается в САПР с загруженными модулями расчета напряжений и прочности – для SolidWorks модуль Simulation. Создаём новое исследование – «Новое исследование Simulation». Для исследования нагрузок вала-сепаратора нам требуется «Статическое исследование Simulation» [18].

Из-за специфики работы программы SolidWorks Simulation, исследования моделей со сложной геометрией удобнее выполнять путем расчета участков отдельно друг от друга, путем разбиения детали на элементы.

Разбиваем вал-сепаратор на условные элементы для расчета – «вал», «часть вала с отверстием для шпинта» и «сепаратор».

Рассмотрим расчет элемента «вал» и задание параметров и нагрузок в SolidWorks Simulation.

На первом этапе необходимо задать тип материала детали в «дереве» свойств объекта, либо правой кнопкой на детали в левом блоке навигации (рис 1.1). Исследуемая деталь изготовлена из материала 40Х с азотированием поверхности, так как российских марок сталей в программе SolidWorks не представлено, то для данной детали выбран материал 42Cr4, который является немецким аналогом стали марки 40Х с азотированием, для ANSYS задаем параметры предел прочности – 780МПа, предел прочности – 920МПа, плотность – 7820кг/м³.

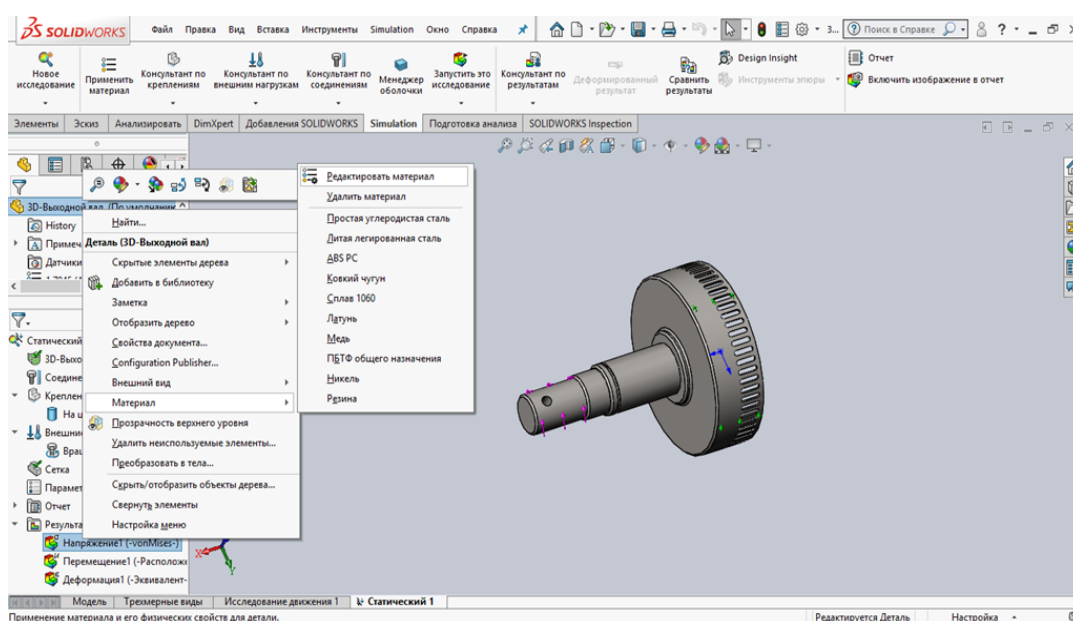


Рисунок 1.1 – Выбор материала для 3д модели детали

После выбора условного элемента для расчета – «вал», необходимо установить точки закрепления детали – условно они будут приниматься за «неизменяемую геометрию», т.к. деформации в данных плоскостях не влияют на расчеты напряжений в исследуемой части детали.

Затем в «консультанте по креплениям» необходимо выбрать пункт «фиксированная геометрия» и задать её на цилиндрическую поверхность сепаратора. Так как фиксированная геометрия будет задана к цилиндру, необходимо в свойствах закрепления выбрать пункт «применить к цилиндрической поверхности» с заданием нулевых смещений во всех направлениях (рис 1.2).

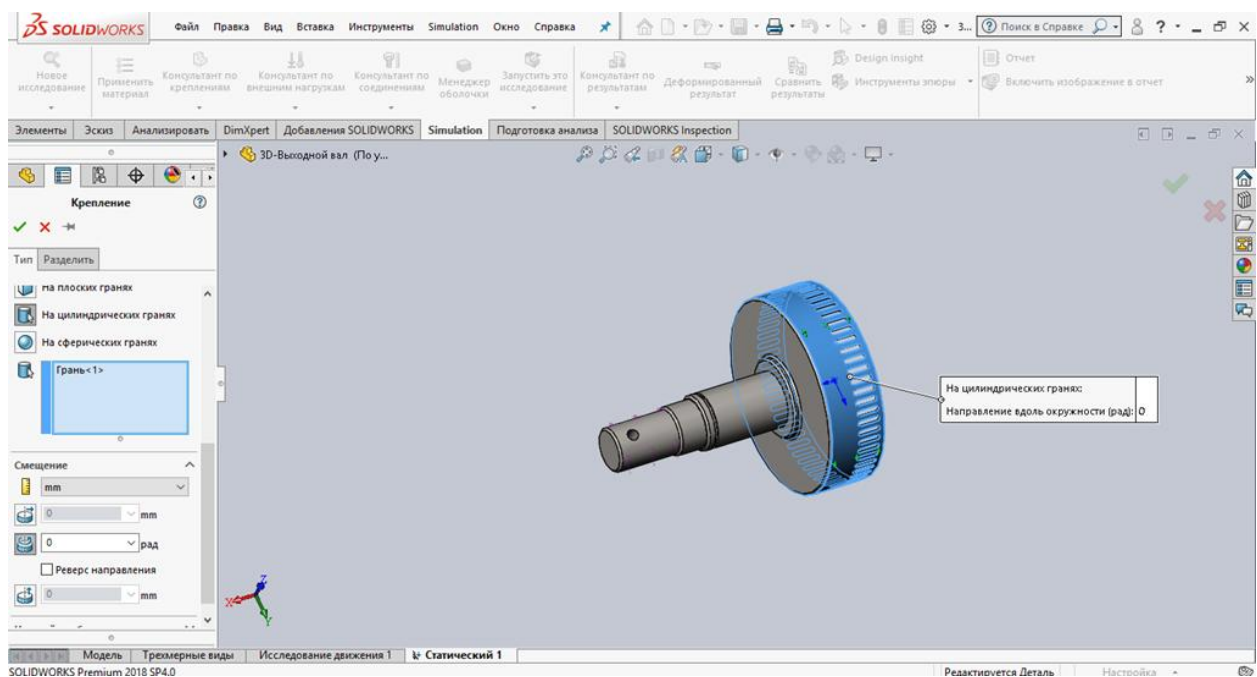


Рисунок 1.2 - Применение фиксированных точек крепления на цилиндрических поверхностях с нулевым смещением

На следующем этапе необходимо задать нагрузку для участка «вал», выбором опции «вращающий момент». Величину крутящего момента задаем $35\text{Н}\cdot\text{м}$.

Установка крутящего момента состоит из двух этапов (рис 1.3).

Первый этап: выбор грани или плоскости к которой будет приложен крутящий момент. Выбираем плоскость с отверстием для шплинта, так как к ней приложен вращающий момент.

Второй этап: выбор оси вращения. На этом этапе происходит выбор грани или плоскости относительно оси вращения, а так же устанавливается направление вращения. В данном случае направление вращения можно не учитывать.

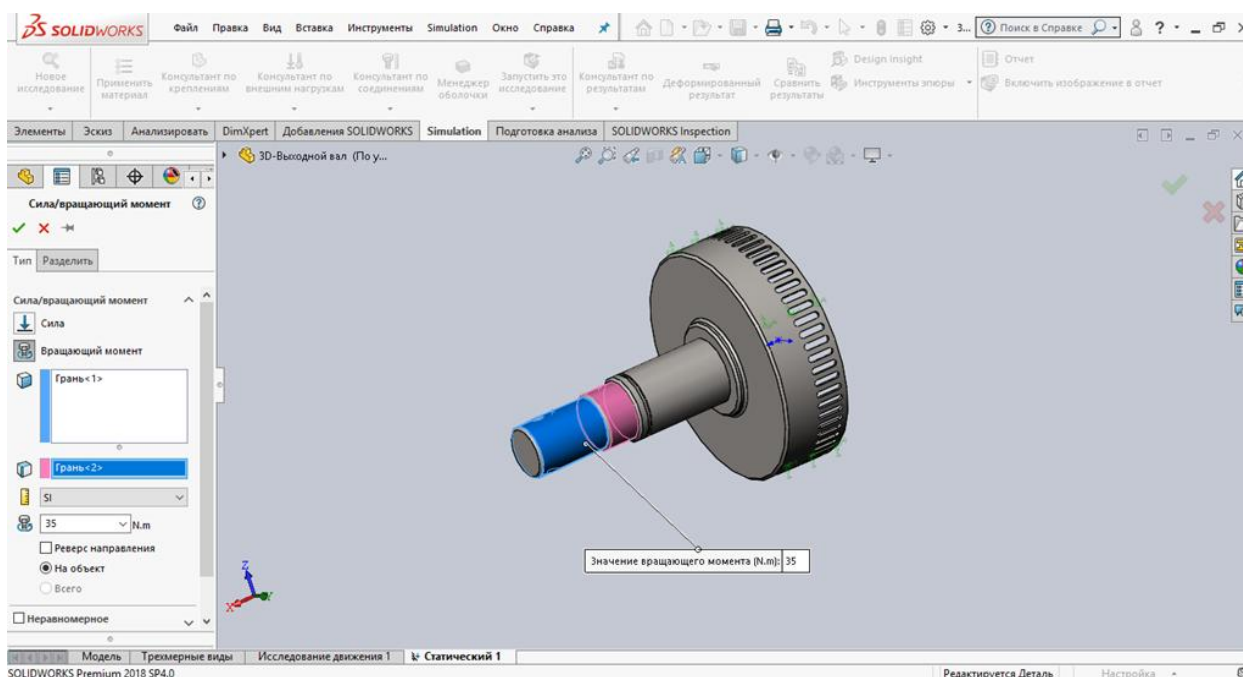


Рисунок 1.3 – Применение вращающего момента на участок вала с отверстием для шпинта

Далее необходимо построить «сетку» модели. В «дереве» модели выбираем параметр «сетка модели» (рис 1.4). Для исследования напряжений необходимо выбрать максимальные размеры треугольников и соотношение размеров максимальных и минимальных треугольников.

Для наших расчетов выбираем «грубую плотность сетки» с максимальным размером стороны треугольника 4.5мм и соотношением $a/b=1,5$. Так как уменьшение размера треугольников незначительно уточняет результаты, а скорость расчета кратно уменьшается, остальные расчеты будем проводить с «грубой плотностью сетки».

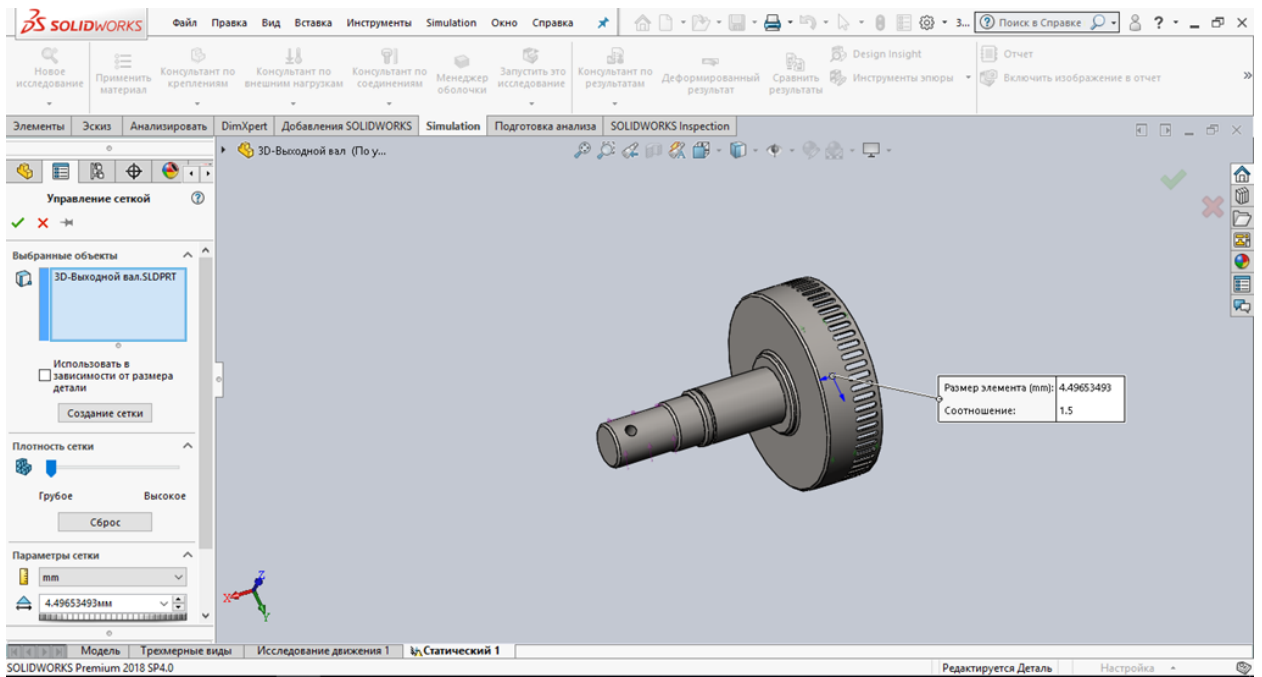


Рисунок 1.4 – Выбор параметра «сетка модели»

После выбора параметров сетки, необходимо её рассчитать.

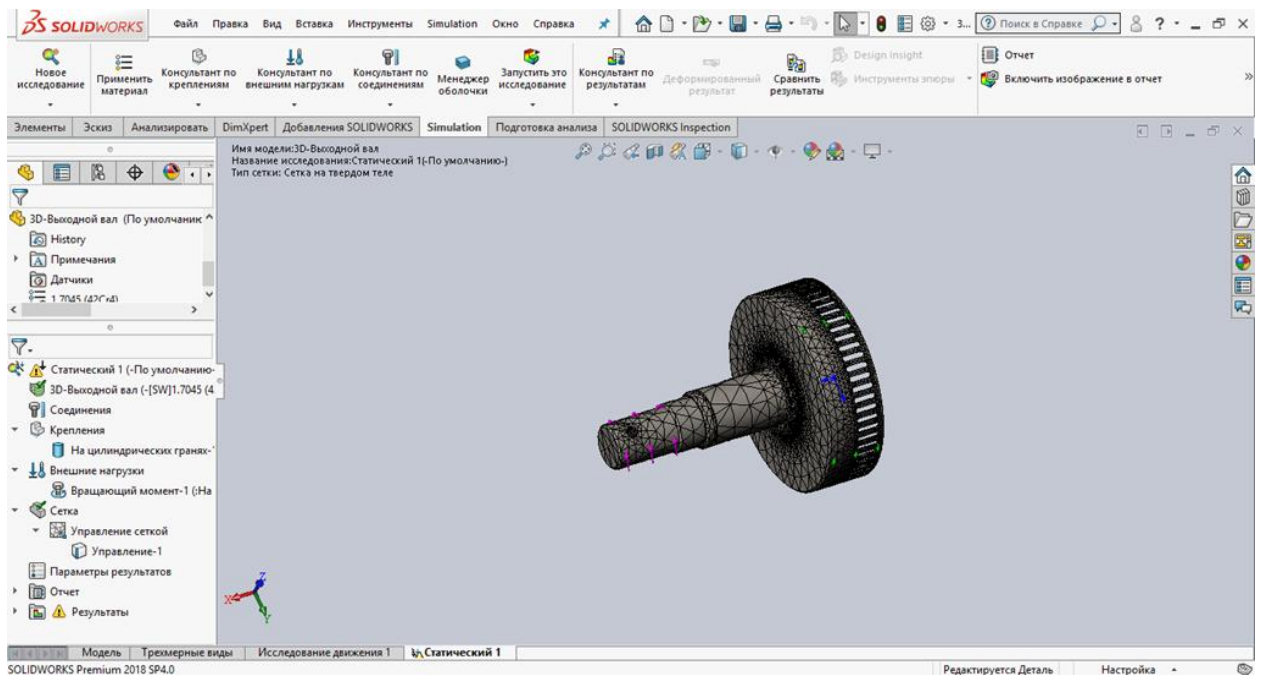


Рисунок 1.5 - Рассчитанная сетка 3д модели

После расчета сетки модели производится расчет напряжений в выбранном элементе детали. Нажимаем кнопку «запустить это исследование» и после расчетов программы, получаем модель с наложенными на неё

текстурами напряжений и шкалой их значений в рамке справа (рис 1.6). При заданной нагрузке деформация вала отсутствует, максимальные напряжения в детали по шкале пластичности Мизеса соответствуют 44,58 МПа в наиболее нагруженной области, которая отмечена красным цветом на 3д модели и шкале.

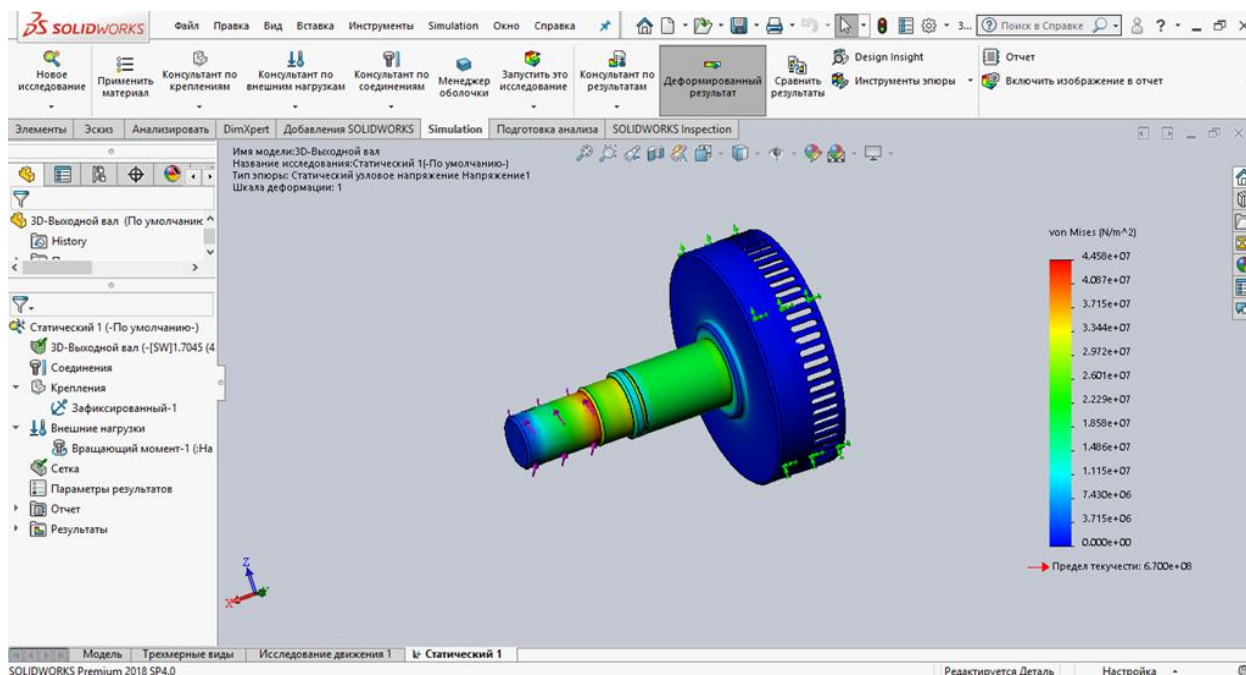


Рисунок 1.6 – Рассчитанное исследование 3д модели

Для изучения напряжений в заданных точках выбираем опцию «Зондирование» в «Инструментах эпюры» и выбираем точки на поверхности детали, в которых определяем величину напряжений(Рис 1.7)

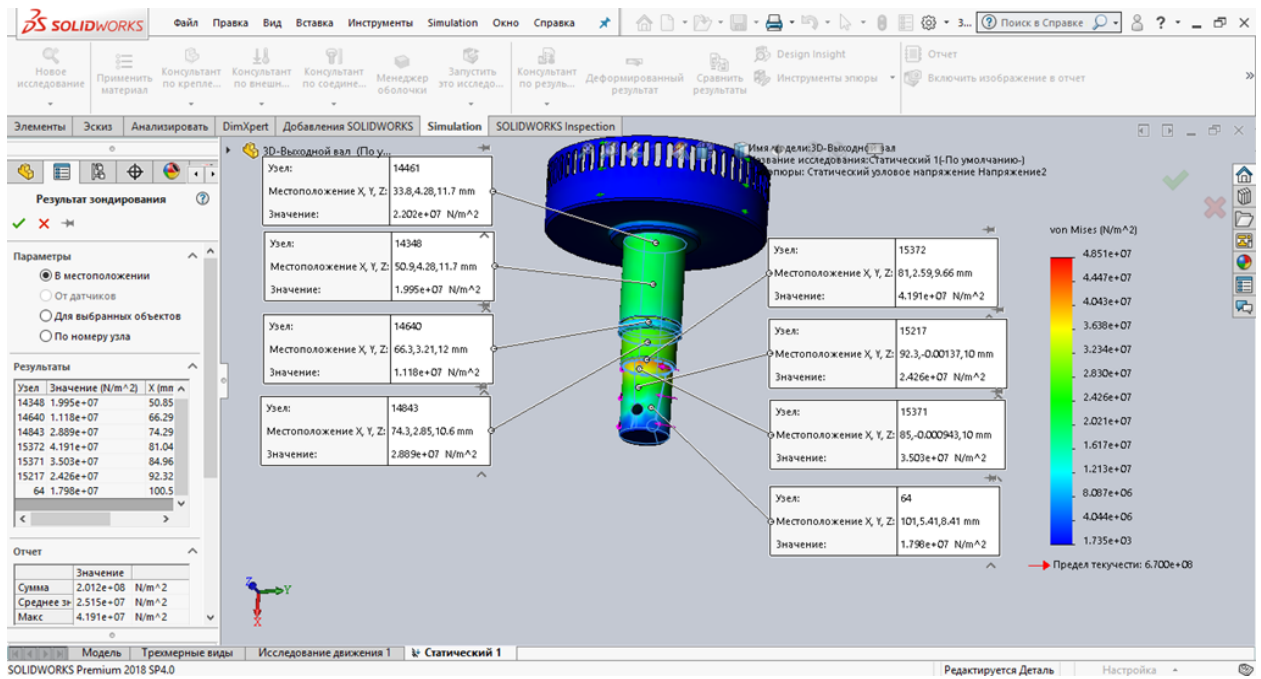


Рисунок 1.7 – Напряжения в необходимых точках модели

Для определения среднего напряжения в заданном сечении детали необходимо выбрать опцию «Ограничение сечения» в «Инструментах эпюры» и задать нужное сечение для модели детали (Рис. 1.8)

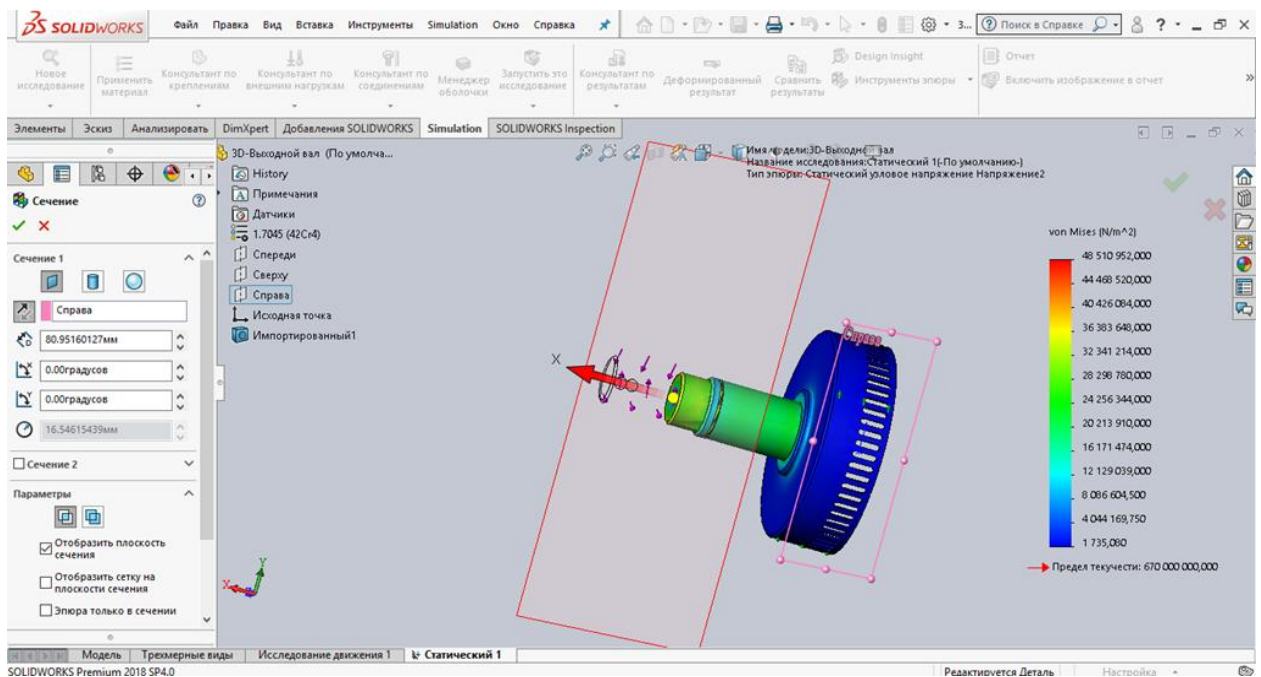


Рисунок 1.8 – Создание сечения модели детали

После создания сечения необходимо выбрать элемент «Проба» в «Инструментах эюры» и задать грань в сечении, далее необходимо выбрать пункт «Для выбранных объектов». После этого в навигационной панели отражается таблица с максимальным, минимальным, а также средним значением напряжений в грани сечения детали (рис. 1.9). Также строится график напряжений по параметрическому расстоянию.

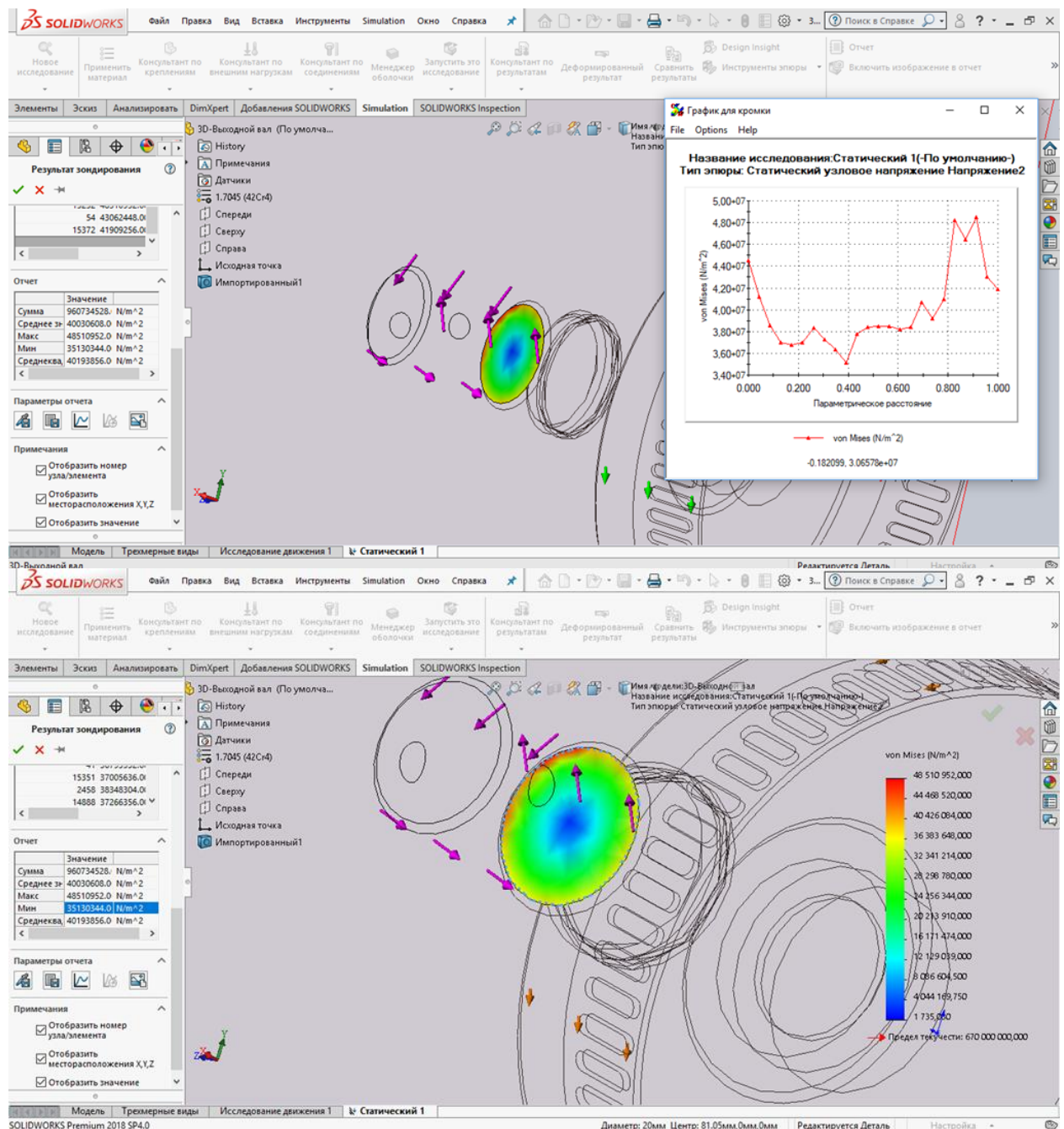


Рисунок 1.9 – Получение значения среднего напряжения в выбранном сечении

1.6 Расчет элементов редуктора в САЕ-системах

1.6.1 Напряжения в выходном валу

1. Метод расчета напряжений вала-сепаратора

Анализ касательных напряжений вала-сепаратора будет производиться путем сравнения результатов расчета касательных напряжений ручным методом и расчетом при помощи САЕ-систем SolidWorks Simulation и Ansys.

2. Расчет касательных напряжений на валу сепаратора в САЕ SolidWorks Simulation и ANSYS

Для расчета напряжений в выходном валуе создадим упрощенную симуляцию мультипликатором – фиксация поверхности сепаратора и приложение крутящего момента на поверхность отверстия для шпинта.

Для исследования разделим выходной вал на 5 частей по изменению размера в диаметре (рис. 1.10)

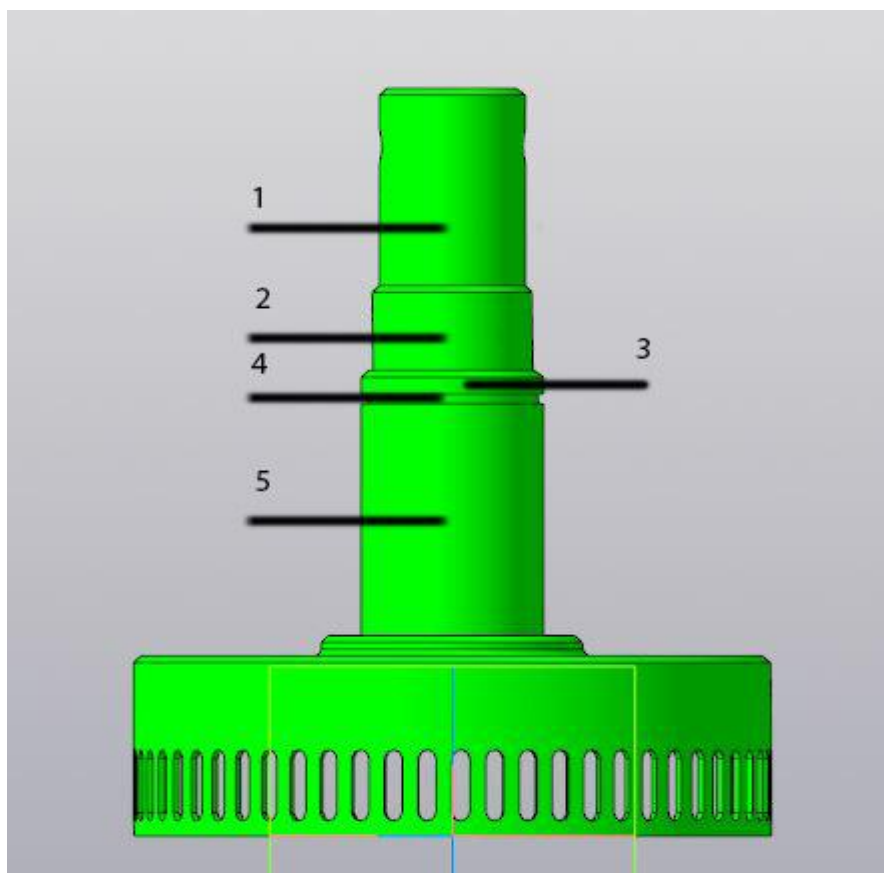


Рисунок 1.10 – Исследуемые сечения на выходном валу

В САЕ-системе Solidworks, модуль Simulation с помощью инструмента «зондирование» выбираем примерный центр по высоте на исследуемом диаметре, в каждом из 5 участков вала (рис. 1.11).

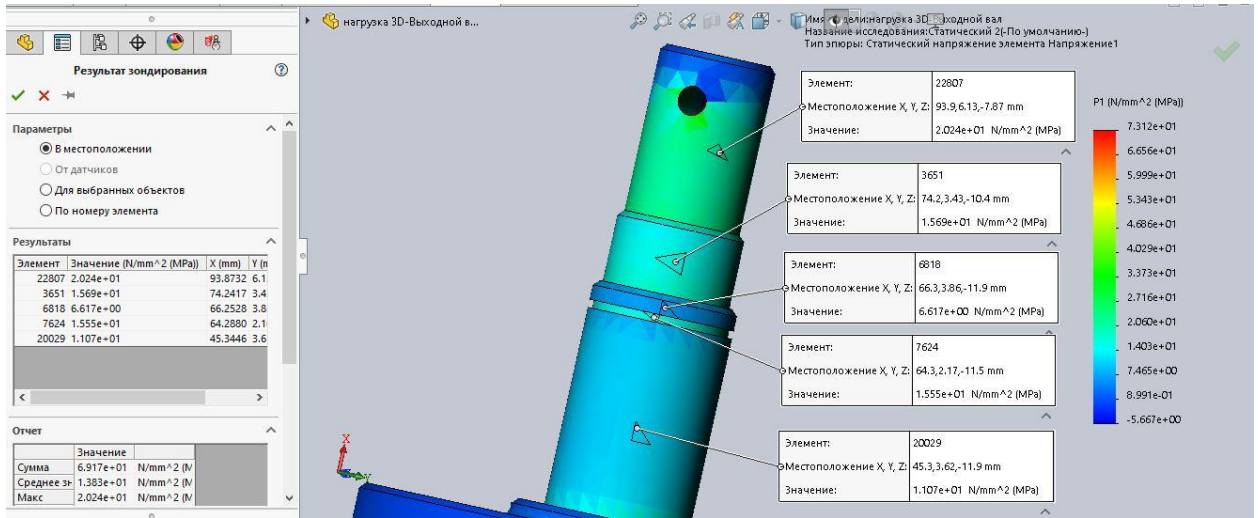


Рисунок 1.11 – Выбор точек и значения напряжения в SW Simulation

В САЕ-системе ANSYS с помощью инструмента «проба» выбираем примерный центр по высоте на исследуемом диаметре, в каждом из 5 сечений вала (рис. 1.12).

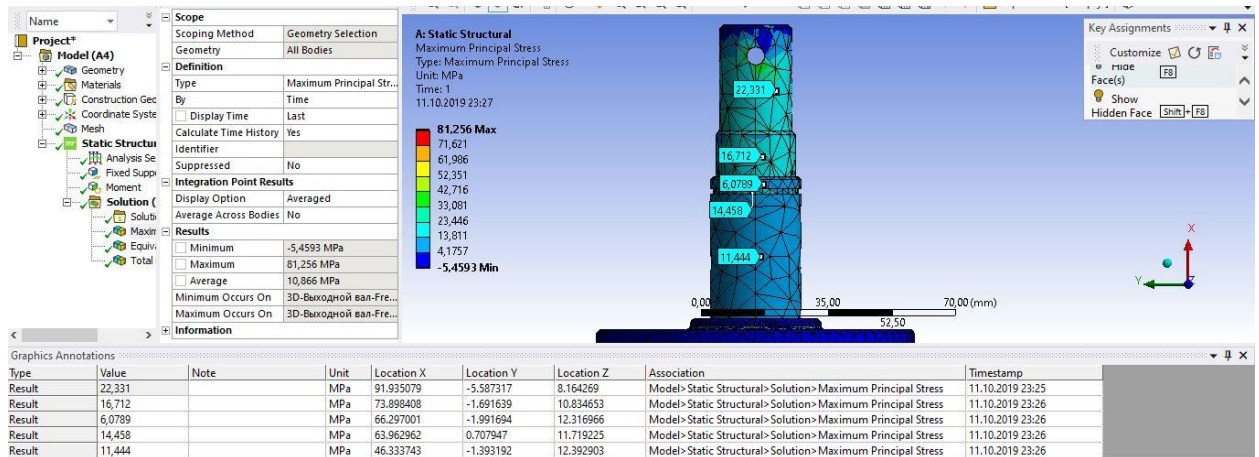


Рисунок 1.12 – Выбор точек и значения напряжений при расчете в ANSYS

Значения расчетов в обеих системах объединим в таблицу (таблица 1.1) и сравним наглядно разницу на графике (рис. 1.13)

Таблица 1.1 – Расчетные напряжения в САЕ-системах

Точка №	Значение в ANSYS, Мпа	Значение в SW Simulation, Мпа
1	22,33	20,24
2	16,71	15,69
3	6,08	6,617
4	14,46	15,55
5	11,44	11,07

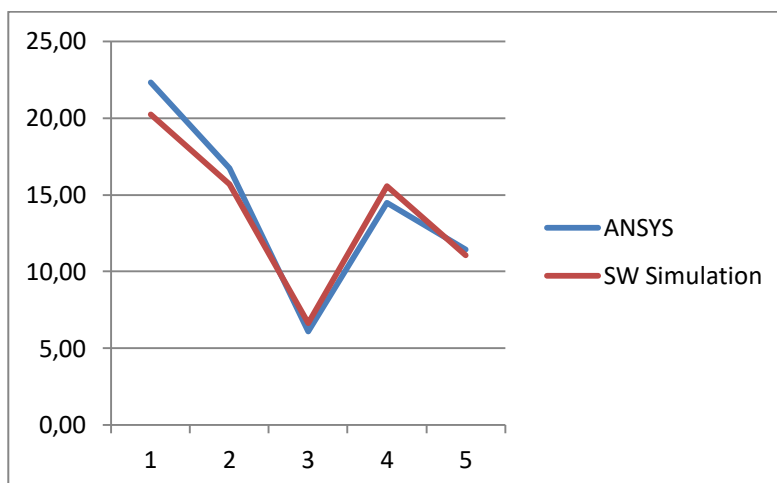


Рисунок 1.13 – Сравнение расхождений значений расчета напряжений в САЕ-системах

Исходя из полученных данных, рассчитано, что максимальная разница в расчетах обеих САЕ-систем составляет 10%.

1.6.2 Напряжения в ролике

Средние контактные напряжения в ролике сепаратора рассчитываются исходя из крутящего момента в сепараторе, по формуле:

$$M_{кр} = F \cdot R_{сеп}, \text{ где } R_{сеп} = 40,25 \text{ мм};$$

$$\tau = M_{кр} = 35 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2)$$

$\tau_{ср} = \frac{M_{кр}}{n}$, т.к. в зацеплении находится одновременно 27 роликов, то $n=27$;

$$\tau_{ср} = \frac{35}{27} = 1,29 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3)$$

$$F_{ср} = \frac{\tau_{ср}}{R_{сеп}} = 3,2 \text{ Н}; \quad (4)$$

$$\Sigma_{ср} = 115 \text{ МПа};$$

$$F_{\max} = 3,2 \cdot 2 = 6,4 \text{ Н};$$

$$F_{\min} = \frac{3,2}{5,75} = 0,56 \text{ Н};$$

Исходя из расчетов, получаем максимальный и минимальный крутящие моменты для расчетной модели с одним роликом:

$$M_{кр\max} = 6,4 \cdot 0,4025 = 2,576 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (5)$$

$$M_{кр\min} = 0,56 \cdot 0,4025 = 0,237 \text{ Н} \cdot \text{м} [20].$$

Создаем исследование нагрузки в ANSYS Static Structural.

Загружаем 3D сборку части сепаратора с роликом и задаем им материалы - для сепаратора зададим Structural steel из базы, т.к. данные элементы мы рассматривать не будем, а для ролика задаём сталь ШХ15 (предел прочности – 1270МПа, предел текучести – 1080МПа, плотность 7812кг/м³). Далее создаем секущую плоскость для отображения напряжений в сечении ролика – для этого создаем новую систему координат в центре ролика – Coordinate System 2, затем создаем дополнительную геометрию «Surface» и назначаем ей ориентацию с помощью созданной системы координат ролика (рис. 1.14).

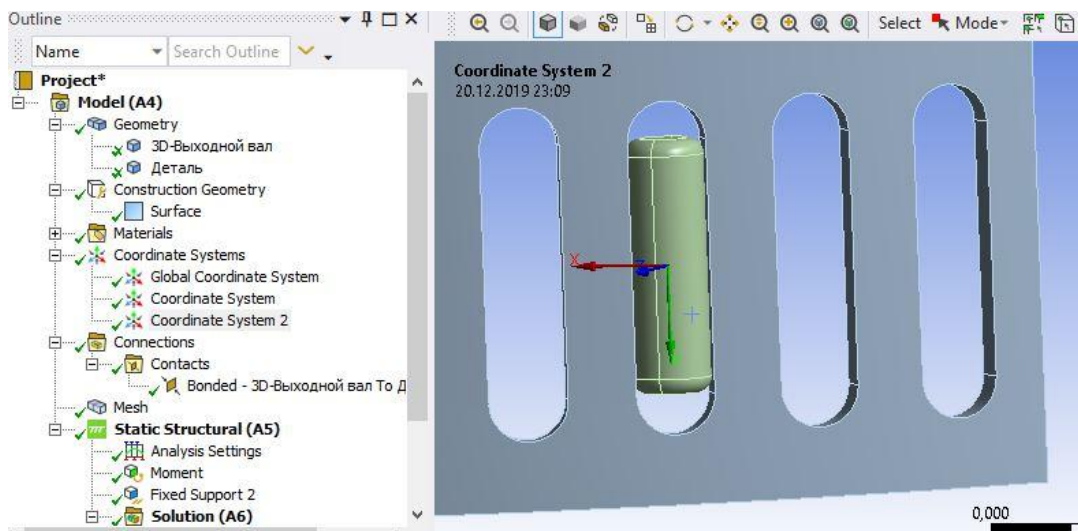


Рисунок 1.14 – Создание системы координат и секущей поверхности

Затем создадим ось для приложения крутящего момента к ролику аналогичным образом при помощи создания системы координат – Coordinate System (рис. 1.15).

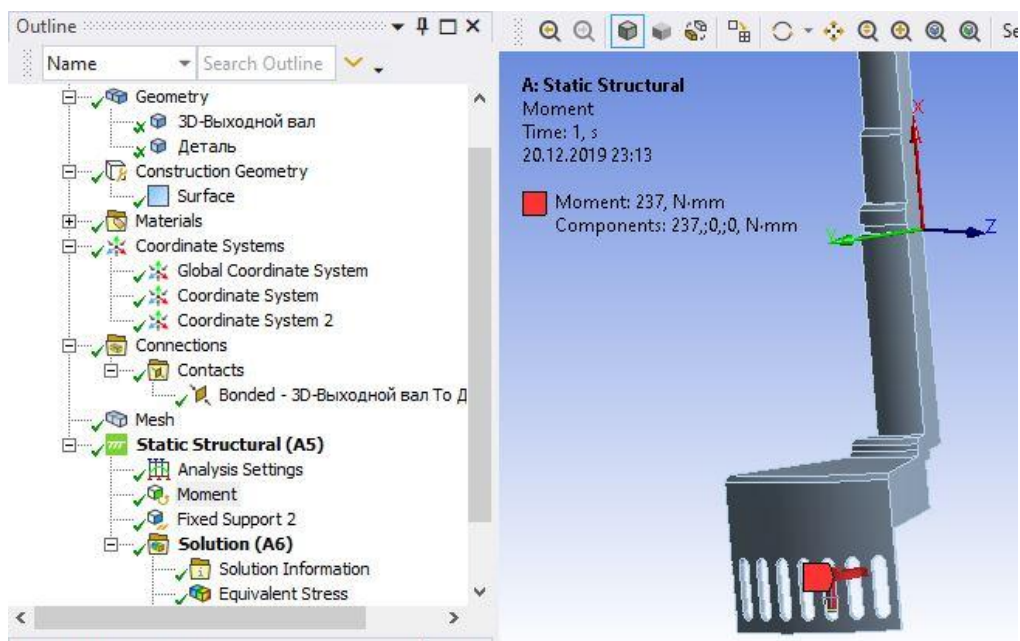


Рисунок 1.15 – Создание оси для приложения крутящего момента к ролику

Закрепление вала-сепаратора произведем на вертикальных поверхностях вала (рис. 1.16).

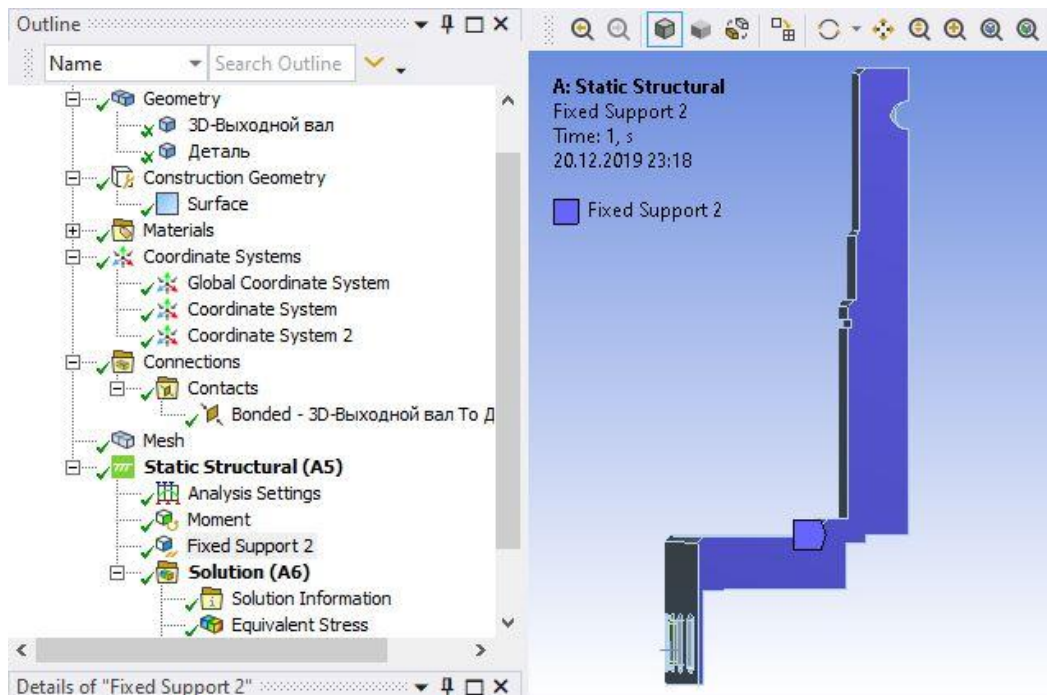


Рисунок 1.16 – Закрепление вала на вертикальных поверхностях

Зададим контакт тел в исследовании Bonded (рис. 1.17).

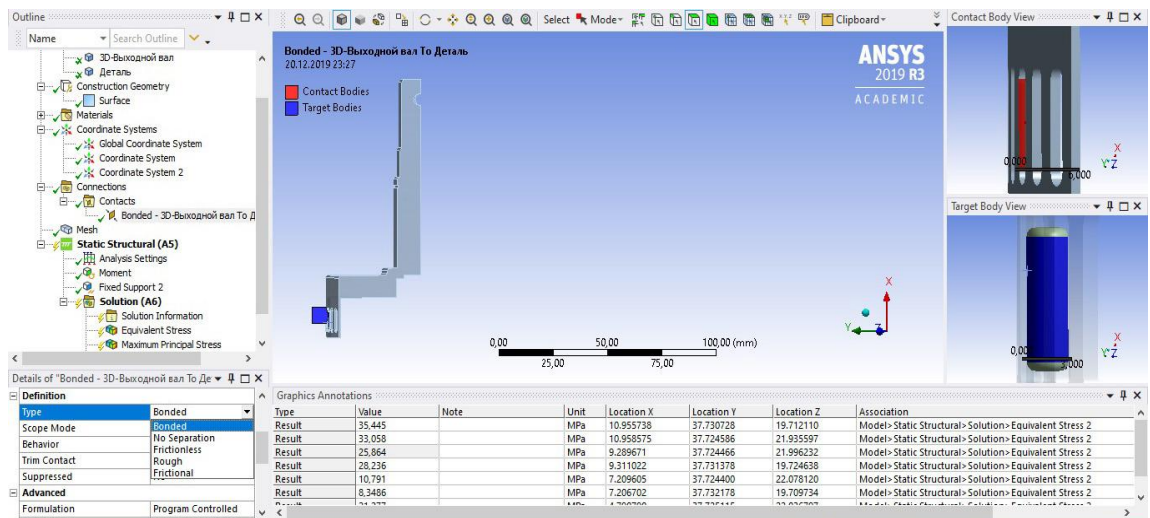


Рисунок 1.17 - Выбор вида контакта между телами

Добавляем решение Stress-Von Mises и рассчитываем исследование для максимального (рис. 1.18) и минимального (рис. 1.19) крутящего момента для одного ролика.

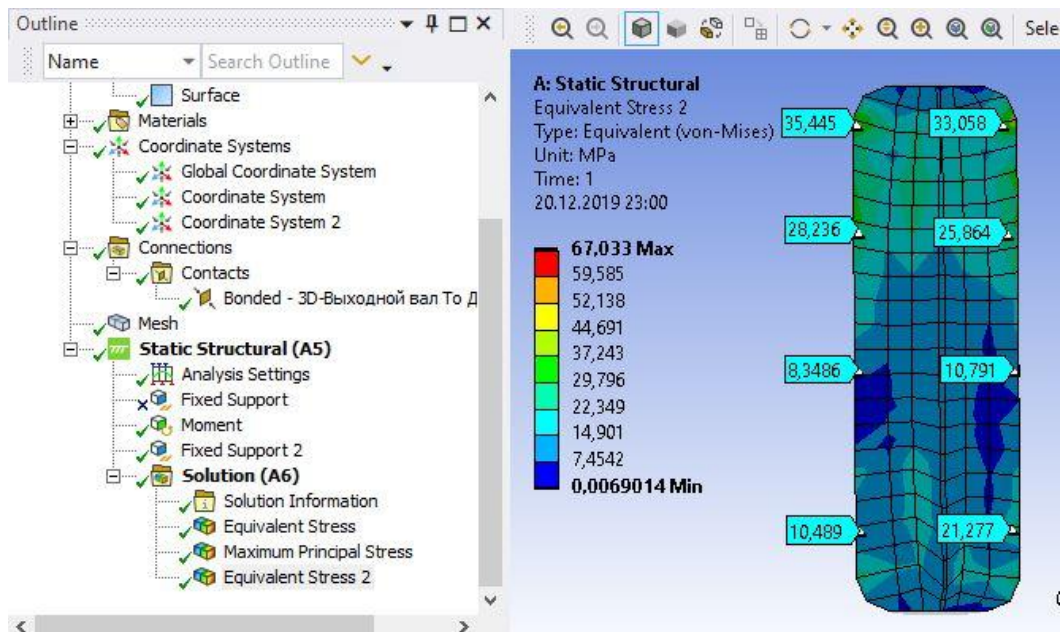


Рисунок 1.18 - Расчет минимальных напряжений в ролике

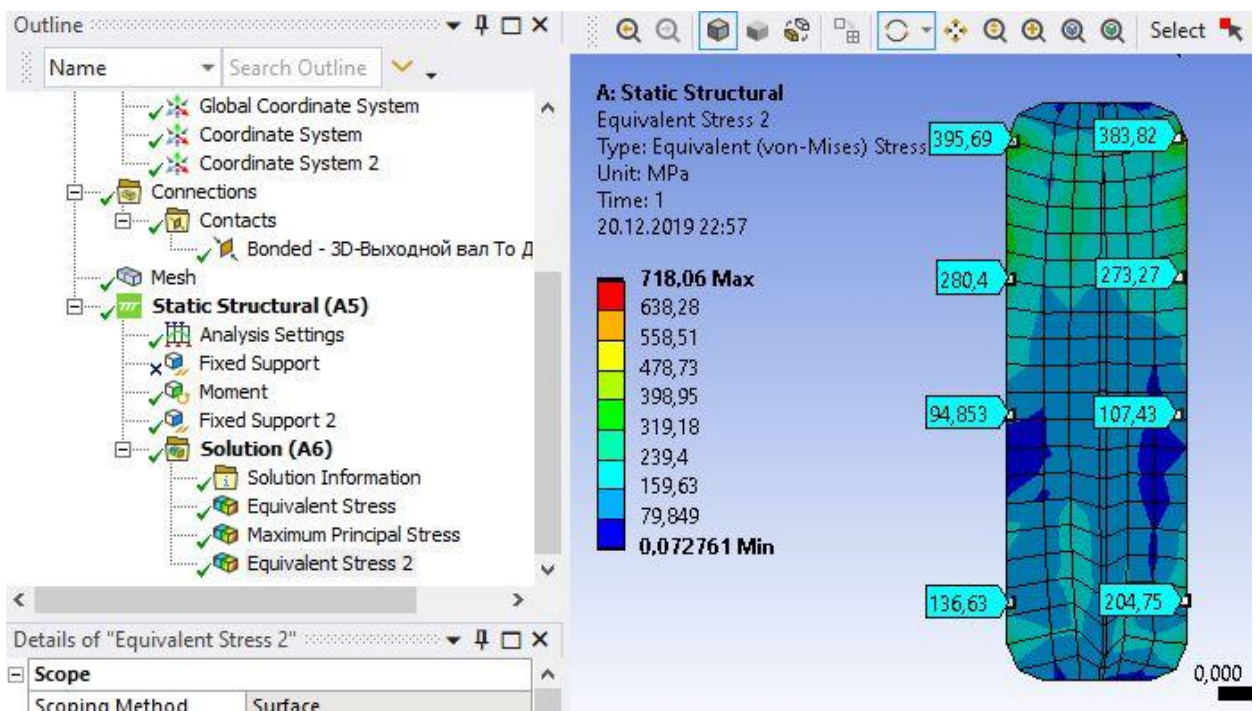


Рисунок 1.19 – Расчет максимальных напряжений в ролике

Так как максимальные контактные напряжения в ролике достаточно велики и карта напряжений показывает, что увеличиваются они от оси к поверхности, исследуем их более детально. Для этого создадим линию Path по наружной поверхности ролика с помощью дополнительной геометрии (рис. 1.20) от верхнего торца к нижнему.

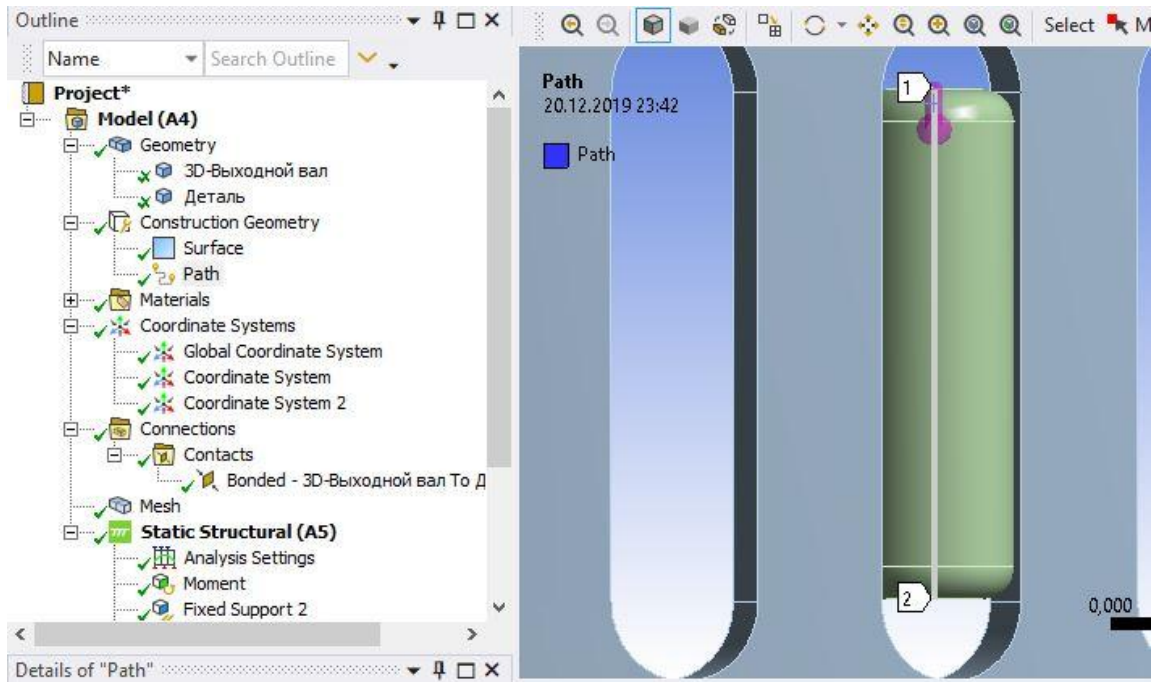


Рисунок 1.20 – Создание линии Path на поверхности ролика

После чего снова производим расчет исследования для данной линии и получаем картину напряжений (рис. 1.21) и график значения напряжений по длине линии (рис. 1.22).

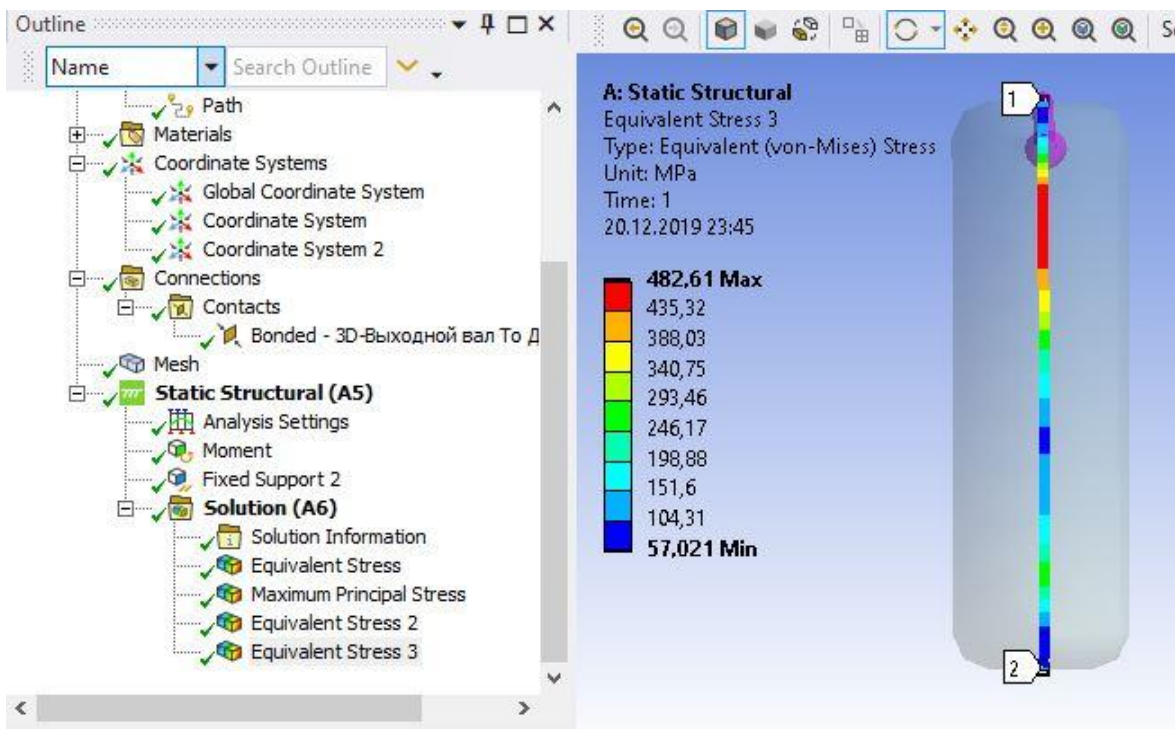


Рисунок 1.21 – Напряжения в ролике по линии Path

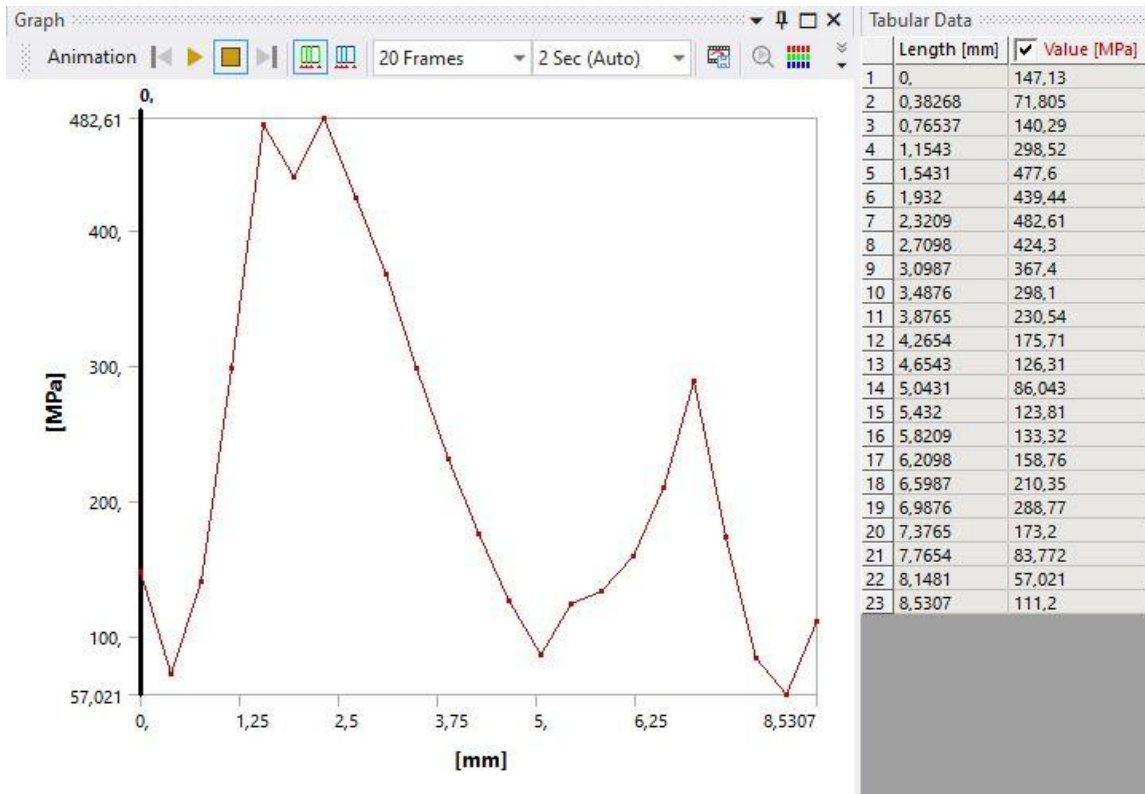


Рисунок 1.22 - График напряжений в ролике по линии Path (0 - верхняя точка, 23 – нижняя точка)

Из графика видно, что наибольшие напряжения возникают в верхней половине ролика.

Произведем расчет коэффициентов запаса прочности N по формуле:

$$N = \frac{S}{T},$$

где S — предельно допустимое значение рассматриваемой величины

(силы, напряжения, перемещения и т. д.); Величина получена при механических испытаниях материала, T — расчетное значение этой величины [21].

Расчет запаса прочности по расчетным напряжениям по Мизесу:

$$N = 630 / 477,6 = 1,32 \tag{6}$$

1.6.3 Исследование максимальных напряжений в перегородках сепаратора

При исследовании нормальных напряжений в перегородках сепаратора учитывались наивысшие напряжения в перегородках на трех сечениях вала-сепаратора (рис.1.23). Для исследования нормальных напряжений использовались данные с 29 перегородок - с 27 нагруженных, контактирующих с роликами (с 1 по 27) и по одной перед и за ними (0 и 28 соответственно).

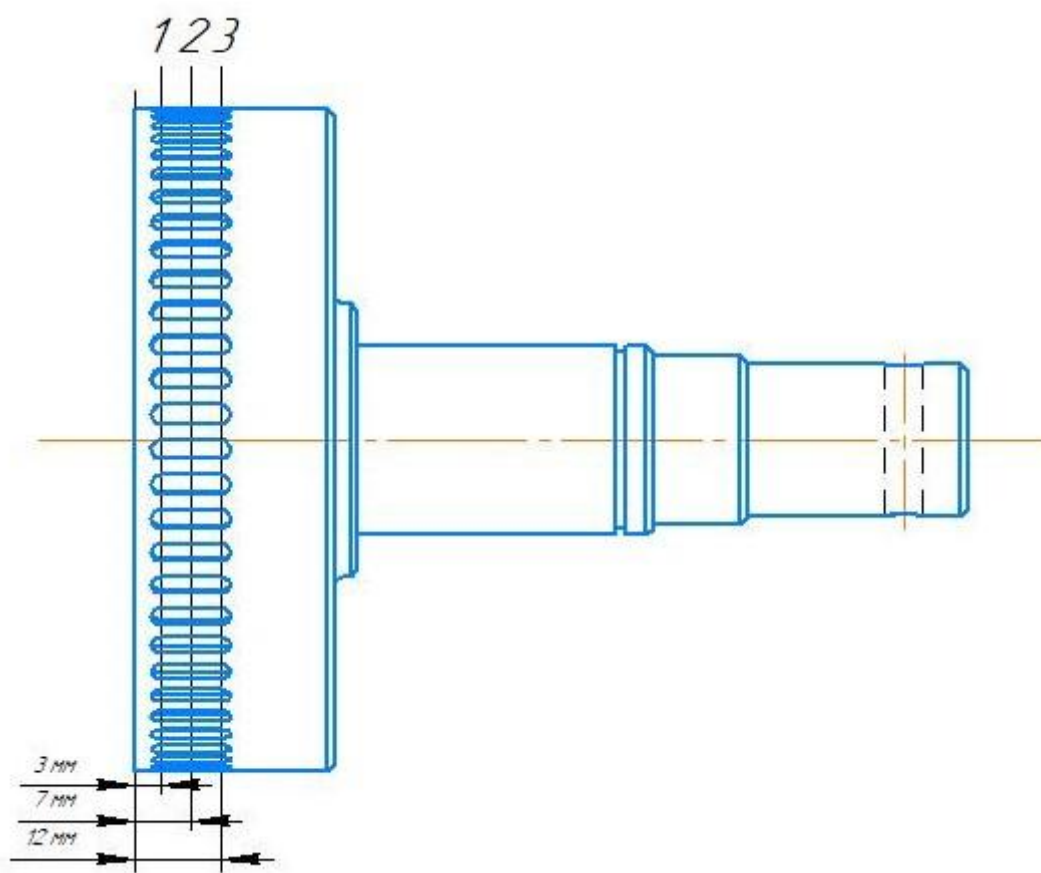


Рисунок 1.23 – Рассматриваемые сечения в сепараторе

Материал, выбранный для SolidWorks – 42Cr4, т.к. является аналогом стали 40X с азотированием поверхности.

Применяем вращение на поверхность вала с отверстием для шпинта, закрепление на одной из внутренних сторон навстречу вращению каждой из 27 перегородок (рис.1.24).

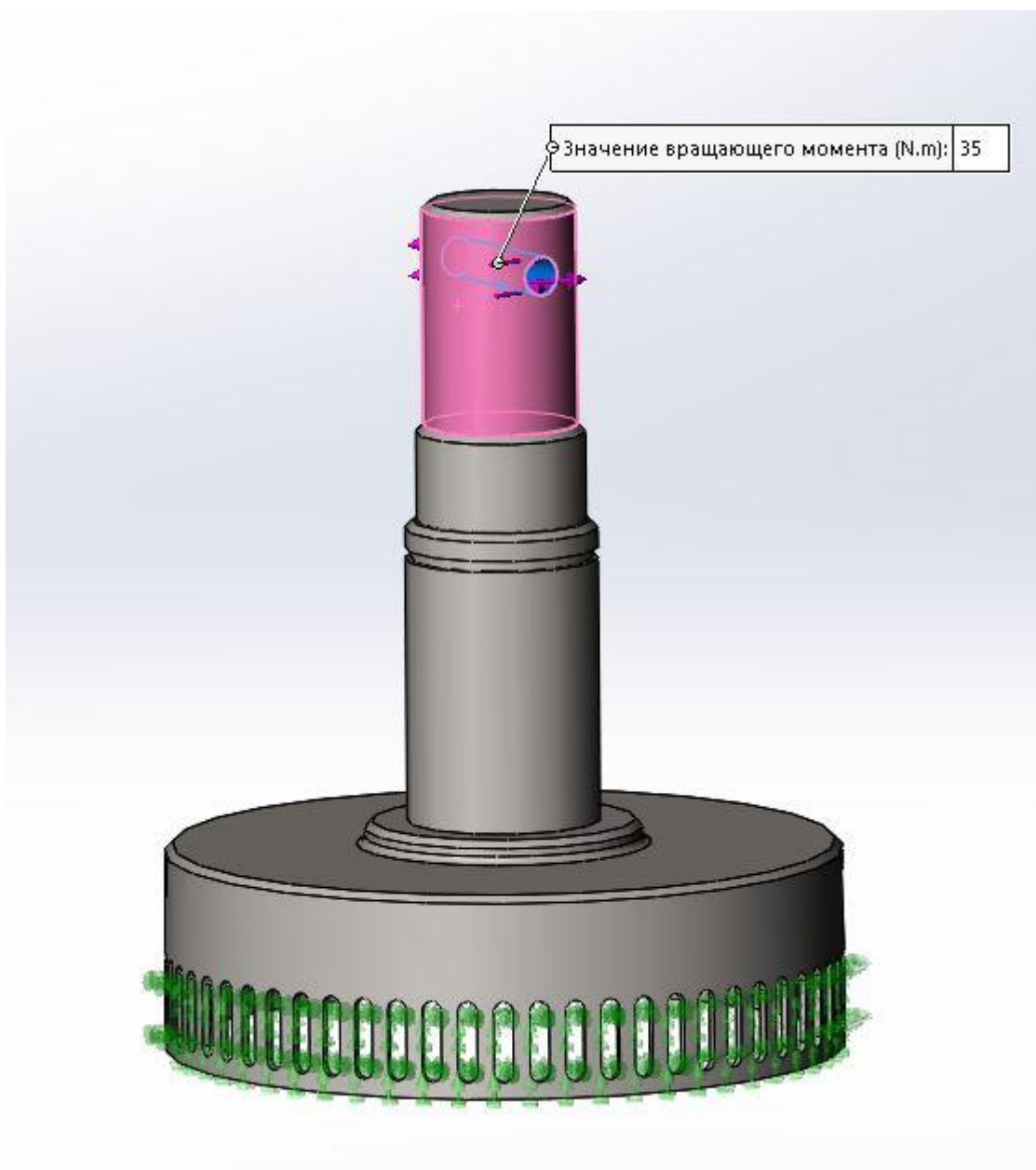


Рисунок 1.24 – Направление вращения и закрепление перегородок

Внешние напряжения после расчета сепаратора представлены на рисунке 1.25.

После расчета, в «инструментах эпюры» выбираем «ограничение сечения» и строим 3 плоскости сечения, после чего с помощью «зондирования» выбираем перегородки - 27 нагруженных перегородок и по

одной перед и за ними для построения графика напряжений на каждом сечении (график. 1.26, рис 1.27, рис 1.28).

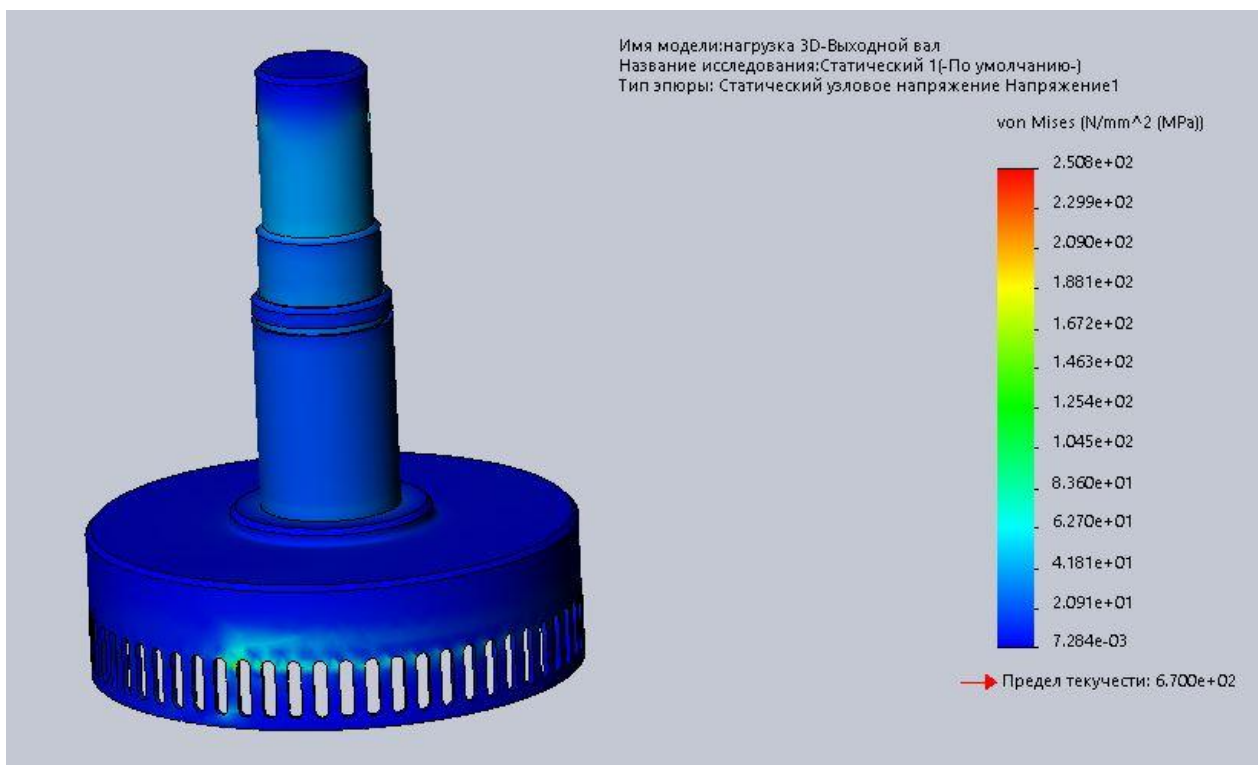


Рисунок 1.25 – Распределение напряжений в сепараторе при максимальной нагрузке

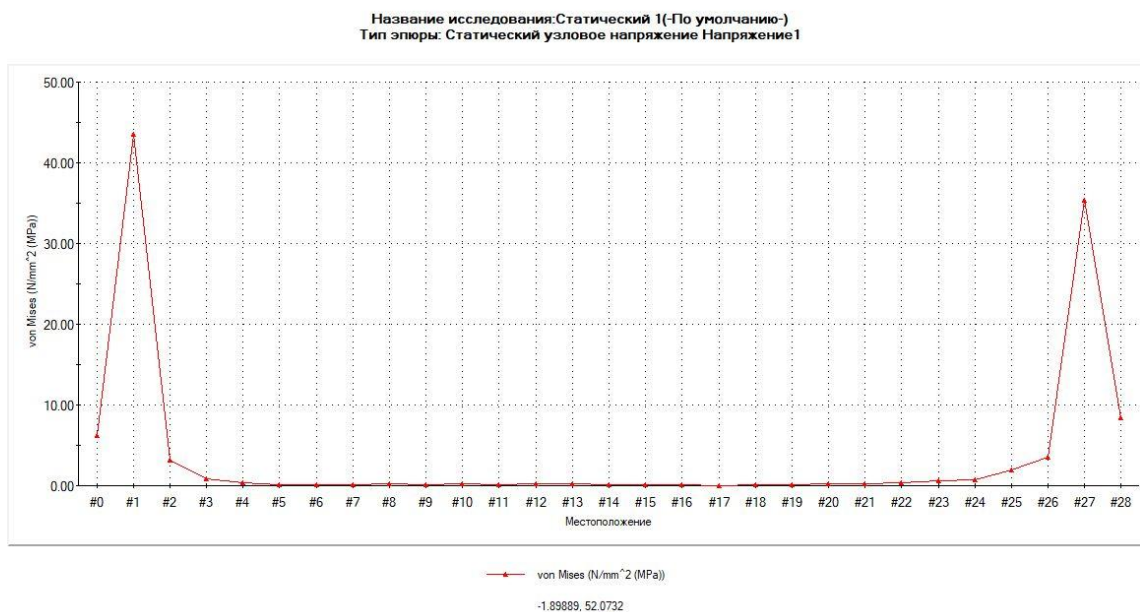


Рисунок 1.26 - Нижнее сечение вала сепаратора на 3мм

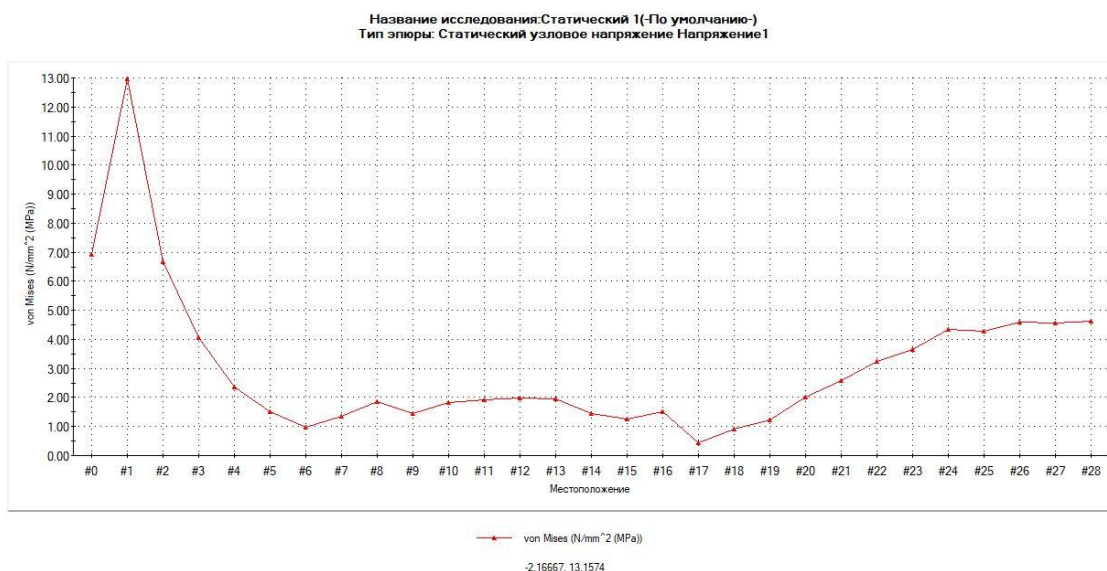


Рисунок 1.27 - Нижнее сечение вала сепаратора на 7мм

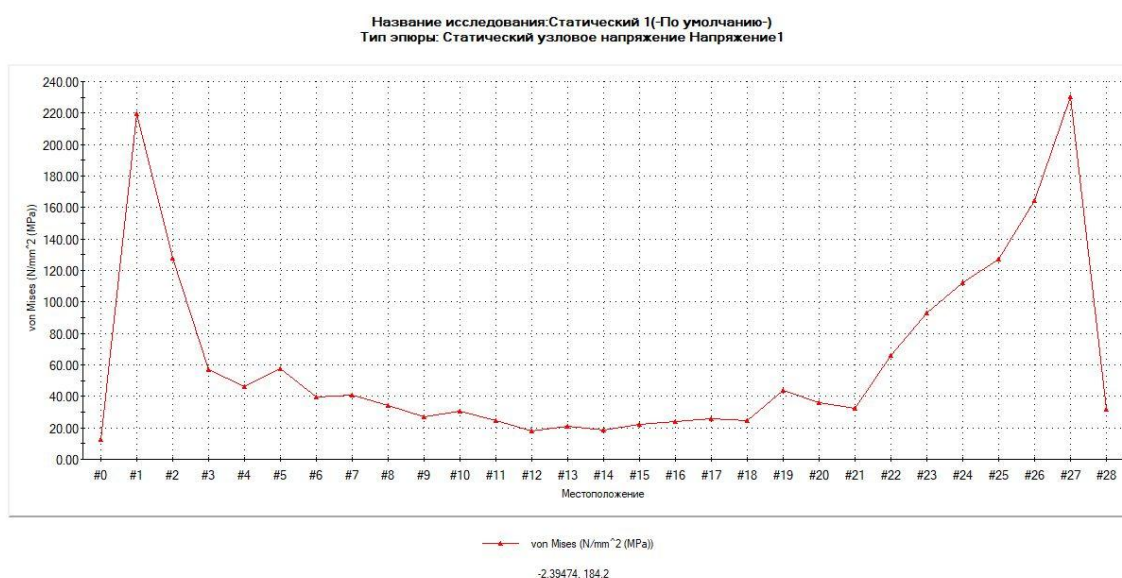


Рисунок 1.28 - Нижнее сечение вала сепаратора на 12мм

На графиках представлены максимальные значения в каждой из 29 рассматриваемых перегородок сепаратора, где 0 и 28 – перегородки перед и после нагруженных соответственно, а с 1 по 27 – нагруженные перегородки сепаратора.

Определение запаса прочности в SolidWorks выполняется с помощью «Консультант по результатам» - «Эпюра запаса прочности», рассчитанный

запас прочности представлен на рис. 1.29, где FOS (factor of safety) – запас прочности, $N_{\min}=2,6$.

Имя модели: нагрузка 3D-Выходной вал
Название исследования: Статический 1(-По умолчанию)
Тип эюры: Запас прочности Запас прочности2
Критерий : Авто
Распределение запаса прочности: Мин. коэффициент запаса прочности = 2.6

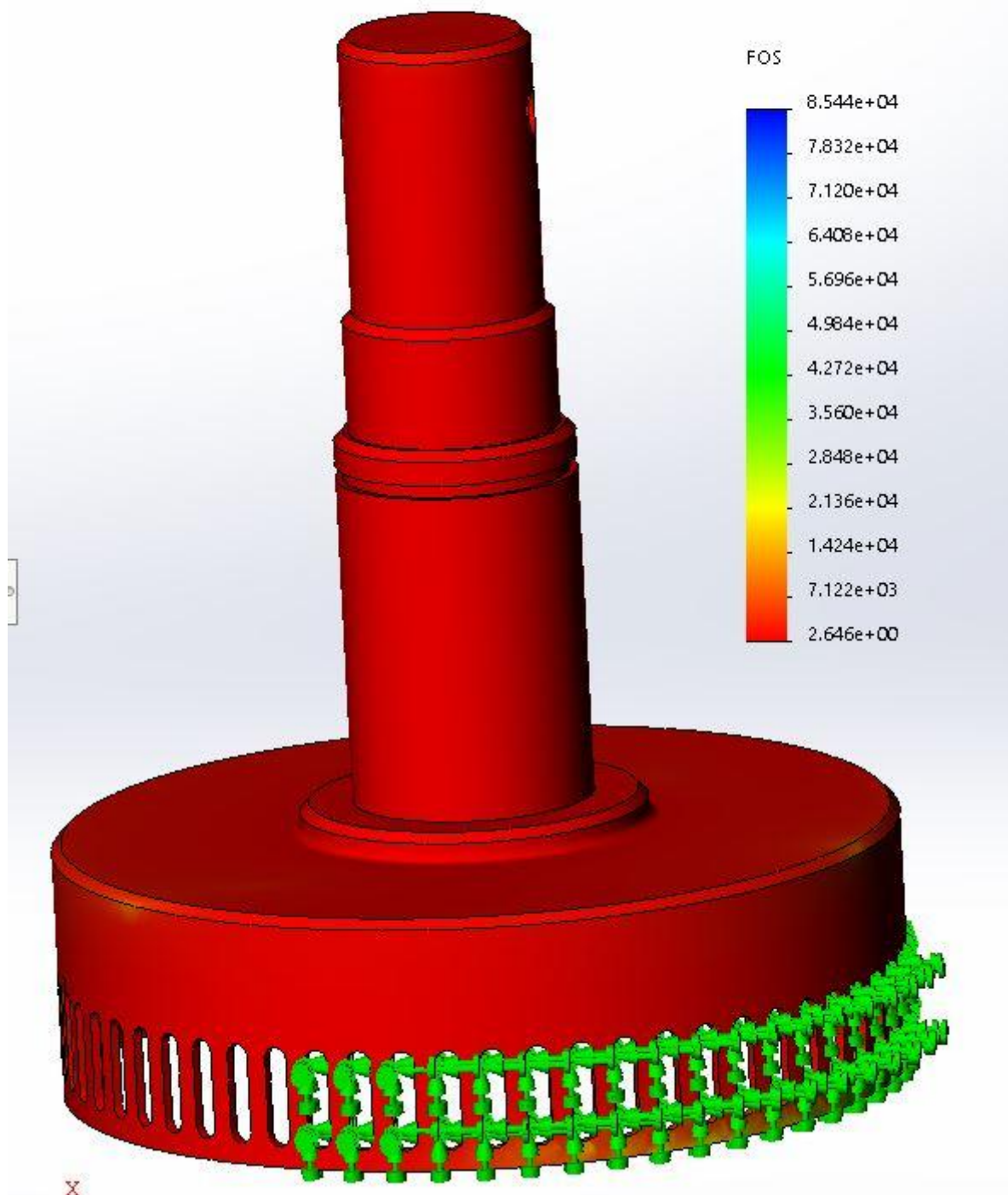


Рисунок 1.29 – Запас прочности вала-сепаратора

1.6.4 Расчет напряжений в венце

Для расчета контактных напряжений в венце использован рассчитанный по формуле (1.5) максимальный крутящий момент, воспринимаемый одним роликом $M_{крmax}=2,576\text{Н}\cdot\text{м}$;

Для расчета напряжений выбраны несколько сечений. Для ролика задаем сталь ШХ15, для венца – ШХ15.

Задаём движение ролика по окружности – центр координат в центре венца, крутящий момент – $2.576\text{Н}\cdot\text{м}$ (рис. 1.30)

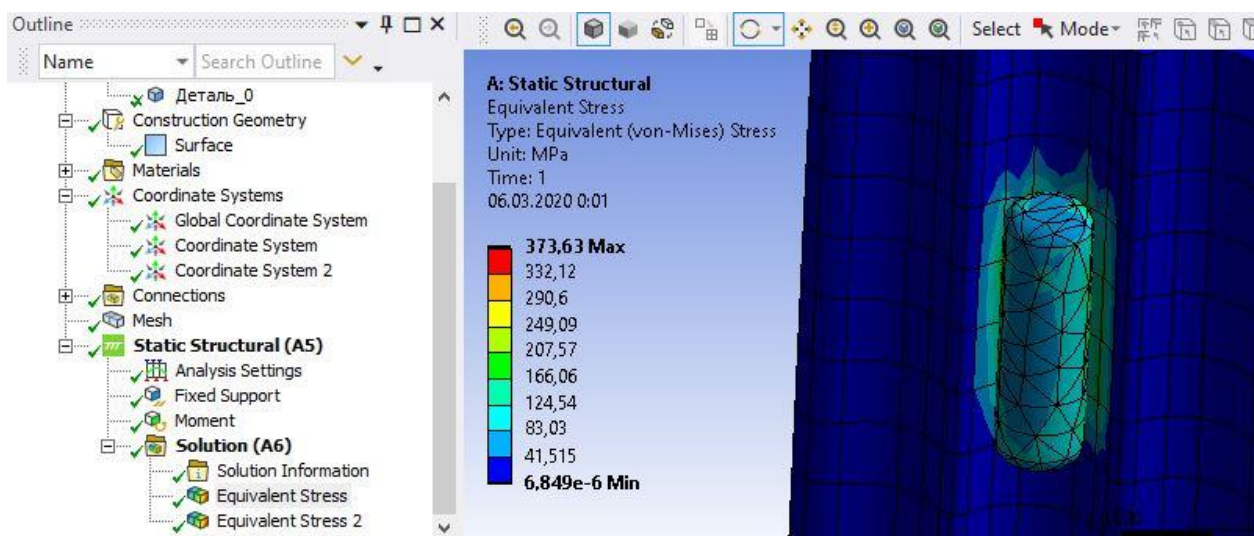


Рисунок 1.30 – Общие напряжения в венце и ролике в начале накатывания на эпициклоиду

Для определения напряжений внутри венца и ролика, создаем плоскость сечения, перпендикулярную центру оси ролика (Рис. 1.31)

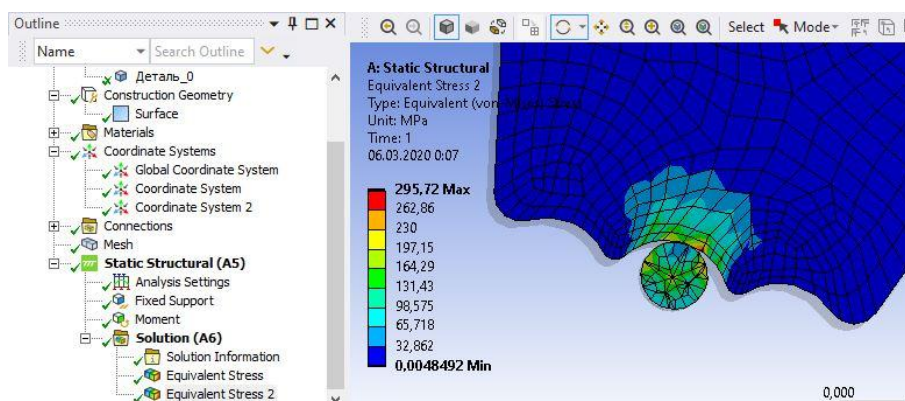


Рисунок 1.31 – Сечение ролика и венца внизу эпициклоиды

Расчет напряжений в центре подъема ролика на эпициклоид рассмотрен на рис. 1.32.

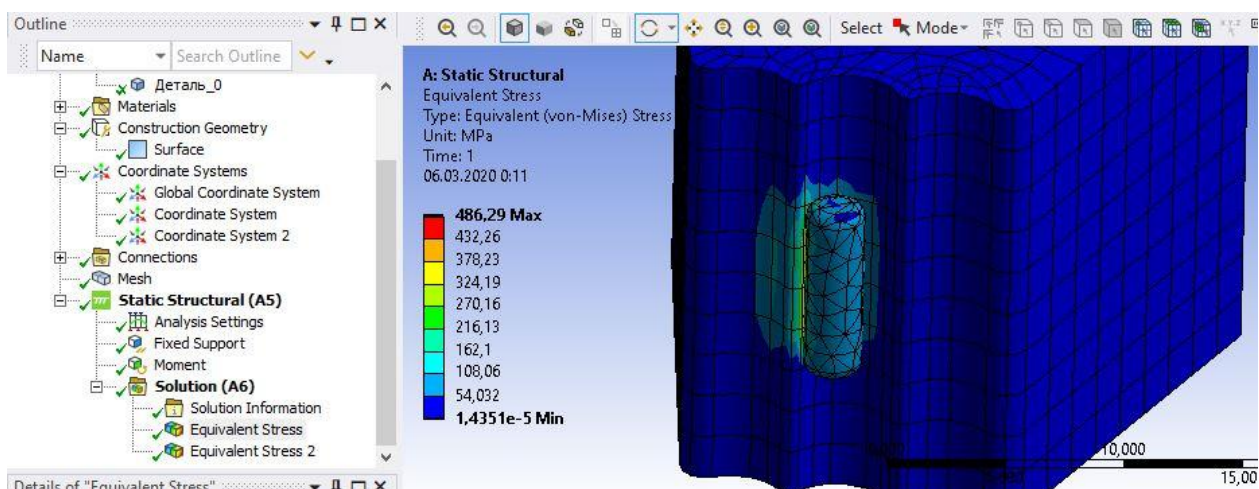


Рисунок 1.32 – Напряжения венца и ролика центре подъема на эпициклоиду

В той же плоскости сечения определяем напряжения в венце при другом положении ролика (рис. 1.33)

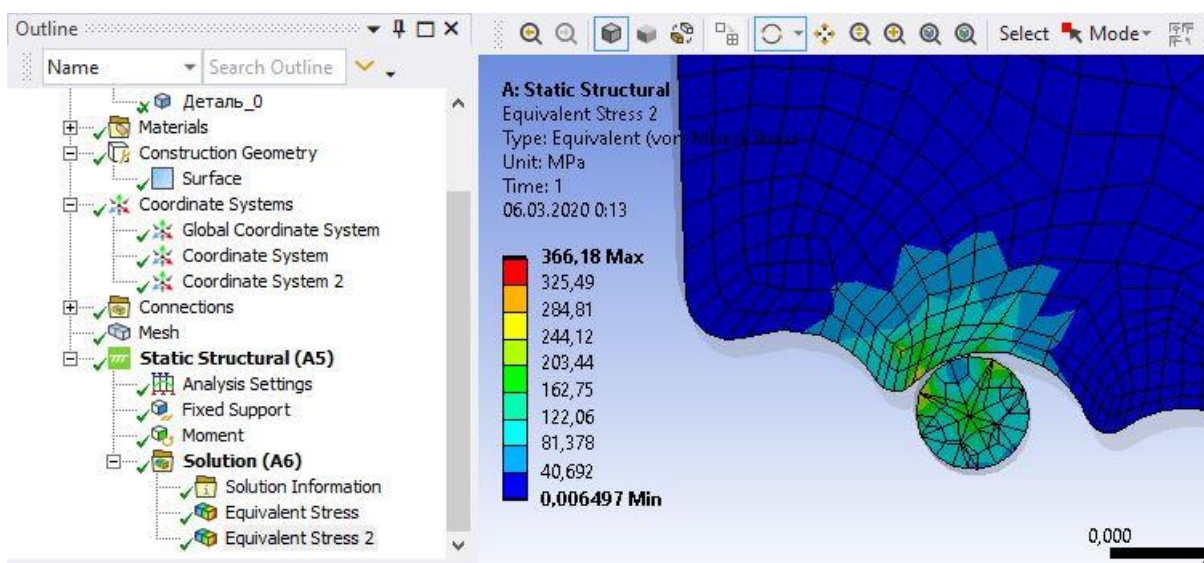


Рисунок 1.33 – Напряжения в сечении в центре подъема на эпициклоиду

Максимальные напряжения рассчитанные для венца приведены на рис. 1.34 – на вершине эпициклоида венца. Картина напряжений внутри венца, представлена на рис. 1.35.

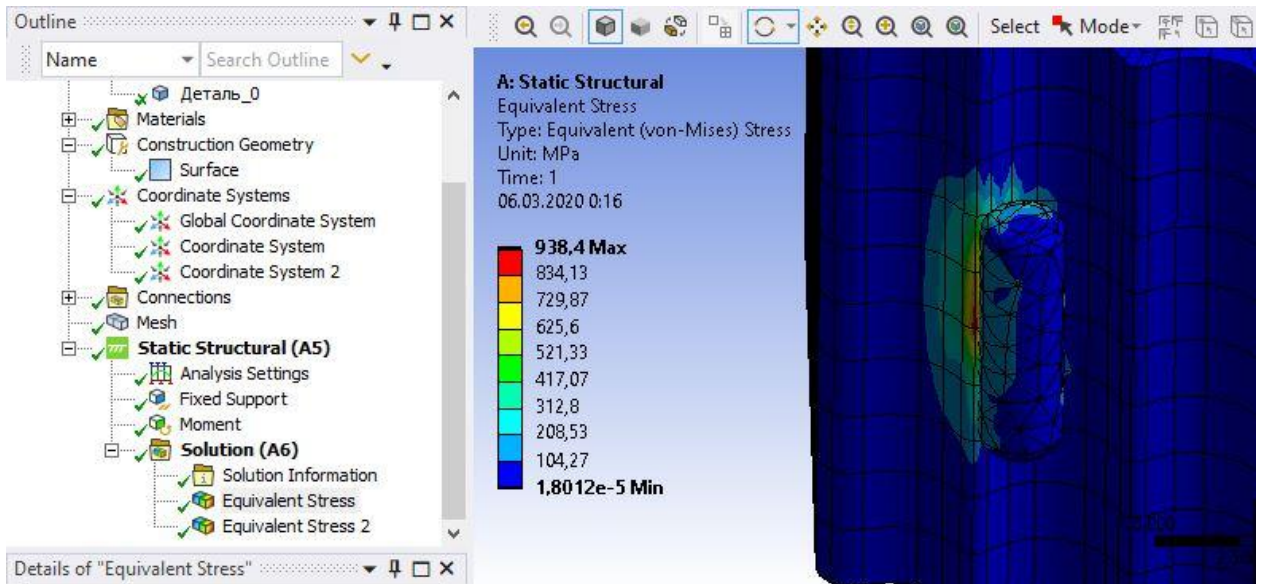


Рисунок 1.34– Максимальные напряжения возникающие, при подъеме ролика на вершину эпициклоиду

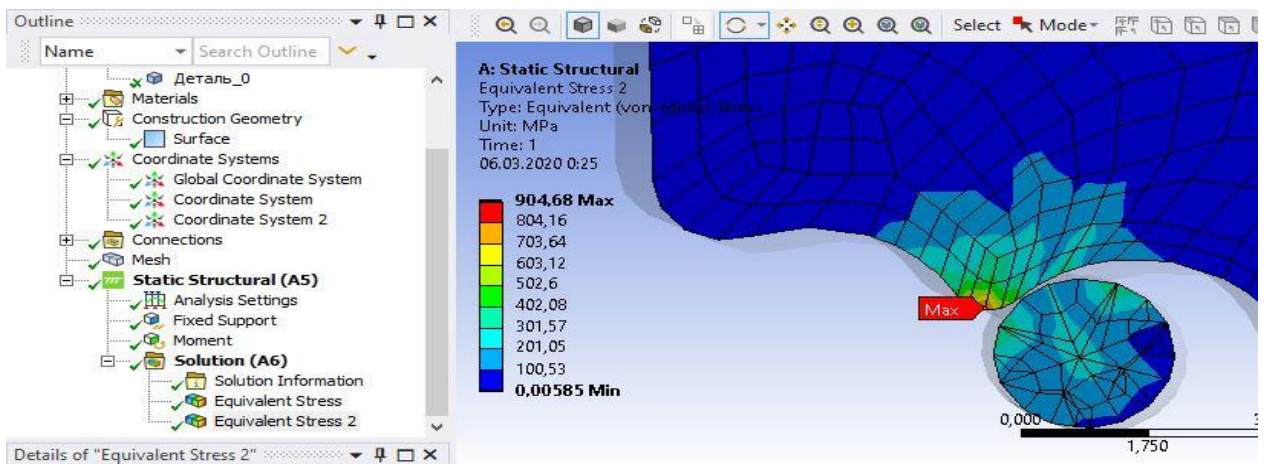
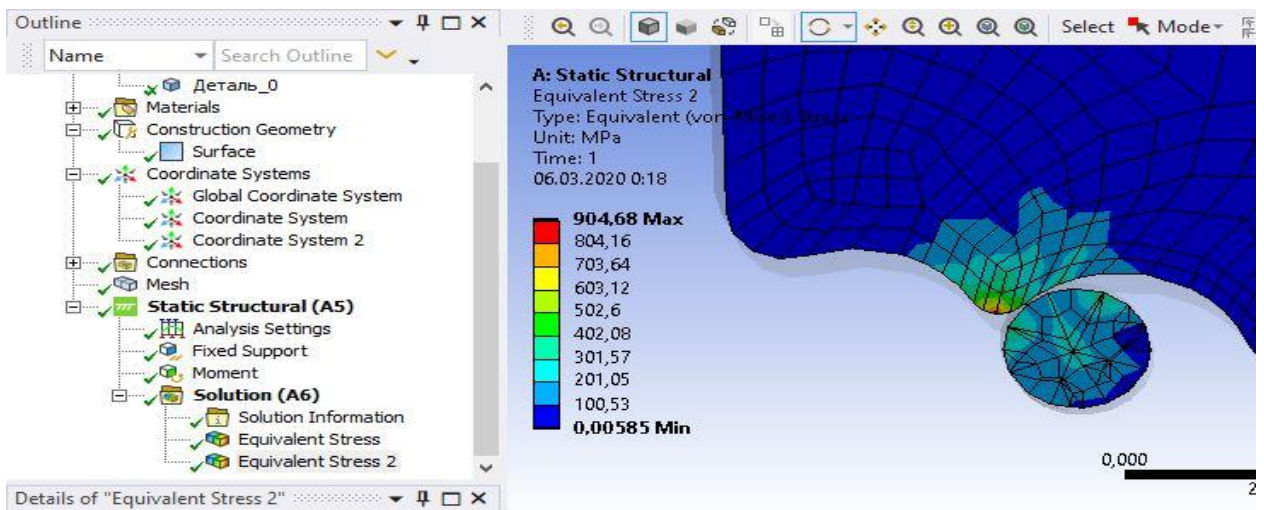


Рисунок 1.35 – Картина напряжений на плоскости сечения в 3 варианте сборки

Расчет коэффициента запаса прочности венца выполняется по формуле:

$$N = \frac{S}{T} \quad (7)$$

где S — предельно допустимое значение рассматриваемой величины (силы, напряжения, перемещения и т. д.); Величина получена при механических испытаниях материала, T — расчетное значение этой величины.

$$N_B = 1080 / 938,4 = 1,15.$$

Для исследования необходимой толщины упрочнения, создадим линию, началом которой будет являться координата, в центре радиуса, для исключения поверхностных напряжений на поверхности, не контактирующей с венцом на последнем исследовании (рис. 1.36).

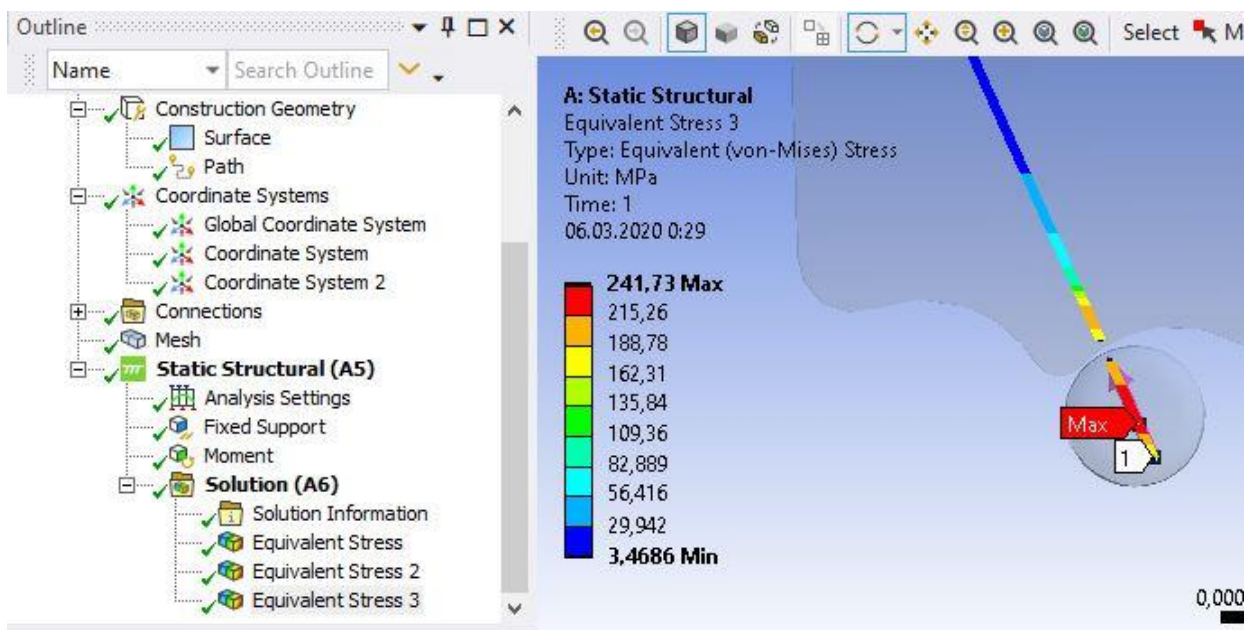


Рисунок 1.36 – Создание линии для исследования глубины упрочнения
Для наглядности рассмотрим график напряжений по линии (рис. 1.37)

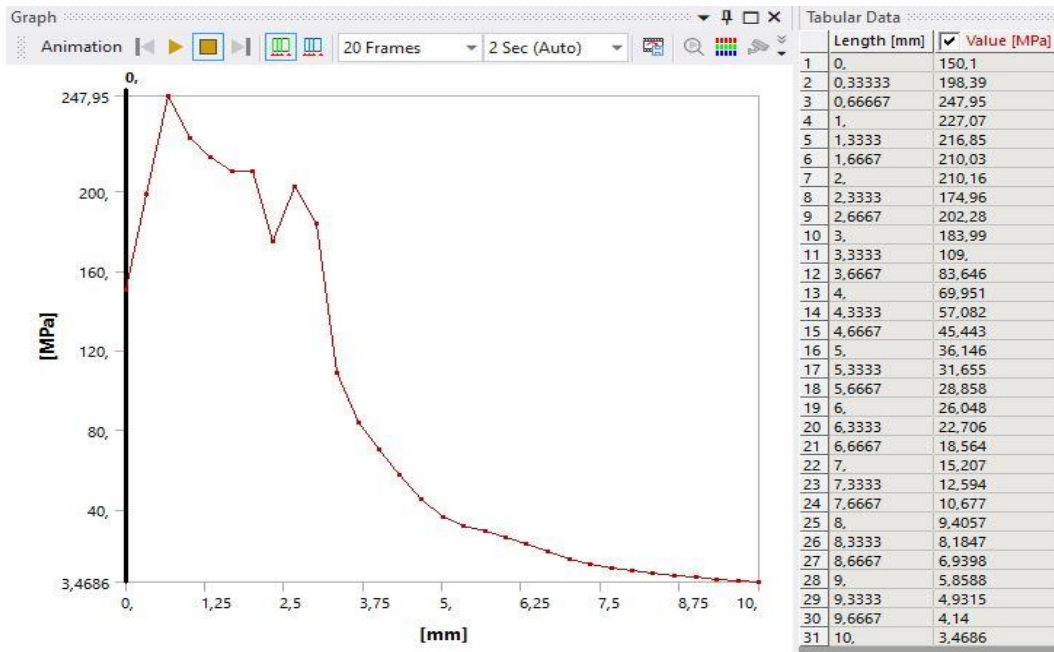


Рисунок 1.37– График напряжений, по построенной линии, проходящей через ролик и венец сепаратора

Диаметр ролика 2,5мм, исходя из графика, а линия, проходящая через ролик имеет длину 1,875мм, следовательно, напряжения в венце начинаются с точки 7 графика.

Значительное падение величины напряжений начинается с точки графика №12, что является 1,7мм расстояния от контактируемой с роликами поверхности венца.

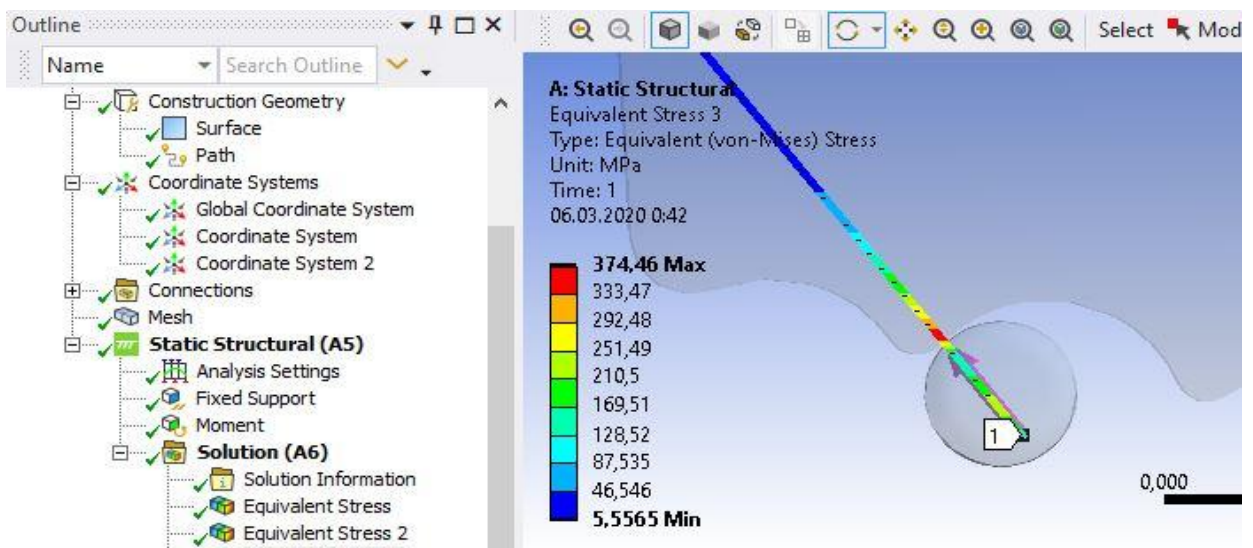


Рисунок 1.38 - Линия напряжений у вершины эпициклоида венца.

Создадим второе исследование для подтверждения необходимой толщины упрочнения ближе к вершине эпициклоида венца (рис. 1.38)

Аналогично рассмотрим график напряжений по данной линии (рис. 1.39).

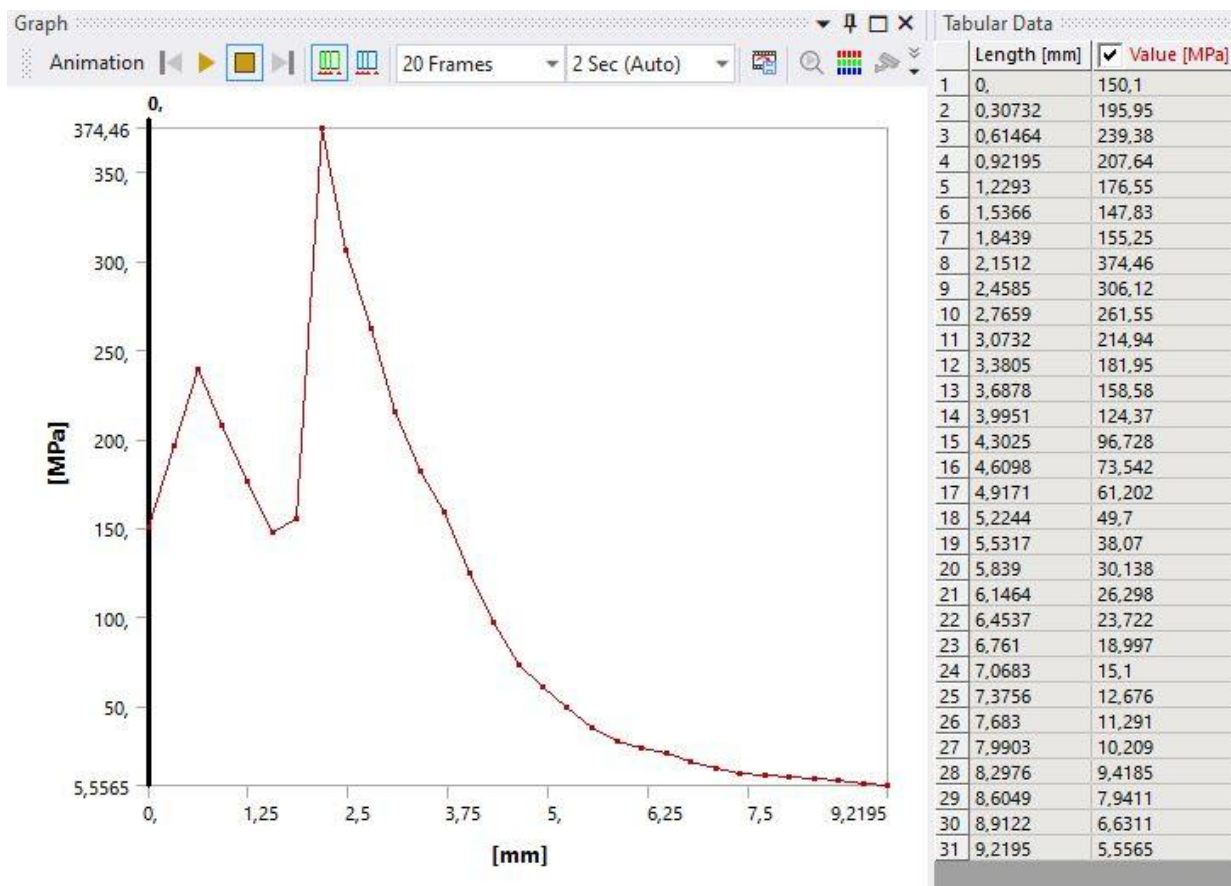


Рисунок 1.39 – График по линии напряжений рядом с вершиной эпициклоида венца

Напряжения в венце начинаются с точки 7 на графике, а значительное падение напряжений соответствует точке 15, что соответствует расстоянию 2,46мм.

Выводы по разделу

1. На основе анализа возможностей CAE-систем для расчета напряжений в деталях машин выбраны для исследования напряжений в деталях редуктора с ПТК системы ANSYS и SolidWorks. Детали и сборки с простой геометрией рассчитаны в CAE-системе ANSYS, а для расчета напряжений вала-сепаратора использована система SolidWorks. Обе автоматизированные системы расчета справились с выполнением поставленных задач.

2. Результаты расчета напряжений в выходном валу редуктора с ПТК производимые в обеих САПР отличаются не более чем на 10%. Установлено, что коэффициент запаса прочности в опасных сечениях вала кратно превышает рекомендуемый запас прочности для работы при заданных параметрах нагрузки и соответствует $N=9,21$.

3. В результате исследования напряжений в трех сечениях сепаратора установлено, что напряжения в стенках сепаратора распределяются не равномерно. Максимальные напряжения находятся в перегородках у первого вступающего в контакт с венцом ролика и у последнего, выходящего из контакта. Рассчитанный коэффициент запаса прочности перегородки сепаратора $N=2,6$.

4. Расчет контактных напряжений в ролике выявил неравномерное распределение напряжений в модели. Напряжения возрастают от оси ролика к поверхности. Коэффициент запаса прочности ролика $N=1,32$ соответствует требованиям при заданных режимах работы редуктора.

5. Опасное сечение в сборке венец-ролик находится в вершине эпициклоида венца.

Необходимая минимальная глубина прокаливания профиля венца для достижения требуемой прочности составляет 2,4 мм. Коэффициент прочности венца $N_v=1,15$ соответствует требованиям при заданных режимах работы редуктора.

2 Конструкторская часть

2.1 Инженерный расчет элементов редуктора

Ручной расчет напряжений в вале-сепараторе

Расчет касательных напряжений вала сепаратора производится по формуле[21]:

$$\tau = \frac{T}{W\rho}; W\rho = \frac{\pi D^3}{16} \quad (8)$$

Для исследуемых расчетов составим таблицу необходимых диаметров для расчетов напряжений вала.

Напряжения вала-сепаратора исследуются при максимальном крутящем моменте 35н·м, полученным в ходе стендовых испытаний. Разделим вал-сепаратор на 5 сечений (рис.2.1) и определим напряжения в них (таблица 2.1).

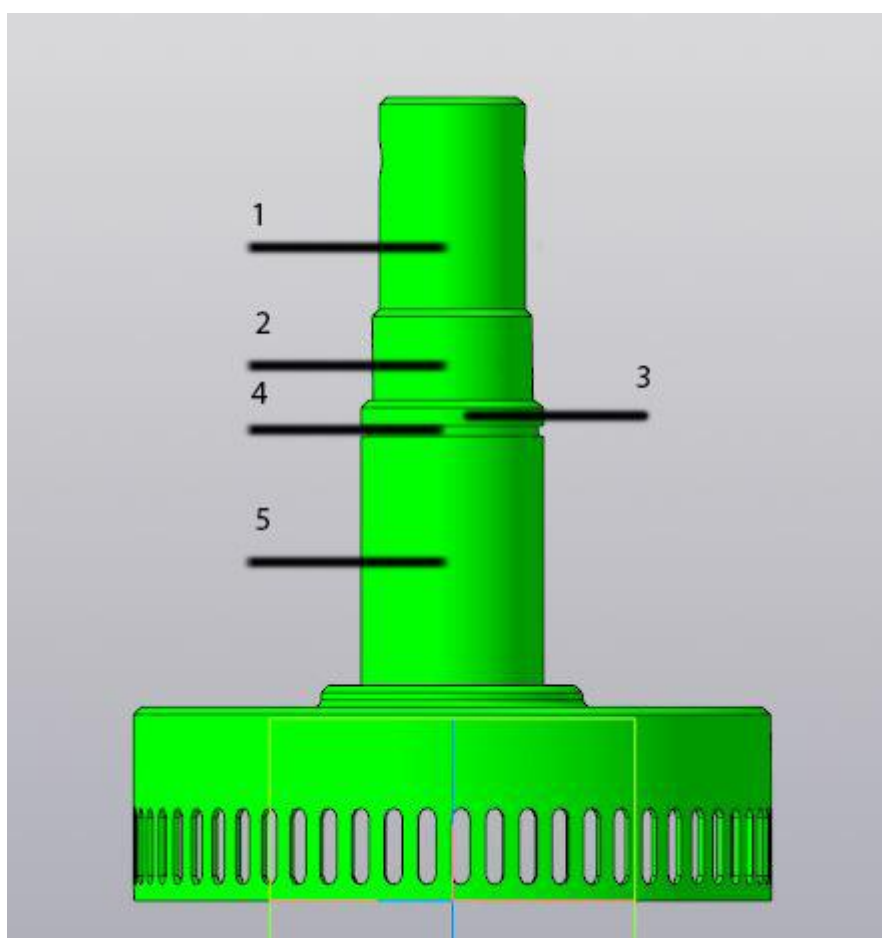


Рисунок 2.1 – Разделение вала-сепаратора на 5 диаметров для исследования напряжений

Таблица 2.1 – Напряжения в выходном валу

τ	T	$W\rho$	D
МПа	Н·мм	мм ³	мм
22,29	35000	1570	20
16,75	35000	2089,67	22
11,41	35000	3066,41	25
13,74	35000	2546,91	23,5

Расчет контактных напряжений в паре ролик-венец

Расчет производится по следующей формуле:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{qE_{\text{пр}}}{2\pi\rho_{\text{пр}}(1-\nu\cdot\nu)}} \quad (9)$$

Коэффициент Пуассона для стали ШХ15=0,3 [22].

Приведенный радиус кривизны рассчитывается по формуле:

$$\rho_{\text{пр}} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{\rho_1 - \rho_2} \quad (10)$$

$\rho_1=0,00125$; $\rho_2=0,00233$.

$\rho_{\text{пр}}=0,0027$

Приведенный модуль упругости рассчитывается по формуле:

$$E_{\text{пр}} = \frac{2E_1E_2}{E_1+E_2} \quad (11)$$

Оба взаимодействующих тела выполнены из материала ШХ15, модуль упругости которой $E=2,1$ ГПа.

$E_{\text{пр}} = 2,1$ ГПа.

$q=F/b$

$F=6,4$ Н

$b=0,0025+0,004652$

$q=6,4/0,0097=701,03$

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{701,03 \cdot 2,11}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0027 \cdot (1-0,09)}} = 214,025 \text{ МПа.}$$

Расчет перегородки вала-сепаратора

Расчет перегородки сепаратора будет производиться как жестко закрепленной балки (рис. 2.2)

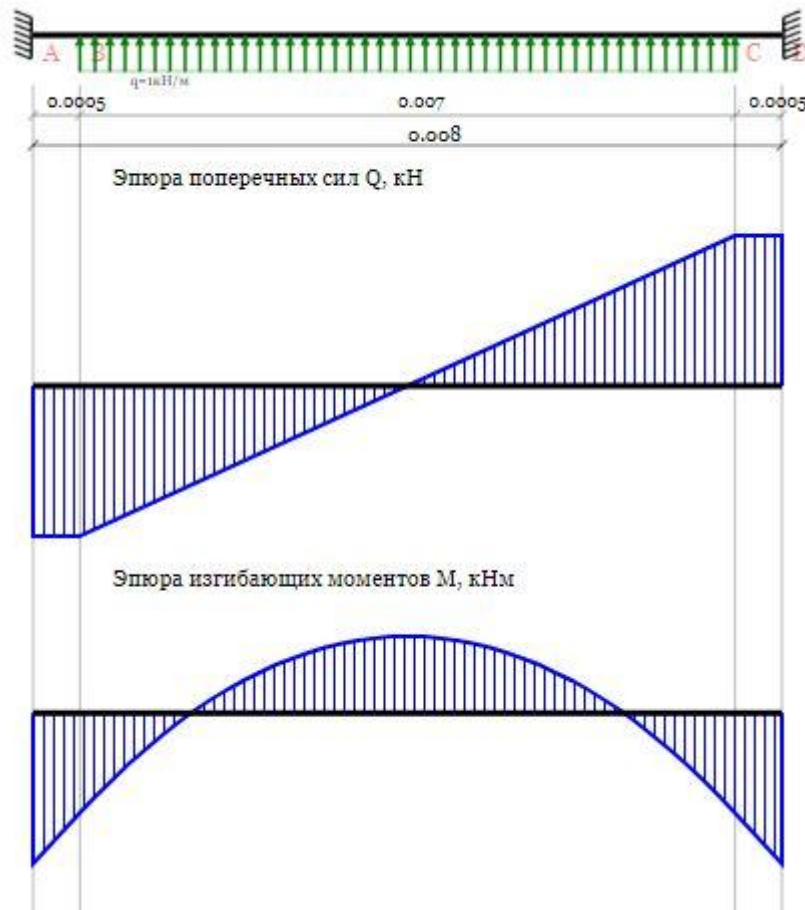


Рисунок 2.2 – Схема нагрузки и закрепления перегородки и эпюры

Длина балки 0,008м, нагрузка по длине 0,007м, по длине ролика без скругления по 3д модели, нагрузка приложена равномерно с отступами от закреплений балки по 0,0005м, максимальная рассчитанная нагрузка $q=6,4 \text{ Н}$

На участке АВ: ($0 \leq z_1 \leq 0,0005 \text{ м}$)

$$Q(z_1) = + R_A = + 2,24 \cdot 10^{-5} = 0 \text{ кН}$$

$$M(z_1) = - M_A + R_A \cdot z = - 3,337 \cdot 10^{-5} + 2,24 \cdot 10^{-5} \cdot z$$

$$M(0) = 0 \text{ кНм}$$

$$M(0,0005) = 0 \text{ кНм}$$

На участке ВС: ($0,0005 \leq z_2 \leq 0,0075 \text{ м}$)

$$Q(z_2) = + R_A - q \cdot (z - 0,0005) = + 2,24 \cdot 10^{-5} - 0,0064 \cdot (z - 0,0005)$$

$$Q(0,0005) = 0 \text{ кН}$$

$$Q(0,0075) = -0 \text{ кН}$$

$$M(z_2) = -M_A + R_A \cdot z - q \cdot (z - 0,0005)^2 / 2 = -3,337 \cdot 10^{-5} + 2,24 \cdot 10^{-5} \cdot z - 0,0064 \cdot (z - 0,0005)^2 / 2$$

$$M(0,0005) = 0 \text{ кНм}$$

$$M(0,0075) = 0 \text{ кНм}$$

Поскольку поперечная сила на участке пересекает ноль при $z = 0,004$ м, в этой точке будет экстремум на эпюре M

$$M(0,004) = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ кНм}$$

На участке CD: ($0,0075 \leq z_3 \leq 0,008$ м)

$$Q(z_3) = +R_A - Q_1 = +2,24 \cdot 10^{-5} - 4,48 \cdot 10^{-5} = -0 \text{ кН}$$

$$M(z_3) = -M_A + R_A \cdot z - Q_1 \cdot (z - 0,004) = -3,337 \cdot 10^{-5} + 2,24 \cdot 10^{-5} \cdot z - 4,48 \cdot 10^{-5} \cdot (z - 0,004)$$

$$M(0,0075) = 0 \text{ кНм}$$

$$M(0,008) = 0 \text{ кНм}$$

Максимальный момент в балке составляет $M_{\max} = 3,34 \cdot 10^{-5}$ кНм.

Ширина перегородки $h=2,15$ мм, толщина $b=1$ мм. Момент сопротивления рассчитывается по формуле [23]:

$$W_z = bh^2 / 6 \quad (12)$$

$$W_z = 4,6225 / 6 = 7,7 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3$$

Расчет нагрузки при изгибе рассчитывается по формуле [24]:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z} \quad (13)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{3,34 \cdot 10^{-5}}{7,7 \cdot 10^{-10}} = 43376,623 \text{ Па}; \quad \sigma_{\max} = 4,34 \cdot 10^{-2} \text{ МПа}$$

Инженерные расчеты наиболее близки к данным, полученными в САЕ-системе SolidWorks на сечении семнадцатой нагруженной перегородки сепаратора на расстоянии сечения 3 мм (рис. 2.3), что соответствует $3,753 \cdot 10^{-2}$ МПа

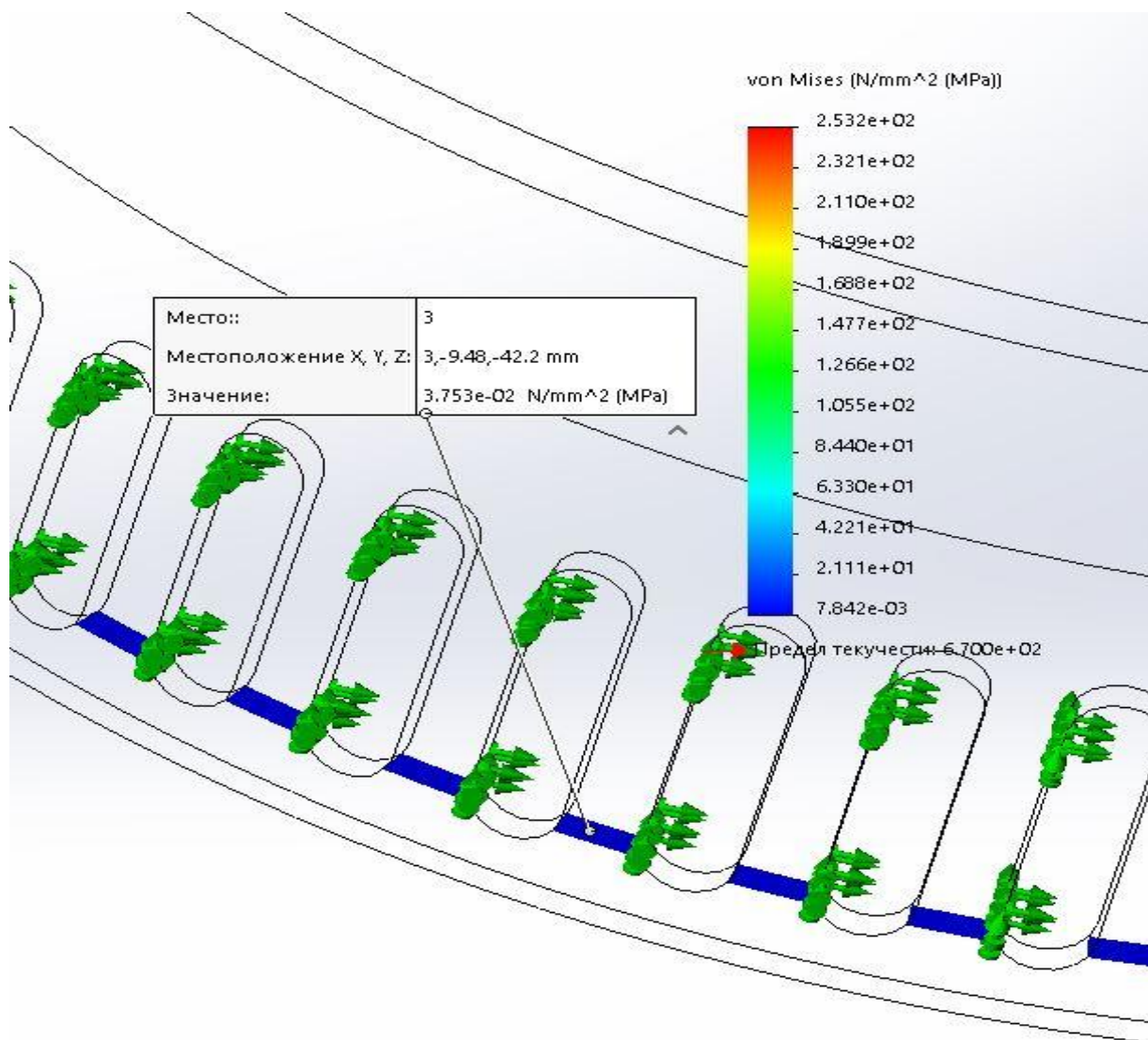


Рисунок 2.3 – Сечение нагруженной перегородки сепаратора со значением напряжений, наиболее близких к инженерным расчетам

Сравнение полученные результаты инженерных расчетов, с расчетами, полученными в САЕ-системах.

Сравнение данных по расчетам вала сепаратора представлено в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Сравнение напряжений в валу сепаратора.

Инж. Расчет, МПа	ANSYS, МПа
22,29	22,33
16,75	16,71
13,74	14,46
11,41	11,44

Исходя из данной таблицы, рассчитанная процентная разница между способами расчетов составляет 5%.

Сравнение напряжений в перегородке сепаратора, полученных инженерными методами и расчетами в САЕ-системе представлено в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Сравнение напряжений в перегородках сепаратора.

Инж. Расчет, МПа	ANSYS, МПа
0,0434	0,03753

Рассчитанная процентная разница между способами расчетов составляет 14%.

Сравнение данных по расчетам контактных напряжений в паре ролик-венец представлено в таблице 2.5, данные для ANSYS взяты с рис. 1.37, где точка 7 является местом контакта ролика и венца.

Таблица 2.5 – Сравнение напряжений в паре ролик-венец.

Инж. Расчет, МПа	ANSYS, МПа
214,025	210,16

Процентная разница между инженерным расчетом и расчетом в САЕ-системе ANSYS составляет 2%.

2.2 Рекомендации изготовлению некоторых деталей и использования смазочных материалов

2.2.1 Анализ возможности облегчения вала-сепаратора с сохранением запаса прочности в САЕ ANSYS

Для расчета напряжений в вале-сепараторе создадим упрощенную симуляцию мультипликатором – фиксация поверхности сепаратора и приложение крутящего момента на поверхность отверстия для шпинта.

Для исследования разделим вал-сепаратор на 5 частей по изменению размера в диаметре (рис. 2.4).

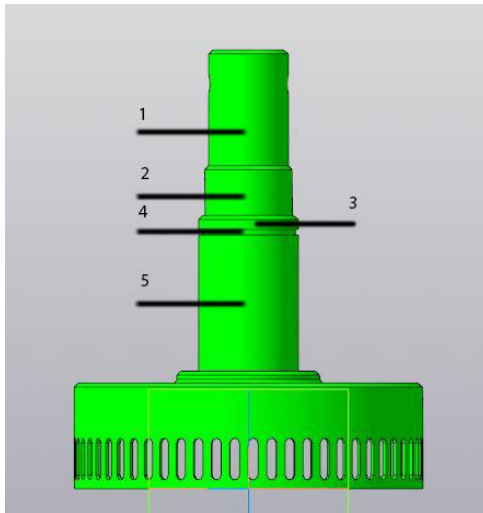


Рисунок 2.4 – Разделение вала-сепаратора на 5 зон исследования напряжений

Для создания расчета используем модуль «Static Structural» (рис. 2.4).

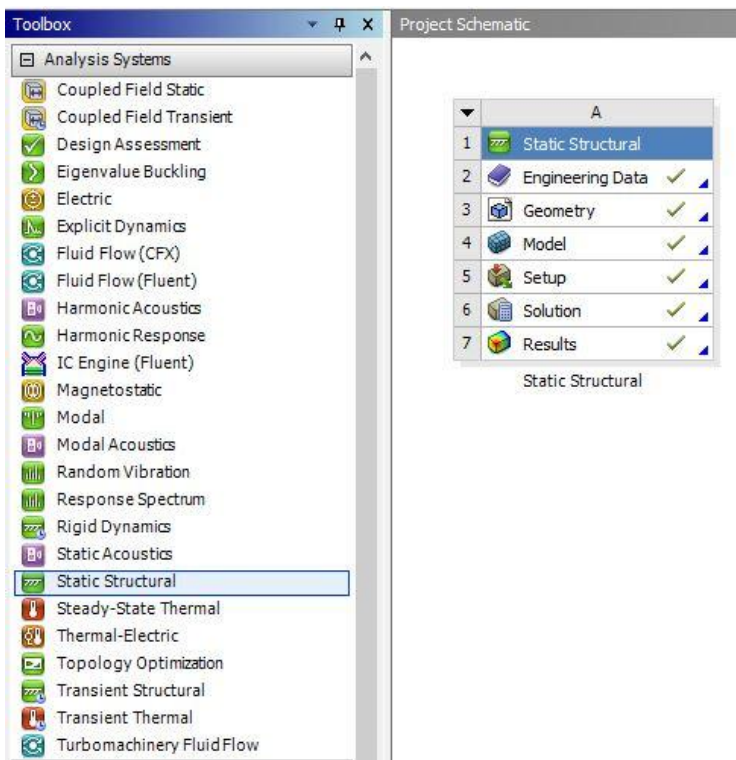


Рисунок 2.5 - Настройка параметров исследования

Далее выбираем “Engineering data” и задаем параметры материала вала-сепаратора – Сталь 40Х (рис. 2.5) Предел прочности – 395МПа, предел текучести – 345МПа, плотность 7820кг·м³.

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
*	Click here to add a new material				

Properties of Outline Row 3: Structural Steel					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7820	kg m ⁻³		

Рисунок 2.6 - Настройка параметров материала в ANSYS

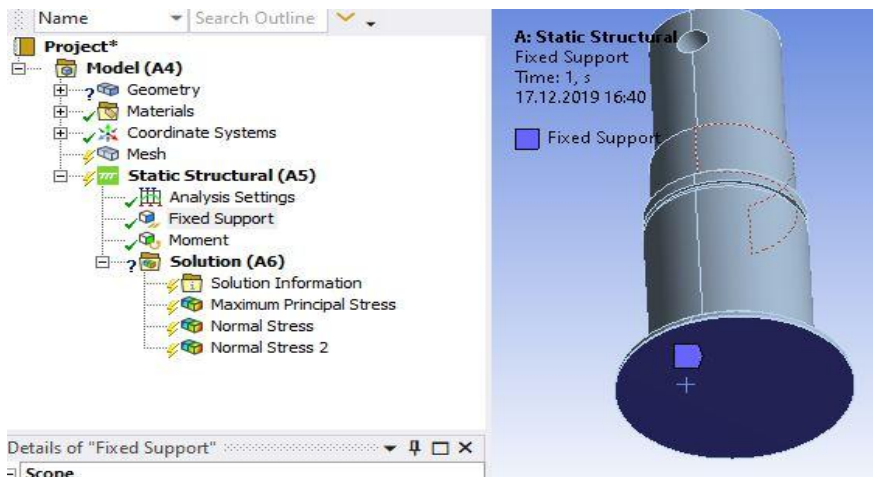
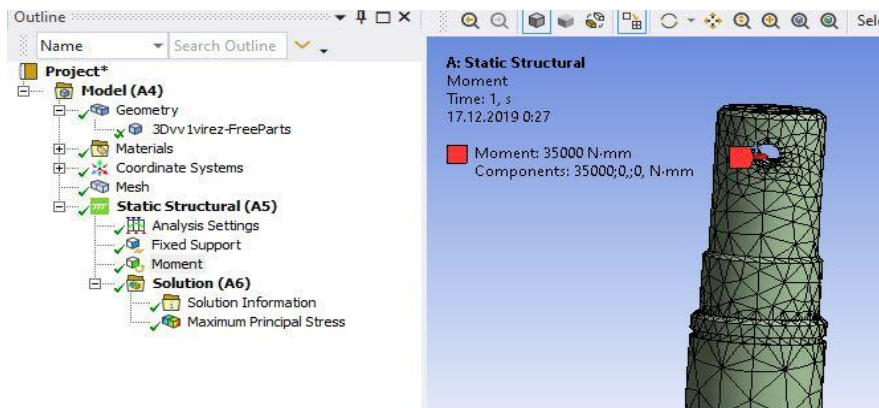


Рисунок 2.7 - Установка нагрузки и закрепления на 3D модели

После настройки материала, выбираем 3д модель детали для исследования во вкладке «Geometry» (рис. 2.6), после чего выбираем кнопку «Model» и в модуле “Mechanical” – пункт A5 (рис. 2.7) задаем вращающийся

момент на отверстие для шплинта $35\text{Н}\cdot\text{мм}^2$ по координате оси X, являющейся осью вала и закрепление для вала на поверхности с окнами сепаратора для ПТК.

Далее в модуле A6 добавляем пункт «Maximum Principal Stress» и запускаем расчет кнопкой «Solve».

С помощью инструмента «проба» выбираем примерный центр по высоте на исследуемом диаметре, в каждом из 5 участков вала (рис. 2.8).

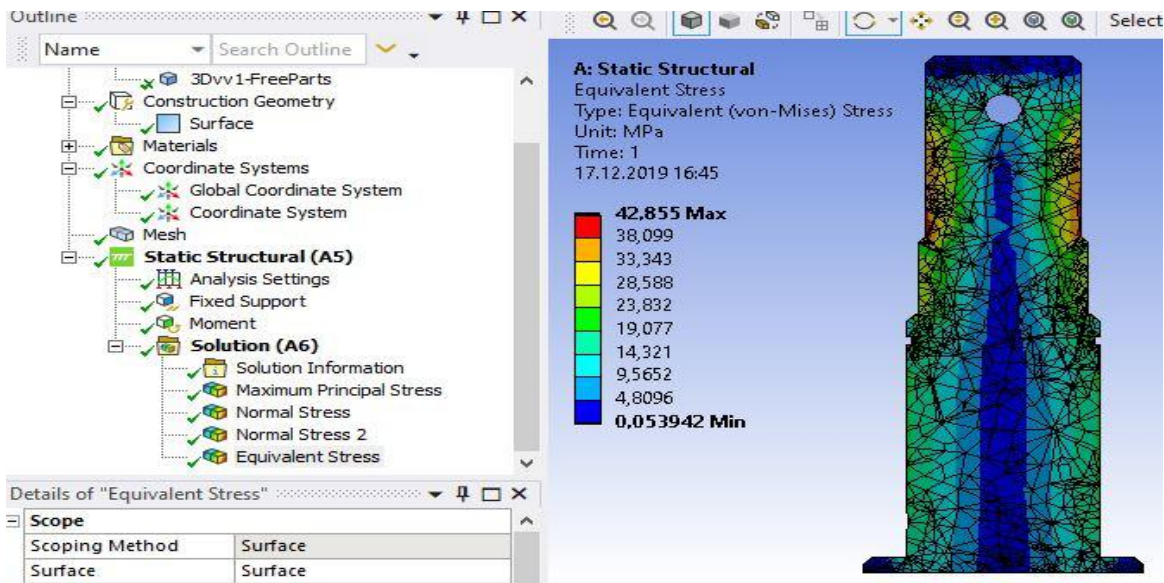
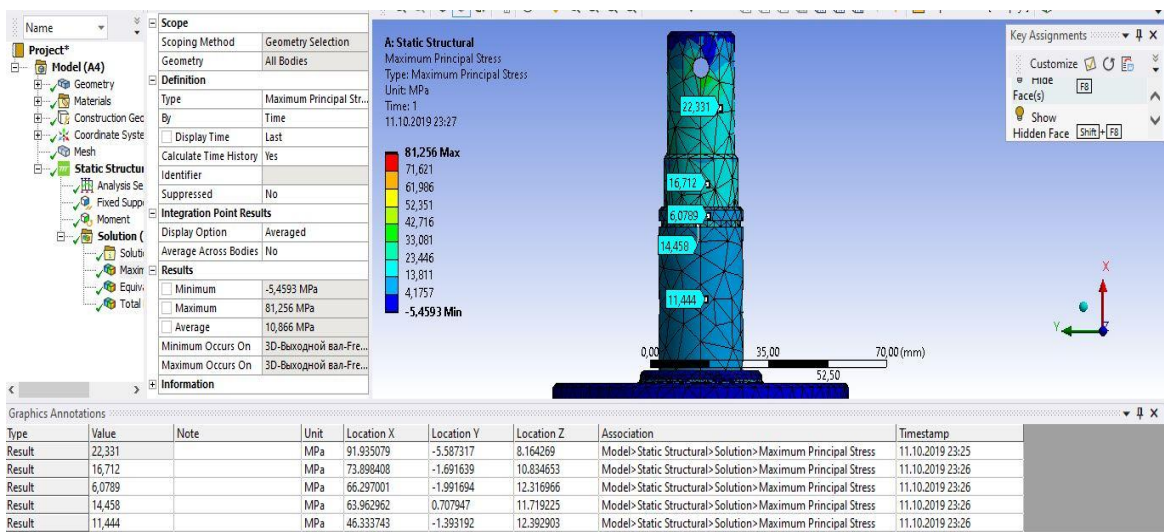


Рисунок 2.8 – Выбор точек и показания напряжений при расчете в ANSYS

Рассмотрим возможность облегчения вала-сепаратора глубоким сверлением $D14\text{мм}$ на глубину 65мм согласно эскизу (рис. 2.9).

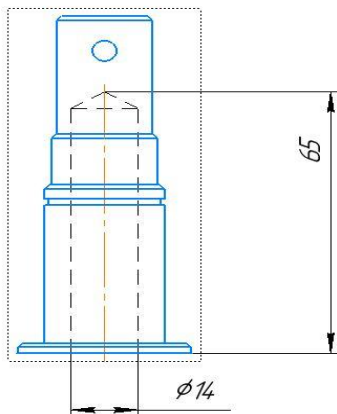


Рисунок 2.9 – Эскиз облегчения вала-сепаратора.

Создадим 3D модель с облегчением и рассчитаем массу облегчения вала (рис. 2.10).

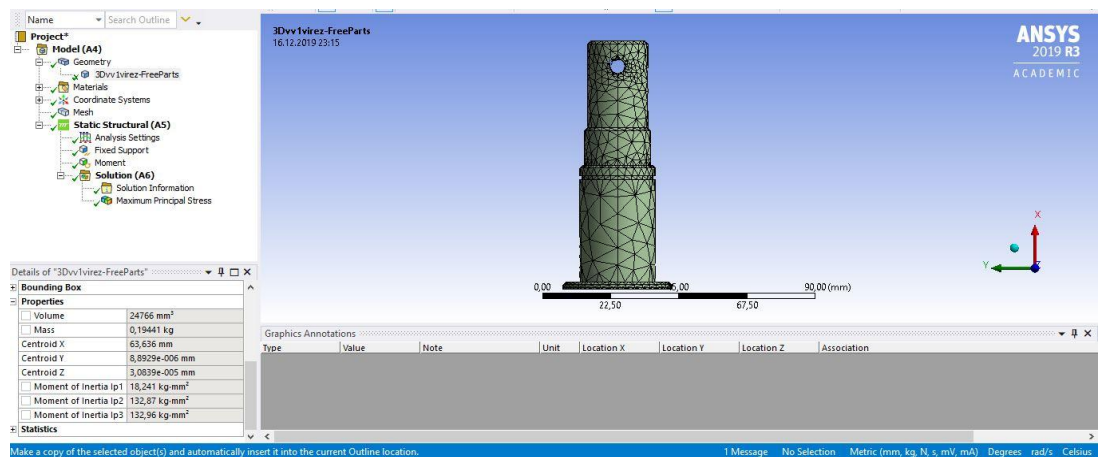
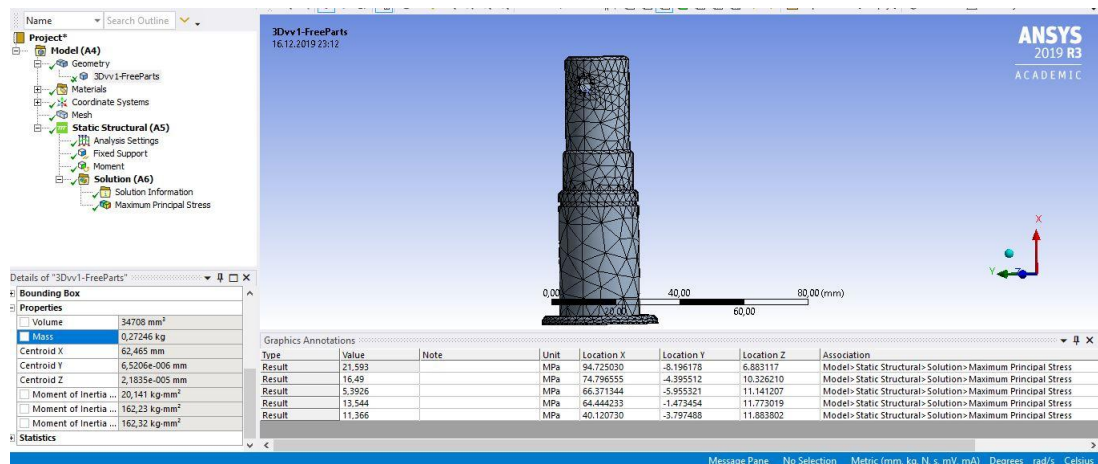


Рисунок 2.10 - Значения массы для деталей с облегчением и без

В результате сверления вала-сепаратора, массой 0,7067кг, расчетное облегчение детали составило 9,04% - 0,0781кг.

Для уточнения напряжения облегченной модели вала сепаратора, проведем аналогичный расчет (рис. 2.11), после чего сформируем значения обоих расчетов в таблицу (таблица 2.6)

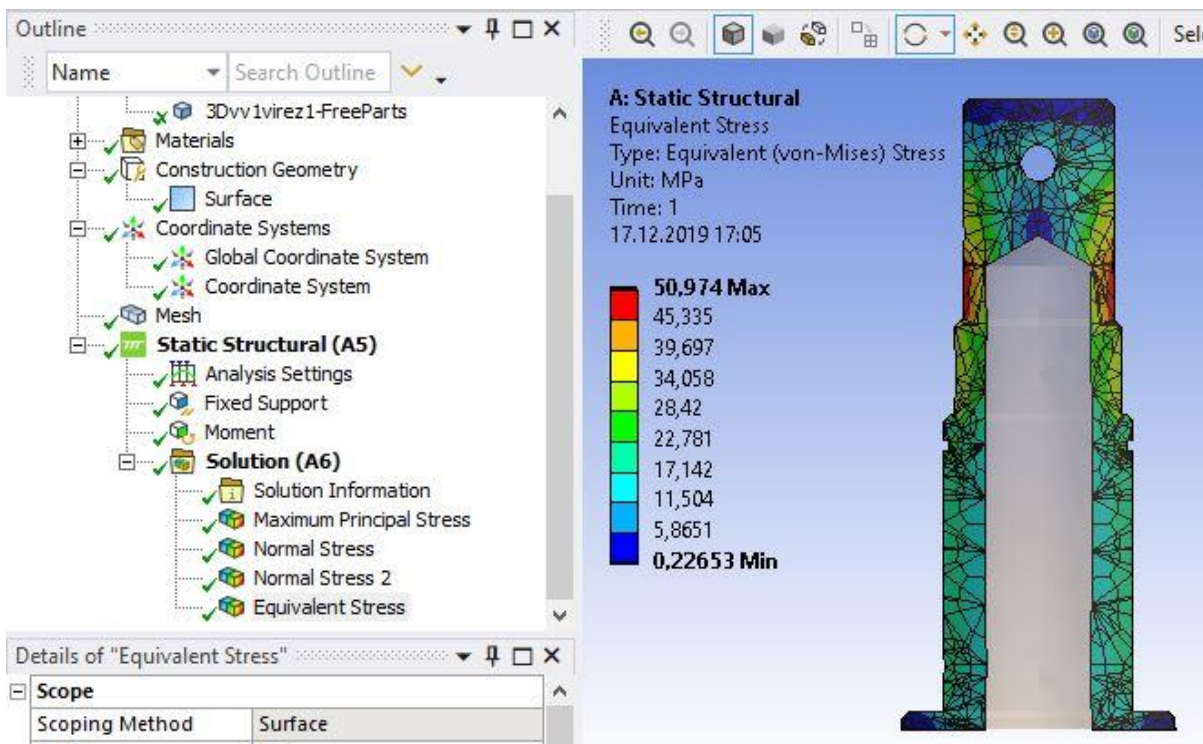
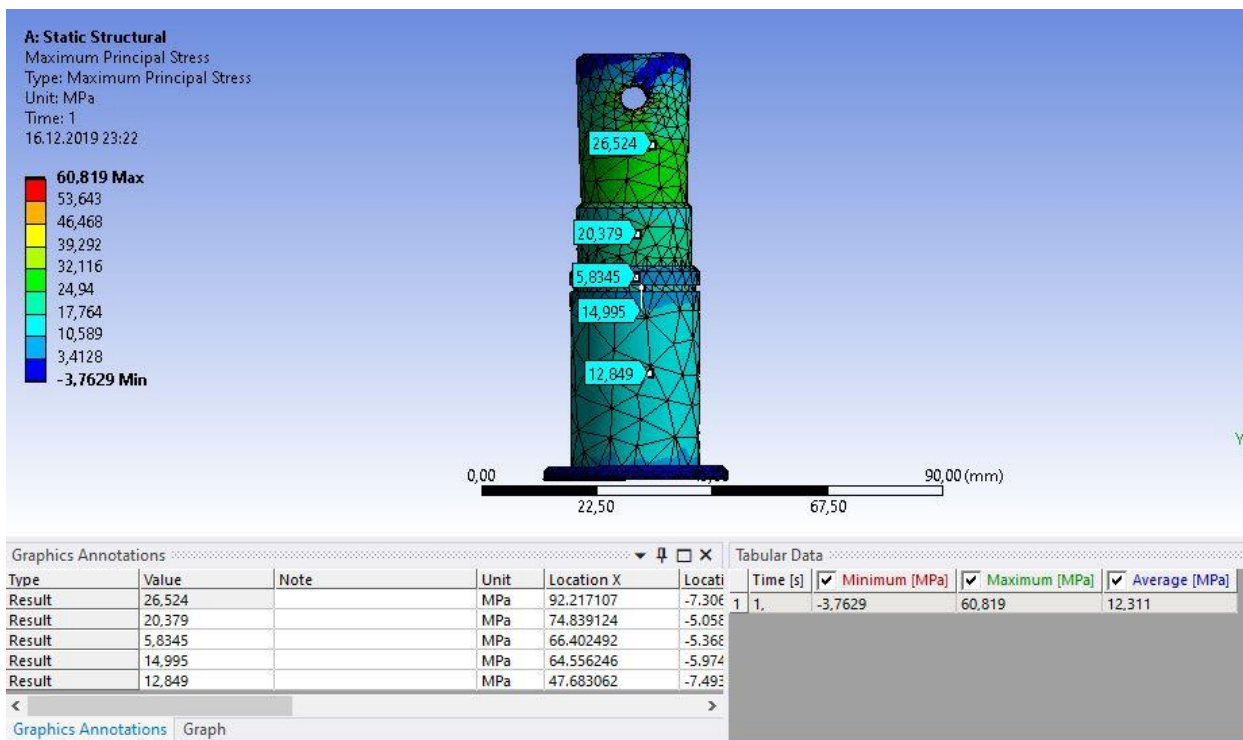


Рисунок 2.11 - Расчет напряжений вала-сепаратора с облегчением

Таблица 2.6 – Расчетные напряжения валов сепараторов.

Вал-сепаратор облегчения, МПа	без	Вал-сепаратор облегчением, МПа	с
22,33		26,52	
16,71		20,38	
6,08		5,84	
14,46		14,99	
11,44		12,85	

Инженерные расчеты касательных напряжений вала производятся по формуле формуле $\tau = \frac{T}{W\rho}$; $W\rho = \frac{\pi D^3}{16}$ и их результаты приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты инженерных расчетов вала.

τ	T	$W\rho$	D
МПа	Н·мм	мм ³	мм
22,281	35000	1570,795	20
16,741	35000	2090,728	22
11,408	35000	3067,959	25
13,735	35000	2548,198	23,5

Добавим в расчет возможную нагрузку при эксплуатации ручной машины электробур в виде нормали к оси вращения вала в 1000Н. Для этого создадим 2 системы координат с осями, совпадающими с осями рукоятей ручной машины (рис. 2.12)

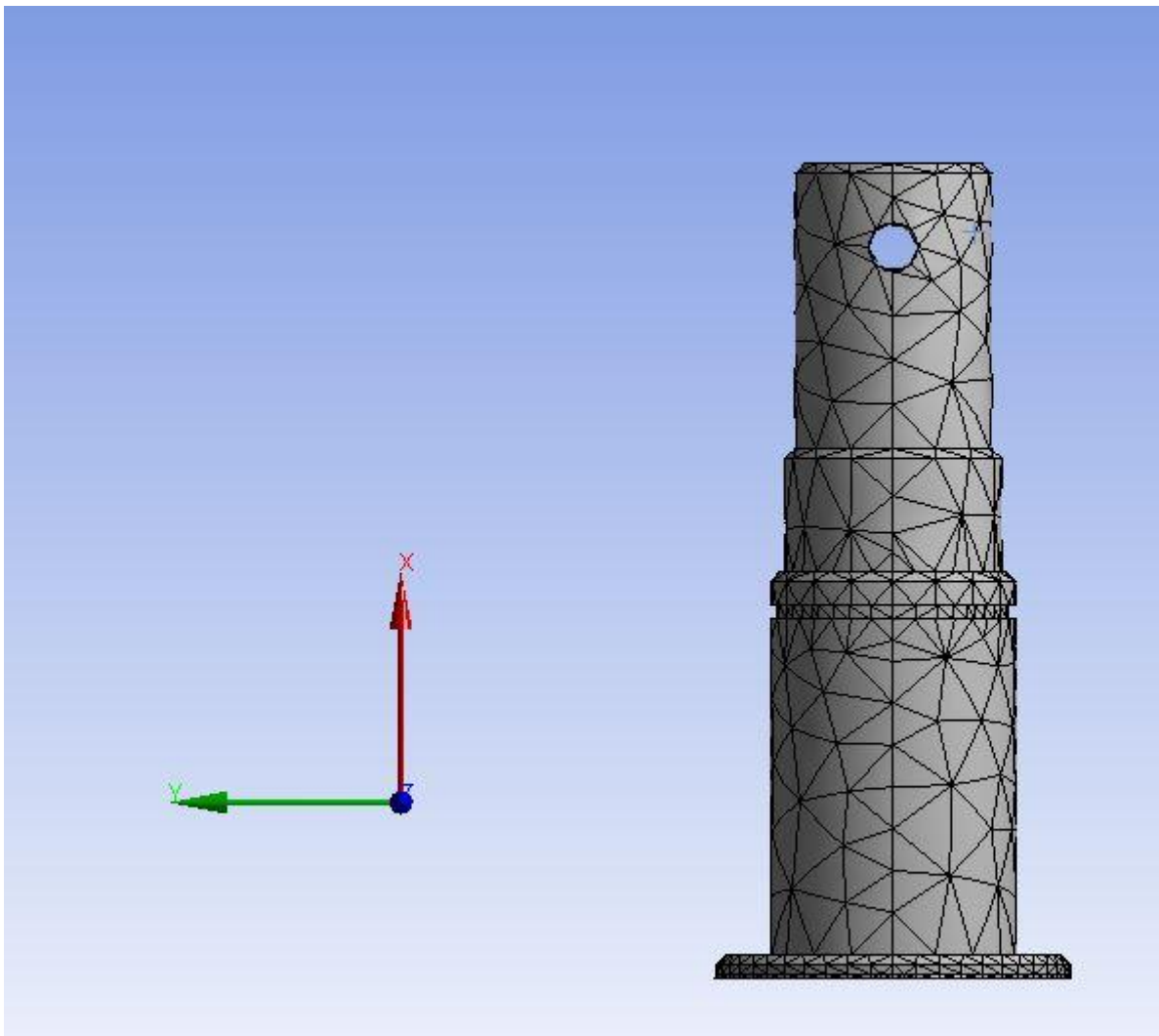


Рисунок 2.12 – Создание систем координат, совпадающих с осью рукоятей ручной машины

Далее создадим закрепление в подшипнике, ограничив перемещение поверхности вдоль двух осей (рис. 2.13)

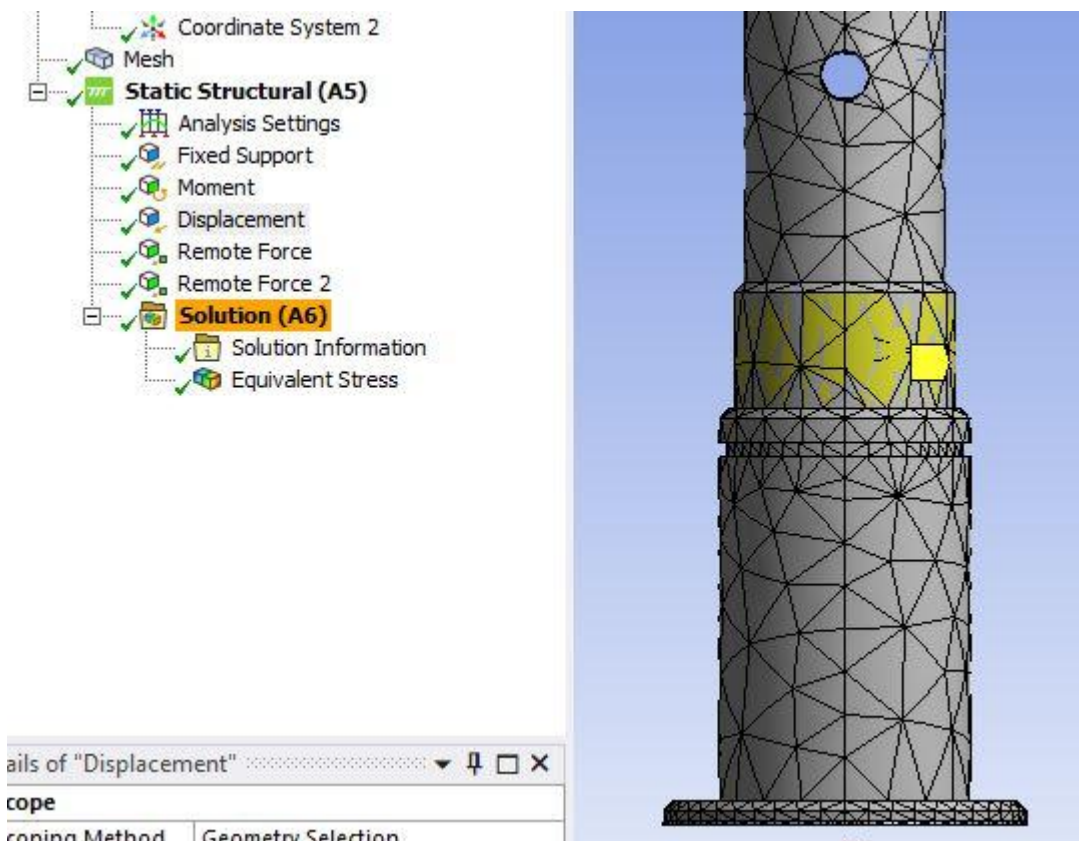


Рисунок 2.13 – Создание закрепления подшипника

Добавляем удаленную нагрузку на каждую из осей по 500Н, направленную в одну сторону методом Remote Force (рис. 2.14)

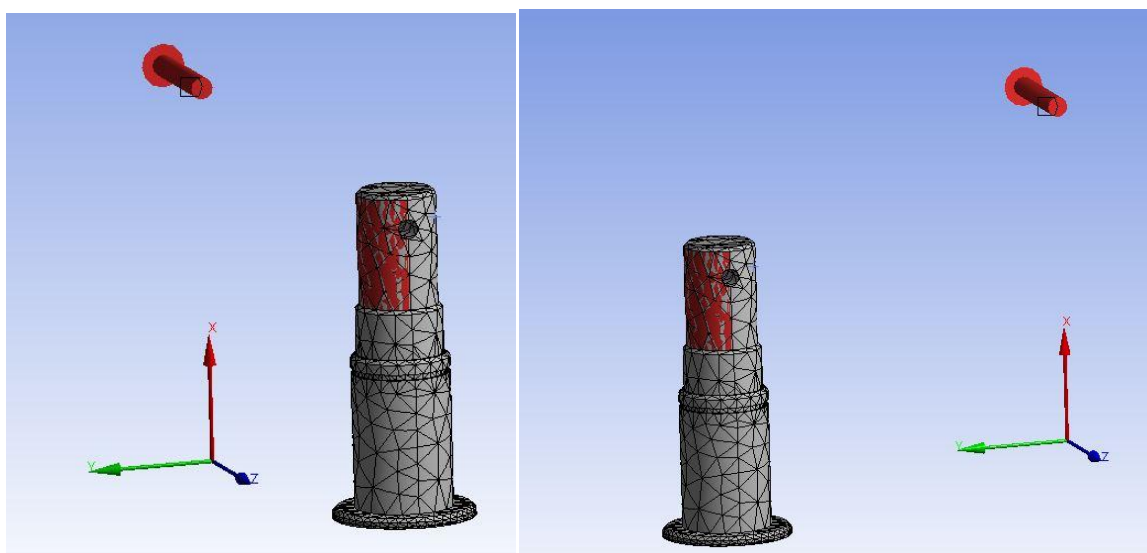


Рисунок 2.14 – Добавление удаленной нагрузки

И рассмотрим получившуюся картину напряжений по Мизесу (рис. 2.15).

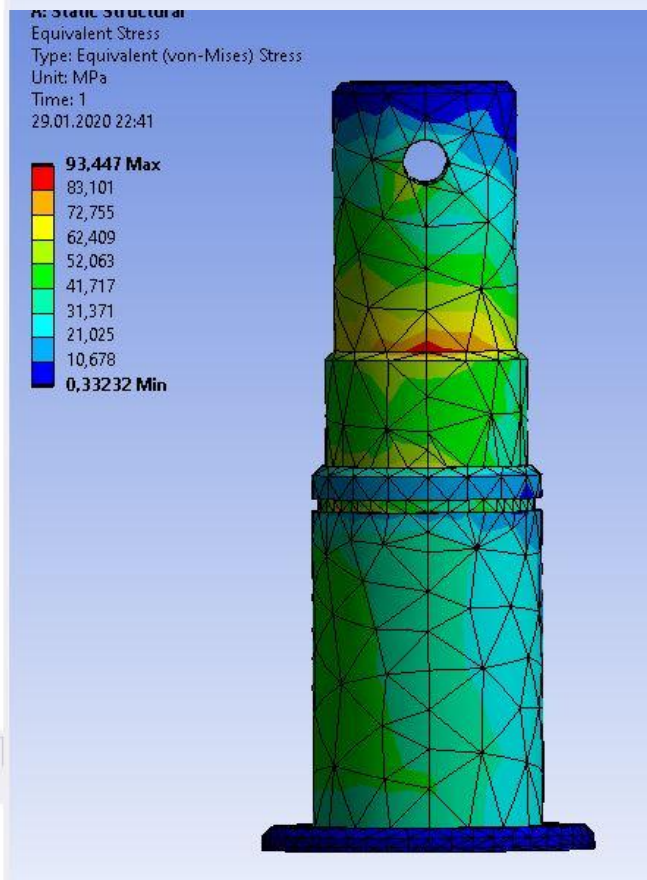
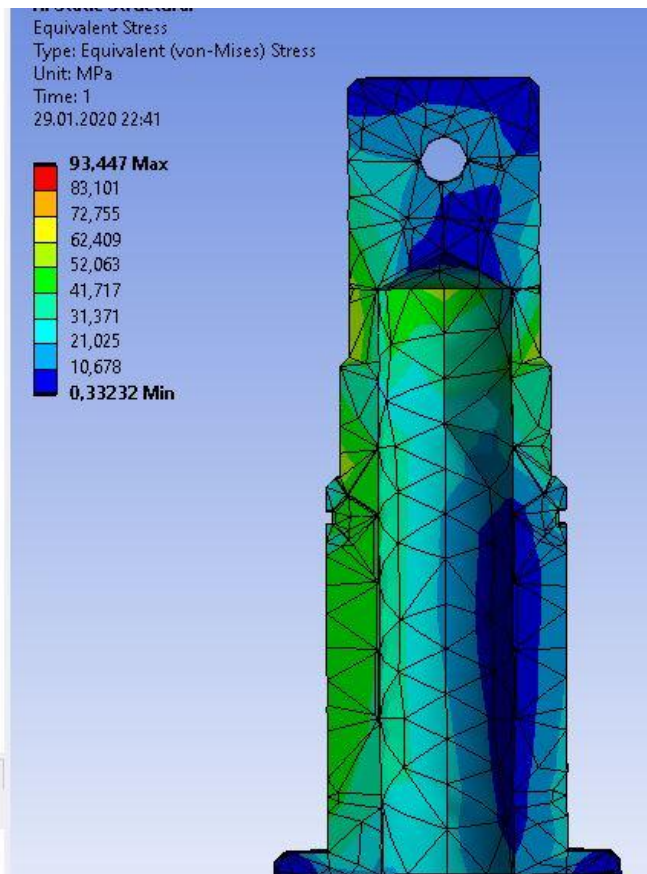
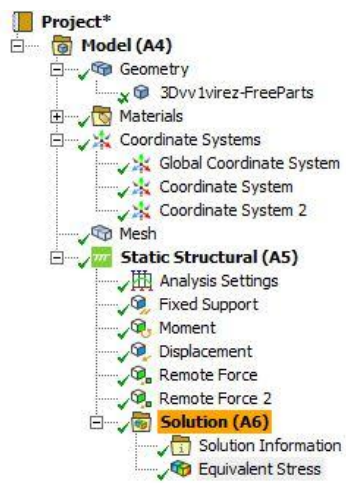
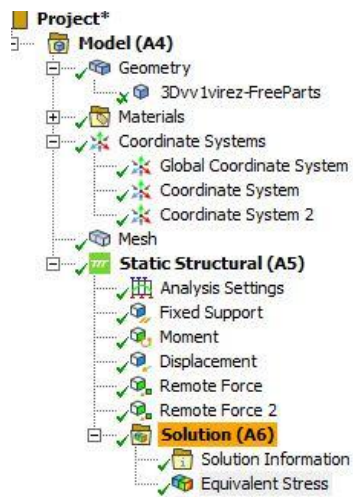


Рисунок 2.15 – Картина напряжений в облегченном валу с дополнительной нагрузкой

Так как по ГОСТ 8479-70 сталь 40Х имеет предел текучести $\sigma_{0,2}=395\text{МПа}$ для сечений площадью 250-300мм, произведем расчет коэффициентов запаса прочности N для обоих расчетов по формуле:

$$N = \frac{S}{T}, \text{ где } S \text{ — предельно допустимое значение рассматриваемой}$$

величины (силы, напряжения, перемещения и т. д.); Величина получена при механических испытаниях материала, T — расчетное значение этой величины.

Расчет запаса прочности по расчетным напряжениям:

$N_{исх} = 17.69$ для исходной детали, $N_{об} = 14.89$ для облегченной детали.

Расчет запаса прочности по расчетным напряжениям по Мизесу:

$N_{исх} = 395/42,855 = 9,21$ для исходной детали, $N_{об} = 395/93,447 = 4,23$ для облегченной детали.

Исходя из данных расчетов, подтверждена возможность облегчения детали без значительной потери коэффициента запаса прочности.

2.2.2 Возможность изготовления детали вал-сепаратор из двух частей

Так как деталь вал-сепаратор изготавливается из цельной заготовки, из стали 40Х, для серийного производства требуется рассмотреть возможность удешевления изготовления – из двух частей путем сварки с последующей механической обработкой.

Заготовками для вала-сепаратора будут круг горячекатаный диаметра 31мм и круг горячекатаный диаметра 100мм, по ГОСТ 2590-2006.

Так как сталь 40Х является трудносвариваемой, что предполагает предварительный нагрев свариваемых поверхностей до 250-300°С, с последующим отпуском при 600-650°С. Сварка производится электродами для низколегированных низкоуглеродистых сталей, например УОНИИ 13/55,

фирмы ESAB, предназначенных для сварки ответственных изделий с пределом прочности до 540МПа [25].

При данном методе изготовления, стоимость готовой детали снижается, за счет снижения расхода материала при механической обработке.

2.2.3 Использование смазочных материалов

Так как редуктор с ПТК в ручной машине электробур является теплонагруженным элементом, для данного узла требуется применение высокотемпературных масел, с низкой вязкостью при высоких температурах. Большинство таких смазок изготавливается на основе полиалкиленгликолей, например - Mobil GlyGoyle 11. У данного масла кинематическая вязкость в сантистоксах ($1 \text{ ССТ} = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$) ССТ при 100°C – 11,5, а при 40°C - 85, а температура вспышки выше 226°C . Также следует учесть вспениваемость применяемого масла, у GlyGoyle 11 пенообразование по стандарту определения ГОСТ 32344-2013 (идентичен стандарту ASTM D 892) на Этапе 1 тестирования составляет 5/0 [26].

Немаловажным фактором является теплопроводность смазки, а также воздействие её на уплотнения в конструкции. Большинство высокотемпературных смазок производятся на основе полиалкиленгликолей, делающих их несовместимыми с большинством уплотнений, предназначенных для не теплонагруженных узлов. Оптимальным материалом для уплотнения при использовании данных смазок является применение фторэластомеров, винил-метил-полисилоксан каучуков, а так же бутадиен-нитрильный каучук в ограниченном температурном диапазоне до 140°C . Для данного редуктора с ПТК следует применять уплотнения на основе фторэластомеров, т.к. продукция данного вида широко представлена отечественными производителями [27].

Выводы по разделу

1. Установлено, что, максимальная разница между результатами, полученных в САЕ-системах и инженерными расчетами составляет 5%, и лишь в модели со сложной геометрией, сепараторе, разница составила 14%. Однако, традиционный метод инженерных расчетов не способен предоставить полную картину распределения напряжений внутри детали, что скорее всего и является причиной значительной погрешности. САЕ-системы позволяют выявить опасные сечения с наглядной демонстрацией напряжений в любой точке детали, что невозможно сделать при стандартных методах инженерных расчетов.

2. Расчетным путем доказана возможность облегчения детали вал-сепаратор на 9,04%, с сохранением требуемого запаса прочности.

3. Изготовление детали вал-сепаратор из двух заготовок с применением сварки позволяет снизить расход материала и инструмента при механической обработке, а также себестоимость детали.

4. В редукторах с ПТК необходимо применять высокотемпературную смазку на основе полиалкиленгликолей, за счет чего обеспечивается высокая смазывающая способность трущихся поверхностей при высоких температурах.

5. Для материала уплотнений при работе с данным типом смазочных материалов требуется использовать сальники на основе фторэластомеров, винил-метил-полисилоксан каучуков, так как они не вступают в химическую реакцию с компонентами смазок на основе полиалкиленгликолей.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ82	Куклин Михаил Олегович

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

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

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Ресурсы ТПУ (производственная площадка, лаборатория). Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами по городу Томску. Оклады в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ».
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- районный коэффициент- 1,3; - накладные расходы – 16%
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- страховые взносы во внебюджетные фонды 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации
<i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Формирование плана и графика проекта: - Определение трудоемкости работ; - Разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат проекта.
<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Расчет показателей экономической эффективности проекта, интегрального показателя ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<i>Сегментирование рынка</i>
<i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
<i>Матрица SWOT</i>
<i>Календарный план-график</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		16.03.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ82	Куклин Михаил Олегович		16.03.2020

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

3.1 Общие сведения о научно-техническом исследовании

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта по исследованию напряжений редуктора с ПТК. Для достижения цели в данном разделе выпускной квалификационной работы представлены результаты расчётов бюджета научного исследования, оценочная карта сравнения конкурентных технических решений, оценка сравнительной эффективности исследования, рассмотрены различные варианты рисков связанных с реализацией продукции на потребительском рынке.

Потенциальным потребителем результатов исследования может являться любое машиностроительное предприятие. В особенности производители редукторов и мультипликаторов. Поскольку редуктора используются практически в любой отрасли, где используются машины, то любому машиностроительному предприятию производителю данные результаты исследования будут представлять интерес. Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

3.2 Сегментирование рынка

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка – ручная машина для бурения шпуров и лунок. Заполнить данную нишу может разработанная ручная машина электробур на основе редуктора с ПТК. На данной передаче уменьшается трение тел качения о профили, потому что тела качения обхватывается с обеих сторон профилями. За счет особенности редуктора, он испытывает меньшие нагрузки и способен передавать больший крутящий момент.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар. Предположительные сферы использования ручной машины электробур на основе редуктора с ПТК – сельское хозяйство, строительная и нефтегазовые промышленности.

Таблица 3.1 – Карта сегментирования рынка

		Отрасли использования ручной машины электробур		
		Строительная промышленность	Нефтегазовая промышленность	Сельское хозяйство
Компании	Крупные			+
	Средние	+	+	+
	Мелкие	+		+

Как видно из карты сегментирования, основным сегментом данного рынка является сельское хозяйство, где требуются высокая мобильность, малая масса и размеры. Однако помимо сельского хозяйства характеристиками исследуемой ручной машины электробур могут пользоваться и другие отрасли.

3.3 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Таблица 3.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{к1}	Б _{к2}	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Простота изготовления	20			40	40
2. Энергоэкономичность	5			20	30
3. Надежность	20			40	40
4. Материалоемкость	5			30	30
5. Широта области применения	15			40	40
Экономические критерии оценки эффективности					
6. Цена	20			30	30
7. Послепродажное обслуживание	5			30	40
8. Предполагаемый срок эксплуатации	10			40	40
Итого:	100	7	9	270	290

К1 – Ручная машины электробур с аккумуляторной батареей

К2 – Ручная машина электробур с питанием 220В

Наиболее целесообразно по технологическим и экономическим соображениям применение ручной машины электробур с питанием от сети переменного тока. Целесообразность применения данной передачи обуславливается простотой эксплуатации, а так же массой конструкции.

3.4 Анализ рисков

Риск продвижения продукта может заключаться в конкуренции с более дешевыми но менее эффективными зарубежными аналогами. Так как среди отечественных производителей устройства в данном направлении не производятся, но при появлении разработанной ручной машины электробур с редуктором с ПТК, возможно начало разработки ими конкурентных продуктов.

Так как детали производятся на зарубежном оборудовании, возможно удорожание себестоимости производства при изменении экономической или политической ситуации в стране.

Также существует риск малого спроса на изделие в некоторых сферах по причине замены автоматизации труда ручным, например в сельском хозяйстве.

3.5 SWOT-анализ

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

Таблица 3.3 - Матрица SWOT

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Возможность при определенных входных параметрах, выбрать оптимальную модель редуктора с ПТК или модель электродвигателя</p> <p>С2. Долгая служба механизма</p> <p>С3. Снижения затрат в эксплуатационный период</p> <p>С4. Простота эксплуатации</p>	<p>Сл1. Необходимость подключения к сети переменного тока, либо к генератору</p> <p>Сл2. Сложный процесс изготовления и сборки в сравнение с обычными зубчатыми редукторами</p> <p>Сл3. Большие затраты на этапе производства.</p> <p>Сл4. Продукт ранее не производился отечественными производителями</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование гидроабразивной и электроэрозионной установки для получения профиля</p> <p>В2. В связи с последними политическими событиями наблюдается тенденция на импортозамещение в данной отрасли, при условии отсутствия отечественных конкурентов.</p> <p>В3. Возможность внедрения технологии в производство</p> <p>В4. Так как группа имеет знания и опыт в направлении редукторов с ПТК, то есть возможность улучшить свойства для других изделий.</p>	<p>С1В1 – возможность сокращения времени изготовления других механизмов, за счет использования технологии производства данного изделия</p> <p>С1В2 – вероятность расширения потенциальных потребителей</p> <p>С1В3 - упрощение внедрения технологии в производство за счет оптимальных значений сил в зацеплении</p> <p>С1В4 – возможность адаптации устройства к потенциальным потребителям в других сферах</p> <p>С2В2 – позволяют при наличии спроса быстро нарастить объемы производства.</p> <p>С3В2, С4В2 - качество изделия будет являться конкурентным преимуществом на российском рынке.</p>	<p>В1Сл1 – новейшее оборудование и компьютерное моделирование, позволит на ранних стадиях исследования, выявить и предотвратить появление брака</p> <p>В2Сл4 - может не быть быстрого продвижения на рынок так как ранее продукт не продавался, и потребители не знают о нем.</p> <p>В3Сл2Сл3 – может потребоваться значительное изменение технологического процесса изготовления деталей из-за их высокой стоимости при обработке</p> <p>В4Сл4 – появление дополнительного спроса в других сферах может быть мало из-за узкой специфики применения устройства</p>

Продолжение таблицы 3.3

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований.</p> <p>У2. Импортное оборудование и инструменты отечественных производителей для массового производства</p> <p>У3. Допущенные ошибки на этапе расчётов или проектирования могут привести к полной неработоспособности конструкции.</p> <p>У4. Узкий круг возможных потребителей при наличии на рынке дешёвых, но менее эффективных аналогов.</p>	<p>У1С1С2С3С4-возможность за счет многофункциональности изделия создавать новые и более качественные универсальные изделия, а так же устойчивость к борьбе с конкурентами, за счет особенностей типа привода</p> <p>У2С2С3С4 – высокая точность изготовления деталей при минимальном расходе инструмента, а следовательно расходах на механическую обработку.</p> <p>У3С3 – исследование недостатков конструкции, поможет модернизировать уже производящиеся типы редукторов с ПТК</p> <p>У4С4 – возможность разработки новых типов приводов для определенных нужд конкретных сфер деятельности</p>	<p>У1Сл2Сл4 – вероятность появления более выгодных по цене, но менее эффективных продуктов от зарубежных производителей с традиционными типами редукторов</p> <p>У2Сл2. Проектируемый продукт может ещё не скоро выйти на рынок потребителей</p> <p>У3Сл1. В случае ошибки в расчётах, всю выполненную работу придётся начать с начала. У4Сл3. Низкий спрос продукции.</p>
--	---	--

Для успешной реализации продукции, придётся уделить большое внимание этапу проектирования, во избежание возможных конструкторских ошибок. Так же для уменьшения брака на всех этапах реализации потребуется привлечение новейшего оборудования. На данном этапе старт продукции на рынке сложно предугадать. Велика вероятность слабого старта продукции на потребительском рынке из-за низкого спроса. Однако при наличии хорошего спроса можно быстро нарастить объёмы продукции. Ещё не до конца известно, на сколько дороже или дешевле обойдётся данный продукт в сравнении с уже имеющимися аналогами на этапе производства и эксплуатации. Возможно продукция будет долго захватывать рынок потребителей, однако с большой вероятностью можно заявить, что рано или поздно данный механизм завоюет целевой рынок.

Таблица 3.4 – Интерактивная матрица проекта

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

Таблица 3.5 – Интерактивная матрица проекта

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

Таблица 3.6 - Интерактивная матрица проекта

Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	-	+
	У2	-	+	-	-
	У3	+	-	-	-
	У4	-	-	+	-

Таблица 3.7 - Интерактивная матрица проекта

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

На основе результатов анализа матрицы можно сделать вывод, что трудности и проблемы, с которыми может столкнуться данный проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон исследования.

3.6 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Для определения возможных альтернатив проведения НИР необходимо провести морфологический анализ. При изготовлении

устройства возможны два варианта исполнения. Эти варианты представлены в табл. 3.8.

Таблица 3.8 – Морфологический анализ

Наименование	Варианты	
	А. По типу электропитания	Аккумуляторный
Б. По использованию шнека	Двухзаходный	Однозаходный

По данным занесенным в таблицу 3.8 можно выделить две принципиальные конструкции устройства: А1Б1 – исполнение 1; А2Б2 – исполнение 2.

3.7 Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Проект разбивается на этапы выполнения, для распределение задач с целью распределения заработной платы.

Таблица 3.9 – План научно – исследовательской работы

Основные этапы	№	Описание работы	Должность исполнителя
Постановка целей и задач	1	Постановка цели и задач, необходимо которые выполнить цели для достижения	Руководитель
Разработка технического задания	2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	3	Проведение литературного обзора	Магистрант
Теоретические и экспериментальные исследования Разработка технологической документации	4	Составление принципиальной схемы	Магистрант
	5	Инженерные расчеты математической модели	Магистрант
	6	Исследование 3D модели устройства	Магистрант
	7	Исследование недостатков 3D модели в программной среде	Магистрант
	8	Рекомендации по серийному производству и использованию смазочных материалов	Магистрант
Оформление отчета	9	Оформление пояснительной записки результатам исследования	Магистрант

Таблица 3.10 - Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1	2	3
Постановка целей и задач	НР	НР – 100%
Разработка и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 20% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 40%
Поиск и анализ аналогичных устройств	НР, И	НР – 20% И – 100%
Инженерные расчеты математической модели	НР, И	НР – 20% И – 100%
Исследование 3D модели устройства	И	И – 100%
Исследование недостатков 3D модели в программной среде	И	И – 100%
Проведение исследований	НР, И	НР – 20% И – 100%
Оформление пояснительной записки	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Для выполнения перечисленных в таблице 5.10 работ требуются специалисты: инженер «И» (исполнитель ВКР); научный руководитель «НР».

3.8 Определение трудоемкости выполнения работ

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

$$T_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5i}$$

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

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i} \quad (14)$$

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

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Таблица 3.11 - Ожидаемое время выполнения работы

Основные этапы	№ раб		$t_{ож}$, чел.-дн.
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	3,2
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	9,8
	3	Проведение патентного обзора	3,8
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	3,2
	5	Выполнение инженерных расчетов	3,2
	6	Исследование 3D модели устройства	11
	7	Исследование недостатков 3D модели в программной среде	15,8
		Рекомендации по серийному производству и использованию смазочных материалов	8,4
Оформление отчета		Заполнение пояснительной записки	4,6
Итого:			63,0

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

Разработка графика проведения научного исследования строится в форме диаграммы Гантта. Для удобства построения, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней необходимо перевести в календарные дни.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (15)$$

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

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{кал}$ - коэффициент календарности.

Таблица 3.12 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_p	Длительность работ в календарных днях, T_k
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$			
Составление и утверждение ТЗ	2	5	3,2	Руководитель	3,2	5
Изучение материала по теме	7	14	9,8	Магистрант	9,8	15
Проведение литературного обзора	3	5	3,8	Магистрант	3,8	6
Составление принципиальной схемы	2	5	3,2	Магистрант	3,2	5
Выполнение инженерных расчетов	2	5	3,2	Магистрант	3,2	5
Исследование 3D модели устройства	5	14	11	Магистрант	11	14
Исследование недостатков 3D модели в программной среде	10	17	15,8	Магистрант	15,8	17
Рекомендации по серийному производству и использованию смазочных материалов	7	14	8,4	Магистрант	8,4	14
Заполнение пояснительной записки	3	7	4,6	Магистрант	4,6	7
Итого руководитель					3,5	5
Итого магистрант					59,8	83

Таблица 3.13 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	Продолжительность выполнения работ								
			Март			Апрель			Май		
			3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель									
2	Изучение материалов по теме	Магистрант									
3	Проведение патентного обзора	Магистрант									
4	Составление принципиальной схемы	Магистрант									
		Магистрант									
5	Выполнение расчетов	Магистрант									
6	Построение 3D модели устройства	Магистрант									
7	Создание математической модели согласно ТЗ	Магистрант									
8	Исследование математической модели в программной среде	Магистрант									
9	Заполнение пояснительной записки	Магистрант									

Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum C_i \cdot N_{расхi} \quad (16)$$

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

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.); C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

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

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Основные материальные затраты, необходимые для устройства, заносятся в таб. 3.14.

Таблица 3.14 - Материальные затраты

Наименование	Ед. изм.	Количество		Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, руб.	
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Вал-сепаратор	шт.	1	1	1500	1500	1500	1500
Колесо корончатое	шт.	1	1	450	450	450	450
Корпус	шт.	1	1	860	860	860	860
Водило	шт.	1	1	750	750	750	750
Сателлит	шт.	3	3	200	200	600	600
Плата питания	шт.	1	1	409	682	409	680
Шнек	шт.	1	1	1703	1117	1703	1117
Ролик	шт.	56	56	14	14	784	784
Подшипник	шт.	2	2	60	60	120	120
Аккумулятор	шт.	1	-	2400	-	2400	-
Итого расходы на материалы						9576	6861

3.9 Основная заработная плата исполнителей

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 3.15.

Таблица 3.15 - Расчет основной заработной платы

п/п	Наименование этапа	Исполнители	Трудоемкость, чел.-дн, руб	Заработная плата на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	3,2	1320	4224
2	Изучение материалов по теме	Магистрант	9,8	888	8702,4
3	Проведение литературного обзора	Магистрант	3,8	888	3374,4
4	Составление принципиальной схемы	Магистрант	3,2	888	2841,6
5	Выполнение инженерных расчетов	Магистрант	3,2	888	2841,6
6	Исследование 3D модели устройства	Магистрант	11	888	9768
7	Исследование недостатков 3D модели в программной среде	Магистрант	15,8	888	14030,4
8	Рекомендации по серийному производству и использованию смазочных материалов	Магистрант	8,4	888	7459,2

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (18)$$

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

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (17)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (19)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 3.16).

Таблица 3.16 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	105	105
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезням	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	195	195

$$Z_{\text{дн1}} = \frac{Z_m \cdot M}{F} = \frac{24750 \cdot 10,4}{195} = 1320 \text{ руб.} - \text{з.плата руководителя за 1 день};$$

$$Z_{\text{дн2}} = \frac{Z_m \cdot M}{F} = \frac{15460 \cdot 11,2}{195} = 888 \text{ руб.} - \text{заработная плата студента за 1 день.}$$

$$Z_{\text{осн1}} = 1320 \cdot 3,2 = 4224 \text{ руб.} - \text{руководитель};$$

$$Z_{\text{осн2}} = 888 \cdot 51 = 45288 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

$$Z_{\text{зп1}} = 4224 + 844,8 = 5068,8 \text{ руб.} - \text{руководитель};$$

$$Z_{\text{зп2}} = 45288 + 9057,6 = 54345,6 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных ТК РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций. Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (20)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15 – 0,2).

$$Z_{\text{доп1}} = 0,2 \cdot 4224 = 844,8 \text{ руб. – руководитель.}$$

$$Z_{\text{доп2}} = 0,2 \cdot 45288 = 9057,6 \text{ руб. – студент.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы, руб:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (21)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табл. 3.17.

Таблица 3.17. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	4224	844,8
Студент-дипломник	45288	9057,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30,2%	30,2%
Итого	2990,52+14952,62=17943,15	

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 30,2\% \cdot (4224 + 844,8) = 1373,65 - \text{руководитель}$$

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 30,2\% \cdot (45288 + 9057,6) = 14727,66 - \text{студент}$$

Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями.

Данные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями.

В проекте необходимо рассчитать контрагентные расходы. Под данные расходы попадают расходы на оплату труда токаря и фрезеровщику с ЧПУ в ООО «СМК». В таблице 3.18 представлены данные оплаты труда токаря.

Таблица 3.18 – Контрагентные расходы

№ п/п	Профессия	Количество деталей	Количество работников	Разряд рабочего
1	Токарь с ЧПУ	1	1	3
2	Фрезеровщик с ЧПУ	1	1	3

Для сборки устройства необходимо собрать 6 элементов. Заказ будет выполняться в сторонней организации. Оклад токаря и фрезеровщика в сторонней организации 7936 р. На выполнение работ отводится 1 день. Подсчитаем зарплату токаря и фрезеровщика с ЧПУ за 1 день в сторонней организации. Результаты расчетов представлены в таблице 3.19. Заработная плата рассчитывается по методике из разд. 3.4.3., отчисления во внебюджетные фонды по методике 3.4.5.

Таблица 3.19 - Оплата труда сторонних исполнителей

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
Токарь с ЧПУ	545,8
Фрезеровщик с ЧПУ	545,8
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	327,5
Отчисления во внебюджетные фонды	1419,1

$$Z_{\text{дн}} = \frac{7936 \cdot 11.2}{195} = 455,8 \text{руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 455,8 \text{руб}$$

$$Z_{\text{зп}} = 455,8 \cdot 2 + 180 = 1091,6 \text{руб}$$

$$Z_{\text{внеб}} = 30\% \cdot 1091,6 = 327,5 \text{руб}$$

3.10 Накладные расходы

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

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (22)$$

$k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Коэффициент накладных расходов принимаем в размере 16%.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

Рассчитанная величина затрат НИР является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на

НИР по каждому варианту исполнения приведен в табл. 3.20.

Таблица 3.20 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	
1. Материальные затраты НИИ	61200	58520	Пункт 5.4.4
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	49512	49512	Пункт 5.4.5
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9902,4	9902,4	Пункт 5.4.6
4. Отчисления во внебюджетные фонды	17943,15	17943,15	Пункт 5.4.7
5. Контрагентские расходы	1419,1	1419,1	Пункт 5.4.8
6. Накладные расходы	22101,23	21672,43	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	160233,9	157125,1	Сумма ст. 1- 6

3.11 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат двух вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{исп.}i \text{ финр}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (23)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{исп.}1 \text{ финр}} = \frac{157125,1}{160233,9} = 0,98$$
$$I_{\text{исп.}2 \text{ финр}} = \frac{157125,1}{157125,1} = 1$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (24)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;
 n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 3.21).

Таблица 3.21 - Сравнительная оценка вариантов исполнения

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Производительность	0,3	4	5
2. Долговечность в использовании	0,3	4	5
3. Регулировка	0,1	5	5
4. Переналадка	0,15	5	5
5. Надежность	0,15	5	5
ИТОГО	1	4,4	4,85

$$I_{p-исп1} = 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 4,4$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 4,85$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{исп.i} \cdot \text{финр}} \quad (25)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,4}{0,98} = 4,49$$

$$I_{исп.2} = \frac{4,85}{4,85} = 1$$

Сравнение интегрального показателя эффективности, вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл.3.22) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Таблица 3.22 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,98	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,4	4,85
3	Интегральный показатель эффективности	4,49	4,85
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Исп1/Исп2=0,93	Исп2/Исп1=1,08

Из таблицы 3.22 видно, что наиболее эффективный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи по многим показателям является исполнение 2.

Выводы по главе

В процессе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был определен целевой рынок, для разработанного устройства. Проведен анализ конкурентов, из которого следует, что проектируемое устройство конкурентоспособное. Рассчитаны материальные затраты на изготовление данного устройства, затраты на основную и дополнительную зарплату, отчисления во внебюджетные фонды, контрагентные расходы, накладные расходы, на основании которых составлен бюджет затрат на НИИ. Произведена сравнительная характеристика эффективности разработки на основании интегрального показателя эффективности. По результатам таблицы 5.22 можно сделать вывод о наибольшей эффективности второго исполнения устройства.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Группа	ФИО
4AM82	Куклин Михаил Олегович

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

**Тема выпускной квалификационной работы: «Исследование
напряженного состояния элементов редуктора с ПТК в САЕ-системах»**

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является редуктор, который преобразует крутящий момент. Механизм может применяться в робототехнике и транспортных устройствах. Рабочим местом при выполнении работы является аудитория учебного корпуса.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
<p align="center">2. Производственная безопасность</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты;</p> <p>2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты; – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>	<p>Вредными проявлениями факторов производственной среды, которые могут возникнуть на рабочем месте, являются:</p> <p>1. Высокая степень шума на рабочем месте. - Степень шума не превышает нормы.</p> <p>2. Недостаточная освещенность рабочей зоны и недостаток естественного освещения. - Для обеспечения требуемой освещенности устанавливаются лампы искусственного освещения.</p> <p>3. Пониженная влажность воздуха. - Требуется производить проветривание для обеспечения требуемого уровня влажности воздуха.</p> <p>Психофизиологическими факторами являются: Офисная, сидячая работа представляет собой использование ЭВМ, с помощью которой будет производится сбор информации, ее обработка, проведение расчетов. Во время работы автору требуется значительные затраты умственной, эмоциональной и физической</p>

	<p>энергии. Это требует комплексного решения проблем эргономики, гигиены и организации труда, регламентации режимов труда и отдыха. Большое значение имеет рациональная конструкция и расположение элементов рабочего места.</p> <p>Опасными проявлениями факторов производственной среды, которые могут возникнуть на рабочем месте, являются: электрический ток. - Требуется обеспечить заземление.</p>
<p>3. Экологическая безопасность</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Устройство на этапе проектирования не оказывает влияния на экологию. К отходам можно отнести пустые картриджи, люминесцентные лампы, которые утилизируются на специальном предприятии, по специальной технологии.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Типичная ЧС – возникновение пожара, так как используется электрическое оборудование.</p> <p>При работе с оборудованием необходимо придерживаться ТБ основанной на Той Р-45-068- 97. Кабинет оснащен средствами электрической пожарной сигнализации и пожаротушения.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</p> <p>1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства: рабочее время, нормы работы за компьютером, контролирующие органы регулируются Трудовым кодексом РФ и СанПиН 2.2.2/2.4.1340- 03.</p> <p>2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: оптимальное размещение используемых предметов в рабочей зоне регулируется СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин Александр Иванович	Доктор технических наук		16.03.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ82	Куклин Михаил Олегович		16.03.2020

4.СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

4.1 Описание рабочего места

Работа 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 обрабатывается вся информация.

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.

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.

При проектировании рабочих мест учитываются освещенность, температура, влажность, давление, шум, наличие вредных веществ, электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования к организации рабочих мест.

При проектировании лаборатории уделяется внимание и охране окружающей среды, а в частности, организации безотходного производства.

Также рассматривается возможность чрезвычайных ситуаций.

Так как лаборатория находится в городе Томске, наиболее типичной ЧС является мороз.

Так же, в связи с неспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

4.2 Анализ условий труда на рабочем месте

ПЭВМ, безусловно, увеличивает производительность при выполнении работ, но имеет отрицательные последствия для здоровья людей. Основная задача, выполняемая в данном разделе – снизить вред здоровью человека от использования им персонального компьютера в работе.

Условия труда пользователя, работающего с ПК, определяются особенностями организации рабочего места, условиями производственной среды (освещение, микроклимат, шум, электромагнитные и электростатические поля, визуально эргономические параметры дисплея), а также характеристиками информационного взаимодействия человека и ПК. Могут быть следующие вредные факторы: наличие - а) не комфортных метеоусловий; б) вредных веществ; в) производственного шума; г) недостаточной освещенности; д) электромагнитного излучения.

Анализ показателей микроклимата

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются,

приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ($\phi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность 56 ($\phi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 14 [ГОСТ 12.1.005-88].

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории легких работ. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Требования к микроклимату

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Средняя	19-24	15-75	$\leq 0,1$
Теплый	Средняя	20-28	15-75	$\leq 0,2$

Одними из основных мероприятий по оптимизации

микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

Аудитория 203 корпуса 16А оборудована климатической установкой, приточной и вытяжной вентиляцией, а также возможно естественное проветривание.

Анализ показателей шума и вентиляции

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а также для сохранности оборудования. Она служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в воздухе помещения пыли, газов до концентрации, не превышающей ПДК. Проветривание помещений 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.

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.

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 80 дБА. В нашем случае этот параметр соответствовал значению 75 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

Средства коллективной защиты

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- Применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения

СИЗ

- применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

Анализ освещенности рабочей зоны

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

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

В аудитории 203 корпуса 16А находится 2 окна размерами 1460x1170мм, обеспечивающими естественное освещение днем, так же в аудитории расположены 6 потолочных светильников. Помещение соответствует нормам СНиП 23-05-95.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 6$ м, ширина $B = 5$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 200 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения аудитории 203 корпуса 16А:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м; B – ширина, м. $S = 6 \times 5 = 30 \text{ м}^2$

Площадь помещения аудитории 203 корпуса 16А составляет 30 м^2 .

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_C = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{П} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу белой цветности ЛБ-40, световой поток которой равен ФЛД = 2800 Лм. Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,4$ 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 двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,6 = 1,9 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 1,9 = 2,09 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении: $N_b = B / L = 5 / 2,09 = 2,39 \approx 2$ Общее число светильников: $N = N_a \cdot N_b = 2 \cdot 3 = 6$ Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = L / 3 = 2,09 / 3 = 0,7 \text{ м}$$

Светильники размещены в два ряда. На рисунке 4.1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

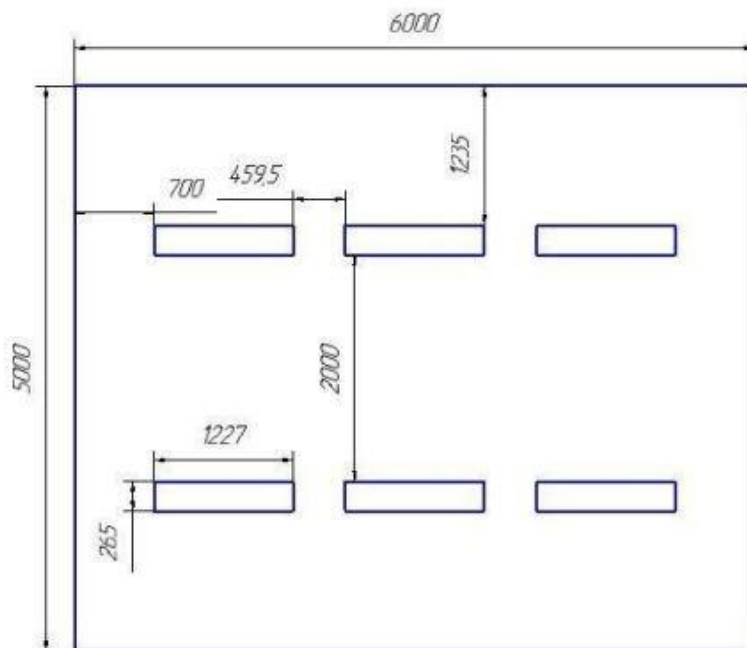


Рис. 4.1– План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами. Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = A \cdot B \cdot h \cdot (A + B) = 6 \cdot 5 \cdot 1.9 \cdot (6 + 5) = 30 \cdot 20.9 = 1.4$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70\%$, $\rho_{\text{С}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,4$ равен $\eta = 0,47$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{П}} = E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z \cdot N \cdot \eta = 300 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 1.5 \cdot 1.1 \cdot 12 \cdot 0.47 = 2632.98 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2800 - 2632.98}{2800} \cdot 100\% = 5.97\%$$

Таким образом: $-10\% \leq 5.97\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Фактическое расположение светильников в аудитории 203 соответствует расчетному плану.

4.3 Анализ выявленных опасных факторов производственной среды

Факторы электрической природы

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 статистического электричества.

Классификация

В нашем случае, рабочий кабинет не имеет токопроводящий пол и т.п. опасные среды повышенной опасности. Поэтому помещения относится к классу Мало опасные помещения поражения электрическим током.

При подключении локального заземления к нейтрали трансформатора / генератора в системе TN суммарное сопротивление

заземления (локального + всех повторных + заземления трансформатора / генератора) должно быть не более 4 Ом (ПУЭ 1.7.101). Напряжение составляет менее 36 В. Сила тока - менее 0,1 ампера.

Средства коллективной защиты

- защита временем;
- защита расстоянием;
- снижение интенсивности электромагнитного излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- экранирование электромагнитного источника;
- защита рабочего места от электромагнитного излучения;

Техника безопасности

- 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.

4.4 Факторы пожарной и взрывной природы

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.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

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).

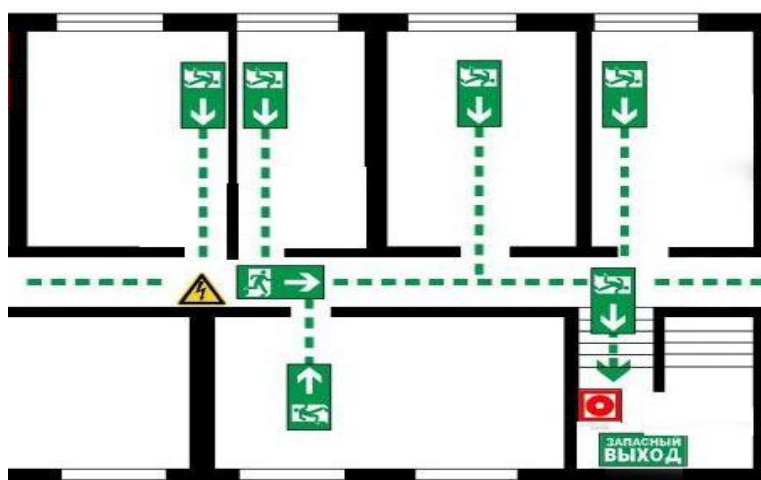


Рис. 4.2 – Пути эвакуации компьютерные классы 2 этаж, корпус 16А.

4.5 Охрана окружающей среды

Утилизация картриджей

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.

Утилизация люминесцентных ламп

Перегоревшие люминесцентные лампы можно отнести в свой районный ДЕЗ или РЭУ, где установлены специальные контейнеры. Там их должны бесплатно принять. Основанием для того, чтобы в ДЕЗе приняли у вас лампы, является постановлением Правительства РФ «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп» от 3 сентября 2010 г. N 681.

Утилизация макулатуры

Сегодня бумага составляет примерно 40 % от общего числа твердых отходов. Однако попадая в один контейнер вместе с прочимутилем, она неизбежно становится мусором, не пригодным для вторичного использования. Не перемешивать бумагу с остальным мусором. Собирать в отдельный урну или контейнер, и сдать в пункт переработки макулатуры.

4.6 Защита в чрезвычайных ситуациях

Производство находится в городе Томске с континентальным климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы, наводнения и т. д.), в месте исследования и производства – корпус 16А НИ ТПУ отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы, штормовой ветер и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но

случаются взрывы и в действительности. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

4.7 Правовые нормы

Согласно трудовому кодексу РФ и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03: продолжительность рабочего дня не превышает 40 часов в неделю; время работы за компьютером не превышает 6 часов за смену; делаются периодические перерывы в работе за ПК продолжительностью 10-15 минут через каждые 45-60 минут работы; во время перерывов выполняются комплексы упражнений и осуществляется проветривание помещения.

Государственный санитарно-эпидемиологический надзор за производством и эксплуатацией ПЭВМ осуществляется в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Производственный контроль за соблюдением санитарных правил осуществляется организациями, эксплуатирующими ПЭВМ.

Существуют также специализированные органы, осуществляющие государственный контроль и надзор в организациях на предмет соблюдения 69 существующих правил и норм. К таким органам относятся: Федеральная инспекция труда; Государственная экспертиза условий труда Федеральная служба по труду и занятости населения (Минтруда России Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор,

Госэнергонадзор, Госатомнадзор России)); Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России) и др.

При исследовании редуктора время работы за компьютером не превышало установленные нормы. Перерывы в работе за ПК осуществлялись за счет смены деятельности.

4.8 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Большое значение имеет рациональная конструкция и расположение элементов рабочего места, что важно для поддержания оптимальной рабочей позы человека – оператора.

В процессе работы, все используемые предметы находятся в зоне досягаемости. Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости приведено на рисунке 4.3.

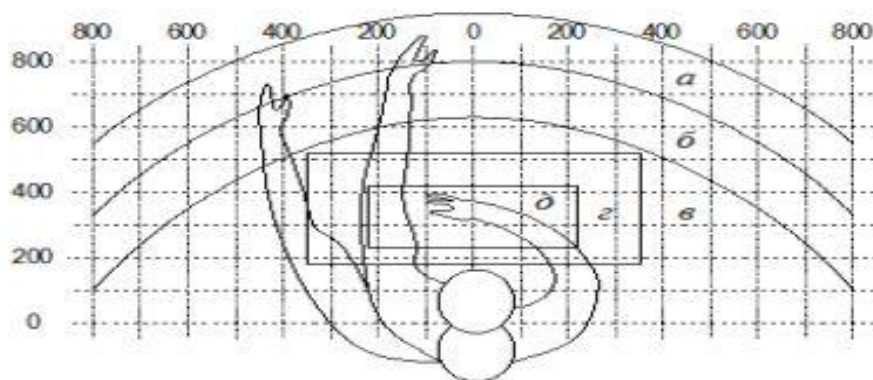


Рис. 4.3 - Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости.

На рисунке введены следующие обозначения: а - зона максимальной досягаемости; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Монитор размещен в зоне а (в центре), системный блок размещен в предусмотренной нише стола, клавиатура – в зоне г/д, «мышь» – в зоне в (справа); документация, необходимая при работе – в зоне легкой досягаемости ладони – в, а в выдвижных ящиках стола – литература, неиспользуемая постоянно.

Для повышения комфорта в процессе работы за ПЭВМ, следует соблюдать нормы и требования, изложенные в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Выводы по разделу

В результате выполнения раздела «Социальная ответственность» были исследованы правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. Проанализирована производственная безопасность, выявлены опасные и вредные факторы, были проанализированы мероприятия по снижению воздействия этих факторов. Рассмотрены вопросы экологической безопасности и безопасности в ЧС. Полученные результаты могут быть применены на производстве.

Помещение, в котором производится исследование соответствует категории В3. Освещение в помещении соответствует расчетным данным. Рассмотрены негативные факторы, влияющие на безопасность труда при проведении исследования, определены средства и мероприятия для обеспечения пожарной безопасности.

Аудитория 203 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.

Заключение

В результате проделанной работы выполнен выбор CAE-систем для расчета напряжений в различных деталях редуктора с ПТК. Продемонстрирована практическая применимость САПР для выполнения расчетов сложных элементов и сборок. Современные системы позволяют выявить опасные сечения в 3D модели, с наглядной демонстрацией возникающих напряжений и возможностью определения напряжений в любой необходимой точке, что было продемонстрировано на примере исследования 27 перегородок вала-сепаратора при нагружении крутящим моментом – напряжения не равномерно распределены между стенками сепаратора.

Рассчитанные коэффициенты запаса прочности соответствуют требуемым для заданных условий работы ручной машины электробур, что подтверждено стендовыми и натурными испытаниями, проведенными другими исследователями.

В работе даны рекомендации по снижению себестоимости детали вала-сепаратор при серийном изготовлении, расчетным методом доказана возможность облегчения данной детали на 9,04%. Также с учетом особенностей рабочих параметров редуктора с ПТК обоснован выбор использования высокотемпературной смазки - Mobil GlyGoyle 11 и материалов уплотнений, для использования с данным типом смазок.

Алгоритмы расчетов напряжений в различных деталях машин, описанные в работе, могут быть легко воспроизведены и модернизированы для расчета различных вариантов конструкций редукторов с ПТК.

Список литературы

1. Беляев, А.Е. Механические передачи с шариковыми промежуточными телами /А.Е. Беляев. — Томск: ТПУ, 1992. — 231с.
2. Иванов, М.Н. Волновые зубчатые передачи /М.Н. Иванов. — Москва: Высшая школа, 1981. — 184с.
3. Борзидов, Б.М. Волновые зубчатые передачи: достижения и результаты /Б.М. Борзидов. — Москва: Редукторы и приводы, 2006. — 26-28с.
4. Янгулов, В.С. Детали машин. Волновые и винтовые механизмы и передачи : учебное пособие для магистратуры /В.С. Янгулов. — Москва: Юрайт, 2019. — 183с.
5. SIMACO - Сибирская машиностроительная компания [Электронный ресурс] /. — Электрон. журн. — Режим доступа: <https://smc.tomsk.ru/>, свободный
6. ООО НПО "Сибирский машиностроитель" [Электронный ресурс] /. — Электрон. журн. — Режим доступа: <http://www.nprosibmach.ru/>, свободный
7. Коротков В.С. Создание ручной машины с волновой передачей и исследование ее работоспособности. Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 5. – С.126-130.
8. Шимкович, Д.М. Femap & Nastran. Инженерный анализ методом конечных элементов /Д.М. Шимкович. — Москва: ДМК Пресс, 2008. — 423с.
9. ANSYS Meshing User's Guide, ANSYS, Inc., 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317, November 2013.
- 10.Алямовский, А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи /А.А. Алямовский. — Москва: БХВ-Петербург, 2011. — 784с.
- 11.Алямовский, А.А. Инженерный анализ методом конечных элементов /А.А. Алямовский. — Москва: Книга по требованию, 2007. — 5с.
- 12.Продукты APM [Электронный ресурс] /. — Электрон. журн. — Режим доступа: <https://apm.ru/apm-fem>, свободный
- 13.Аскон - Компас 3D [Электронный ресурс] /. — Электрон. журн. — Режим доступа: <https://kompas.ru/>, свободный

14. Басов, К.А. ANSYS и LMS Virtual Lab. Геометрическое моделирование /К.А. Басов. — Москва: ДМК Пресс, 2006. — 240с.
15. Басов, К.А. ANSYS в примерах и задачах /К.А. Басов, Д.Г. Красковский. — Москва: Компьютер Пресс, 2002. — 224с.
16. SOLIDWORKS Simulation 2018: A Power Guide for Beginners and Intermediate Users /Sandeep D., Willis J.. — 2nd Edition. — Lewes: Cadartiflex, 2017. — 392с.
17. Зенкевич, О.А. Метод конечных элементов в технике /О.А. Зенкевич. — Москва: [не указано], 1975. — 273с.
18. Алямовский, А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике /А.А. Алямовский. — Москва: БХВ-Петербург, 2009. — 674с.
19. Потапов, В.Д. Сопротивление материалов /19. Александров А. В., В.Д. Потапов, Б.П. Державин. — Москва: Высшая школа, 1995. — 374с.
20. Гастев, В.А. Краткий курс сопротивления материалов /В.А. Гастев. — Москва: Высшая школа, 1977. — 211с.
21. Дарков, А.В. Сопротивление материалов /А.В. Дарков, Г.С. Шпиро. — Москва: Высшая школа, 1989. — 475с.
22. Шмелев, А.В. Численное исследование напряженно-деформированного состояния подшипников качения /А.В. Шмелев, С.Ю. Котов. — Гомель: Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого №1, 2017. — 27-32с.
23. Масленников, А.М. Начальный курс строительной механики стержневых систем /А.М. Масленников. — Санкт Петербург: Проспект науки, 2009. — 240с.
24. Тимошенко, С.П. Теория упругости /С.П. Тимошенко, Гудьер Дж.. — Москва: Наука, 1979. — 560с.
25. ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ESAB [Электронный ресурс] /. — Электрон. журн. — Режим доступа: <https://www.esab.ru/ru/ru/products/filler-metals/covered-stick-electrodes-smaw/mild-steel-electrodes/uonii-13-55.cfm>, свободный

26. ExxonMobil Mobil Glygoyle 11 22 30 PDS [Электронный ресурс] /. — Электрон. журн. — Режим доступа: <https://www.mobil.com/ru-RU/Industrial/pds/GL-XX-Mobil-Glygoyle-11-22-30>, свободный
27. Лазарев, Г.Е. Контактные уплотнения вращающихся валов /Г.А. Голубев, Г.М. Кукин, Г.Е. Лазарев, А.В. Чичинадзе. — Москва: Машиностроение, 1976. — 264с.
28. Стариков М. А. Исследование коэффициента полезного действия привода ручной машины электробур : магистерская диссертация / М. А. Стариков ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа новых производственных технологий (ИШНПТ), Отделение материаловедения (ОМ) ; науч. рук. В. С. Коротков. — Томск, 2019.

Нормативные ссылки

1. ГОСТ 23108-94. Редукторы волновые зубчатые одноступенчатые. Основные параметры;
2. ГОСТ 12.0.001-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Основные положения;
3. ГОСТ. Сталь качественная и высококачественная. Сортовой и фасонный прокат. Калиброванная сталь. Сборник гостов. Часть 1.. - М.: Стандартов, 1990. - 408 с.
4. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;
5. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности;
6. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
7. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
8. ГОСТ 12.1.029-80. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация;
9. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;
10. ГОСТ Р 51337-99. Безопасность машин. Температуры касаемых поверхностей. Эргономические данные для установления предельных величин горячих поверхностей;
11. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение;
 12. СП 51.13330.2011. Защита от шума;
 13. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение;
 14. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы;

15. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;
16. СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;
17. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
18. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

Приложение А

Раздел 1

Исследовательский (1.5)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ82	Куклин Михаил Олегович		4.03.2020

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коротков В.С.	к.т.н.		4.03.2020

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Кобзева Н.А.	к.п.н.		4.03.2020

1.5 Calculation orders in CAE systems

The stress analysis of parts in a gearbox with intermediate rolling elements is performed in ANSYS and Solid Works 2018 Premium SP4 CAE systems.

To obtain a picture of stresses in the gearbox elements, it is necessary to create a 3D model of the element and perform the following steps:

1. Download the 3D model in SolidWorks and select the Simulation module.
2. Create a new «Static research».
3. Select several dangerous sections on the separator shaft.
4. Set the material of the part.
5. Set anchor points.
6. Set load application points.
7. Create a mesh.
8. Start research.

To calculate the stresses of gear parts in CAE-systems, we need to create a 3D model. This model is loaded into CAE in SolidWorks, the Simulation module. We are creating a new research - “New Simulation”. To study the loads of the shaft-separator, we need a "Static structural of Simulation" [11].

Due to the specifics of the SolidWorks Simulation program, it is more convenient to research models with complex geometry by calculating sections separately from each other, by breaking the part into elements.

We break the separator shaft into conventional elements for calculation - “shaft”, “part of the shaft with a hole for the cotter pin” and “separator”.

Consider calculating the “shaft” element and setting parameters and loads in SolidWorks Simulation.

At the first stage, we must specify the type of material for the part in the "tree" of object properties, or by right-clicking on the part in the left navigation block (Fig 1.1). The part under study is made of 40ha material with surface nitriding, since no Russian steel grades are presented in the SolidWorks program,

42Cr4 material is selected for this part, which is a German analog of 40ha steel with nitriding, for ANSYS we set the parameters tensile strength - 780MPa, strength coefficient - 920MPa, density - 7820kg / m³.

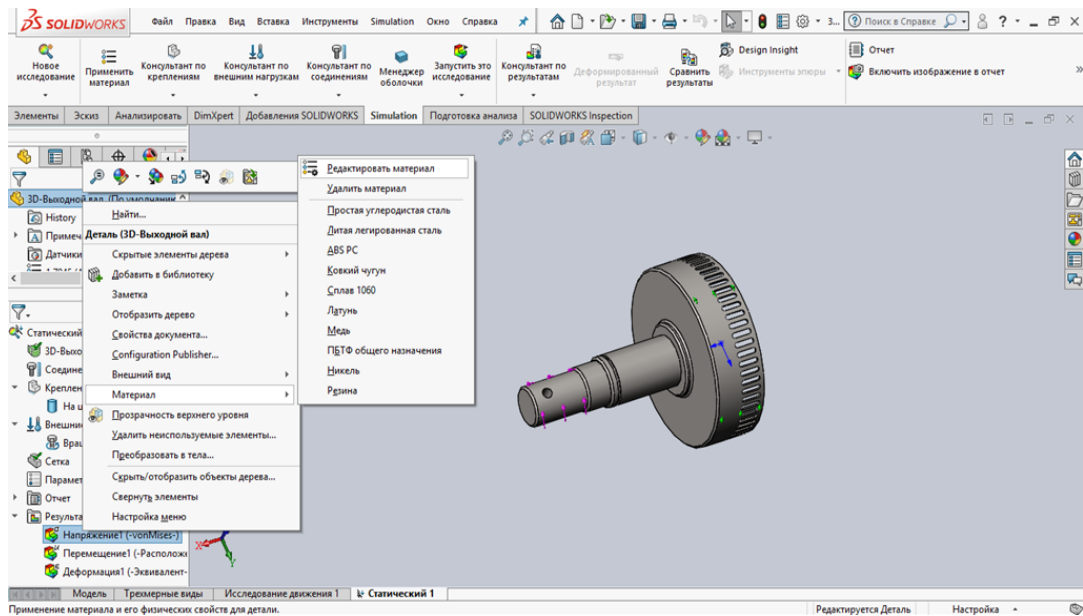


Fig 1.1

After selecting the conditional element for the calculation - “shaft”, it is necessary to establish the fixing points of the part - anchors - conditionally they will be taken as “unchanged geometry”, because deformations in these planes do not affect stress calculations in the investigated part of the part.

Then in the “anchor consultant” we need to select the “fixed geometry” item and set it on the cylindrical surface of the separator. Since the fixed geometry will be set to the cylinder, it is necessary to select the item “apply to cylindrical surface” in the fastening properties with the task of zero displacements in all directions (Fig. 1.2).

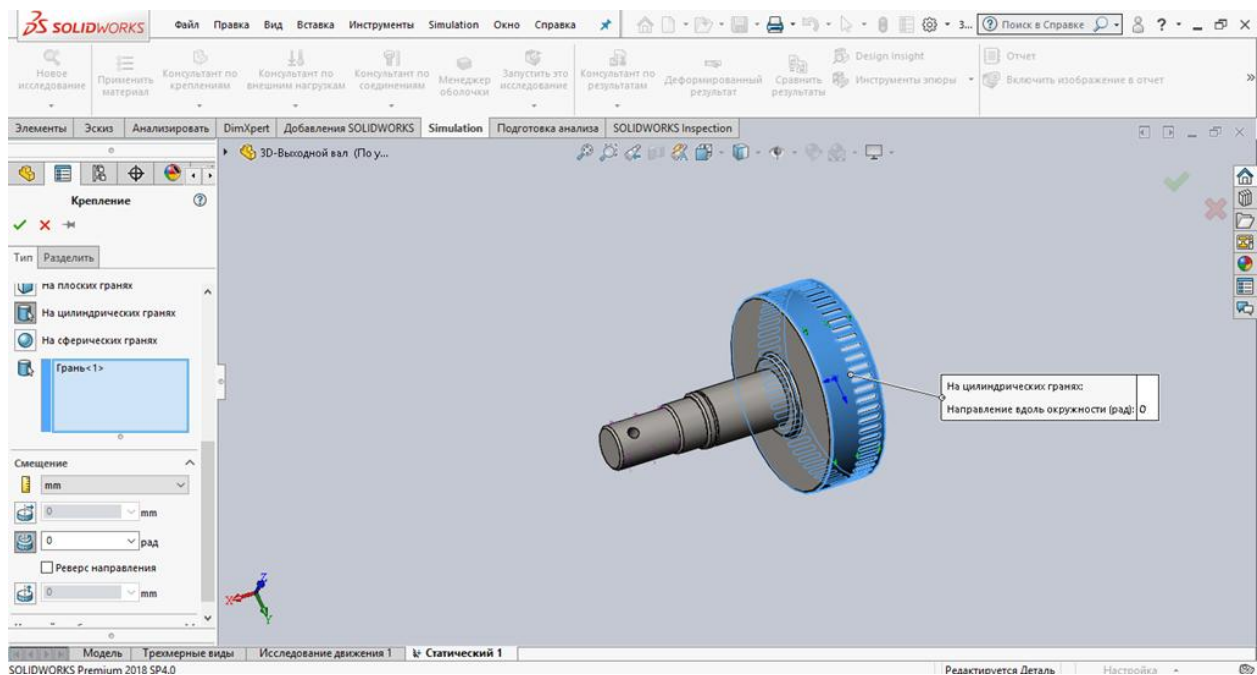


Fig 1.2

At the next stage, it is necessary to set the load for the “shaft” section by selecting the “torque” option. The value of the torque is set to $35\text{N} \cdot \text{m}$.

The installation of torque consists of two stages (Fig 1.3).

The first stage: the choice of a face or plane to which torque will be applied. We choose a plane with a hole for the cotter pin, since torque is applied to it.

The second stage: the choice of the axis of rotation. At this stage, a face or plane is selected relative to the axis of rotation, and the direction of rotation is also established. In this case, the direction of rotation can be ignored.

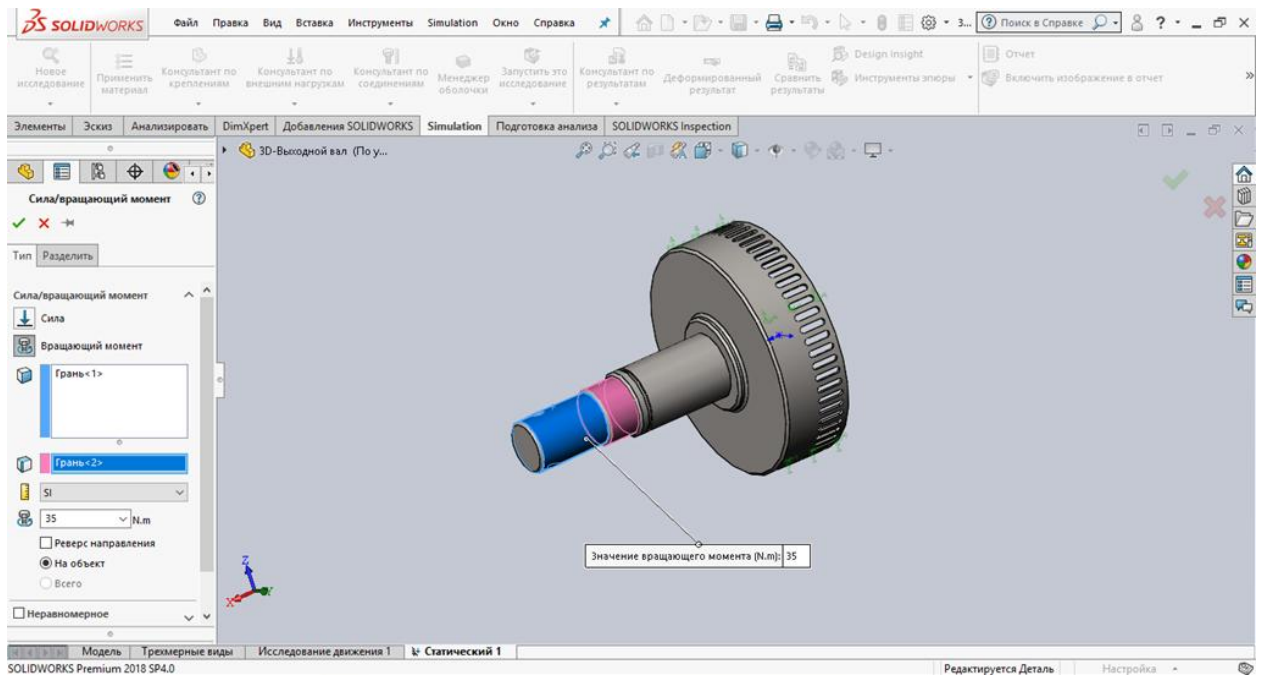


Fig 1.3

Next, we need to build a "mesh" model. In the "tree" of the model, select the parameter "model mesh" (Fig. 1.4). To research stresses, it is necessary to choose the maximum dimensions of the triangles and the ratio of the sizes of the maximum and minimum triangles.

For our calculations, we select the “coarse mesh density” with a maximum size of the side of the triangle of 4.5 mm and a / b ratio of 1.5. Since the reduction in the size of the triangles slightly clarifies the results, and the calculation speed decreases by several times, the remaining calculations will be carried out with a “rough mesh density”.

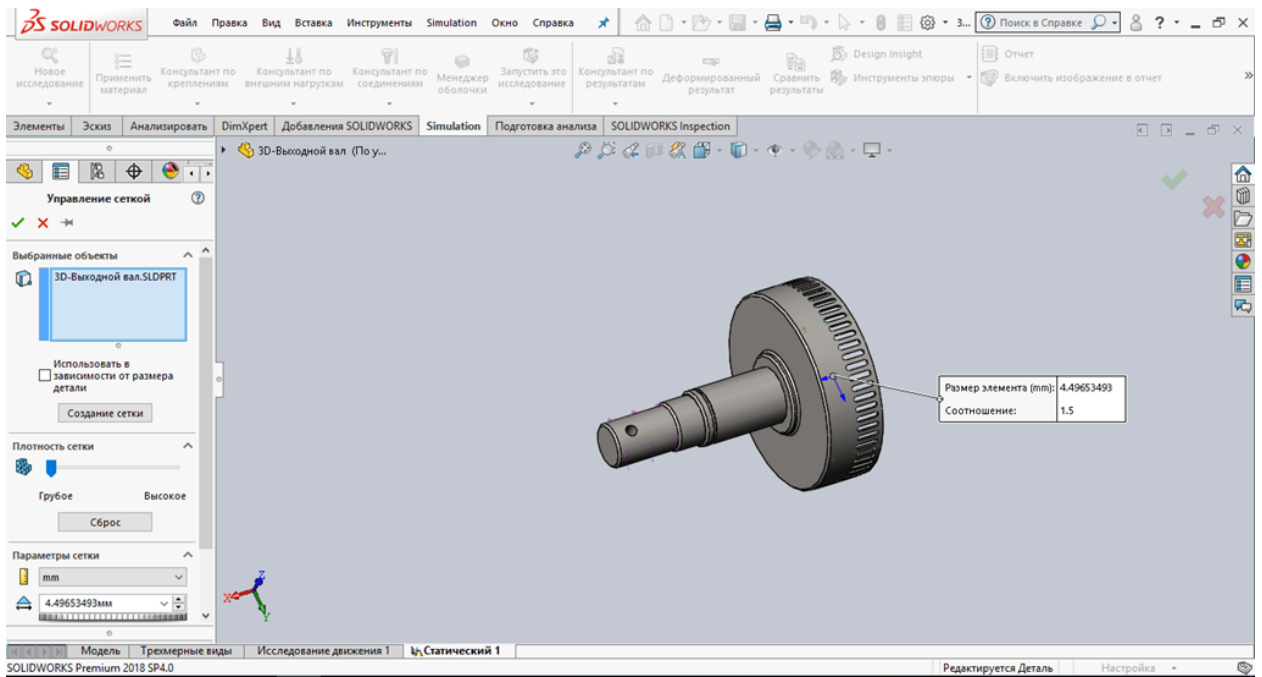


Fig 1.4

After selecting the mesh parameters, it is necessary to calculate it.

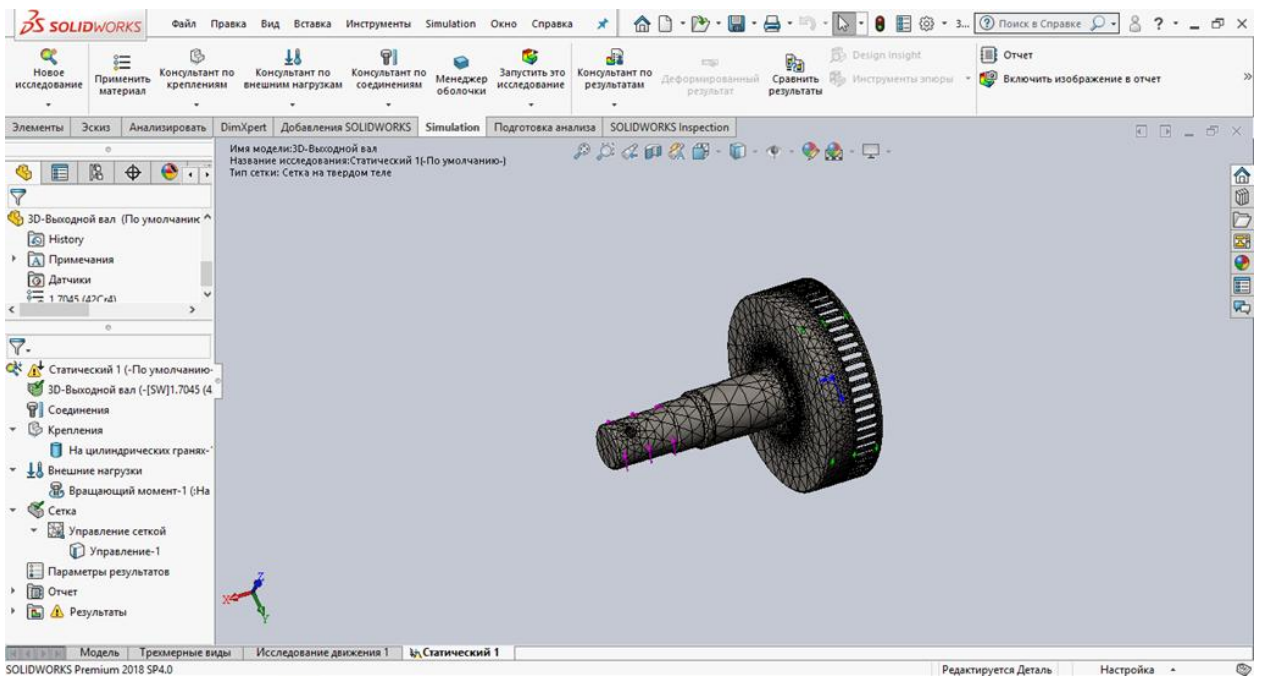


Fig 1.5

After calculating the model mesh, stresses are calculated in the selected part element. We activate “start this research” and after calculating the program, we get a model with stress textures superimposed on it and a scale of their values in the

frame on the right (Fig. 1.6). At a given load, there is no shaft deformation, the maximum stresses in the part on the vonMises plasticity scale correspond to 44.58 MPa in the most loaded region, which is marked in red on the 3D model and scale.

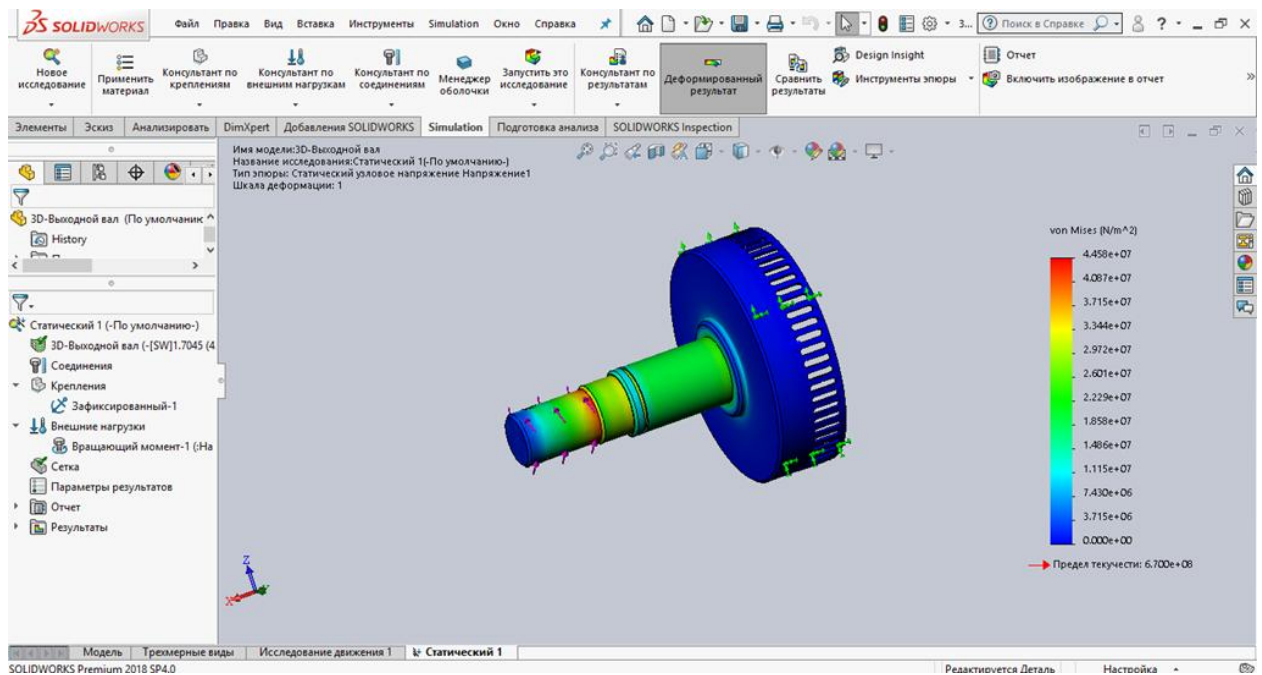


Fig 1.6

To research stresses at given points, select the “Probe” option in the “Plot Tools” and select points on the surface of the part at which we determine the stress value (Fig 1.7).

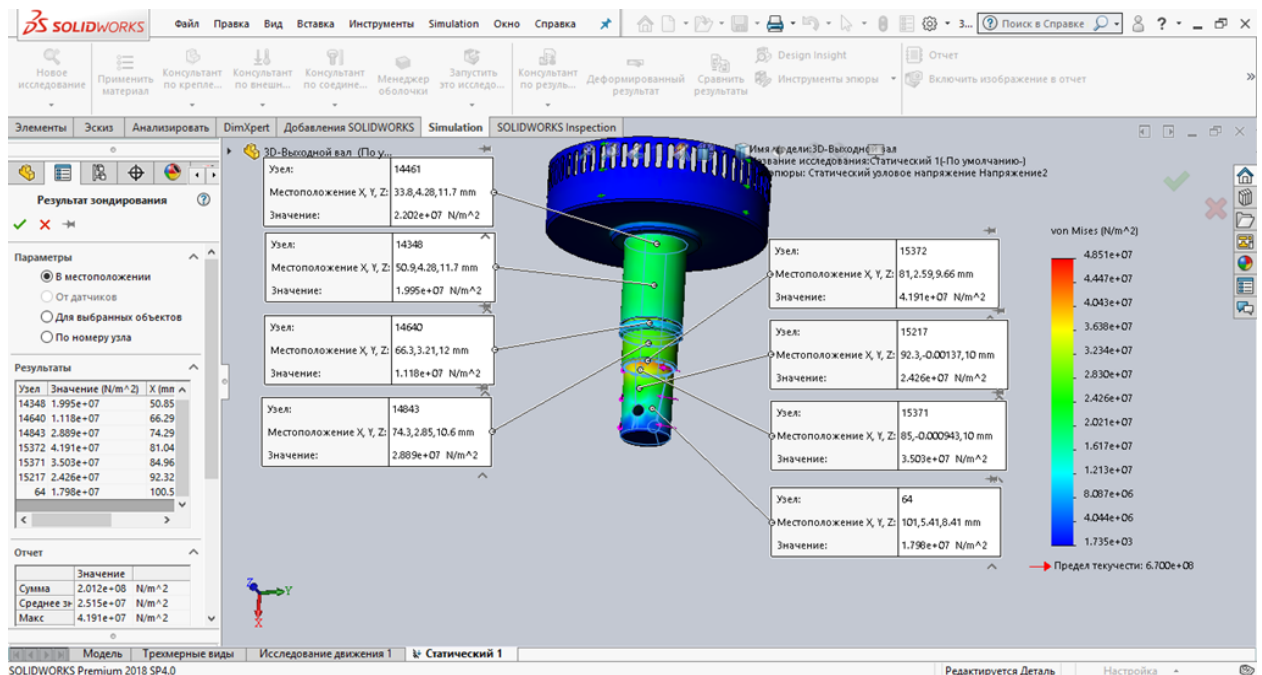


Fig 1.7

To determine the average voltage in a given section of a part, select the "Section limit" option in the "Plot tools" and set the desired section for the part model in coordinates (Fig. 1.8).

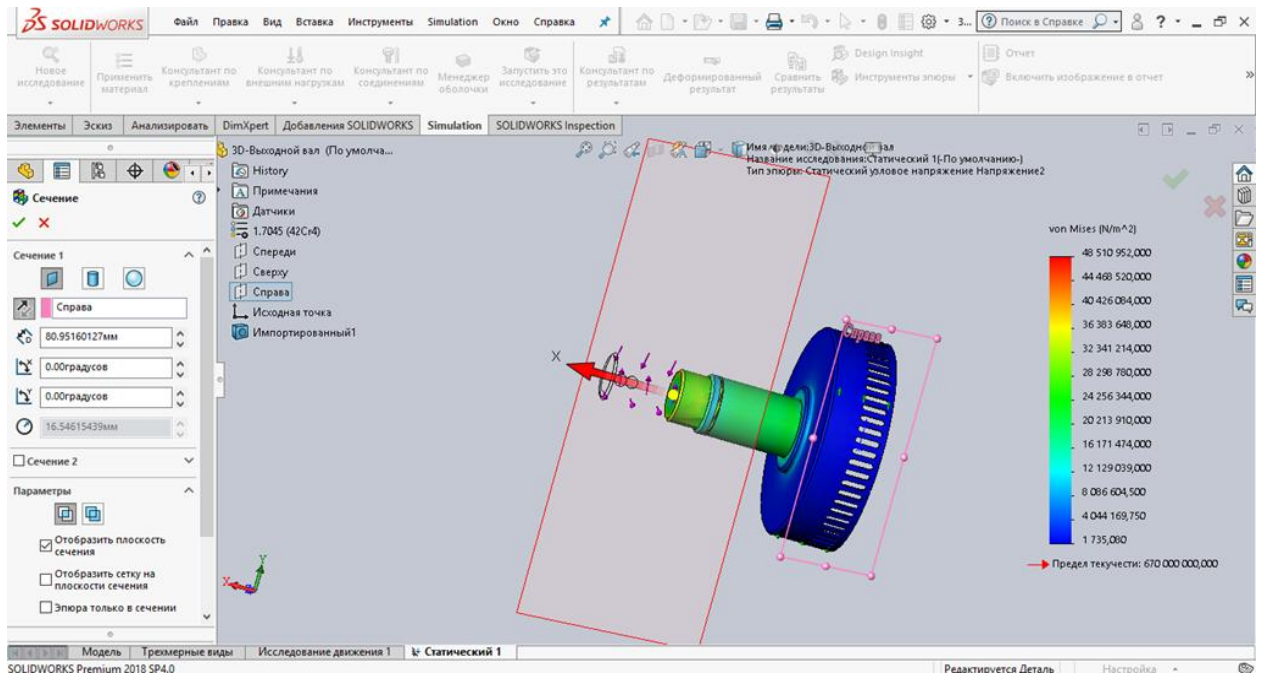


Fig 1.8

After creating a section, we need to select the "Probe" element in the "Plot Tools" and set a face in the section, then select "For selected objects". After that, the navigation panel displays a table with the maximum, minimum, and also average stress values at the edge of the section of the part (Fig. 1.9).

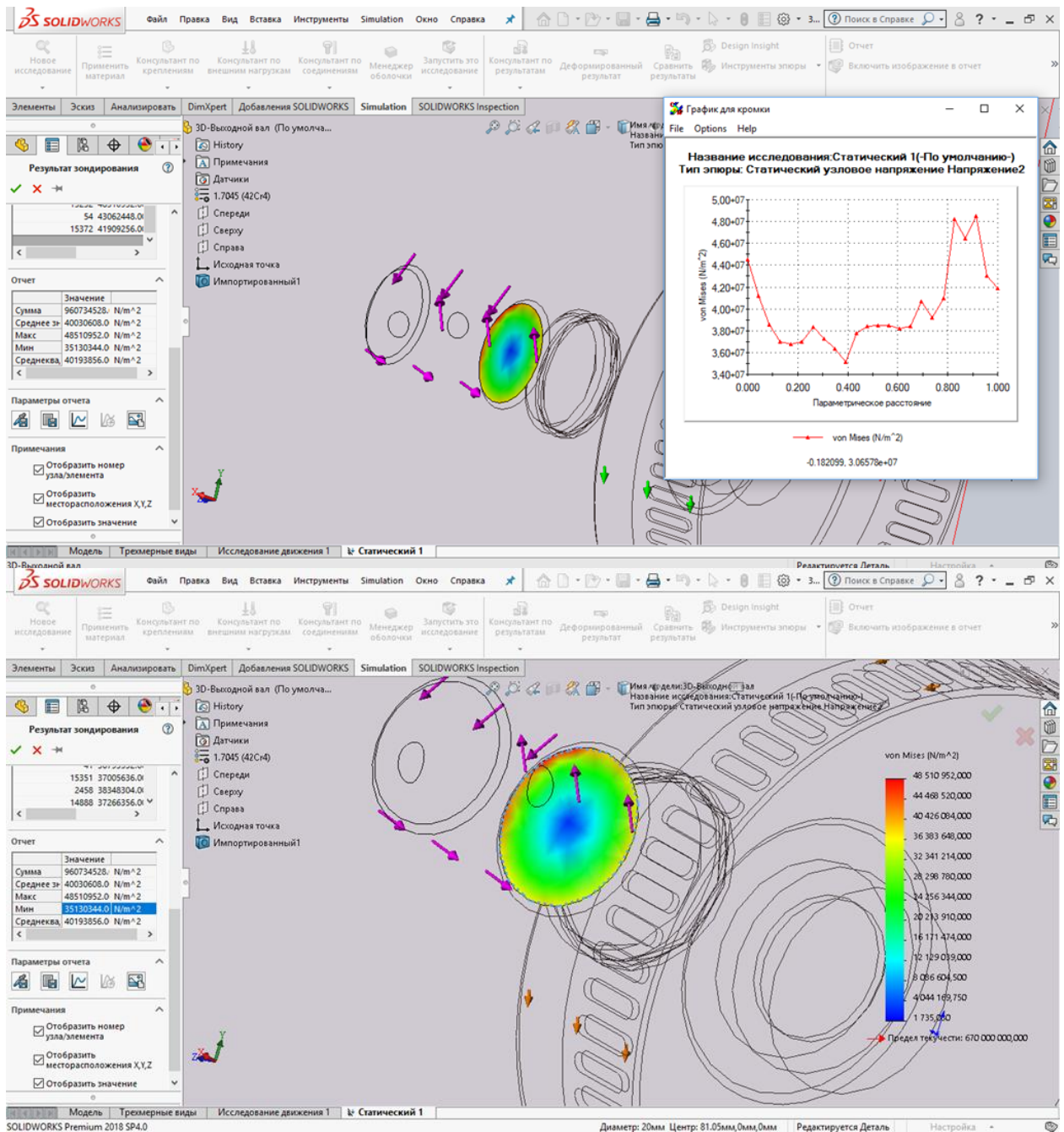


Fig 1.9

A stress graph is also plotted for the parametric distance, where we can analyze the stress distribution over the cross section, to identify the average stress in the cross section, as well as at each specific point.