

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

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки: 15.04.01 «Машиностроение»
 Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование теплового режима работы привода для ручной машины электробур

УДК 622.24.054-8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Бай Хайтао		07.06.2021

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л. А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Результаты обучения

Направление 15.04.01 Машиностроение

ООП: Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

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

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

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

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

Инженерная Школа новых производственных технологий
Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Мартюшев Н.В.

«__» _____ 2021

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Бай Хайтао

Тема работы:

Исследование теплового режима работы привода для ручной машины электробур

Утверждена приказом директора (дата, номер)

03.06.2021, №154-57/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

07.06.2021г

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.

РМ электробур на базе коллекторного двигателя мощностью 1,5 кВт и редуктора с ПТК с передаточным отношением 59.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

Создать 3-D модель привода РМ электробур.
 Исследовать динамику нагрева привода в САЕ программе ANSYS WorkBench и SolidWorks.
 Установить температуру теплового баланса привода.
 Произвести инженерный расчет теплового баланса привода и произвести сравнение результатов с результатами автоматизированного расчета в САЕ системе

	ANSYS WorkBench и SolidWorks. Привести рекомендации по проектированию и эксплуатации привода.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Демонстрационный материал (презентация в MS PowerPoint)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Исследовательский	Коротков В. С.
Конструкторский	Коротков В. С.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И. В.
Социальная ответственность	Скачкова Л. А.
Конструкторский(на англ. яз.)	Кобезва Н. А.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
2.1 «Расчет температуры теплового баланса»	
2.1 «Calculating the temperature of the heat balance»	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.10.2018г
---	-------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Коротков В.С.	к.т.н.		01.10.2018г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Бай Хайтао		01.10.2018г

Перечень сокращений:

ВППТК – волновая передача с промежуточными телами качения

ВРПТК – волновой редуктор с промежуточными телами качения

ВЗП – волновая зубчатая передача

КПД – коэффициент полезного действия

РМ – ручная машина

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 121 страниц, в том числе 31 таблица, 33 рисунка, 1 приложение.

Ключевые слова: КПД, РМ электробур, волновой редуктор, естественная конвекция, тепловой баланс, мощность, теплопередача, метод конечных элементов.

В исследовательской части объектом исследования является привод ручной машины электробур, а предметом исследования является тепловой режим его работы.

Цель работы заключается в установлении динамики нагрева модели привода и определении температуры его теплового баланса.

В ходе выполнения работы использовались методы математического моделирования, метод конечных элементов и метод сравнения.

В результате выполнения работы установлена динамика нагрева отдельных частей модели привода во время его работы с номинальной нагрузкой при помощи САЕ системы Solid Works и ANSYS.

Рекомендуется эксплуатировать ручную машину в периодическом режиме работы. Не соблюдение режима эксплуатации может привести к перегреву обмоток двигателя и их поломке.

Ручная машина электробур может применяться в строительстве и сельском хозяйстве.

Прогнозирование динамики нагрева привода РМ электробур во время работы и установление температуры его теплового баланса с использованием автоматизированной САЕ системы позволяет снизить затраты на получение практически значимых результатов в сравнении с испытаниями на специализированном стенде.

Ручная машина электробур прошла стендовые и натурные испытания и подтвердила свою работоспособность.

Оглавление

Введение.....	12
1 Исследовательская часть	14
1.1 Обзор литературы по теме исследования	14
1.2 Объект и методы исследования	15
1.3 Общие сведения о приводе ручной машины электробур	16
1.3.1 Применение и классификация РМ электробур	16
1.3.2 Конструктивный анализ ручной машины электробура	17
1.3.3 Принцип волновой передачи РМ электробура	18
1.3.4 Конструктивный анализ двигателя	20
1.4 Общие сведения о теплопередаче	24
1.5 Анализ теплового источника РМ электробур	26
1.5.1 Факторы теплообразования РМ электробур	26
1.5.2 Влияние повышенной температуры на РМ электробур	26
1.5.3 Расчетная модель теплового источника	27
1.6 Анализ решения проблемы рассеивания тепла	29
1.7 Расчет распределения температуры с помощью метода конечных элементов	30
1.7.1 Упрощение модели и построение гипотез	32
1.7.2 Материалы и теплофизические характеристики каждой части	32
1.7.3 Граничные условия	34
1.7.4 Размер сетки	35
1.7.5 Результаты стационарного анализа	36
1.7.6 Нестационарный анализ тепла	37
1.7.7 Начальные условия и время расчёта	38
1.7.8 Параметры граничных условий	38
1.7.9 Результаты нестационарного состояния	40
1.7.10 Расчет распределения температуры в Solid Works 2017	42
1.7.11 Результаты и анализы	42
Вывод.....	44

2	Конструкторская часть	45
2.1	Расчет температуры теплового баланса.....	45
2.2	Процесс расчёта температуры теплового баланса.....	49
2.2.1	Расчёт площади и характерного размера	49
2.2.2	Расчёт гидравлического диаметра	52
2.2.3	Расчёт безразмерных величин.....	53
2.2.4	Получим окончательный результат.....	55
2.2.5	Расчет температуры с помощью Mathcad	56
	Вывод.....	59
	Заключение	60
3	Социальная ответственность	63
	Введение.....	63
3.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	63
3.1.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства	63
3.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	64
3.2	Производственная безопасность	64
3.2.1	Анализ выявленных вредных и опасных факторов	64
3.2.2	Обоснование мероприятий по снижению воздействия опасных и вредных факторов на исследователя	72
3.3	Экологическая безопасность.....	73
3.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	74
3.4.1	Анализ пожарной безопасности.....	75
	Заключение по разделу	76
4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	79
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	80
4.1.1	Анализ конкурентных технических решений.....	80
4.1.2	SWOT-анализ	81
4.2	Планирование научно-исследовательских работ	86
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	86

4.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	87
4.3	Бюджет научно-технического исследования	92
4.3.1	Расчет затрат на материалы	92
4.3.2	Расчет заработной платы.....	93
4.3.3	Расчет затрат на социальные отчисления во внебюджетные фонды ..	94
4.3.4	Расчет затрат на электроэнергию	94
4.3.5	Расчет амортизационных расходов.....	96
4.3.6	Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)	98
4.3.7	Расчет прочих расходов	98
4.3.8	Расчет общей стоимости разработки	98
4.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	99
	Выводы по разделу.....	103
	Приложение	104
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	118
	Нормативные ссылки	121

Введение

Объект исследования: привод ручной машины электробур.

Предмет исследования: тепловой режим работы привода для ручной машины электробур.

Цель работы: установить динамику нагрева модели привода РМ электробур с использованием автоматизированной CAE системы.

Задачи:

1. Создать 3-D модель привода РМ электробур.
2. Исследовать динамику нагрева привода в CAE программе ANSYS workbench и SolidWorks.
3. Установить температуру теплового баланса привода.
4. Произвести инженерный расчет теплового баланса привода и произвести сравнение результатов с результатами автоматизированного расчета в CAE системе ANSYS workbench и SolidWorks .
5. Привести рекомендации по проектированию и эксплуатации привода.

Актуальность: прогнозирование динамики нагрева привода РМ электробур во время работы и установление температуры его теплового баланса с использованием автоматизированной CAE системы позволит снизить затраты на получение практически значимых результатов в сравнении с испытаниями на специализированном стенде.

Научная новизна: Установлена зависимость температуры нагрева привода ручной машины электробур от времени его работы, а также температура теплового баланса привода.

Практическая значимость: прогнозирование динамики нагрева привода РМ электробур во время работы и установление температуры его теплового баланса позволит дать рекомендации по использованию смазочных материалов для редуктора с ПТК, также по уровню

теплостойкости обмоток статора и ротора, которые следует применять в двигателе.

В исследовательской части произведен анализ структуры РМ электробур и температурного поля редуктора в САЕ программе ANSYS workbench и SolidWorks.

В конструкторской части выполнен инженерный расчет теплового баланса привода.

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

В части социальная ответственность установлены вредные и опасные факторы и мероприятия по снижению воздействия.

1 Исследовательская часть

1.1 Обзор литературы по теме исследования

Научными исследованиями коллекторных электродвигателях занимались Шефнер К.И., Ермолин Н.П. и другие. В книге [1] излагаются основные принципы работы и элементы конструкции коллекторного электродвигателя.

Оригинальный тип конструкции волновой зубчатой передачи был предложен немцами в 1930-х годах. К 40-м годам они применили технологию волновой зубчатой передачи к технологии рулевого управления автомобиля. Принцип волновой передачи впервые предложен в СССР инженером. А. И. Москвинтиным в 1947 г. Волновая передача с электромагнитным генератором изобретена в 1959 году американским инженером У. Массером. В 50-х годах советские ученые проводили теоретические исследовательские работы волнового привода ПТК и предложили метод расчета его движения и силы. В 70-е годы СССР активно разрабатывали новые модели передач. В СССР была введена шариковинтовая передача.

В Томском политехническом институте в 80-х гг. была сформирована научная школа под руководством А. Е. Беляева, исследовавшая передачи с промежуточными телами. Статья «волновой передач с промежуточными звеньями» была завершена Панкратовыми Э. Н. под руководством д.т.н. А. Е. Беляева в Томском политехническом университете и запатентована в 2003 году. После этого Янгулов, М. Е. Лустенков, Становский и Ан и Кан разработали механические свойства и надежность волнового передачи.

В книге [2] рассматриваются вопросы конструирования и применения волновых передач.

В книге [3] просто изложены волновой редуктор с ПТК, применяемый к промышленным роботам.

Теплопередача является частью общего учения о теплоте, основы которого были заложены в середине XVIII в. М. В. Ломоносовым, создавшим

механическую теорию теплоты и основы закона сохранения и превращения материи и энергии. В дальнейшем развитии учения о теплоте разрабатывались его общие положения. В XIX в. Основное внимание уделялось вопросу превращения теплоты в работу. С развитием техники и ростом мощности отдельных агрегатов роль процессов переноса теплоты в различных тепловых устройствах и машинах возросла. Во второй половине XIX в. Ученые и инженеры стали уделять процессам теплообмена значительно больше внимания. в литературе имеется много работ тех времен по вопросам распространения и переноса теплоты. Именно Ряд русских ученых Б. Б. Голицын (1862—1911), С. Я. Терешин (1863—1921) и другие исследовали процессы теплообмена и заложили основы теплопередачи. Французские ученые - математики Ж- Б. Фурье и С. Д. Пуассон в XIX столетии создали основы математической теории теплоты.

Х. Уонг и М. А. Михеев подробно исследовали теорию теплопередачи и опубликовали учебники в 1970-х годах. В книге [4] и [5] представлен весьма важный фактический материал и изложены основные принципы теплопередачи. Для удобства читателя в книге перечислены многие методы расчета передачи различных систем. "heat transfer", написанная J. P. Holman, является самой популярной в настоящее время.

1.2 Объект и методы исследования

Исследование теплового режима в основном включает следующие методы: метод тепловых сетей, метод конечных элементов, метод эмпирических формул и экспериментальный метод. Среди них, метод тепловых сетей и метод эмпирических формул очень ясны для целей исследования и сосредоточены только на точности определенного результата. В методе эмпирических формул аналогичный метод используется для получения соответствующей формулы расчета. Метод конечных элементов может адаптироваться к различным сложным ситуациям, и точность решения

высока. Экспериментальный метод является наиболее традиционным и наиболее эффективным и точным методом, но он дорог и сложен в эксплуатации. Начиная с развития теплопередачи, экспериментальный метод все еще является наиболее распространенным и убедительным. При анализе различных типов редукторов используется сравнительный метод. Также используется качественный анализ для изучения факторов, связанных с распределением температуры в электроинструментах. В качестве практических методов использованы: наблюдение, эксперимент, измерение. Рабочие характеристики и недостатки электробура изучены методом наблюдения. Измерения эксплуатационных параметров проводились с использованием метода непосредственной оценки, при котором значение величин определены непосредственно по показаниям средств измерений.

1.3 Общие сведения о приводе ручной машины электробур

1.3.1 Применение и классификация РМ электробур

Ручные буры широко применяются для копки ям для посадки растений в питомниках, а также на склонах, песках и твердых землях, для установки столбов ограждений, для выкапывания ям при удобрении фруктовых деревьев. Ручные буры могут использоваться для бурения льда. Ручной бур имеет небольшой размер и красивый внешний вид, удобен в эксплуатации, имеет высокую эффективность. Составные части ручного бура - это двигатель, редуктор и шнек. Ручные буры делятся на три типа в зависимости от источника питания: мотобуры, электробуры и ручные бур. Двух и четырех-тактные двигатели внутреннего сгорания используются в мотобуре. Двигатели постоянного тока и коллекторные двигатели используются в электробуре. Три типа ручных буров показаны на рисунке 1.

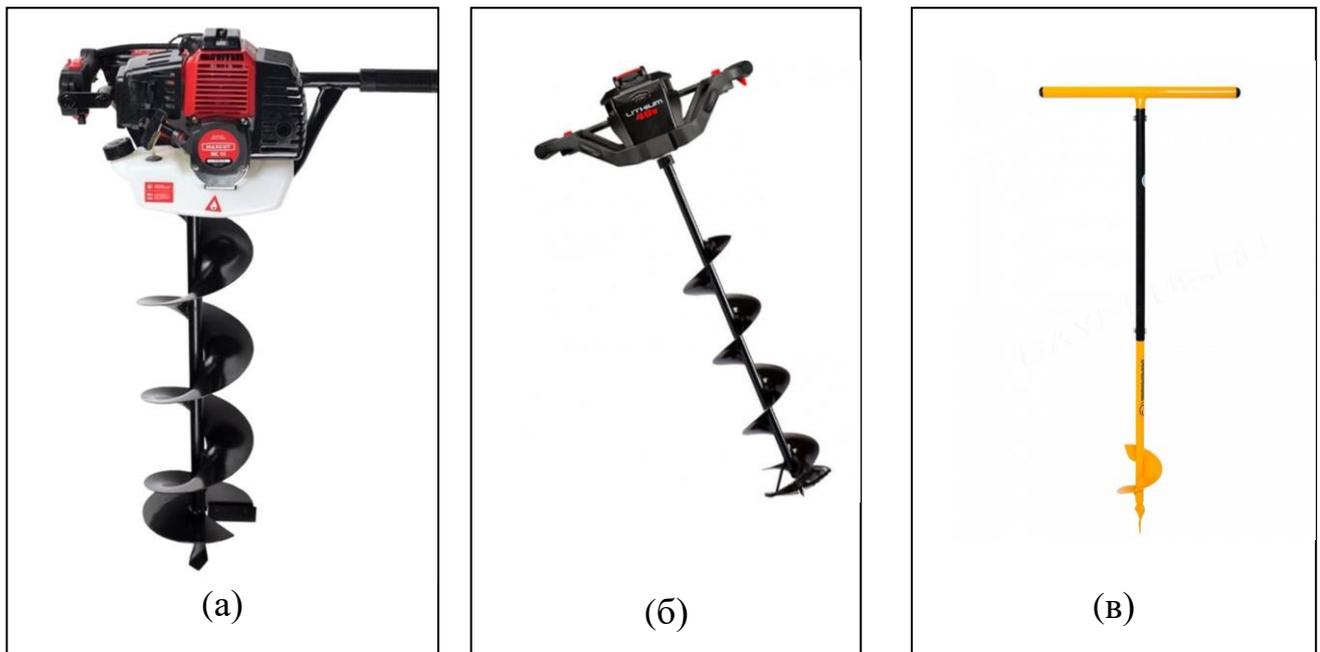


Рисунок 1 – Три типа ручных буров
(а) мотобур; (б) электробур; (в) ручной бур;

1.3.2 Конструктивный анализ ручной машины электробура

Конструктивная схема ручной машины электробура показана на рис.2. Электробур состоит из трех частей: коллекторный двигатель 1, редуктора и шпинделя 12. Для удобства применения требуются небольшой габаритный размер и масса. Поэтому разработчики используют коллекторный двигатель в мощностью 1,1 кВт для бурения отверстия небольшого диаметра. Редуктор тоже имеет небольшой габаритный размер, т.к. используется волновой редуктор с промежуточными телами качения, обладающий большим передаточным числом в одной ступени. Поэтому в зацеплении возникает сила трения качения, по сравнению с зубчатой передачей количество тепла, создаваемое в редукторе, уменьшается, а КПД передачи улучшается. Шпиндель соединяется с шнековым рабочим органом.

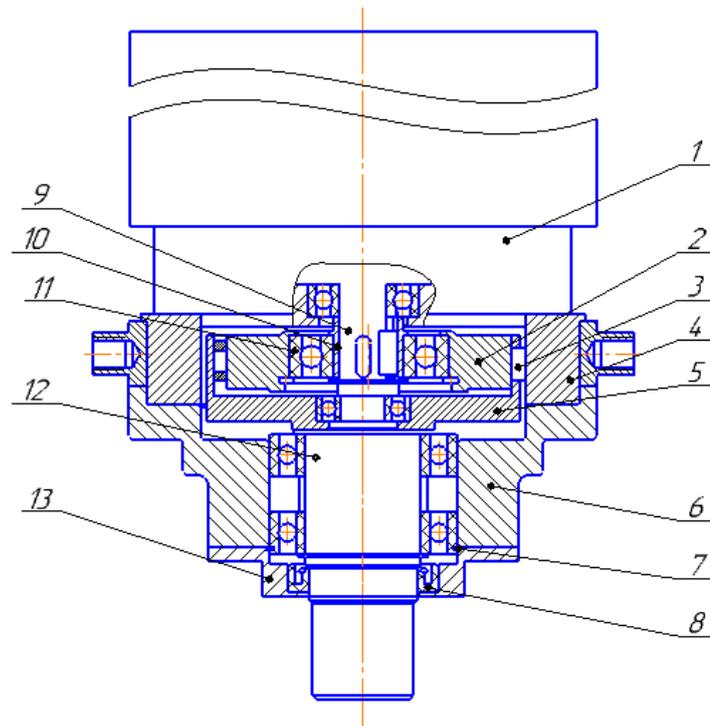


Рисунок 1 – Конструкция РМ электробура с ВПШТК

1) коллекторный двигатель; 2) диски генератора волн; 3) ролики; 4) жесткое кольцо; 5) сепаратор; 6) корпус редуктора; 7) стопное кольцо; 8) монжета; 9) входной вал; 10) эксцентриковые втулки; 11) подшипники; 12) выходной вал; 13) крышка

1.3.3 Принцип волновой передачи РМ электробура

Существует два вида волновых передач с промежуточными телами качения: механические передачи с ПТК и волновые зубчатые передачи (ВЗП). Все они являются устройствами, которые передают вращательное движение между двумя концентрическими осями. На рисунке 3 показаны два типа редукторов. Волновой редуктор имеют следующие преимущества:

- Высокое передаточное число
- Высокий КПД
- Компактность
- высокая нагрузочная способность и плавность хода

- передача вращательного движения между двумя концентрическими валами

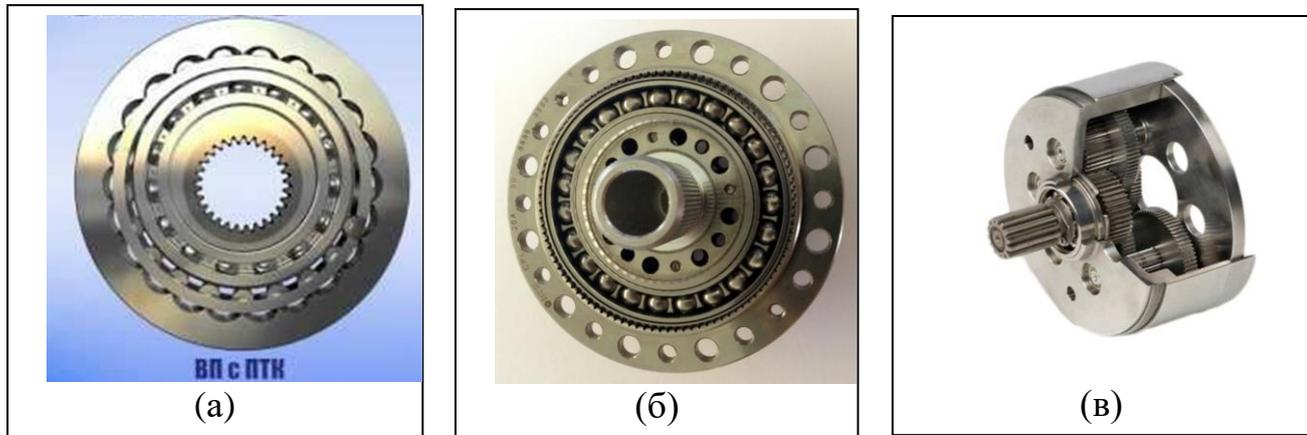


Рисунок 2 – Три типа редукторов
 (а) волновой редуктор с ПТК; (б) волновой зубчатый редуктор;
 (в) планетарный редуктор

Благодаря вышесказанным преимуществам они широко применяются в удобной технике. Волновая передача с роликами в зацеплении показана в следующий рис.4.

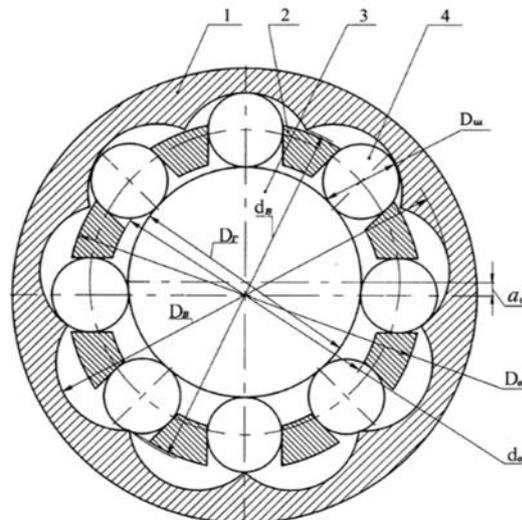


Рисунок 3 – Волновая передача с промежуточными телами качения

$d_{ш}$ – диаметр ролика; D_b – диаметр впадин зубчатого венца; d_b – диаметр выступов зубчатого венца; D_0 – наружный диаметр обоймы; d_0 – внутренний диаметр обоймы; D_r – диаметр генератора; a_ω – эксцентриситет генератора.

Передача состоит из четырех основных элементов: входного вала с эксцентриком 3, сепаратора 2, тел качения 4 и зубчатого венца жесткого колеса 1. Эксцентриковый вал 3, вращаясь, вызывает радиальное перемещение тел качения 4 в пазах сепаратора 2. Тела качения, контактируя с рабочими поверхностями венца жесткого колеса 1 (или сепаратора 2), вызывают его вращение[9]. Каждый полный оборот эксцентрикового вала поворачивает венец (или сепаратора) на один кулачковый сектор. Таким образом, передаточное отношение определяется количеством жесткого колеса венца. Для повышения динамической уравновешенности и нагрузочной способности эксцентрик выполнен сдвоенным.

1.3.4 Конструктивный анализ двигателя

Коллекторный двигатель в основном состоит из двух частей: статора и ротора. Зазор между статором и ротором называется воздушным зазором. Статор намотан обмотками возбуждения, генерирующей магнитное поле статора. Ротор включает в себя вал, коллектор и вентилятор. Обмотка ротора питается непосредственно от источника питания, опираясь на щетки и коллектор, ток вводится во вращающуюся обмотку ротора, генерируя магнитное поле в воздушном зазоре. При взаимодействии магнитного поля крутящий момент воздействует на сердечник, чтобы добиться преобразования электрической энергии в механическую энергию. Входной крутящий момент двигателя определяется напряжением и током.

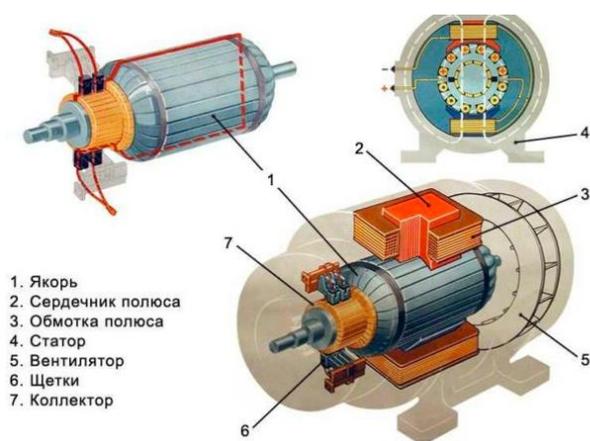


Рисунок 4 – Конструкция коллекторного двигателя

1) якорь; 2) сердечник полюса; 3) обмотка полюса; 4) статор; 5) вентилятор; 6) щетки; 7) коллектор

Исследуемый электродвигатель имеет следующие преимущества:

- Простое устройство.
- Хороший крутящий момент даже на малых оборотах.
- Невысокие стоимость эксплуатации и ремонта.
- Возможность регулировать скорость в широких пределах.
- В процессе работы отсутствуют потери на трение трансмиссии.
- Компактность.

Двигатель имеет некоторые несерьёзные недостатки:

- Высокий уровень шумов при работе.
- Искрит на щетках.
- Низкий коэффициент полезного действия 60-75%.
- Обслуживание коллектора и щетки затруднено.
- Нестабильность показателей при изменении нагрузки.
- Не большой срок службы из-за изнашивания самого щеток и коллектора.

В целом, коллекторный двигатель – хороший выбор. Он часто используется в бытовой технике. Двигатель обеспечивает большую скорость и крутящий момент, а также имеет небольшие размеры и небольшую массу. Могут и 10-15 лет проработать без проблем.

Технические характеристики электродвигателя ДК110-1000 и технические характеристики двигателя внутреннего сгорания Champion G026НТФ-11 приведены ниже.

Таблица 1–Технические характеристики электродвигателя ДК110-1000

Номинальное напряжение, В	220
Частота тока, Гц	50
Номинальная частота вращения, об/мин.	15000
Полезная мощность, Вт	1000
Потребляемая мощность, Вт, не более	1430
Величина номинального потребл.тока двигателя, А, не более (обязат. для потребителей)	7,0
Направление вращения	левое
Класс электробезопасности	II (ГОСТ 12.2.013-91)
Масса, не более, кг	3,2
Цена, руб	2030



Рисунок 5 – Универсальный коллекторный двигатель ДК110-1000

Таблица 2–Технические характеристики Champion G026HTF-11

Объем двигателя, см ³	48,5
Ёмкость топливного бака, л	0,95
Мощность(кВт)	1,4
Вес, кг	6,3
Тип двигателя	бензиновый
Чистота вращения, об/мин	4000
Цена, руб	7500



Рисунок 6 – Двигатель внутреннего сгорания Champion G026HTF-11

Из таблицы 2 видно, что двигатель внутреннего сгорания имеет большой габарит, вес и высокую цену. Шум, создаваемый двигателем внутреннего сгорания, намного больше, чем у двигателя. Следовательно, двигатель внутреннего сгорания неудобен по сравнению с электродвигателем с точки зрения удобства. Но двигатель внутреннего сгорания имеет высокую мощность и низкую чистоту вращения. Согласно следующей формуле двигатель внутреннего сгорания может выдавать более высокий крутящий момент.

$$T = 9550 \cdot P/n, \quad (1)$$

где T – крутящий момент, Н*м;

P – мощность, кВт;

n – чистота вращения, об/мин.

Следовательно, двигатель внутреннего сгорания может легко получить большой выходной крутящий момент посредством зубчатой передачи.

1.4 Общие сведения о теплопередаче

Теплопередача – это процесс передачи тепла от высокотемпературного объекта к низкотемпературному объекту. Теплопередача – распространенное физическое явление в природе. Температура-это физическая мера того, насколько холодным и теплым является объект. Поэтому теплопередача относится к передаче энергии из-за разницы температур, также известной как теплообмен. В общем случае теплопередача делится на три типа: теплопроводность, тепловая конвекция и тепловое излучение. В большинстве практических случаев существует два - три способа передачи тепла одновременно.

Теплообмен между твердыми телами называется теплопроводностью. Опыт показывает, что тепловой поток в единицу времени пропорционален площади поперечного сечения, перпендикулярной направлению теплового потока, и пропорционален нормальному градиенту температуры. Закон этого теплового явления-закон Фурье, выраженный следующей формулой.

$$Q = \lambda F dt/dL \text{ Вт}, \quad (2)$$

где Q – тепловой поток, Вт; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м · °С); dt/dL – градиент температуры.

Конвективный теплообмен означает процесс передачи тепла из твердого тела или его поверхности в жидкости посредством конвекции и теплопроводности. В зависимости от вида потока жидкости конвективный теплообмен включает в себя теплообмен естественной конвекции и вынужденной конвекции. Из - за различий температур жидкости, существует градиент плотности, движение жидкость возникает. Это явление называется естественной конвекцией. движение жидкости под действием внешних сил называется вынужденной конвекцией.

Чтобы описать все явления конвективного теплообмена, был предложен закон Ньютона.

$$Q = \alpha F(t_{\text{ст}} - t_{\text{ж}}) \text{ Вт}, \quad (3)$$

где Q – тепловой поток, Вт; F – площадь поверхности стенки, м^2 ; $(t_{\text{ст}} - t_{\text{ж}})$ – температурный напор (разность температур поверхностей стенки), $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{ст}}$ – температура граничной поверхности; $t_{\text{ж}}$ – температура жидкости.

Коэффициент конвективного теплообмена α связан с потоком жидкости, теплофизическими свойствами жидкости и геометрией системы. Для некоторых систем коэффициент теплоотдачи может быть рассчитан методом анализа размерностей. Но в сложных случаях коэффициент теплопередачи должен быть определен с помощью экспериментов.

При естественной конвекции, для того чтобы рассчитать коэффициент теплоотдачи, необходимо установить уравнение (4), которое может описать взаимосвязь между физическими величинами.

$$Nu = C(Gr \cdot Pr)^n K, \quad (4)$$

Константы C и n определяются статистическими законами большого количества экспериментальных данных. Поправочный коэффициент K обычно связано с геометрическими параметрами изучаемой системы.

При вынужденной конвекции коэффициент теплоотдачи может быть получены путем установления уравнения (5):

$$Nu = CRe^n \cdot Pr^n K, \quad (5)$$

Лучистый теплообмен – это процесс теплопередачи между двумя телами с различными температурами и бесконтактными друг с другом посредством электромагнитных волн. Количество излучаемой энергии составляет

$$Q = \varepsilon \sigma_0 T^4 F \text{ Вт}, \quad (6)$$

где ε – коэффициент излучения(степень черноты тела).

Тепловое сопротивление R относится к соотношению между разницей температур на обоих концах тела и мощностью источника тепла, когда на тело передается тепло. Единица измерения – градусы Цельсия на ватт, °С/Вт. Уравнение теплопроводности может быть записано так:

$$Q = \lambda \cdot F \Delta t / L = \Delta t / R, \quad (7)$$

Уравнение (7) аналогично закону Ома.

1.5 Анализ теплового источника РМ электробур

1.5.1 Факторы теплообразования РМ электробур

1. Трение качения и скольжения между роликом и венцом жесткого зубчатого колеса
2. Трение качения и скольжения между роликом и эксцентриком
3. Трение качения и скольжения подшипников в редукторе
4. Вязкое трение смазочного масла
5. Потеря тока через обмотку
6. Потеря трения между щеткой и коллектором

1.5.2 Влияние повышенной температуры на РМ электробур

Когда проявит перегрузка или повышенной ток во время работы электробура, коллекторный двигатель будет создать больше тепла из-за повышенной мощности. Повышенная температура влияет на провода обмотки статора и ротора. Их теплостойкость может быть различной от 120 до 180 градусов. Если превысить эту температуру, то пойдет дым и возможно оплавление изоляции, короткое замыкание и возгорание.

С увеличением входной скорости оборота и нагрузки волнового редуктора проблема его тепловыделения становится все более заметной. Если тепло, генерируемое волновым редуктором во время работы, не может эффективно рассеиваться, температура контактных поверхностей его

движущихся пар будет продолжать повышаться, и вызывает повышение температуры каждой детали и корпуса. По мере повышения температуры вязкость смазочного масла будет уменьшаться, а состояние смазки между роликом, венцом зубчатого колеса и эксцентриком ухудшится, в конце на поверхности ролика, жесткого зубчатого колеса и эксцентрика вызывает склейку и заклинение, в результате чего редуктор не может нормально работать, и даже выйдет из строя в серьезных случаях.

1.5.3 Расчетная модель теплового источника

1.5.3.1 Анализ с точки зрения основы трибологии

Когда волновой редуктор работает, генератор толкает ролик, ролик входит в зацепление с венцом жесткого зубчатого колеса, и происходит относительное скольжение, которое генерирует тепло трения на поверхности контакта, вызывая повышение температуры редуктора. Когда ролик входит в зацепление с венцом жесткого зубчатого колеса, плотность теплового потока можно рассчитать по формуле (8) [6, стр.388]:

$$N_{at} = f_{Tt} \cdot p_{at} \cdot V_{CKt}, \quad (8)$$

где f_{Tt} — коэффициент трения;

p_{at} — удельное давление;

V_{CKt} — скорость скольжения.

Как видно из приведенной выше формулы, плотность теплового потока на поверхности контакта связана с относительной скоростью скольжения и удельным давлением.

1.5.3.2 Анализ с точки зрения потери мощности

Из-за наличия трения входная мощность не может быть выведена на 100%, то есть происходит потеря мощности. Можно видеть, что потеря мощности волнового редуктора - это, главным образом, потеря мощности

зацепления ролика и потеря мощности подшипника, которые являются источником тепла передачи волнового редуктора.

Потеря мощности в зацепление ролика:

$$P_{\Pi} = \eta_3 \cdot P_{\text{в}}, \quad (9)$$

Где η_3 — КПД в зацепление ролика;

$P_{\text{в}}$ — входная мощность.

Потеря мощности подшипника:

$$P_{\text{тр}} = \pi \cdot n \cdot M_{\text{тр}}/30, \quad (10)$$

где n — частота вращения вала, мин⁻¹.

Согласно приведенной выше формуле, чем больше скорость оборота и нагрузка, тем больше мощность источника тепла.

Поскольку механический анализ ВП с ПТК не проводится, эффективность зацепления и момент трения не могут быть получены расчетным путем. Известно, что КПД передачи двигателей и волновых приводов составляют 0,75 и 0,67 соответственно, а КПД передачи подшипников, как правило, 0,98, поэтому источник тепла можно рассчитать по КПД передачи каждой детали. (принебречь изменения скорости и нагрузки электробура)

Мощность внутреннего источника тепла в коллекторном электродвигателе рассчитывается по следующей схеме как:

$$Q_{\text{дв}} = P_{\text{дв.}} \cdot (1 - \eta_{\text{дв.}}), \quad (11)$$

Мощность внутреннего источника тепла в редукторе рассчитывается по следующей схеме как:

$$Q_1 = Q_{\text{нагрев.}} = P_{\text{дв.}} \cdot \eta_{\text{дв.}} \cdot (1 - \eta_{\text{ред.}}), \quad (12)$$

скорость потока жидкости. Поэтому в электробуре разработан небольшой вентилятор для изменения скорости воздушного потока, чтобы увеличить теплоотдачу. Смазочное масло или вода также могут быть использованы для отвода тепла в электробуре.

1.7 Расчет распределения температуры с помощью метода конечных элементов

Согласно закону Фурье устанавливается дифференциальное уравнение теплопроводности редуктора:

$$\rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \Phi, \quad (13)$$

где τ – время, с; t – температура тела, зависящая от времени и координат, °С; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С); ρ – плотность, кг/м³; c – удельная теплоёмкость, Дж/(кг·°С); Φ – источник тепла, Вт/м³.

Для получения функции распределения температуры необходимо также дать краевые условия (условия однозначности). Краевые условия и дифференциальные уравнения теплообмена составляют полное математическое описание конкретной задачи теплообмена.

Общие граничные условия для задач теплопроводности можно обобщить на три категории:

1. Заданные значения температуры на границе тела называются граничными условиями первого рода.

2. Заданные значения плотности теплового потока на границе тела называются граничными условиями второго рода.

3. Заданные значения температуры окружающей среды и коэффициент α между поверхностью тела и средой называются граничными условиями третьего рода.

Для решения указанной выше математической модели мы используем метод конечных элементов для дискретизации редуктора на конечное число элементов, тогда каждый элемент должен удовлетворять уравнению теплопроводности, а приведенная выше формула выражается в вариационной форме. Температура определенной точки внутри элемента может быть получено произведение функции формы и температуры узла. Таким образом, температурное поле редуктора делится на многомерную функцию температуры всех узлов. Следовательно, линейные уравнения температурного поля редуктора могут быть получены как:

$$K \cdot T = Q, \quad (14)$$

где K - матрица теплопроводности, T - матрица температурного поля, Q - матрица узлового теплового потока.

Ниже приведены конкретные шаги по использованию ANSYS workbench 19 для расчета температурного поля редуктора:

1. Упрощать модель и построить гипотез;
2. Задать материалы и их теплофизические характеристики каждой части;
3. Настроить параметры граничных условиях;
4. Разделить сетки;
5. Получать результаты.

1.7.1 Упрощение модели и построение гипотез

а) Удалить все фаски. Упрощать все подшипники в простой пустотелый цилиндр.

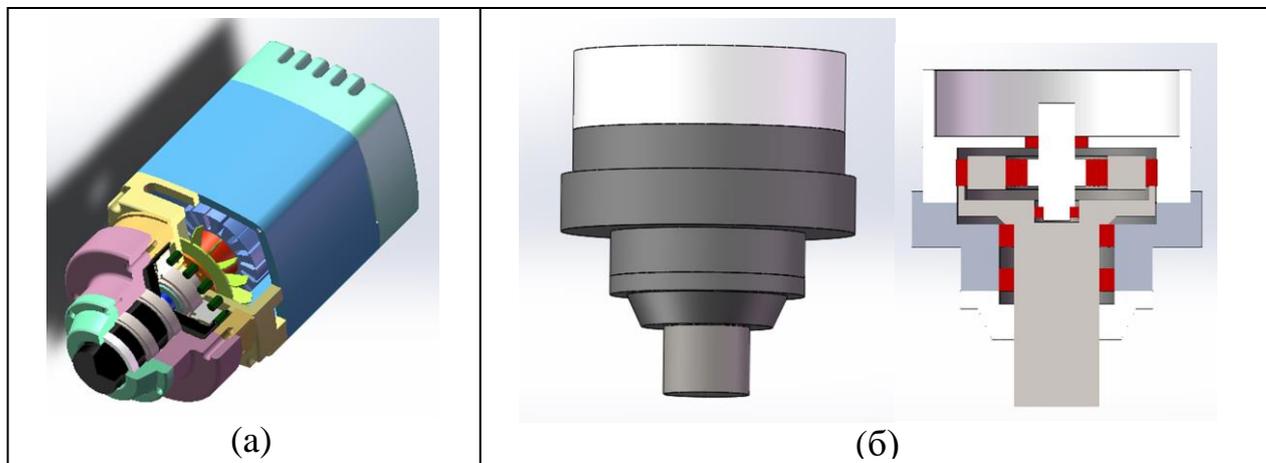


Рисунок 9 – Модель РМ электробура
(а) исходная модель; (б) упрощенная модель

б) Построение гипотезы

1. Предположим, что внутреннее пространство редуктора замкнуто.
2. Из-за низкой теплопроводности воздуха можно предположить, что воздух внутри редуктора изолирован.
3. Предположим, что тепло, создаваемое трением между роликом и волновым генератором, равномерно распределяется по поверхности волнового генератора.
4. Предположим, что выходная мощность двигателя стабильна и равна 1,1 кВт.

1.7.2 Материалы и теплофизические характеристики каждой части

Материалы каждой части даны в следующем чертеже:

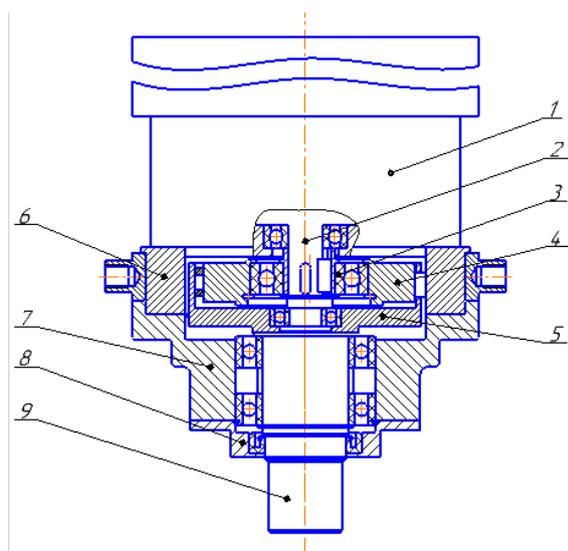


Рисунок 10 – Наименование материала каждой частей электробура:
2,5,9 — Сталь 45Х; 1,4,6 — ШХ 15; 1,7,9 — Дюралюминий 10

Таблица 3– Теплофизические свойства дюралюминий Д10

теплофизические свойства дюралюминий Д10				
T(Град)	ρ ,кг/м ³	ср,Дж/(кг·град)	λ ,Вт/(м·град)	β *10 ⁶ ,1/град
20	2790	881	169	22,6
100			188	23,6
200			188	24,6
300			193	24,5

Таблица 4 – Теплофизические свойства сталь 40Х

теплофизические свойства сталь 40Х				
T(Град)	ρ ,кг/м ³	ср,Дж/(кг·град)	λ ,Вт/(м·град)	β *10 ⁶ ,1/град
20	7800	466	46	11,9
100			46	11,9
200			42,7	12,5
300			42,3	13,2

Таблица 5 – Теплофизические свойства ШХ 15

теплофизические свойства ШХ 15				
T(Град)	ρ ,кг/м ³	ср,Дж/(кг·град)	λ ,Вт/(м·град)	β *10 ⁶ ,1/град
20	7790	881	42	11,9

100			41	11,9
200			40	15,1
300			38,5	15,5

1.7.3 Граничные условия

Граничные условия второго рода. Задается тепловой поток на поверхности, как константа $Q_1=22$ W, $Q_2=54$ W, $Q_3=246$ W, $Q_4=15$ W, $Q_5=15$ W, $Q_6=15$ W.

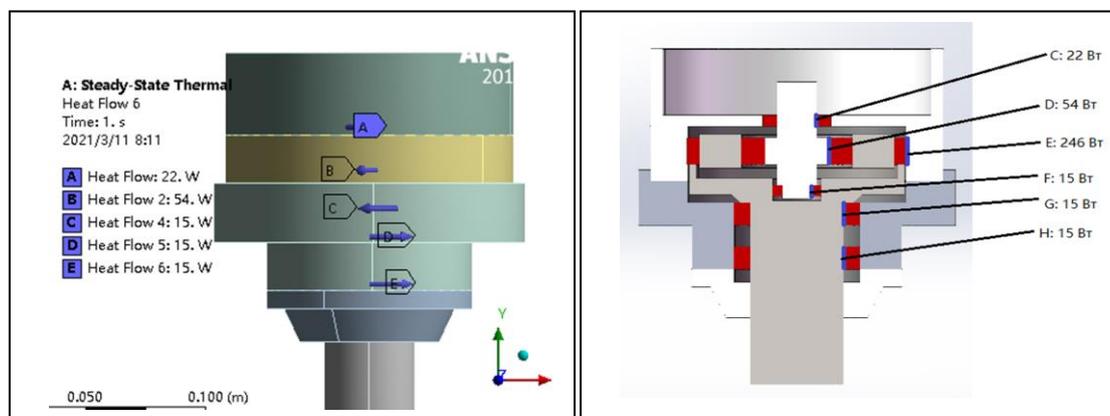


Рисунок 11 – Схема распределения теплового источника

Граничные условия третьего рода. При естественной конвекции задается коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности редуктора электродура, как константа $\alpha=12$ Вт/м²*°С. При вынужденной конвекции задается коэффициент теплоотдачи на поверхности, обдуваемой вентилятором, как константа $\alpha=116$ Вт/м²*°С. Температура воздуха равна 20 °С.

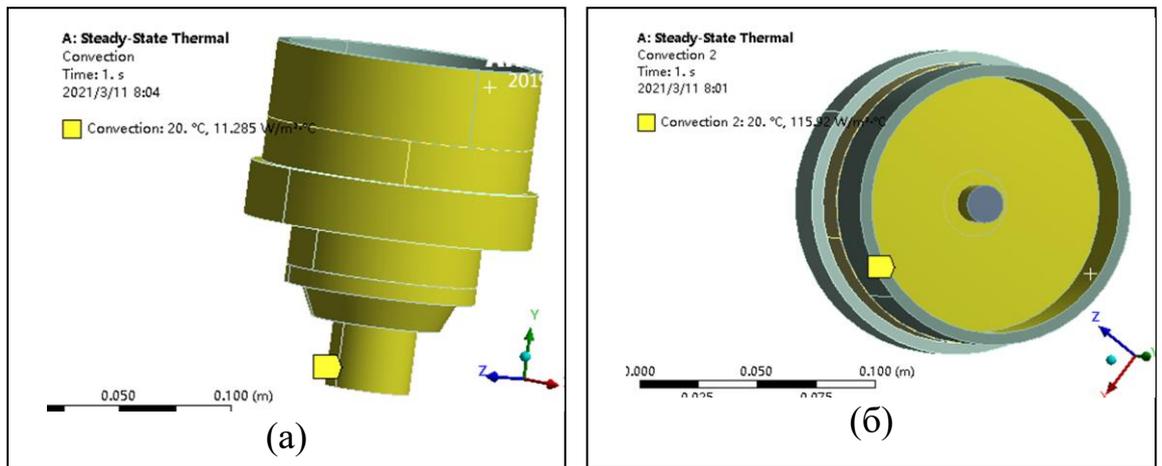


Рисунок 12 – Установка коэффициентов конвективной теплоотдачи на разных поверхностях

(а) поверхность, контактирующая с воздухом; (б) поверхность, обдуваемой вентилятором

1.7.4 Размер сетки

Так как распределение температуры в волновом редукторе более сосредоточено, то необходимо тщательно разделить сетку на волновом редукторе для достижения цели повышения точности расчета и четкого отображения распределения температуры.

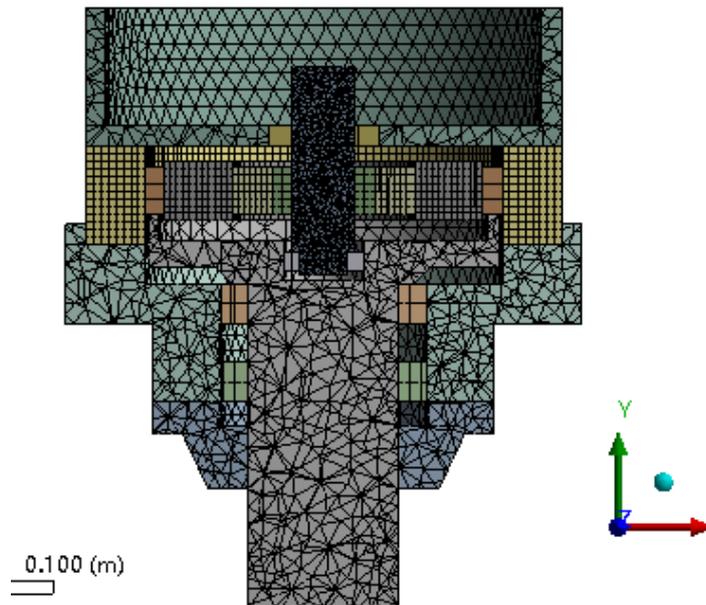


Рисунок 13 – Разделения сетки

1.7.5 Результаты стационарного анализа

После выполнения вышеуказанных шагов можно рассчитать установившееся температурное поле редуктора. На рисунке ниже показано температурное поле редуктора на плане среза.

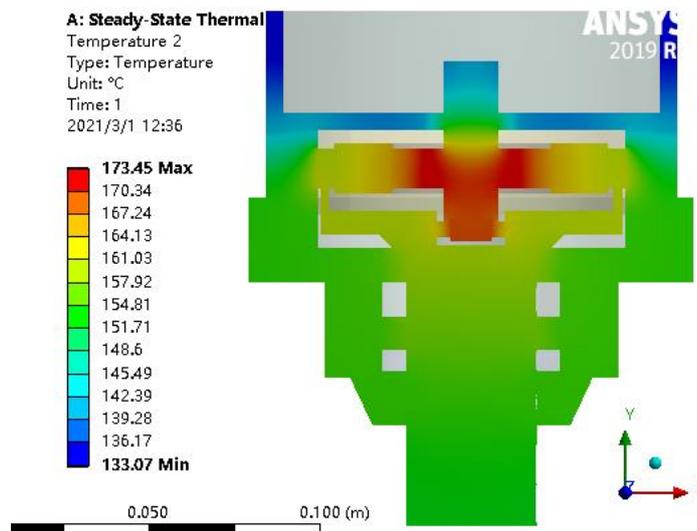


Рисунок 14 – Температурное поле РМ электробурна на плане среза

Поскольку внешняя поверхность контактирует с воздухом, а зона конвекции относительно велика, из рисунка 15 видно, что температура внешней поверхности редуктора относительно низкая. В частности,

температура поверхности, обдуваемой вентилятором, ниже, потому что коэффициент теплопередачи вынужденной конвекции очень велик. Поскольку предполагается, что внутренняя поверхность редуктора изолирована, температура внутри редуктора слишком высока. Ролики, эксцентриковое колесо и подшипник 2 очень горячие, поэтому представляют собой опасные детали.

На рисунке ниже показано распределение температуры редуктора без вентилятора. Видно, что общая температура редуктора слишком высока.

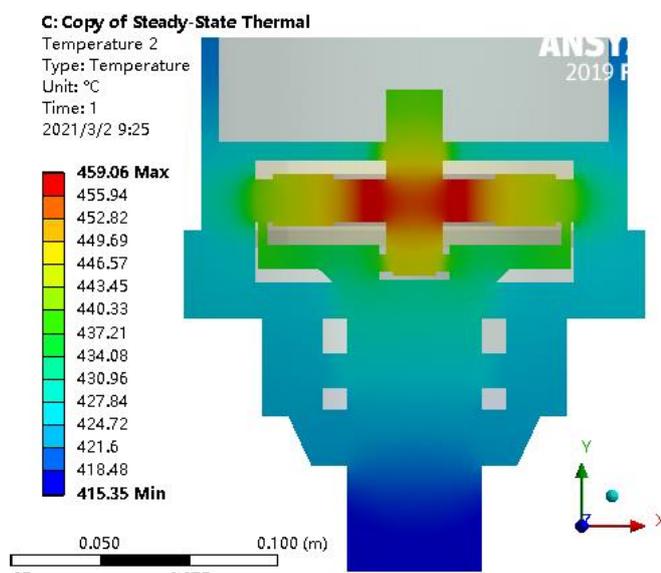


Рисунок 15 – Распределение температуры редуктора на плане среза при отсутствии вентилятора.

Сравнение рисунков 15 и 16 показывает, что вентилятор внутри двигателя играет огромную роль в снижении температуры внутри редуктора.

1.7.6 Нестационарный анализ тепла

Порядки выполнения моделирования:

1. Упрощать модель и построить гипотез ;
2. Задать материалы и их теплофизические характеристики каждой части;
3. задать начальные условия и время расчёта;

4. Настроить параметры граничных условиях;
5. Разделить сетки;
6. Получать результаты;

Шаги 1, 2, 5 точно такие же, как анализ стационарного состояния, а шаги 3, 4, 6 отличаются от анализа стационарного состояния. Поэтому шаги 3,4,6 должны быть подробно описаны ниже.

1.7.7 Начальные условия и время расчёта

При начальном моменте ($\tau = 0$) задаётся начальные условия, как постоянная функция $t(x, y, x; 0) = 20$ °С.

1.7.8 Параметры граничных условий

Граничные условия второго рода. Зависимость тепловых источников от времени указывается в следующей таблице.

Таблица 6 – Зависимость теплового потока (Q1) от времени

Time[s]	Heat Flow [Вт]
0	22
8000	22
8001	0
15000	0

Таблица 7 – Зависимость теплового потока (Q2) от времени

Time[s]	Heat Flow [Вт]
0	54
8000	54
8001	0
15000	0

Таблица 8 – Зависимость теплового потока (Q3) от времени

Time[s]	Heat Flow [Вт]
---------	----------------

0	246
8000	246
8001	0
15000	0

Таблица 9 – Зависимость теплового потока (Q4) от времени

Time[s]	Heat Flow [Вт]
0	15
8000	15
8001	0
15000	0

Таблица 10 – Зависимость теплового потока (Q5) от времени

Time[s]	Heat Flow [Вт]
0	15
8000	15
8001	0
15000	0

Таблица 11 – Зависимость теплового потока (Q6) от времени

Time[s]	Heat Flow [Вт]
0	15
8000	15
8001	0
15000	0

Граничные условия третьего рода. Задается коэффициент теплоотдачи на внешней поверхности электробура $15 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$. (таблица 12) Задается коэффициент теплоотдачи на поверхности, обдуваемой вентилятором в следующем таблице 13.

Таблица 12 – Зависимость коэффициента теплоотдачи от времени

Time[s]	Коэффициент теплоотдачи [Вт/м ² *°C]
0	15
8000	15
8001	15
15000	15

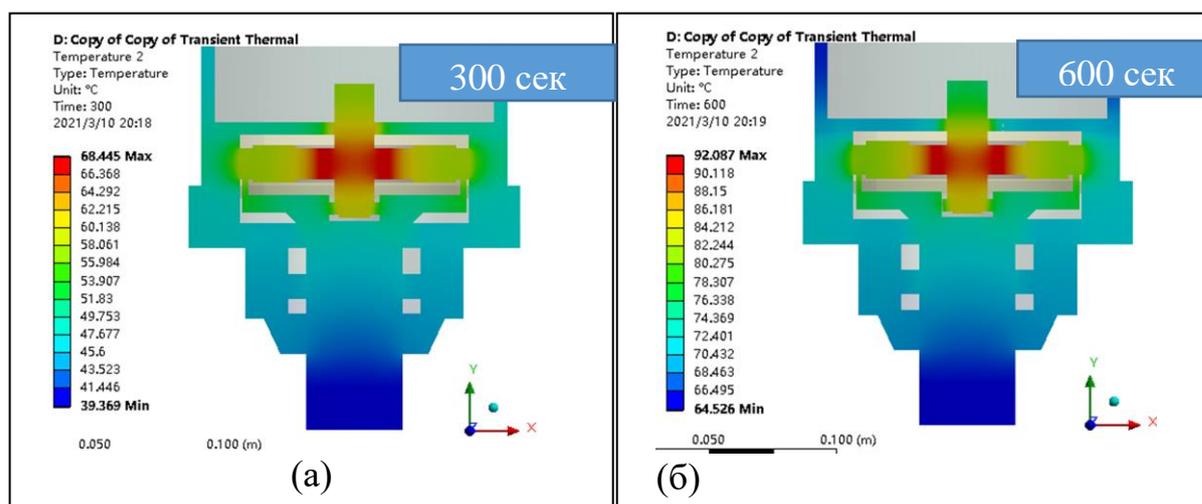
Таблица 13 – Зависимость коэффициента теплоотдачи от времени

Time[s]	Коэффициент теплоотдачи [Вт/м ² *°C]
0	116
8000	116
8001	0
15000	0

1.7.9 Результаты нестационарного состояния

После выполнения вышеуказанных шагов можно рассчитать неустановившееся температурное поле редуктора.

На рисунках 17 а, б, в показано температурное поле нагрева редуктора через 5мин (300 сек), 10 мин (600 сек) и 15 мин (900 сек) непрерывной работы. На корпусе редуктора температура нагрева через 5 мин работы составит не более 45 град, через 10мин - не более 68 град, через 15 мин не более 85 град.



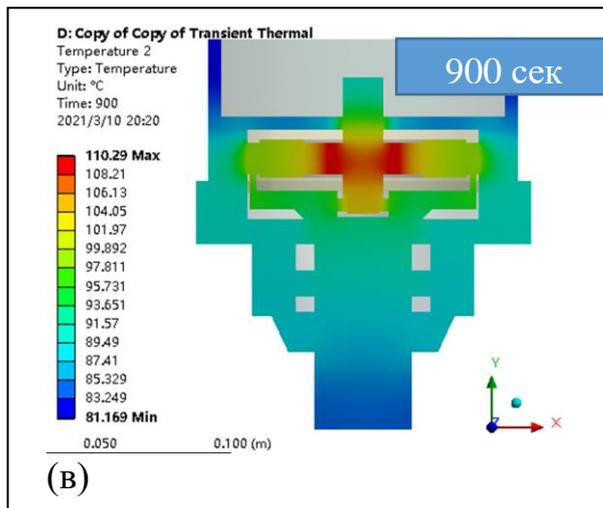


Рисунок 16 – План среза распределения температуры электробура в разные моменты времени в непрерывном рабочем состоянии

Если учесть, что один шпур $\Phi 150$ мм, на глубину длины шнека 800 мм в грунте буриться не более 20 сек, то за 5 мин можно пробурить 10...15 шпуров. Такого объема работ достаточно для установки забора и т.п. Нагрев редуктора составит всего 45 град. Тепловой режим работы для такого объема работ хороший

При фактическом использовании РМ электробура работает не непрерывно, но работа передачи прерывистая. Внутренняя тепловая нагрузка нагружается периодически. Следовательно, теоретическая температура на графике будет выше, чем фактическая рабочая температура.

На рисунке 18 показана кривая повышения температуры редуктора для достижения установившейся температуры и кривая охлаждения для медленного охлаждения в естественных условиях. На рисунке 17 показана кривая повышения температуры редуктора для достижения установившейся температуры и кривая охлаждения для медленного охлаждения в естественных условиях. Зеленая кривая представляет кривую средней температуры редуктора, синяя линия - кривая самой низкой температуры, а красная линия - кривая самой высокой температуры.

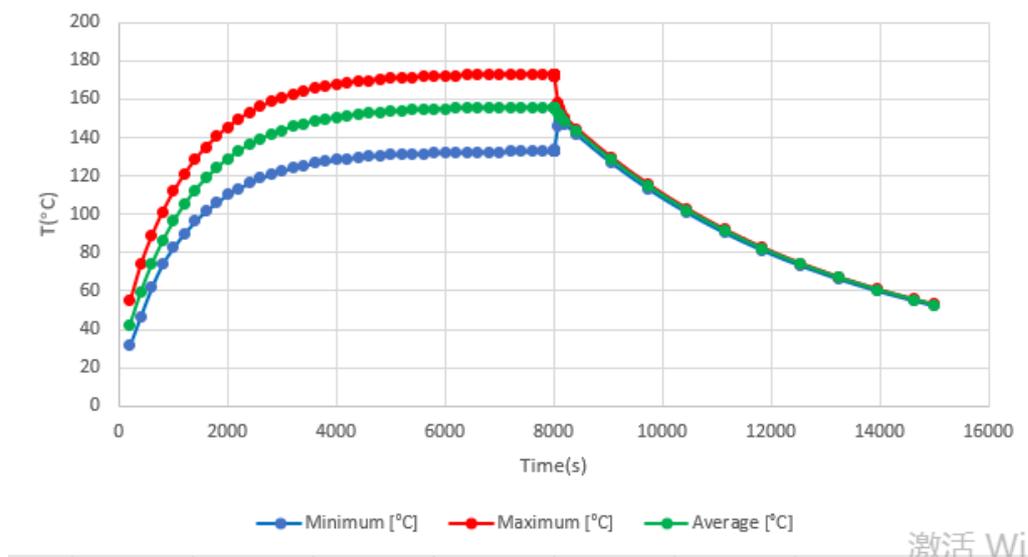


Рисунок 17 – График зависимости температуры от времени РМ электробура

Если редуктор работает непрерывно, установившаяся температура будет достигнута через 6000 секунд, а максимальная температура внутри редуктора превысит 170 градусов. Общее изменение температуры системы соответствует закону теплопередачи, что свидетельствует о том, что нестационарное распределение температуры, полученное с помощью ANSYS, является эффективным.

1.7.10 Расчет распределения температуры в Solid Works 2017

Процесс термического анализа Solid Works flow simulation 2017 и ansys workbench 19 идентичен, за исключением того, что существуют различия в настройке граничных условий.

1.7.11 Результаты и анализы

На рисунке 19, 20 показаны установившееся температурное поле и кривая нестационарного температуры редуктора, рассчитанное с помощью моделирования Solidworks.

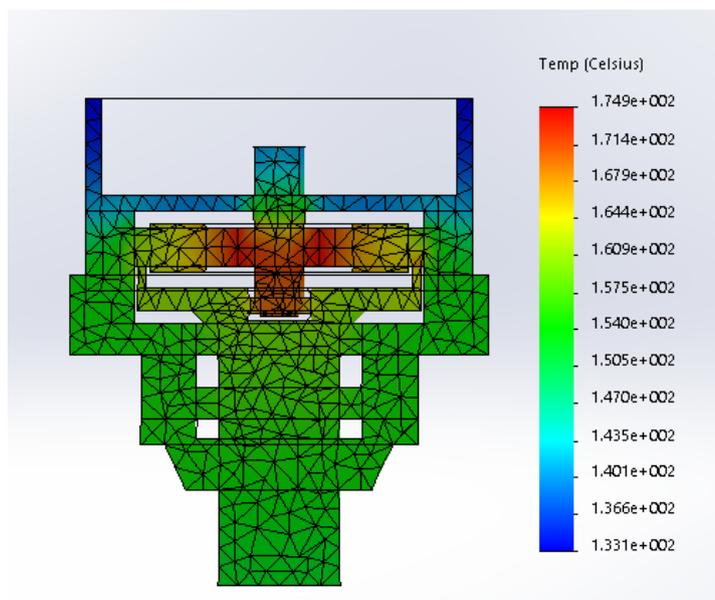


Рисунок 18 – План среза температурного распределения при стационарном состоянии

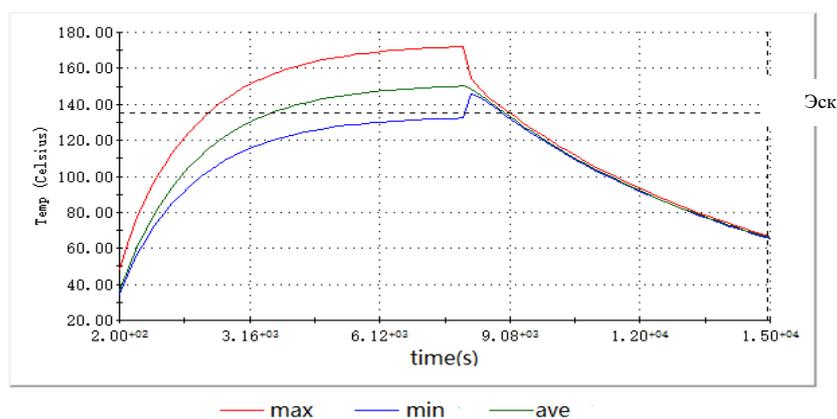


Рисунок 19 – График зависимости температуры от времени РМ электробура при нестационарном состоянии

Сравнивая результаты анализа с использованием ANSYS workbench и solidworks Simulation, можно доказать, что распределение температуры редуктора не зависит от типа программного обеспечения.

Вывод

1. Привод ручной машины электробур предназначен для кратковременного периода включения. За 5..15 мин непрерывной работы можно пробурить необходимое количество ям под столбы ограждения или фундамент для бани, теплицы, беседки и т.п.
2. Температура нагрева редуктора через 5 мин работы не превысит 45 °С, через 10 мин 68 °С, через 15 мин 85 °С. Такая температура нагрева обеспечивает нормальную работу смазочных материалов, обмоток электродвигателя и является безопасной для оператора.
3. Не рекомендуется работать более 15 мин из-за повышенной температуры нагрева редуктора и др. частей привода, а также из-за повышенного уровня шума при работе (95 Дб) и воздействия вибрации на руки оператора.
4. При длительной непрерывной работе привода температура теплового баланса на корпусе редуктора наступает при 150 °С . через 125 мин эксплуатации. Но даже в таком режиме работы привод не выйдет из строя, если будет работать в номинальном режиме.
5. Температура теплового баланса внутри редуктора достигает 175 °С , поэтому в качестве смазывающего материала рекомендуется применять термостойкие смазки.

2 Конструкторская часть

2.1 Расчет температуры теплового баланса

а) Задачи работы:

1. Получить коэффициент теплоотдачи при естественной и вынужденной конвекции.
2. Получить среднюю температуру корпуса редуктора.

б) Вопрос:

Известно, что корпус редуктора создан из Дюралюминия 10, номинальная мощность коллекторного двигателя $Q=1,1\text{кВт}$, КПД редуктора $\eta=0,67$, внутри РМ электробура имеется вентилятор со скоростями $v=55\text{м/с}$.

Определить коэффициент теплообмена и потери тепла корпуса редуктора на стационарном режиме, если температура окружающей среды $t_{\text{ж}} = 20^{\circ}\text{C}$, а температура корпуса редуктора $t_{\text{ст}} = 146^{\circ}\text{C}$.

с) Анализ решения вопроса

Часть привода рассматривается как вертикально расположенный цилиндр небольшого диаметра с источником тепла. И она находится в воздухе. И так, тепловая энергия, которая генерируется, рассеивается в виде тепловой конвекции.

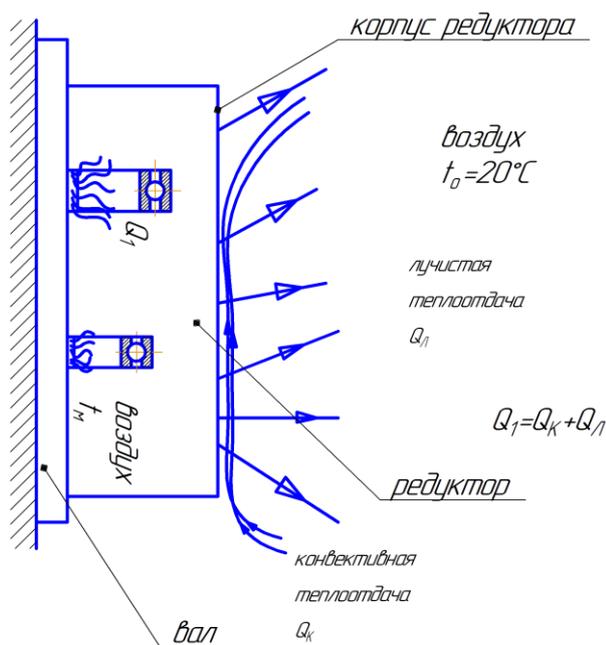


Рисунок 20 – Схема охлаждения части привода

Образование и рассеивание тепла в РМ электробур приводит к изменению температуры привода. Изменение температуры в основном делится на три фазы: этап повышения, постоянная фаза и фаза снижения температуры. По способу расчета изменение температуры можно разделить на две части: нестационарный режим и стационарный режим.

А-В, С-Д: Когда РМ электробур начинает работать, температура деталей и внутреннего воздуха изменяется нелинейно со временем. После того, как РМ электробур перестаёт работать, температура начинает падать медленно до температуры окружающей среды.

В-С: После того, как РМ электробур работала некоторое время, температура ее деталей и внутреннего воздуха не изменяется со временем.

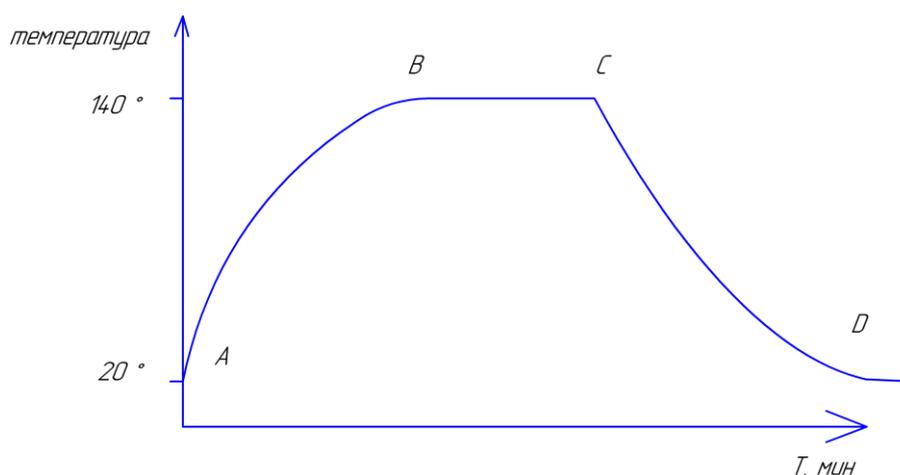


Рисунок 21 – Кривая изменения температуры внутри редуктора

d) Анализ процесса расчета

Во-первых, эта проблема относится к задаче стационарного состояния. Таким образом, существуют условные соотношения теплового баланса.

$$Q_1 = Q_2. \quad (15)$$

Почти вся бесполезная работа, которую делает редуктор, выделяется в виде тепла.

$$Q_1 = 10^3 \cdot P_1 \cdot (1 - \eta). \quad (16)$$

Во-вторых, в этой задаче присутствует только конвективный теплообмен и тепловое излучение. Поэтому тепловой поток определяется с помощью выражения

$$Q_2 = K_T \cdot A \cdot (t_m - t_{ж}). \quad (17)$$

Из уравнения (1) находим t_m :

$$t_m = t_{ж} + \frac{10^3 \cdot P \cdot (1 - \eta)}{K_T \cdot A}, \quad (18)$$

где t_m — температура поверхности редуктора; $t_{ж}$ — температура воздуха.

Из уравнения (18) находим температуру теплового баланса редуктора. (На первом этапе найдём её., а потом все остальные задачи будем решать) Все данные известны, кроме K_T . Причем K_T меняется в зависимости от температуры. Вот коэффициент теплоотдачи K_T , он же $\alpha_{общ.}$.

Коэффициент теплоотдачи оценивают по эмпирическим уравнениям, полученным обработкой экспериментальных результатов методом анализа размерностей. Коэффициент $\alpha_{\text{общ}}$ обычно выражают через соотношение между одним зависимым безразмерным комплексом – числом Нуссельта Nu -- и тремя другими независимыми безразмерными комплексами – числами Рейнольдса Re , Грасгофа Gr и Прандтля Pr , зависящими от вида конвекции (естественная или вынужденная). Процесс рассуждения выглядит следующим образом:

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n, \quad [1.\text{стр.55}] \quad (19)$$

$$\frac{\alpha_k \cdot X}{\lambda} = C \cdot \left(\frac{\beta g \Delta t X^3 \cdot \rho^2}{\mu^2} \cdot \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} \right)^n,$$

$$\alpha_k = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_3},$$

$$\alpha_l = \varepsilon_c \cdot C_0 \cdot \frac{\left[\left(\frac{T_{\text{ст}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ж}}}{100} \right)^4 \right]}{t_{\text{ст}} - t_{\text{ж}}},$$

$$\alpha_{\text{общ}} = \alpha_k + \alpha_l.$$

е) Процесс решения данной задачи

- Расчёт площади корпуса редуктора
- Расчёт гидравлического диаметра
- Расчёт безразмерных величин
 - Расчёт числа Прандтля Pr
 - Расчёт числа Грасгофа Gr
 - Расчёт числа Нуссельта естественной конвекции Nu
 - Расчёт числа Нуссельта вынужденной конвекции Nu
- Получим окончательный результат

2.2 Процесс расчёта температуры теплового баланса

2.2.1 Расчёт площади и характерного размера

Внешняя площадь корпуса редуктора считается:

$$A_{\text{ст}} = \sum_{i=1}^3 A_i = 0,021 + 0,025 + 9,546 \cdot 10^{-3} = 0,055 \text{ м}^2$$

Примем $A_{\text{ст}} = 0,055 \text{ м}^2$

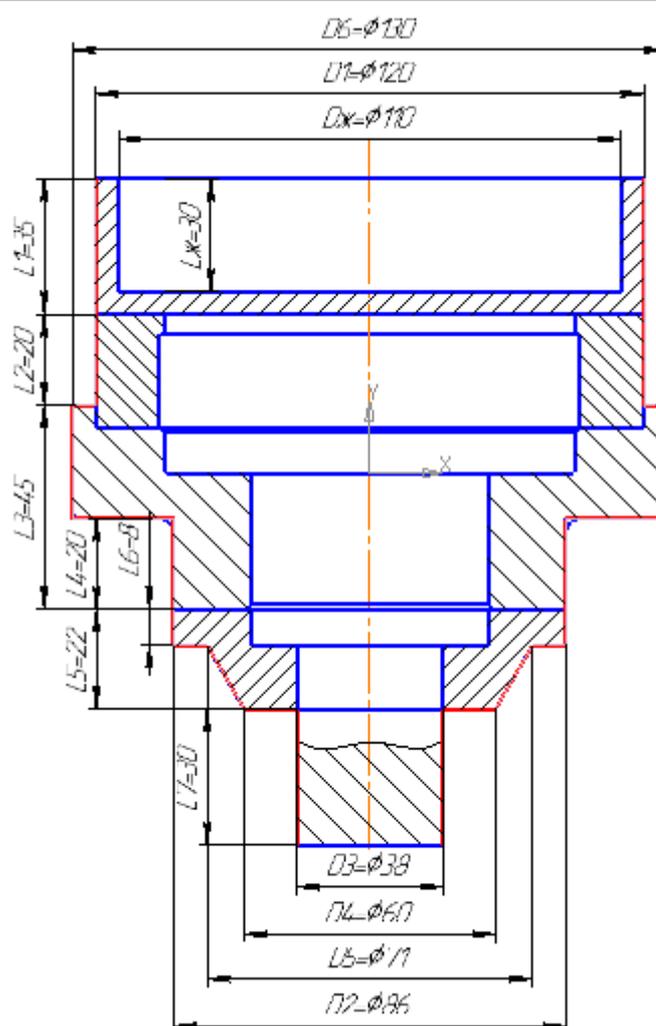


Рисунок 22 – Внешняя поверхность корпуса редуктора

Площадь внутренней поверхности, обдуваемая вентилятором считается:

$$A_{\text{обд}} = \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{ж}}}{2}\right)^2 + \pi \cdot D_{\text{ж}} \cdot L_{\text{ж}} = 0,02 \text{ м}^2$$

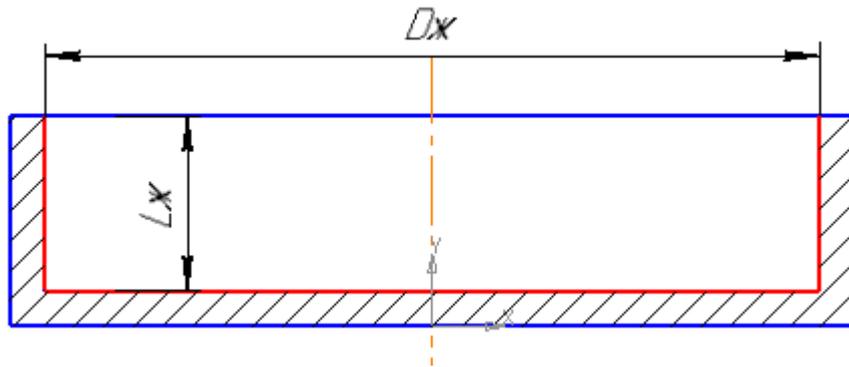


Рисунок 23 – Внутренняя поверхность, обдуваемая вентилятором $A_{обд}$

1. Внешняя площадь первой части $A1$

$$A1 = \pi \cdot D1 \cdot (L1 + L2) = 0,021 \text{ м}^2$$

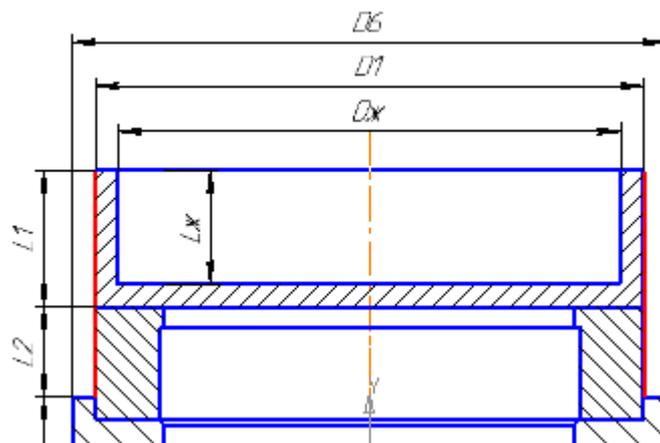


Рисунок 24 – Внешняя поверхность первой части $A1$

2. Внешняя площадь второй части $A2$

$$A2 = \pi \cdot D6 \cdot (L3 - L4) + \pi \cdot \left[\left(\frac{D6}{2} \right)^2 - \left(\frac{D1}{2} \right)^2 \right] + \pi \cdot \left[\left(\frac{D6}{2} \right)^2 - \left(\frac{D2}{2} \right)^2 \right] + \pi \cdot D2 \cdot$$

$$L4 = 0,025 \text{ м}^2$$

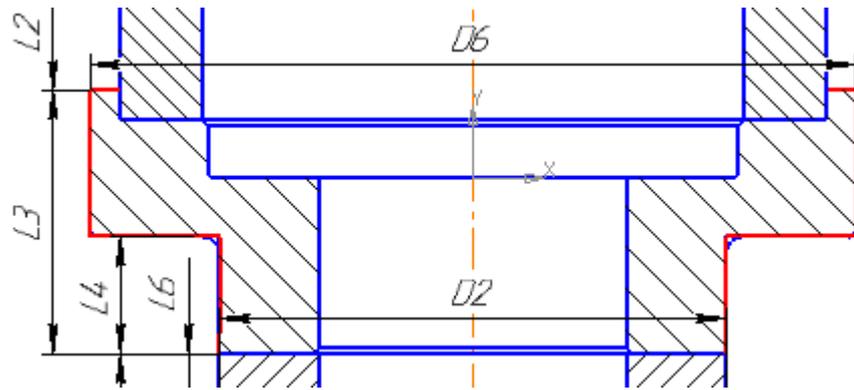


Рисунок 25 – Внешняя поверхность второй части A2

3. Внешняя площадь третьей части A3

$$\begin{aligned}
 A3 &= \pi \cdot D2 \cdot L6 + \pi \cdot \left[\left(\frac{D2}{2} \right)^2 - \left(\frac{D5}{2} \right)^2 \right] + \pi \cdot \left(\frac{D5}{2} - \frac{D4}{2} \right) \\
 &\quad \cdot \sqrt{(L5 - L6)^2 + \left(\frac{D5 - D4}{2} \right)^2} + \pi \cdot \left[\left(\frac{D4}{2} \right)^2 - \left(\frac{D3}{2} \right)^2 \right] + \pi \cdot D3 \cdot L7 \\
 &= 9.546 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2
 \end{aligned}$$

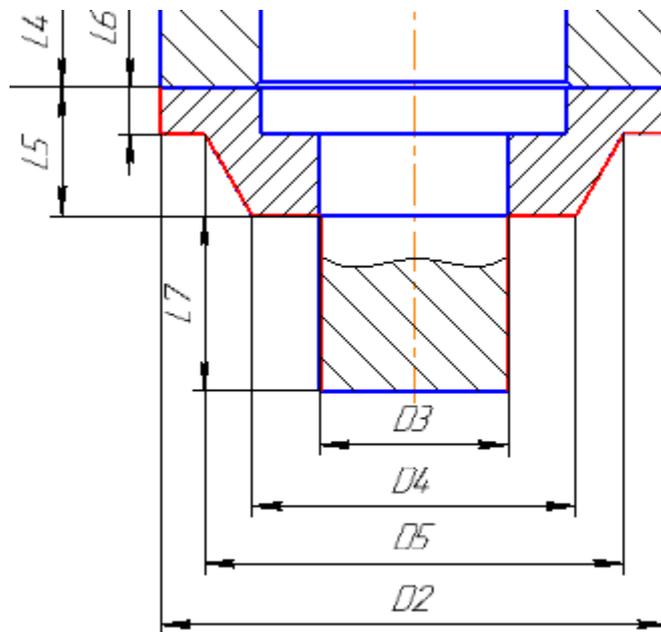


Рисунок 26 – Внешняя поверхность первой части A3

4. Внешняя площадь корпуса редуктора A_{ст}

$$A_{ст} = A1 + A2 + A3 = 0,021 + 0,025 + 9,546 \cdot 10^{-3} = 0,055 \text{ м}^2$$

Для простоты расчёта, сложные фигуры корпуса редуктора можно упрощать как простой цилиндр(Рис.35). Вот мы предположим, что диаметр простого цилиндра равна 0,11 м, то можно считать высота цилиндра:

$$\pi \cdot 0,11 \cdot L + \pi \cdot \left(\frac{0,11}{2}\right)^2 = 0,055$$

$$L=0,14 \text{ м}$$

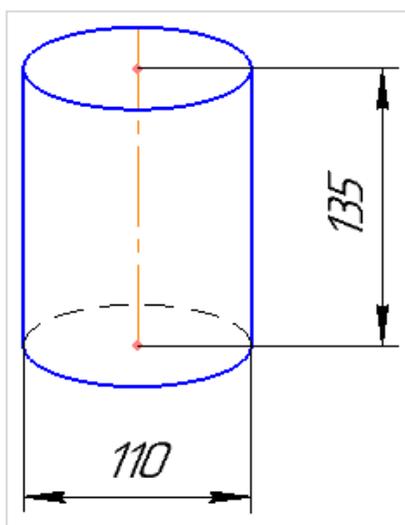


Рисунок 27 – Модель упрощения корпуса

2.2.2 Расчёт гидравлического диаметра

$$d_э = 4F/\Pi, [4.стр.53] \quad (20)$$

где F—площадь поперечного сечения; $d_э$ -- гидравлический диаметр; Π —смоченный периметр.

Площадь поперечного сечения корпуса редуктора в вертикальном направлении.

$$F = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 ;$$

Тогда смоченный периметр это длина окружности цилиндрического корпуса:

$$\Pi = \pi D;$$

$$d_э = D = 0,110 \text{ м}$$

2.2.3 Расчёт безразмерных величин

Обозначения:

μ – динамическая вязкость, Н*с/м²;

c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/(кг*°С);

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м*°С);

β – температурный коэффициент объемного расширения, К⁻¹;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

X – характерный размер цилиндра, м;

K – поправочная функция;

α -- коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²*°С);

ε_c – степень черноты;

C_0 – постоянная Стефана-Больцмана.

Расчёт Числа Прандтля

Число Прандтля:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda}, [4.стр.52] \quad (21)$$

$$\mu = 2,391 \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2 \text{ (при } 150 \text{ }^\circ\text{C);}$$

$$c_p = 1015 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C)} \text{ (при } 150 \text{ }^\circ\text{C);}$$

$$\lambda = 0,0356 \text{ Вт/(м} \cdot \text{ }^\circ\text{C)} \text{ (при } 150 \text{ }^\circ\text{C);}$$

$$Pr = \frac{2,391 \cdot 10^{-5} \cdot 1015}{0,0356} = 0,682$$

Число Прандтля для воздуха — табличное значение 0,683 при 150 °С.

Расчёт Число Грасхофа

Число Грасхофа:

$$Gr = g\beta\rho^2 \cdot \Delta t X^3 / \mu^2, [4.стр.52] \quad (22)$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2;$$

$$\beta = 1/(t_{ж} + 273^{\circ}\text{C})=1/(20+273)=0,003413;$$

$$\rho = 1,005 \text{ (при } 83^{\circ}\text{C)};$$

$$\Delta t = t_{ст} - t_{ж};$$

$$X=L=0,14 \text{ м}; \mu = 2,114 \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2 \text{ (при } 83^{\circ}\text{C)};$$

$$Gr = 9,81 \cdot 0,003413 \cdot 1,005^2 \cdot (146 - 20) \cdot 0,14^3 / (2,114^2 \cdot 10^{-10}) \\ = 2,615 \cdot 10^7$$

Расчёт коэффициента теплоотдачи излучением $\alpha_{л}$

коэффициента теплоотдачи излучением:

$$\alpha_{л} = \frac{\varepsilon_c \cdot C_0 \cdot \left[\left(\frac{T_{ст}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ж}}{100} \right)^4 \right]}{t_{ст} - t_{ж}}, \quad [4.\text{стр.}14] \quad (23)$$

$$\alpha_{л} = \frac{0,2 \cdot 5,67 \cdot \left[\left(\frac{419}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right]}{146 - 20} = 2,11 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

Для дюралюминия 10 примем $\varepsilon_c = 0,2 \dots 0,3$.

Расчёт числа Нуссельты естественной конвекции

Естественная конвекция:

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n [1.\text{стр.}55]$$

Для вертикально расположенного цилиндра небольшого диаметра, при ламинарном потоке:

$$C = 0,686; \quad n = \frac{1}{4}; \quad K = \left[\frac{Pr}{(1 + 1,05 \cdot Pr)} \right]^{\frac{1}{4}} [1.\text{стр.}57];$$

$$K = \left[\frac{0,683}{1 + 1,05 \cdot 0,683} \right]^{\frac{1}{4}} = 0,794$$

$$Nu = 0,686 \cdot (16406480 \cdot 0,683)^{\frac{1}{4}} \cdot 0,794 = 35,417$$

$$Nu_{\text{полн}} = Nu + \frac{0,52L}{D} = 35,417 + 0,52 \cdot \frac{0,14}{0,110} = 36,079 \quad \text{— для}$$

естественной конвекций [4. стр. 57].

Расчёт числа Нуссельты вынужденной конвекции

Критерий Нуссельта для развитого турбулентного движения определяют по критериальному уравнению Михеева М. А[6].

$$Nu_{cp,d} = 0,018 \cdot Re_{cp,d}^{0,8} \quad (24)$$

где Re – Число Рейнольдса.

$$Re_x = \rho v D / \mu; Re_x = 1,00 \cdot 35 \cdot 0,11 / 2,11 \cdot 10^{-5} = 182500$$

$$\rho = 1,00 \text{ (при } 80 \text{ }^\circ\text{C)}; \mu = 2,11 \cdot 10^{-5}$$

$$Nu = 0,018 \cdot 182500^{0,8} = 291 \quad \text{для вынужденной конвекции при } v \\ = 35 \text{ м/с}$$

$$Re_x = \rho v D / \mu; Re_x = 0,846 \cdot 55 \cdot 0,1 / 2,3 \cdot 10^{-5} = 286700$$

$$Nu = 0,018 \cdot 222534^{0,8} = 418 \quad \text{для вынужденной конвекции при } v \\ = 55 \text{ м/с}$$

v – скорость свободного потока, м/с

$$v = \omega r; \omega = \frac{\pi n}{30}; \omega = 3,14 \cdot \frac{15000}{30} = 1570 \frac{1}{c}; v = 1570 \cdot 0,035 = 55 \text{ м/с}$$

2.2.4 Получим окончательный результат

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{X}, \quad (25)$$

где Nu – безразмерный критерий подобия Нуссельта;

λ – коэффициент теплопроводности заданного теплоносителя
(берем для воздуха);

X – характерный размер, м.

$$\alpha_{e,k} = \frac{Nu \cdot \lambda}{L} = \frac{36,079 \cdot 0,0361}{0,14} = 9,174 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{в,к} = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_3} = \frac{341 \cdot 0,0361}{0,09} = 115,92 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{общ.} = 9,174 + 2,11 = 11,285 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$t_m = 20 + \frac{10^3 \cdot 1,1 \cdot (1 - 0,67)}{11,285 \cdot 0,055 + 115,92 \cdot 0,02} = 144 \text{ }^\circ\text{C}$$

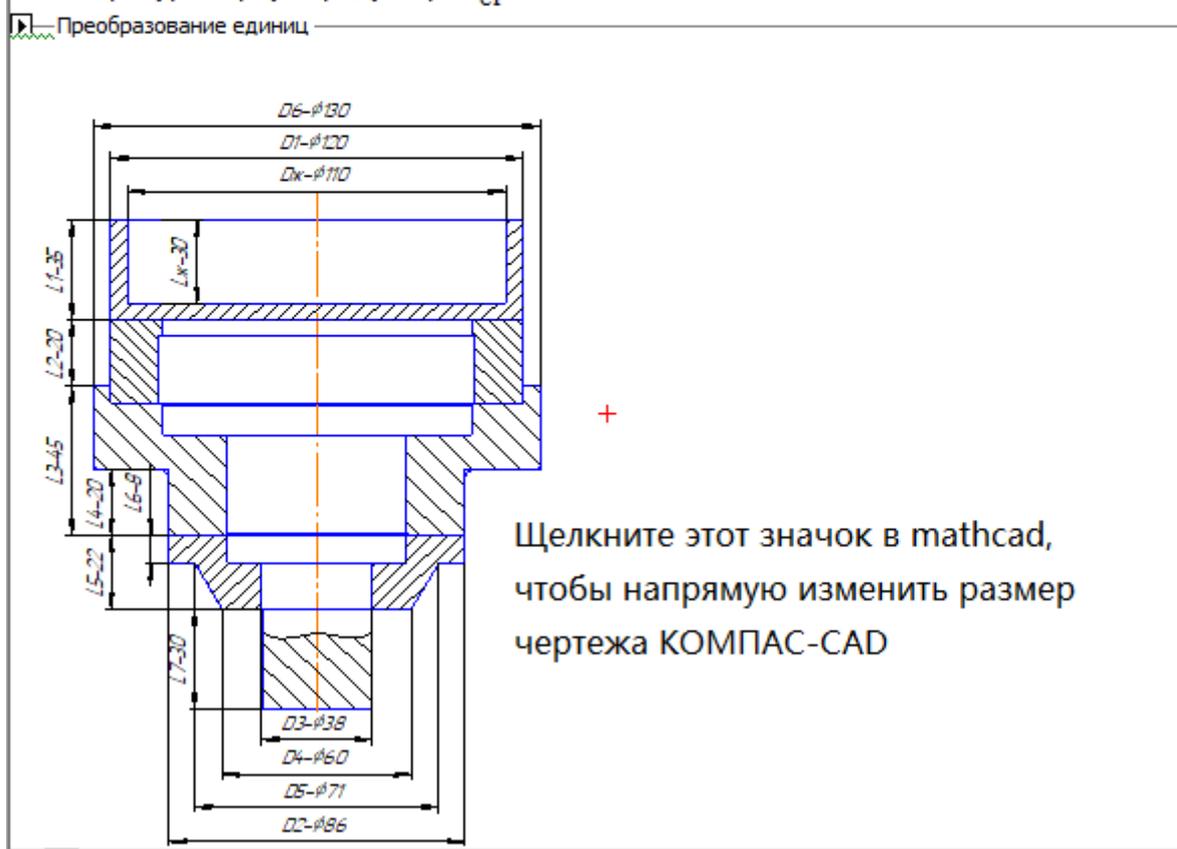
Без учёта установки привода на металлическую рамку. С учётом погрешностей и допущений приемлемый результат расчёта.

2.2.5 Расчет температуры с помощью Mathcad

Поскольку приведенный выше расчет включает в себя множество параметров и формул, легко ошибиться в ручном расчете, поэтому необходимо использовать Mathcad для герметизации приведенных выше расчетов. Следующая программа одновременно выполняет конструкцию редуктора и расчет температуры. Таким образом, даже если размер и форма редуктора изменяются, можно редактировать размер и форму в Mathcad.

Задача: Известно, что корпус редуктора создан из Дюралюминия 10, номинальная мощность коллекторного двигателя $Q=1,1$ кВт, КПД редуктора $\eta=0,67$, внутри РМ электробура имеется вентилятор со скоростью $v=55$ м/с.

Определить коэффициент теплообмена и потери тепла корпуса редуктора на стационарном режиме, если температура окружающей среды $t_{ж}=20$ °С, а температура корпуса редуктора $t_{ст}=146$ °С.



▼ Ввод параметров

$Q := 1100\text{W}$ $\eta := 0.67$ $t_{\text{ж}} := 20\text{ }^\circ\text{C}$ $t_{\text{ст}} := 146\text{ }^\circ\text{C}$

(определить теплофизические параметры воздуха при его температуре $150\text{ }^\circ\text{C}$)

$c_p := 1015 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \Delta^\circ\text{C}}$ $\lambda := 0.0356 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \Delta^\circ\text{C}}$ (при $150\text{ }^\circ\text{C}$)

$\mu := \begin{pmatrix} 2.114 \cdot 10^{-5} \\ 2.391 \cdot 10^{-5} \end{pmatrix} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$ (при $83\text{ }^\circ\text{C}$) (при $150\text{ }^\circ\text{C}$) $\rho := \begin{pmatrix} 1.005 \\ 0.846 \end{pmatrix} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

(определить размерные параметры корпуса редуктора)

$D := \begin{pmatrix} 0.120 \\ 0.086 \\ 0.038 \\ 0.06 \\ 0.071 \\ 0.130 \end{pmatrix} \text{m}$ $L_{\text{ж}} := \begin{pmatrix} 0.035 \\ 0.020 \\ 0.045 \\ 0.020 \\ 0.022 \\ 0.008 \\ 0.030 \end{pmatrix} \text{m}$ $D_{\text{ж}} := 0.110\text{m}$ $L_{\text{ж}} := 0.030\text{m}$

▲ Ввод параметров

▶ программа складывания

Получать результаты: $Pr = 0.683$ $Gr = 2.615 \times 10^7$ $Nu_{\text{полн}} = 36.079$

$t_{\text{м}} = 143.988$ $\alpha_{\text{в.к}} = 115.92 \frac{\text{kg}}{\text{K} \cdot \text{s}^3}$ $\alpha_{\text{л}} = 2.111 \frac{\text{kg}}{\text{K} \cdot \text{s}^3}$ $\alpha_{\text{в.к}} = 115.92 \frac{\text{kg}}{\text{K} \cdot \text{s}^3}$ $Nu_{\text{дж}} = 418.072$

В соответствии со следующей функцией можно установить взаимосвязь между температурой и эффективностью редуктора.

$$t_{\text{м}}(x) = t_{\text{ж}} + \frac{Q \cdot (1-x)}{\alpha_{\text{общ}} \cdot A_{\text{ст}} + \alpha_{\text{в.к}} \cdot A_{\text{обд}}},$$

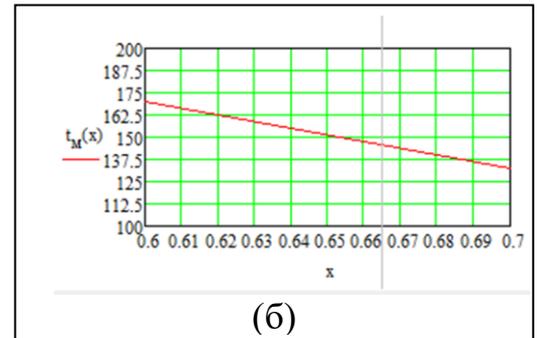
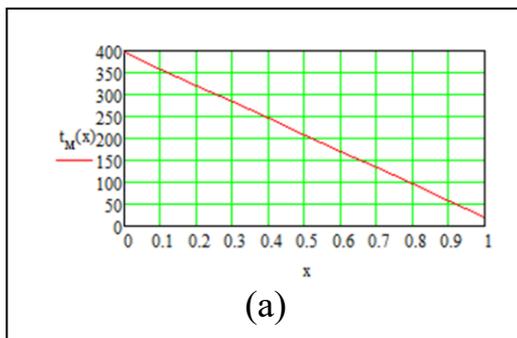
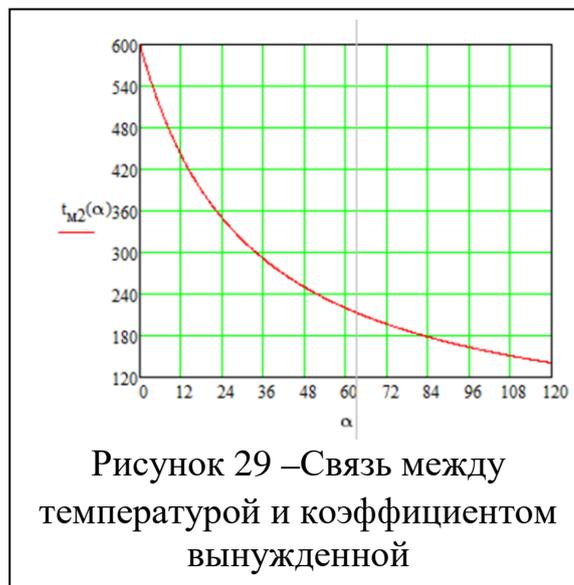
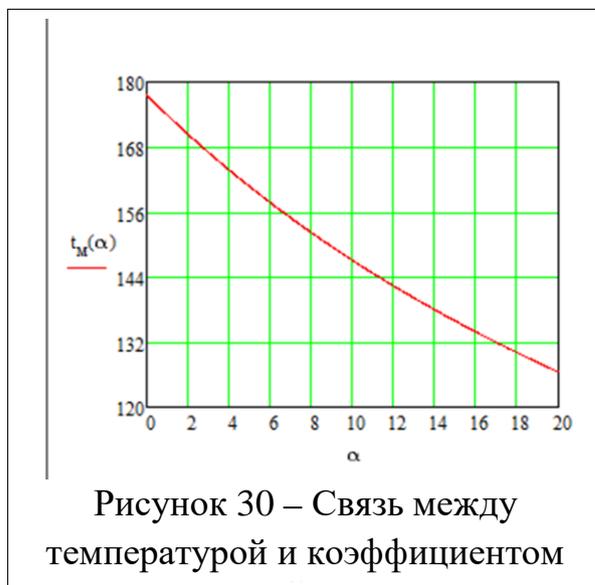


Рисунок 28 – Связь между температурой и эффективностью редуктора

В соответствии со следующей функцией может быть установлена связь между температурой и коэффициентом теплопередачи.

$$t_M(x) = t_{ж} + \frac{Q \cdot (1-\eta)}{x \cdot A_{ст} + \alpha_{в.к} \cdot A_{обд}},$$

$$t_M(x) = t_{ж} + \frac{Q \cdot (1-\eta)}{\alpha_{общ} \cdot A_{ст} + x \cdot A_{обд}}.$$



На рисунке 29 (а) показано, что зависимость между температурой и эффективностью редуктора является линейной, и чем выше КПД, тем ниже температура, что также показывает взаимосвязь между температурой и тепловой мощностью. На рисунке б показано изменение КПД при температуре от 0,6 до 0,7.

На рисунках 30 и 31 показано, что увеличение коэффициента теплопередачи имеет большое влияние на снижение температуры, особенно коэффициент вынужденной конвективной теплопередачи оказывает более очевидное влияние на снижение температуры.

Вывод

1. Использование метода эмпирических формул для расчета температуры стенки редуктора просто и понятно, и может быть получено эффективное решение.
2. Полученная температура теплового баланса составляет 144 градусов, которая представляет собой среднюю температуру редуктора. И она сопоставима с температурой теплового баланса на корпусе редуктора, полученной при использовании автоматизированных систем расчета ANSYS и SolidWorks.
3. Площадь внешней поверхности и коэффициент теплопередачи редуктора имеют большое влияние на температуру стенок редуктора.
4. Получены коэффициент естественной конвекции, коэффициент вынужденной конвекции и коэффициент теплоотдачи излучения.

Заключение

Волновой редуктор с ПТК – редуктор нового типа с широкими возможностями применения. Чтобы полностью раскрыть преимущества волнового редуктора с ПТК, для исследования механизма теплопередачи и температурного поля волнового редуктора с ПТК используются метод конечных элементов, теория теплопередачи и метод эмпирических формул.

В завершённой работе в основном были проанализированы образование тепла внутри электробура, связанные факторы, влияющие на рассеивание тепла электробура и температурное распределение внутри электробура. Чтобы лучше определить температурное распределение электробура, было проведено структурное понимание электробура и была создана трехмерная модель электробура. Наконец, температурное распределение электробура анализируется с помощью ANSYS workbench и SolidWorks, и проверяются связанные с этим факторы, которые влияют на рассеивание тепла электробура.

Изучение механизма теплопередачи и распределения температуры электробура чрезвычайно важно для улучшения рабочих характеристик электробура и эффективного контроля ее смазки и охлаждения.

В конструкторской части коэффициенты конвективной теплоотдачи на поверхности электробура и температура теплового баланса внутри электробура были рассчитаны с использованием метода эмпирической формулы. Эта температура теплового баланса может использоваться в качестве эталонного значения для выбора смазочного масла.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Бай Хайтао

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	150401/Машиностроение

Тема ВКР:

Исследование теплового режима работы привода для ручной машины электробура

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является участок корпуса электробура находящаяся в 16 корпусе, в котором производить эксперимент для измерения температуры корпуса электробура, и также выходного мощности электробура. Область применения: аэрокосмическая промышленность, энергетическая промышленность, производство автомобилей, химикатов, текстиля и т.д.</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</p> <p>— специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>— организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>№ 197-ФЗ "Трудовой кодекс Российской Федерации"</p> <p>№ 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда" (с изменениями и дополнениями).</p>
<p>2. Производственная безопасность</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Отклонение показателей микроклимата;</p> <p>Превышение уровня шума;</p> <p>Недостаточная освещенность рабочей зоны;</p> <p>Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.</p>
<p>3. Экологическая безопасность</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Защита селитебной и других зон окружающей среды; • Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы: абразивная пыль); • Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы: СОЖ); • Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы: стружка, бумага); • Разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	<ul style="list-style-type: none"> • Перечень возможных ЧС на объекте: сильные морозы, диверсия; • Выбор наиболее типичной ЧС; • Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.
---	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.02.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна	-		22.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Бай Хайтао		22.02.2021

3. Социальная ответственность

Введение

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

В данной работе рассмотрены тепловой режим работы привода для ручной машины электробура.

Актуальностью является прогнозирование динамики нагрева привода РМ электробур во время работы и установление температуры его теплового баланса с использованием автоматизированной САЕ системы позволит снизить затраты на получение практически значимых результатов в сравнении с испытаниями на специализированном стенде.

3.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

3.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Среди них можно выделить федеральный закон “Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний”.

За состоянием безопасности труда установлены строгие государственный, ведомственный и общественный надзор и контроль.

Результаты всех видов инструктажа заносят в специальные журналы. За нарушение всех видов законодательства по безопасности жизнедеятельности предусматривается следующая ответственность: дисциплинарная, административная, уголовная, материальная.

Рабочее место, хорошо приспособленное к трудовой деятельности работника, правильно и целесообразно организованное, в отношении пространства, формы,

размера обеспечивает ему удобное положение при работе и высокую производительность труда при наименьшем физическом и психическом напряжении.

3.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Под проектированием рабочего места понимается целесообразное пространственное размещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях функционально взаимосвязанных средств производства необходимых для осуществления трудового процесса.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, температура, влажность, давление, шум, наличие вредных веществ, электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования к организации рабочих мест.

Необходимыми требованиями являются обеспечение условий для безопасного ведения работ, соблюдение норм и правил техники безопасности, правил работы с электрооборудованием. Необходимо следить за концентрацией вредных веществ в воздухе, исправностью проводки, изоляции кабелей и пр., чтобы не допустить возникновения пожароопасных и взрывоопасных ситуаций.

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

3.2 Производственная безопасность

3.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

Рабочее место располагается на 1-ом этаже в цехе корпуса 16А НИ ТПУ, помещение представляет собой комнату размером 10x8 м, высотой 3,5 м, 2 окна,

выходящих на восток, в помещении находится 3 токарный станок с ЧПУ, 10 людей. Остальное при анализе по разделам.

Производственным риском будем считать опасные и вредные производственные факторы, воздействующие на человека. В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого решения.

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы 14.

Таблица 14 – Возможные опасные и вредные факторы при измерении температуры корпуса электробура при различных скоростях оборотов

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработ ка	Изготовл ение	Эксплуат ация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	1. СанПиН 2.2.4.548–96 2. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 3. СНиП 23-05-95 4. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 5. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ
2. Превышение уровня шума		+	+	
3.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
4.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	

3.2.1.1 Анализ показателей микроклимата

Состояние микроклимата на механическом участке должна соответствовать допустимым нормам по ГОСТ 12.1.005-88. Метеорологические условия в производственных условиях определяются следующими параметрами:

- температура воздуха t , °С;
- относительная влажность воздуха ϕ , %;
- скорость движения воздуха на рабочем месте v , м/с.

Движение воздуха в помещениях – это важный фактор, влияющий на тепловое самочувствие человека. Движение воздуха оказывает различное действие на организм в тёплый и холодный период года. Так, в жарком помещении оно улучшает состояние организма, так как способствует увеличению отдачи теплоты, но при низкой температуре оказывает неблагоприятное воздействие. Можно сделать вывод, что для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам к операторам, относится к категории средних работ, 2б – работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице 15.

Таблица 15 – Результаты замеров микроклимата

Период года	Категория работ	Температура, С°		Влажность, %		Скорость воздуха, м/с	
		Фактич.	Допуст.	Фактич.	Допуст.	Фактич.	Допуст.
Теплый	2б	21	18-27	62	65	0,16	0,2
Холодный	2б	18	17-23	53	<75	0,1	0,2

Для обеспечения комфортных условий используются как организационные методы (рациональная организация проведения работ в зависимости от времени года и суток, чередование труда и отдыха), так и технические средства: в холодный период года – применение водяного отопления; в теплый период года – искусственная вентиляция, изоляция нагретых поверхностей оборудования.

3.2.1.2 Анализ показателей шума

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

При проведении эксперимента для измерения выходного шума электродвигателя коллекторный двигатель. Предельно допустимый уровень (ПДУ) 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.

Шум ухудшает условия труда, оказывая вредное действие на организм человека. Основное физиологическое воздействие шума заключается в повреждении внутреннего уха. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах и т. д. Такие нарушения в работе ряда органов и систем организма человека могут вызвать негативные изменения в эмоциональном состоянии человека вплоть до стрессовых. Под воздействием шума снижается концентрация внимания, нарушаются физиологические функции, появляется усталость в связи с повышенными энергетическими затратами и нервно-психическим напряжением. Длительное воздействие шума, уровень которого

превышает допустимые значения, может привести к заболеванию человека шумовой болезнью — нейросенсорная тугоухость. Все это снижает работоспособность человека и его производительность, влияет на качество и безопасность труда.

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.

При значениях выше допустимого уровня необходимо использование 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 (пенобетон; базальтовая, минеральная, хлопковая вата; шумопоглощающие экраны из фанеры, древесноволокнистые плиты, звуконепроницаемые ткани);
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения.

Средства индивидуальной защиты:

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

В нашей работе низкая уровень шума, благодаря тому, что в исследовании использовалась масляная СОЖ марки МР-7.

3.2.1.3 Анализ освещенности рабочей зоны

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

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

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

Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отраженный от потолка и стен. Длина помещения $A = 10$ м, ширина $B = 8$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 300 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м; B – ширина, м.

$$S = 10 \times 8 = 80 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения покрашенных светло-зеленых стен с окнами, без штор $\rho_c = 40\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{п} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,2$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛТБ-40, световой поток которой равен $\Phi_{лд} = 3000$ Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР –2-40.

Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1200 мм, ширина – 260 мм.

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

$$h = h_n - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,0 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$N_b = \frac{B}{L} = \frac{8}{2,4} = 3,3 \approx 3$$

Число светильников в ряду:

$$N_a = \frac{A}{L} = \frac{10}{2,4} = 4,16 \approx 4$$

Общее число светильников:

$$N = N_a \cdot N_b = 3 \cdot 4 = 12$$

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

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,4}{3} = 0,8 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{10 \cdot 8}{2,0 \cdot (9 + 7)} = 1,97$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОД с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70\%$, $\rho_{\text{С}} = 40\%$ и индексе помещения $i = 1,97$ равен $\eta = 0,65$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле: $\Phi_{\text{П}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 10 \cdot 8 \cdot 1,2 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,65} = 4061 \text{ ЛМ}$

Делаем проверку выполнения условия:

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

$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% = \frac{2600 - 2457,45}{2457,45} \cdot 100\% = 6,0\%$$

Таким образом: $-10\% \leq 6,1\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

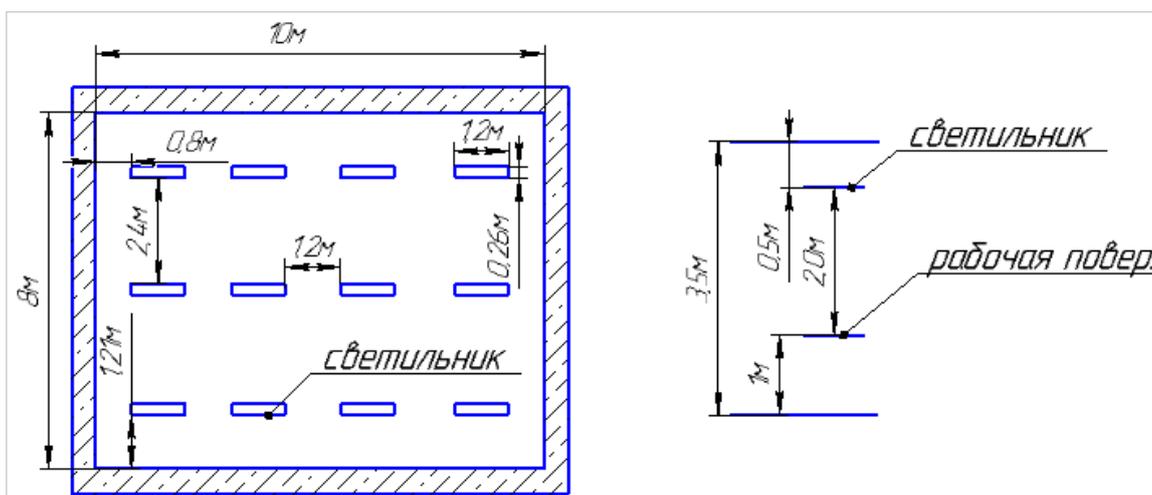


Рисунок 32 – План размещения светильников

3.2.1.4 Анализ электробезопасности

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

Лаборатория относится к классу электроопасности - помещению с повышенной опасностью, которая характеризуется наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой. Токарный станок работает в сети с напряжением 380 В.

В лаборатории применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте. Станки и оборудование оснащены заземлителями. Средствами индивидуальной защиты от поражения электрическим током являются инструменты с ручками из изолирующего материала, специальные перчатки и обувь, а также дорожки и коврики.

3.2.2 Обоснование мероприятий по снижению воздействия опасных и вредных факторов на исследователя

Для создания и поддержания в лаборатории оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года должно использоваться водяное отопление, а в теплое время года применяться кондиционирование воздуха.

На рабочем месте должно применяться также искусственное освещение помимо естественного, которое осуществляется системой общего равномерного освещения, а при работе с документами следует применять комбинированное

освещение. Кроме того, рабочий стол следует размещать таким образом, чтобы естественный свет падал слева.

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 эквивалентный уровень звука не должен превышать 65 дБА.

В качестве мер по снижению шума можно предложить следующее:

- Облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом. Снижает шум на 6-8 дб;
- Рациональная планировка помещения.
- Экранирование рабочего места, путем постановки перегородок, диафрагм;

Дисплеи должны проходить испытания на соответствие требованиям безопасности, например, международным стандартам MRP 2, TCO 99.

3.3 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма ее решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Окружающий человека воздух непрерывно подвергается загрязнению. Воздух производственных помещений загрязняется выбросами технологического оборудования или при проведении технологических процессов. Удаляемый из помещений вентиляционный воздух может стать причиной загрязнения воздуха промышленных площадок и населенных мест. Средства защиты атмосферы должны ограничивать наличие вредных веществ в воздухе среды обитания человека не выше ПДК. В тех случаях, когда реальные выбросы выше этого уровня, необходимо использовать аппараты для очистки газов от примесей.

Данная магистерская работа не представляет опасности для экологической обстановки, поскольку отсутствует использование токсичных материалов. Все операции являются сугубо механическими, без выделения вредных газов и веществ.

3.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

Лаборатория находится в городе Томск с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т.д.) в данном городе отсутствуют. Возможными ЧС могут быть: природного характера – сильные морозы, техногенного характера – шпионаж, диверсия. Критически низкие температуры могут привести к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае заморозки труб в лаборатории предусмотрены запасные электрообогреватели. Электропитание для обогревателей обеспечивает генератор. Данное оборудование хранится на складе и их техническое состояние постоянно проверяется.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. В большинстве случаев такие угрозы оказываются ложными, однако, работы в данном случае все равно не прекращаются. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключить распространение информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица обязаны раз в полгода проводить тренировки по отработке действий на случай ЧС.

3.4.1 Анализ пожарной безопасности

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

Помещение, в котором осуществляется процесс изготовления изделия, по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории ВЗ. Тем не менее, никогда не стоит забывать об опасности возникновения пожара. Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

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

В помещении необходимо иметь 2 огнетушителя марки ОП-5, исходя из размеров помещения, а также силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить помещение. Огнетушители должны всегда содержаться в исправном состоянии, периодически осматриваться, проверяться и своевременно перезаряжаться. Желательно помещать на стенах инструкции по пожарной безопасности и план эвакуации в случае пожара. В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации.

ПЛАН ЭВАКУАЦИИ



Рисунок 33 – План эвакуации

Заключение 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. Были подняты вопросы экологической безопасности и безопасности в ЧС. Полученные результаты могут быть применены на производстве.

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

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ91	Бай Хайтао

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

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала

Оценка конкурентоспособности ИП Матрица SWOT Диаграмма Ганта Бюджет НИ Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.02.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		22.02.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Бай Хайтао		22.02.2021

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется в большей степени коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске спонсоров для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Сейчас машиностроение – одна из движущих отраслей промышленности. От уровня развития этой отрасли зависит прогресс в целом. Технический прогресс в отрасли машиностроения характеризуется не только улучшением конструкций машин, но и циклическим улучшением технологии их производства. Очень важно качественно, дешево и в заданные плановые сроки с минимальными затратами живого и овеществленного труда изготовить машину, применив высокопроизводительное оборудование, технологическую оснастку, средства механизации и автоматизации производственного процесса. От выбранной технологии производства во многом зависит качество работы выпускаемых машин, а также более низкие экономические затраты на их эксплуатацию.

Оправданное применение прогрессивного оборудования и инструмента способно привести к значительному снижению себестоимости продукции и трудоёмкости её производства. К таким же результатам может привести и использование совершенных методов обработки деталей.

Улучшение технических параметров относительно предыдущих разработок, безусловно, важно, но коммерческая привлекательность научного исследования зависит от востребованности продукта рынком, его цены, бюджета, времени выхода на рынок.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие методы тепловых анализов о установлении динамику нагрева модели привода РМ электробур:

1) установление динамику нагрева модели привода РМ электробур с использованием автоматизированной САЕ системы;

2) проведение эксперименты и установление динамику нагрева модели привода РМ электробур .

Таблица 16 – Сравнение конкурентных технических решений (тепловые анализы).

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,4
2. Энергоэкономичность	0,13	5	5	2	0,65	0,65	0,26
3. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,08	4	4	3	0,32	0,32	0,32
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,21
5. Надёжность	0,12	5	3	5	0,60	0,36	0,60

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
6. Эффективность работы	0,11	5	3	5	0,55	0,44	0,33
7. Безопасность	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена на расходы	0,12	5	5	3	0,6	0,48	0,36
2. Конкурентоспособность исследовательской работы	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
3. Финансирование научного исследования	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
Итого	1	47	39	38	4,75	3,92	3,56

Расчет конкурентоспособности, на примере актуальность исследования второго конкурента, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \times B_i \quad (26)$$

Где:

K – конкурентоспособность проекта;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл показателя;

Проведенный анализ конкурентных методов тепловых анализов показал, что исследование с использованием автоматизированной САЕ системы по является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

4.1.2 SWOT-анализ

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

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации

проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 17:

Таблица 17 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Заявленная экономичность	Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца.
С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями.	Сл2. Долгое время подготовки к моделированию при проведении научного исследования.
С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.	Сл3. Высокие требования к постановке внутренних настройки в программу ANSYS.
С4. Более перспективный способ изучения в данной сфере.	Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.
С5. Квалифицированный персонал.	Сл5. Высокие требования к основам тепловых анализов.
Возможности	Угрозы
В1. Появление дополнительного спроса на полученные результаты исследования в учебной сфере.	У1. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях.
В2. Появление потенциального спроса на высокие производительности и удобства в дальнейшие рынках ручной машины.	У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.
В3. Внедрение технологии в области роботов.	У3. Текущие компьютерные программы ANSYS возможно не допущены к применению в дальнейшей обстановке.
В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надёжность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 18–4,6:

Таблица 18 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны».

Сильные стороны проекта						
Возможности		C1	C2	C3	C4	C5

проекта	B1	-	-	+	-	-
	B2	+	-	-	+	-
	B3	+	-	-	+	-
	B4	-	-	-	-	-

Таблица 19 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны».

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

Таблица 20 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны».

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	-	-	+	-
	У2	-	+	-	-	-
	У3	-	-	-	-	+

Таблица 21 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны».

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	-	-
	У2	-	-	-	+	-
	У3	+	-	-	-	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 22.

Таблица 22 – Итоговая таблица SWOT-анализа.

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Заявленная экономичность С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями. С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта. С4. Более перспективный способ изучения в данной сфере. С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца. Сл2. Долгое время подготовки к моделированию при проведении научного исследования. Сл3. Высокие требования к постановке внутренних настройки в программу ANSYS. Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности. Сл5. Высокие требования к основам тепловых анализов.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на полученные результаты исследования в учебной сфере. В2. Появление потенциального спроса на высокие производности и удобства в дальнейшие рынках ручной машины. В3. Внедрение технологии в области роботов. В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Направления развития</p> <p>В1С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта, что соответствует дополнительному спросу на полученные результаты исследования в учебной сфере. В2В3С1С4. Заявленная экономичность и перспективный способ изучения соответствуют потенциальному спросу в дальнейшие рынках ручной машины и внедрению технологии в области роботов. В5С3С4. Более свежая информация и перспективный способ изучения в данной сфере соответствуют привлечение других информационных технологий для решения вопросов ручной машины.</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>В3Сл2Сл3Сл5. Внедрение технологии в области роботов требует долгого времени к подготовке моделирования и высококвалифицированных знаний о программе ANSYS и основам тепловых анализов.</p>

<p>Угрозы</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях.</p> <p>У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.</p> <p>У3. Текущие компьютерные программы ANSYS возможно не допущены к применению в дальнейшей обстановке.</p>	<p>Угрозы развития</p> <p>У1С4. Несмотря на отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях, наши исследования обладают высокой перспективностью в данной сфере.</p> <p>У2У4С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями и более свежие результаты по сравнению с зарубежными аналогами.</p> <p>У5С5. Квалифицированный персонал даёт возможность преодолеть проблемы с возможным отсутствием правила использования программы ANSYS.</p>	<p>Уязвимости:</p> <p>У2Сл4. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок угрожает полученным результатам исследования за счёт их погрешности и неопределенности в некоторых случаях.</p> <p>У3Сл2Сл3Сл5. Развитая конкуренция технологий производства возможно угрожает результаты исследования из-за долгого подготовительного времени постановки программы, высоких требований к постановке внутренних настройки в программу ANSYS и высоких требований к основам процесса дорнования.</p> <p>У5Сл1. Текущие компьютерные программы ANSYS возможно не допущены к применению в дальнейшей обстановке, что приводят к отсутствию необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца</p>

В результате SWOT-анализа показано, что высокие точности полученных результатов при правильной установке программы ANSYS данной работы и её перспективы преобладают над её недостатками, которые невозможно все устранены на практике и в теории. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

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

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

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 23.

Таблица 23 – Перечень работ

№	Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	НР – 100%
2	Постановка задачи	Руководитель	НР – 100%
3	Определение последовательности и сроков выполнения задачи	Руководитель, инженер	НР – 100% И – 20%
4	Изучение публикаций по теме	Руководитель, инженер	НР – 30% И – 100%
5	Изучение основные принципы теплопередачи	Руководитель, инженер	НР – 10% И – 100%
6	Изучение конструкция РМ электробура	Руководитель, инженер	НР – 30% И – 100%
7	Анализ распределения температуры с использованием ANSYS и Solidworks	Руководитель, инженер	И – 100%
8	Анализ распределения температуры посредством инженерного расчета	Руководитель, инженер	НР – 100% И – 100%

№	Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
9	Производство эксперимент, сбор экспериментальных данных	Руководитель, инженер	НР – 100% СИ – 60%
10	Анализ экспериментальных данных	Руководитель, инженер	НР – 60% И – 100%
11	Разработка вывода	Руководитель, инженер	НР – 60% И – 100%
12	Оформление расчётно-пояснительной записки	инженер	И – 100%
13	Подведение итогов	Руководитель, инженер	НР – 60% И – 100%

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

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

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

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (27)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

Для примера рассчитаем этап работы №3 – определение последовательности и сроков выполнения задачи. Минимальное время выполнения t_{min} равняется трём, максимальное t_{max} пяти дням (Таблица 24).

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ дн}$$

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет

продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (28)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, принимаем $K_{ВН} = 1$;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{Д} = 1 \div 1,2$; принимаем $K_{Д} = 1,2$).

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д} = \frac{1,4}{1} \cdot 1,2 = 1,68 \text{ дн.};$$

Так как загрузка научного руководителя составляет 100%, в таблицу заносится значение $T_{РД} = 1,68$. Загрузка студента равна 20%, то есть

$$T_{РД} = 1,68 \cdot 0,2 = 0,34$$

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (29)$$

где $T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и для шестидневной рабочей недели рассчитываемый по формуле

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (30)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_{К} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

Продолжительность этапа в календарных днях для научного руководителя и студента соответственно:

$$T_{\text{кд}} = T_{\text{рд}} \cdot T_{\text{к}} = 1,68 \cdot 1,205 = 2,02\text{дн};$$

$$T_{\text{кд}} = T_{\text{рд}} \cdot T_{\text{к}} = 0,34 \cdot 1,205 = 0,4\text{дн}.$$

Данные о продолжительности остальных этапов приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания	Р	3	5	3,8	4,56	–	5,49	–
2. Постановка задачи	Р	2	4	2,8	3,36	–	4,05	–
3. Определение последовательности и сроков выполнения задачи	Р, И	1	2	1,4	1,68	0,34	2,02	0,4
4. Изучение публикаций по теме	Р, И	12	20	15,2	5,47	18,24	6,59	21,98
5. Изучение основные принципы теплопередачи	Р, И	14	22	17,2	20,64	20,64	24,87	24,87
6. Изучение конструкция РМ электробура	Р, И	7	14	9,8	3,53	11,76	4,25	14,17
7. Анализ распределения температуры с использованием ANSYS и Solidworks	Р, И	10	16	12,4	1,49	14,88	1,79	17,93
8. Анализ распределения температуры посредством инженерного расчета	Р, И	3	5	3,8	4,56	4,56	5,49	5,49
9. Производство эксперимент, сбор экспериментальных данных	Р, И	5	7	5,8	6,96	6,96	8,39	8,39
10. Анализ экспериментальных данных	Р, И	10	14	11,6	8,35	13,92	10,06	16,77
11. Разработка вывода	Р, И	7	13	9,4	6,77	11,28	8,16	13,59
12. Оформление расчётно-пояснительной записки	И	10	18	13,2	–	15,84	–	19,09
13. Подведение итогов	Р, И	5	9	6,6	4,75	7,92	5,73	9,54
Итого:				113	68	122	87	153

Таблица 25 – Линейный график работ

этап	Р/дн.	С/дн.	января			февраля			март			апрель			май			июнь
			10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10
1	5,49	-	■															
2	4,05	-		■														
3	2,02	0,4			■													
4	6,59	21,98			■	■	■											
5	24,87	24,87				■	■	■	■									
6	4,25	14,17						■	■									
7	1,79	17,93							■	■								
8	5,49	5,49									■	■						
9	8,39	8,39										■	■					
10	10,06	16,77											■	■				
11	8,16	13,59												■	■			
12	-	19,09														■	■	
13	5,73	9,54																■

4.3 Бюджет научно-технического исследования

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

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

4.3.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость термометра, патронных нагревателей, РМ электробура и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Расчёт затрат на материалы представлен в таблице 26.

Таблица 26 – Расчёт затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Патронный нагреватели	655	3	1565
РМ электробур	9550	1	9550
термометр	200	1	300
Итого:			11415

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны:

$$C_{\text{мат}} = 11415 \cdot 1,05 = 11985,75 \text{ руб}$$

4.3.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и исполнителя (в его роли выступает студент), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = MO/25,083, \quad (31)$$

учитывающей, что в году 301 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 25,083 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Расчет затрат на полную заработную плату приведены в таблице 27. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 24. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы)

необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_i = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$. Вышеуказанное значение Кдоп.ЗП применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_i = 1,62$.

Таблица 27 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33 664	1342,1	68	1,699	155 055,5
И	15 470	616,75	122	1,62	121 894,47
Итого:					276 949,97

4.3.3 Расчет затрат на социальные отчисления во внебюджетные фонды

Затраты на социальные отчисления во внебюджетные фонды включают в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование и составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е. $S_{соц.} = S_{зп} * 0,3$. Итак, в нашем случае:

$$S_{соц.} = 276\,949,97 * 0,3 = 83\,084,99 \text{ руб.}$$

4.3.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{эл.об.} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot Ц_{э}, \quad (32)$$

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

$Ц_{э}$ – тариф на 1 кВт·час;

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

Для ТПУ ЦЭ = 5,748 руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 5 для инженера ($T_{рд}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов:

$$t_{об} = T_{рд} * K_t, \quad (33)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{рд}$, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{об}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном.} * K_C, \quad (34)$$

где $P_{ном.}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 28.

Таблица 28 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $\mathcal{E}_{об}$, руб.
Персональный компьютер	703,12*0,6	0,3	727,48
Патронные нагреватели	16	0,4	36,79
РМ электробур	30	1,5	258,66
Итого:			1022,93

4.3.5 Расчет амортизационных расходов

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования. Так как необходимое оборудование имеется на кафедре, его стоимость учитывается в виде амортизационных отчислений.

Используется формула:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot C_{OB} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_D}, \quad (35)$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

C_{OB} – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР.

При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку C_{AM} .

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

Сроки амортизации (C_A) персонального компьютера варьируются от 2 до 3 лет.

Возьмем конкретное значение $C_A=2.5$ года, тогда $H_A = \frac{1}{C_A} = 0,4$.

$$F_D = 298 \cdot 8 = 2384 \text{ч.}$$

Балансовая стоимость единицы оборудования с учётом ТЗР:

$$C_{OB} = 42000 \text{руб.}$$

Фактическое время работы оборудования:

$$t_{рф} = 703,12 \text{ч.}$$

Тогда для ПК амортизация равна:

$$C_{AM} = \frac{0,4 \cdot 42000 \cdot 703,12 \cdot 1}{2384} = 4954,87 \text{ руб}$$

Сроки амортизации (C_A) патронные нагреватели варьируются от 2 до 3 лет. Возьмем конкретное значение $C_A=2$ лет, тогда $H_A = \frac{1}{C_A} = 0,5$.

Действительный годовой фонд времени работы берётся:

$$F_D = 2384 \text{ ч.}$$

Патронные нагреватели - цена 455 руб.. Балансовая стоимость единицы оборудования с учётом ТЗР:

$$C_{OB} = 455 \text{ руб}$$

Фактическое время работы оборудования:

$$t_{рф} = 16 \text{ ч}$$

Тогда для станка с ЧПУ амортизация равна:

$$C_{AM} = \frac{0,5 \cdot 455 \cdot 16 \cdot 3}{2384} = 4,58 \text{ руб}$$

Сроки амортизации (C_A) РМ электробур варьируются от 4 до 5 лет.

Возьмем конкретное значение $C_A=4$ лет, тогда $H_A = \frac{1}{C_A} = 0,25$.

Действительный годовой фонд времени работы берётся:

$$F_D = 2384 \text{ ч}$$

Балансовая стоимость единицы оборудования с учётом ТЗР:

$$C_{OB} = 9450 \text{ руб}$$

Фактическое время работы оборудования:

$$t_{рф} = 20 \text{ ч}$$

Тогда для КИМ амортизация равна:

$$C_{AM} = \frac{0,25 \cdot 9450 \cdot 20 \cdot 1}{2384} = 19,82 \text{ руб}$$

Итого:

$$C_{AM} = 4954,87 + 4,58 + 19,82 = 4979,27 \text{ руб}$$

4.3.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)

Сюда относятся:

- командировочные расходы, в т.ч. расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;
- оплата услуг связи;
- услуги сторонних организаций.

Норма оплаты суточных – 100 руб./день.

Данные расходы в работе не предусмотрены.

4.3.7 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1$$

Для нашего примера это

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1 = (11985,75 + 276\,949,97 + 83\,084,99 + 1022,93 + 4979,27 + 0) \cdot 0,1 = 37304,36 \text{руб.}$$

4.3.8 Расчет общей стоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта.

Таблица 29 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	11985,75
Заработная плата	$C_{\text{зп}}$	276 949,97

Отчисления во внебюджетные фонды	$C_{\text{соц}}$	83 084,99
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1022,93
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	4979,27
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	0
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	37304,36
Итого:		415327,27

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 415327,27$ руб.

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

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

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

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- 1) Моделирование динамики нагрева редуктора;
- 2) Влияние мощности нагрева патронного нагревателя на корпус редуктора.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается по формуле 36:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р}i}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (36)$$

Где:

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

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

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

По перечисленным вычислениям определяются общие затраты для всех вариантов:

$$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 415327,27 \text{ руб}, \quad \Phi_{\text{исп.1}} = 1506383,39 \text{ руб}$$

$$\Phi_{\text{исп.2}} = 536881,50 \text{ руб}, \quad \Phi_{max} = \Phi_{\text{исп.1}} = 1506383,39 \text{ руб}$$

По формуле 36 определяется интегральный финансовый показатель для текущего проекта:

$$I_{\text{финр}}^{\text{текущ.проект}} = \frac{\Phi_{\text{текущ.проект}}}{\Phi_{max}} = \frac{415327,27}{1506383,39} = 0,27$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{исп.1}}}{\Phi_{max}} = \frac{1506383,39}{1506383,39} = 1$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{max}} = \frac{536881,50}{1506383,39} = 0,36$$

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

Интегральные показатели ресурсоэффективности всех вариантов определяются путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 30).

Таблица 30 – Сравнительная оценка характеристик всех вариантов.

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

4. Механические свойства	0,2	5	4	3
5. Материалоёмкость	0,15	5	5	4
ИТОГО	1	4,8	4,4	4

По данным из таблицы 30 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для текущего проекта:

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

По данным из таблицы 30 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для первого конкурентного проекта:

$$I_p^{\text{исп.1}} = 0,3 \times 5 + 0,15 \times 4 + 0,2 \times 4 + 0,2 \times 4 + 0,15 \times 5 = 4,45$$

По данным из таблицы 26 определяется интегральный показатели ресурсоэффективности для второго конкурентного проекта:

$$I_p^{\text{исп.2}} = 0,3 \times 4 + 0,15 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,2 \times 3 + 0,15 \times 4 = 3,95$$

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

Интегральные показатели эффективности всех вариантов вычисляются на основании показателей ресурсоэффективности и интегральных финансовых показателей по формуле 37:

$$I_{\text{эф.}i} = \frac{I_p^{\text{исп.}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}}, \quad (37)$$

Где:

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

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

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

По формуле 37 определяется интегральный показатель эффективности для текущего проекта:

$$I_{эф.текущ.проект} = \frac{I_p^{текущ.проект}}{I_{финр}^{текущ.проект}} = \frac{4,85}{0,043} = 112,79$$

По формуле 37 определяется интегральный показатель эффективности для первого конкурентного проекта:

$$I_{эф.исп.1} = \frac{I_p^{исп.1}}{I_{финр}^{исп.1}} = \frac{4,45}{1} = 4,45$$

По формуле 37 определяется интегральный показатель эффективности для второго конкурентного проекта:

$$I_{эф.исп.2} = \frac{I_p^{исп.2}}{I_{финр}^{исп.2}} = \frac{3,95}{0,047} = 84,04$$

Далее среднее значение интегрального показателя эффективности каждого варианта НИР сравнивалось с средним значением интегрального показателя эффективности текущего проекта с целью определения сравнительной эффективности проектов (таблица 31).

Таблица 31 – Сравнительные эффективности разработок.

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,27	1	0,27
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,85	4,45	3,95
3	Интегральный показатель эффективности	112,79	4,45	84,04
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,84	0,748

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

Выводы по разделу

Вывод №1: результат анализа конкурентных технических решений заключается в том, что текущий проект является самым конкурентоспособным вариантом по сравнению с аналогами.

Вывод №2: в процессе планирования для руководителя и инженера построен график реализации данного этапа работ, который способствует оценке и планированию рабочих времени исполнителей. Общие количества дней для выполнения работ составляет 163 дней. Общие количества дней, в течение которых работал инженер, составляет 153 дней. Общие количества дней, в течение которых работал руководитель, составляет 87 дней.

Вывод №3: для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, значение которого составляет **415327,27** рублей. (требуемый затраты текущего проекта значительно меньше других конкурентных вариантов).

Вывод №4: Результаты оценки эффективности текущего проекта представляются ниже:

1) Значение интегрального финансового показателя текущего проекта составляет 0,27, которое показано, что текущий проект является более выгодным по сравнению с другими вариантами;

2) Значение интегрального показателя ресурсной эффективности текущего проекта составляет 4,85, по сравнению с 4,45 (первого конкурента) и 3,95 (второго конкурента);

3) Значение интегрального показателя эффективности текущего проекта составляет 112,79, по сравнению с 4,45 (первого конкурента) и 84,04 (второго конкурента), которое является наиболее высоким из всех вариантов. Это показано, что текущий проект является наиболее эффективным вариантом исполнения.

Приложение

(справочное)

Calculating the temperature of the heat balance

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ91	Бай Хайтао		

Консультант отделения материаловедения ИШНПТ:

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

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

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

2.1 Introduction

With an increase in the input rotation speed and load of the wave reducer, the problem of its heat release becomes more and more noticeable. If the heat generated by the wave reducer during operation cannot be efficiently dissipated, the temperature of the contact surfaces of its moving pairs will continue to rise, and the temperature of each part and body will increase. As the temperature rises, the viscosity of the lubricating oil will decrease, and the lubrication condition between the roller and the hard wheel and the separator will deteriorate. After all, the gear will stick to the surface of the roller and the hard wheel and the separator, or the gear will become jammed, which will cause the gear to malfunction. In severe cases, the gearbox may even be broken. Therefore, the study of the heating mechanism, the heat transfer process, and the temperature distribution of the wave reducer is of great importance for analyzing the failure mechanism of the wave reducer, improving its performance and effectively controlling its lubrication and cooling.

2.2 Analysis of heat source of reducer

The input power of the collector motor is 1.5 kW, and the efficiency of the electric motor is only 0.75. Thus, the electric motor output is 1.1 kW. Because of this, a lot of heat is generated inside the engine during the operation of the manual electric drill. In addition, when overload occurs during operation of the electric drill, the commutator motor will generate more heat due to increased power. Elevated temperature affects the wires of the stator and rotor windings. Their heat resistance can vary from 120 to 180 degrees Celsius. If this temperature is exceeded, smoke will go out and melting of the insulation is possible, as well as short circuit and fire.

During the operation of manual electric drill machines, the phenomenon of deep friction occurs between the generator and bearings from high-speed rotation of the generator. Therefore, the loss of energy resulting from the phenomenon of deep friction is dissipated in the form of heat. The increased operating temperature of the gearbox part has a bad effect on the lubricating properties of the lubricant, the gearbox's operational life and the efficiency of the electric drill.

The power of the internal heat source in the collector motor is calculated as follows:

$$Q_{mot} = P_{mot} \cdot (1 - \eta_{mot})$$

The power of the internal heat source in the drive part is calculated as follows:

$$Q_1 = Q_h = P_{mot} \cdot \eta_{mot} \cdot (1 - \eta_{red})$$

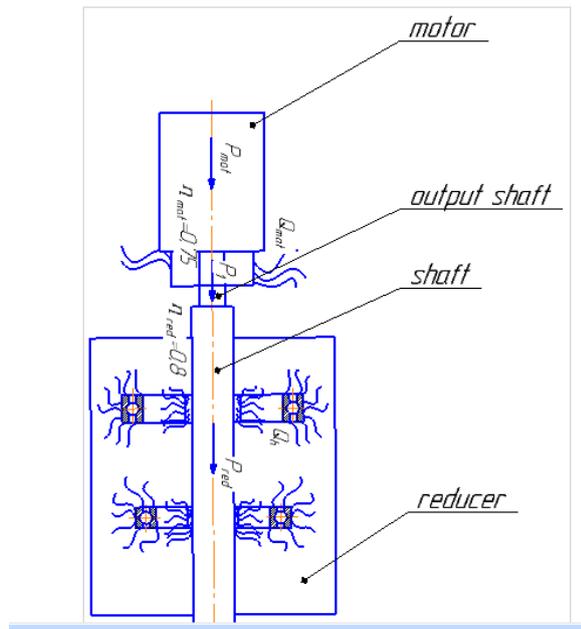


Fig. 4 - diagram of heat generation inside the manual electric drill

Part of the drive is considered as a vertically arranged cylinder of small diameter with a heat source. And it is in the air. So the thermal energy that is generated is dissipated in the form of heat convection.

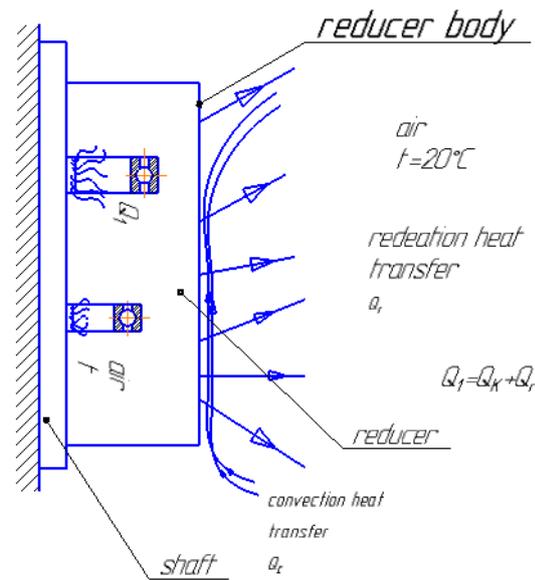


Fig. 5 - diagram of the cooling of the transmission part

The formation and release of heat in the manual electric drill leads to a change in temperature. The temperature change is mainly divided into three phases: the increase phase, the constant phase and the temperature decrease phase. According to the calculation method, the temperature change can be divided into two parts: unsteady-state conduction and steady-state conduction.

A-B, C-D: When the manual electric drill starts to work, the temperature of its internal air varies non-linearly with time. After the electric drill stopped working, the temperature began to slowly drop to ambient temperature.

B-C: After working for a period of time, the temperature of the air inside the electric drill does not change with time.

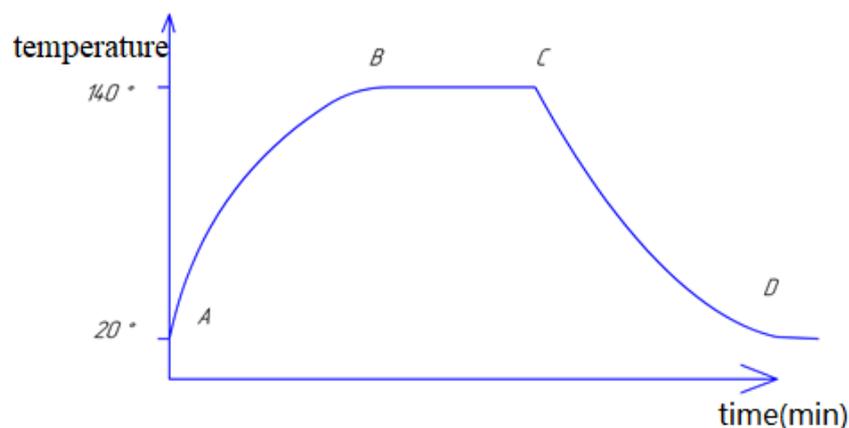


Fig. 6 - Temperature change curve inside the gearbox

2.3 Example of calculating the temperature of the heat balance

(A) Tasks of work:

- (1) Obtain heat transfer coefficient during free and forced convection.
- (2) Get the average temperature in the electric drill.

(B) question:

It is known that the body material is made of duralumin 10, the ambient temperature is 20 degrees Celsius. The rated power of the collector motor is 1.1 kW. CRC gear 0.8. Inside the manual electric drill there is a fan with a speed of 55 m/s.

Determine the coefficient of heat exchange and heat loss of the gearbox housing in stationary mode, if the ambient temperature $t_{\infty}=20^{\circ}\text{C}$, and the wall temperature of the gearbox $t_w=146^{\circ}\text{C}$.

(C) Analysis of the calculation process

Firstly, this problem relates to the steady-state conduction problem. Thus, there are conditional relations of the heat balance.

$$Q_1 = Q_2. \quad (1)$$

Almost all the useless work that the gearbox does is released in the form of heat.

$$Q_1 = 10^3 \cdot P_1 \cdot (1 - \eta). \quad (2)$$

Secondly, in this problem there is only convection heat transfer and radiation heat transfer. Therefore, the heat flux is determined using the expression

$$Q_2 = K_T \cdot A \cdot (t_m - t_a). \quad (3)$$

From equation (1) we find t_w :

$$t_m = t_a + \frac{10^3 \cdot P \cdot (1 - \eta)}{K_T \cdot A}, \quad (4)$$

where t_w is the wall temperature of the gearbox; t_a — air temperature.

From equation (4) we find the temperature of the heat balance of the gearbox. (At the first stage we will find it, and then we will solve all other tasks) All data is known, except for CT. Moreover, K_T varies with temperature. Here is the heat transfer coefficient K_T , it is α_{total} . The heat transfer coefficient is estimated by empirical equations obtained by processing the experimental results by the

dimensional analysis method. The coefficient α_{total} is usually expressed through the ratio between one dependent dimensionless complex – the Nusselt number Nu – and three other independent dimensionless complexes – Reynolds number Re , Grashof number Gr and Prandtl number Pr , depending on the type of convection (natural or forced). The reasoning process is as follows:

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n, \quad [1.p.55] \quad (5)$$

$$\frac{\alpha_c \cdot X}{\lambda} = C \cdot \left(\frac{\beta g \Delta t X^3 \cdot \rho^2}{\mu^2} \cdot \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} \right)^n,$$

$$\alpha_c = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_h},$$

$$\alpha_r = \varepsilon_c \cdot C_0 \cdot \frac{\left[\left(\frac{T_w}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right]}{t_w - t_a},$$

$$\alpha_{total} = \alpha_c + \alpha_r.$$

(C) The process of solving this problem

- Calculation of gear housing area
- Calculation of hydraulic diameter
- Calculation of dimensionless quantities
 - Calculation of the Prandtl number Pr
 - Calculation of Grashof number Gr
 - Calculation of the Nusselt number of natural convection Nu
 - (1) Calculation of the Nusselt number of forced convection Nu
- Get the final result

2.3.1. Calculation of area and characteristic size:

The outer area of the reducer body is considered:

$$\begin{aligned} A_B &= A1 + A2 + A3 + A4 = 9933.64 + 25041.64 + 7539.82 + 13194.69 \\ &= 55709.79 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Take } A_B = 0.055 \text{ m}^2$$

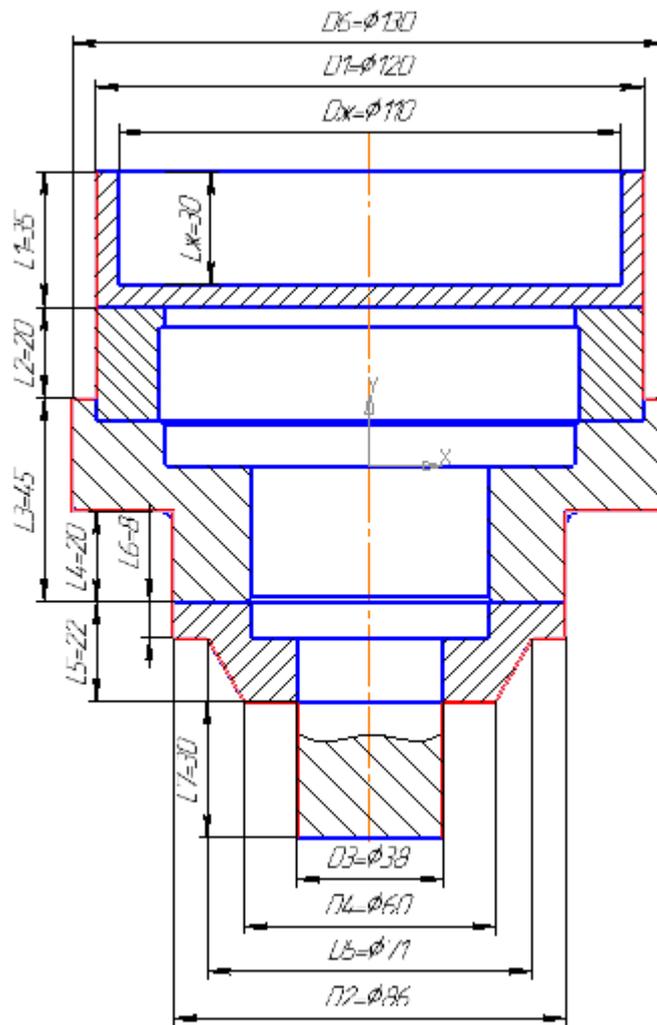


Fig. 7 - External surface of reducer body

The internal surface area blown by the fan is considered:

$$A_{blow} = \pi \cdot \left(\frac{D_{\text{Ж}}}{2}\right)^2 + \pi \cdot D_{\text{Ж}} \cdot L_{\text{Ж}} = 0.02 \text{ m}^2$$

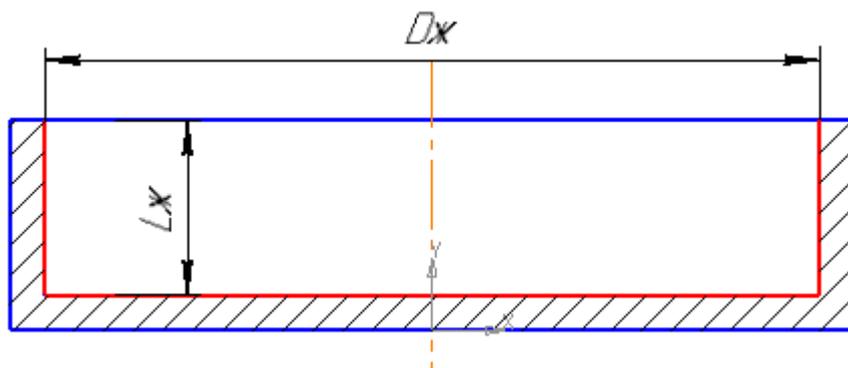


Fig. 8 - inner surface blown by fan A_{blow}

(1) External area of the first part A1

$$A1 = \pi \cdot D1 \cdot (L1 + L2) = 0.021 \text{ m}^2$$

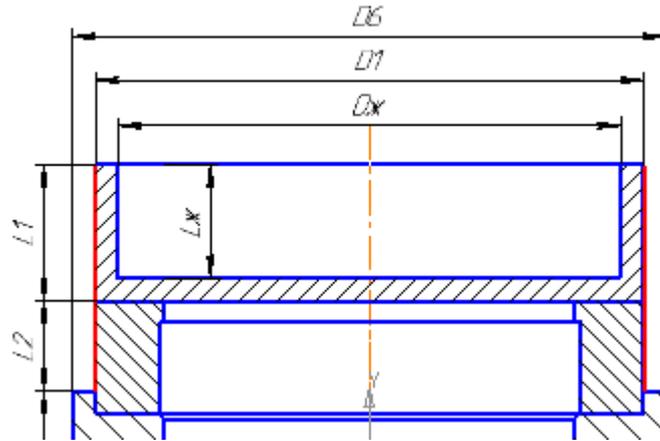


Fig. 9 - External surface of the first part A1

(2) External area of the second part A2

$$A2 = \pi \cdot D6 \cdot (L3 - L4) + \pi \cdot \left[\left(\frac{D6}{2} \right)^2 - \left(\frac{D1}{2} \right)^2 \right] + \pi \cdot \left[\left(\frac{D6}{2} \right)^2 - \left(\frac{D2}{2} \right)^2 \right] + \pi \cdot D2 \cdot L4 = 0.025 \text{ m}^2$$

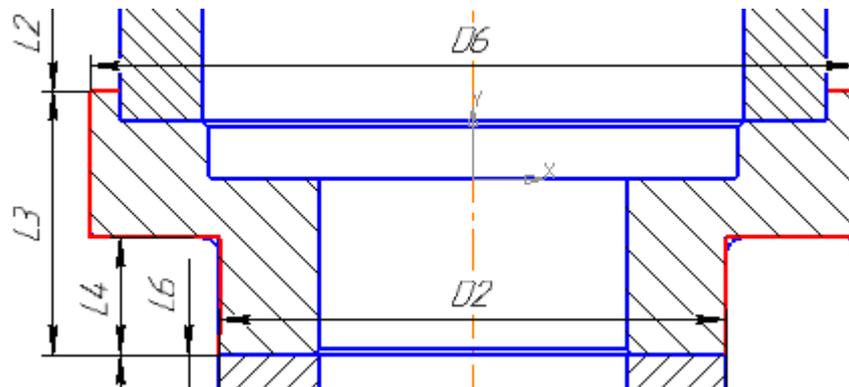


Fig. 10 - External surface of the second part A2

(3) External area of the third part of A3

$$\begin{aligned}
A_3 &= \pi \cdot D_2 \cdot L_6 + \pi \cdot \left[\left(\frac{D_2}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_5}{2} \right)^2 \right] + \pi \cdot \left(\frac{D_5}{2} - \frac{D_4}{2} \right) \\
&\quad \cdot \sqrt{(L_5 - L_6)^2 + \left(\frac{D_5 - D_4}{2} \right)^2} + \pi \cdot \left[\left(\frac{D_4}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_3}{2} \right)^2 \right] + \pi \cdot D_3 \cdot L_7 \\
&= 9.546 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2
\end{aligned}$$

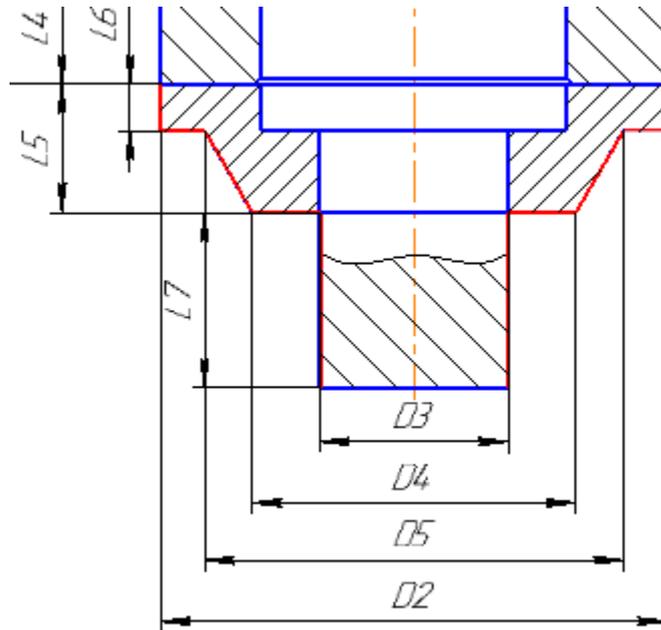


Fig. 11 - External surface of the first part A3

(4) External area of reducer body A_B

$$A_{ct} = A_1 + A_2 + A_3 = 0.021 + 0.025 + 9.546 \cdot 10^{-3} = 0.055 \text{ m}^2$$

For ease of calculation, the complex outline of the reducer body can be simplified like a simple cylinder (Fig. 13). Here we assume that the diameter of a simple cylinder is 0.11 m, then we can consider the height of the cylinder:

$$\pi \cdot 0.11 \cdot L + \pi \cdot \left(\frac{0.11}{2} \right)^2 = 0.055$$

$$L = 0.14 \text{ m}$$

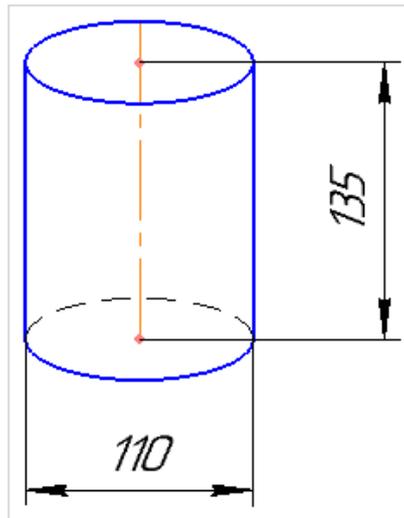


Fig. 13 Simplified model of reducer body

2.3.2. Calculation of hydraulic diameter

$$d_h = 4F/P, [1.p.53]$$

where F is the cross-sectional area; d_h is the hydraulic diameter; P is the wetted perimeter.

$$F = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 ;$$

Then the wetted perimeter is the circumference of the cylindrical body:

$$\Pi = \pi D;$$

$$d_h = D = 0.110 \text{ m}$$

2.3.3. The calculation of dimensionless quantities

Designations:

μ – dynamic viscosity, $\text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$;

c_p – specific heat at constant pressure, $\text{J} / (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$;

λ – thermal conductivity coefficient, $\text{W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$;

β – temperature coefficient of volume expansion, K^{-1} ;

ρ – air density, kg / m^3 ;

X – characteristic cylinder size, m ;

K – correction function;

A - heat transfer coefficient, W / (m² * °C);

ε - degree of blackness;

C₀ - Stefan-Boltzmann constant.

(1) Calculating the Prandtl Number

Prandtl Number:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda}, [1.p.52]$$

$$\mu = 2.391 \cdot 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2 \text{ (at } 150 \text{ °C);}$$

$$c_p = 1015 \text{ W/(kg} \cdot \text{°C)} \text{ (at } 150 \text{ °C);}$$

$$\lambda = 0.0356 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)} \text{ (at } 150 \text{ °C);}$$

$$Pr = \frac{2.391 \cdot 10^{-5} \cdot 1015}{0.0356} = 0,682$$

Prandtl number for air - tabular value 0.683 at 150 °C.

(2) Calculation of Grashof Number

Grashof Number:

$$Gr = g\beta\rho^2 \cdot \Delta t X^3 / \mu^2 [1.p.52]$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2;$$

$$\beta = 1/(t_w + 273\text{°C}) = 1/(20+273) = 0.003413;$$

$$\rho = 1.005 \text{ (at } 83\text{°C);}$$

$$\Delta t = t_w - t_a;$$

$$X=L=0.135 \text{ m; } \mu = 2.114 \cdot 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2 \text{ (at } 83\text{°C);}$$

$$Gr = 9.81 \cdot 0.003413 \cdot 1.005^2 \cdot (146 - 20) \cdot 0.14^3 / (2.114^2 \cdot 10^{-10}) \\ = 2.615 \cdot 10^7$$

(3) Calculation of the heat transfer coefficient by radiation α_r

Heat transfer coefficient by radiation:

$$\alpha_r = \frac{\varepsilon_c \cdot C_0 \cdot \left[\left(\frac{T_w}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right]}{t_w - t_a}$$

$$\alpha_r = \frac{0.2 \cdot 5.67 \cdot \left[\left(\frac{419}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right]}{146 - 20} = 2.11 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$$

For duralumin 10, we take $\varepsilon_c = 0.2 \dots 0.3$.

(3) Calculation of the Nusselt number of natural convection

Natural convection:

$$Nu = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n \text{ [1.p.55]}$$

For a vertically arranged cylinder of small diameter, with a laminar flow:

$$C = 0.686; \quad n = \frac{1}{4}; \quad K = \left[\frac{Pr}{(1 + 1.05 \cdot Pr)} \right]^{\frac{1}{4}} \text{ [1. p. 57];}$$

$$K = \left[\frac{0.683}{1 + 1.05 \cdot 0.683} \right]^{\frac{1}{4}} = 0.794$$

$$Nu = 0.794 \cdot (16406480 \cdot 0.683)^{\frac{1}{4}} = 35.417$$

$$Nu_{total} = Nu + \frac{0,52L}{D} = 35.417 + 0.52 \cdot \frac{0,135}{0,110} = 36.079 \quad \text{-- for natural convection}$$

[1.p.57].

(4) Calculation of the Nusselt number of forced convection

The Nusselt criterion for developed turbulent motion is determined by the criterion equation of M. A. Mikheev.

$$Nu_{cp,d} = 0.018 \cdot Re_{cp,d}^{0,8}$$

$$Re_x = \rho v D / \mu; \quad Re_x = 1 \cdot 35 \cdot 0.11 / 2.11 \cdot 10^{-5} = 182500$$

$$\rho = 1 \text{ (at } 80 \text{ }^\circ\text{C)}; \quad \mu = 2.11 \cdot 10^{-5}$$

$$Nu = 0.018 \cdot 182500^{0,8} = 291 \quad \text{-- for forced convection at } v = 35 \text{ m/s.}$$

$$Re_x = \rho v D / \mu; \quad Re_x = 1 \cdot 55 \cdot 0.1 / 2.11 \cdot 10^{-5} = 286700$$

$$Nu = 0.018 \cdot 286700^{0,8} = 418 \quad \text{-- for forced convection at } v = 55 \text{ m/s.}$$

v - velocity of free flow, m/s

$$v = \omega r; \quad \omega = \frac{\pi n}{30}; \quad \omega = 3.14 \cdot \frac{15000}{30} = 1570 \frac{1}{c}; \quad v = 1570 \cdot 0.035 = 55 \text{ m/s}$$

2.3.4. Final result

$$\alpha_{n,c} = \frac{Nu \cdot \lambda}{X}$$

where is the Nu - dimensionless Nusselt similarity criterion;

λ – coefficient of thermal conductivity of a given coolant (we take for air); X – characteristic size, m.

$$\alpha_{n,c} = \frac{Nu \cdot \lambda}{L} = \frac{36,079 \cdot 0,0361}{0,14} = 9.174 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$\alpha_{f,c} = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_3} = \frac{341 \cdot 0,0361}{0,09} = 115.92 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$\alpha_{total} = 9.174 + 2,11 = 11.285 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

$$t_w = 20 + \frac{10^3 \cdot 1,1 \cdot (1 - 0,67)}{11.285 \cdot 0.055 + 115.92 \cdot 0.02} = 144 \text{ °C}$$

Excluding installation of the drive on a metal frame and taking into account errors and assumptions, the calculation result is acceptable.

Conclusion

Using the method of empirical formulas to calculate the temperature of the gearbox wall is simple and clear, and an effective solution can be obtained. The resulting heat balance temperature is 144 degrees Celsius, which is the average temperature of the gearbox. This temperature is used as a reference value for the selection of the lubricating oil. The choice of the lubricating oil temperature above 160 degrees Celsius is reasonable. The external surface area and heat transfer coefficient of the gearbox have a great influence on the temperature of the walls of the gearbox.

The coefficient of natural convection, the coefficient of forced convection and the coefficient of heat transfer of radiation are obtained. The Reynolds number has a large influence on the heat transfer coefficient. These coefficients can be used as boundary conditions for modeling heat transfer.

References

1. Holman, J. P. (Jack Philip) Heat transfer / Jack P. Holman.—10th ed. p. cm.— (Mcgraw-Hill series in mechanical engineering) Includes index. ISBN 978-0-07-352936-3—ISBN 0-07-352936-2
2. Korotkov, V. S. Electric Drill Drive with Intermediate Rolling Members Reducer / V. S. Korotkov, S. V. Razumov // Applied Mechanics and Materials Scientific Journal: 2015. Vol. 756: Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS2014). Pp. 24-28.
3. Schneider, P. J. (1955) Conduction Heat Transfer, Addison-Wesley Publ. Co., Cambridge.
4. Kerth F, Black W Z. Basic heat transfer. New York; Harper & Row Publishers, 1980. Pp. 300.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрианов Виктор Николаевич ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ. М., «Колос», 1971. 448 с. с илл. (Учебники и учеб. Пособия для высш. с.-х. учеб. заведений). УДК 631.371 : 621.313(075.8)
2. Иванов М. Н. Волновые зубчатые передачи: учеб. Пособие для студентов вузов. – М.: Высш. Школа, 1981. 184 с., ил. УДК 621.831
3. Панкратов Э.Н. Проектирование механических систем автоматизированных комплексов для механообрабатывающего производства.: Практикум лидера-проектировщика.-Томск: изд-во Том.ун-та. 1998.-295с.-300 экс.-2705020000.
4. УОНГ Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: Пер. с англ. / Справочник.-М.: Атомиздат, 1979.-216 с.
5. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977. 344 с. с илл. УДК 536.24 : 621.1.016.4в
6. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для О-75 технических вузов. 2-е изд., переработ. и доп. / А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше и др.; Под общ. Ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2001. -664 с., ил. ISBN 5-217-030553-4
7. 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.
8. Разумов, С. В.. Обоснование параметров ручной машины электробур с редуктором с промежуточными телами качения [Электронный ресурс] / С. В. Разумов; науч. рук. В. С. Коротков // Современные техника и технологии сборник трудов XIX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 15-19 апреля 2013 г.

9. Лустенков М. Е. Передачи с промежуточными телами качения: определение и минимизация потерь мощности : монография / М. Е. Лустенков. – Могилев : Беларус.-Рос.ун-т, 2010. -274 с. :ил. ISBN 978-985-492-037-5
10. Янгулов В.С. волновые и винтовые механизмы и передачи: учебное пособие / В.С. Янгулов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томский политехнический университет, 2011. -184 с. ISBN 978-5-98298-822-5
11. Коротков В. С. Создание ручной машины с волновой передачей и исследование ее работоспособности / В. С. Коротков // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. — 2005. — Т. 308, № 5. — [С. 126-130].
12. Бабков В.Ф., Безрук В.М. Основы грунтоведения и механики грунтов. -М.: Высш. шк., 1986.-239с.
13. Крайнов А.Ю. Основы теплопередачи. Теплопередача через слой вещества : учеб. пособие.– Томск : СТТ, 2016. – 48 с.
14. Ан И-Кан. Определение силовых характеристик в волновой передаче с промежуточными телами / Ан И-Кан, Д. В. Беляев // Высокие технологии в современной науке и технике : сборник научных трудов IV Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, г. Томск, 21-24 апреля 2015 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2015. — [С. 283-285].
15. Holman, J. P. (Jack Philip) Heat transfer / Jack P. Holman.—10th ed. p. cm.— (Mcgraw-Hill series in mechanical engineering) Includes index. ISBN 978-0-07-352936-3—ISBN 0-07-352936-2
16. Ефременков Е. А. Разработка проектирование передач с промежуточными телами качения нового вида. Ефременков Е. А. //Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томский политехнический университет, 2005. УДК 621.83(04)

17. «SIMACO Сибирская машиностроительная компания». URL: <http://www.smc.tomsk.ru/> (дата обращения: 18.04.2019).
18. Методические указания к выполнению раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» для всех специальностей/ сост. В.Ю. Конотопский; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 29 с
19. Корнилович, Олег Павлович. Техника безопасности при работе с инструментами и приспособлениями / О. П. Корнилович. — Москва: Энергоатомиздат, 1992. — 93 с.: ил. — Библиотека электромонтера; Вып. 633. — Библиогр.: с. 94.
20. Корнилович, Олег Павлович. Техника безопасности при электромонтажных и наладочных работах / О. П. Корнилович. — Москва: Энергоатомиздат, 1987. — 238 с.: ил. — Справочник электромонтажника. — Библиогр.: с. 237.
21. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология для инженера // под ред. проф. В.Ф. Панина. – М.: Изд. Дом «Ноосфера», 2000. – 284 с. <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/doc>

Нормативные ссылки

1. ОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
2. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
3. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)».
4. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
6. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
7. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
8. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
9. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
10. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности.
11. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
12. ГОСТ 30775-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
13. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
14. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».