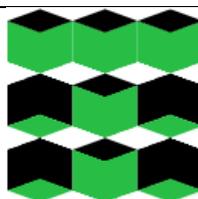


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Школа Инженерная школа энергетики
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
«Электропривод и автоматика»
Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электропривод и электрооборудование буровой установки

УДК 62-83:622.242.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5A97	Меньшиков Данил Михайлович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Ляпушкин Сергей Викторович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Черемискина Мария Сергеевна	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

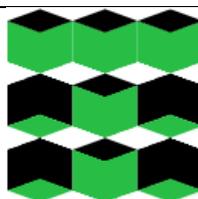
Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Тютева П.В.	к.т.н.		

Томск–2023 г.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП
по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»**

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения
ОПК(У)-3	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач
ОПК(У)-4	Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин
ОПК(У)-5	Способен использовать свойства конструкционных и электротехнических материалов в расчетах параметров и режимов объектов профессиональной деятельности
ОПК(У)-6	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин применительно к объектам профессиональной деятельности
Профессиональные компетенции университета	
ПК(У)-1	Способен анализировать параметры и требования, а также характеристики нагрузки, как основы технического задания для проектирования электроприводов и их компонентов
ПК(У)-2	Способен осуществлять сбор информации для решения проектных задач, поиск и систематизацию технико-экономических показателей существующих технических решений, их предварительный анализ
ПК(У)-3	Способен проводить проектирование отдельных узлов низковольтных комплектных устройств и электропривода в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных методов
ПК(У)-4	Способен проверять техническое состояние электротехнического оборудования, проводить профилактический осмотр и текущий ремонт по заданной методике
ПК(У)-5	Способен осваивать электротехническое оборудование по имеющейся технической документации

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



Школа Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

«Электропривод и автоматика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5А97	Меньшиков Данил Михайлович

Тема работы:

Электропривод и электрооборудование буровой установки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	27.01.2023 №27-88/с

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Производительность м ³ /с–0,031; 2. Давление нагнетания Мпа–2,9; 3. Скорость вращения вала насоса об/мин–1130; 4. КПД %–0,81
Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке	Расчет и обзор схем управления и способов регулирования электропривода. Моделирование в среде MatLab.
Перечень графического материала	Рисунки, таблицы, презентация «Microsoft PowerPoint 2019», схема работы АД в неподвижной системе координат;

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Татьяна Борисовна

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

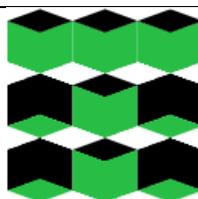
Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Ляпушкин Сергей Викторович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А97	Меньшиков Данил Михайлович		

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



Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
 «Электропривод и автоматика»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение электроэнергетики и электротехники

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
5А97	Меньшиков Данил Михайлович

Тема работы:

Электропривод и электрооборудование буровой установки
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

Дата Контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.02.2023	Разработка раздела «Литературный обзор»	20
13.03.2023	Разработка раздела «Выбор двигателя и расчет его схемы замещения»	25
03.04.2023	Разработка раздела «Выбор силового оборудования для питания схемы и моделирование двигателя»	15
24.04.2023	Разработка раздела «Социальная ответственность»	10
15.05.2023	Разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
02.06.2023	Оформление и представление ВКР	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Ляпушкин Сергей Викторович	к. т. н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ	Тютеева П.В.	к. т. н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А97	Меньшиков Данил Михайлович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа 5A97		ФИО Меньшикову Данилу Михайловичу	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Электропривод и электрооборудование буровой установки	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение	<i>Объект исследования <u>привод и оборудование буровой установки</u> Область применения <u>электроэнергетика / месторождения по добыче нефти и других полезных ископаемых</u> Рабочая зона: <u>лаборатория</u> Размеры помещения <u>7·6·4 м</u> Количество и наименование оборудования рабочей зоны <u>стол, стул, светодиодная лампа, ЭВМ, компьютерная периферия</u> Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне <u>моделирование аварийных режимов с помощью специального программного обеспечения и проведение расчетов</u></i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ; Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 N 426-ФЗ; Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 №52-ФЗ; ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»; ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности; ГОСТ 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:	Вредные производственные факторы: 1.недостаток необходимого искусственного освещения; 2.производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека 3.нервно-психические перегрузки; 4.производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды; Опасные производственные факторы: 1.производственные факторы, связанные с электрическим током. Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: –использование очков со специальными компьютерными линзами; –организация рабочего места в соответствии с требованиями; –обеспечение необходимой степени искусственного освещения,

	–поддержание требуемого уровня температуры и влажности воздуха, –наличие у рабочего места защитного заземления (зануления).
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения	<i>Воздействие на селитебную зону</i> _____ – <i>Воздействие на литосферу</i> <u>твёрдые коммунальные отходы</u> <i>Воздействие на гидросферу</i> <u>бытовые сточные воды</u> <i>Воздействие на атмосферу</i> <u>выбросы при генерации электроэнергии, необходимой для работы ЭВМ</u>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения	Возможные ЧС <u>пожар, взрыв, эпидемия</u> Наиболее типичная ЧС <u>пожар</u>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	—		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А97	Меньшиков Данил Михайлович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А97	Меньшикову Данилу Михайловичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02. Электроэнергетика и электротехника/Электропривод и автоматизация

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

1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	<i>–районный коэффициент–1,3; –накладные расходы–16%; –норма амортизации 15%.</i>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<i>- страховые взносы во внебюджетные фонды 30,2%.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	<i>Анализ конкурентных технических решений, проведение SWOT-анализа.</i>
2. Планирование и формирование бюджета	<i>Формирование плана и графика разработки: –определение структуры работ; –определение трудоемкости работ; Формирование бюджета затрат проекта.</i>
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	<i>Определение сравнительной эффективности проекта.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А97	Меньшиков Данил Михайлович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по расчету электропривода и электрооборудования буровой установки содержит 85 страниц, 26 рисунков и 20 источников, и 2 приложения.

Объектом исследования является буровая установка, для которой был рассчитан электропривод и выбрано основное силовое оборудование. Исходными данными к заданию на разработку электропривода были такие параметры как производительность, давление нагнетания, скорость вращения вала двигателя и КПД передач от двигателя до насоса.

В процессе разработки был изучен основной производственный процесс, в котором участвует электропривод на буровой установке. Также производился выбор двигателя для насоса и рассчитывались параметры схемы замещения для выбранного двигателя.

Регулирование электропривода осуществляется за счет преобразователя частоты.

Также приведены расчеты и построены электромеханические и механические характеристики для выбранного двигателя.

В результате проектирования был получен работающий электропривод и выбрано основное силовое оборудование для силовой части схемы электроснабжения электропривода.

Содержание

Введение.....	13
1. Литературный обзор бурового насоса и оборудования	14
2. Расчет двигателя и выбор основного силового оборудования системы регулируемого электропривода	17
2.1 Расчет мощности двигателя и его выбор	17
2.2 Расчетные параметры электродвигателя	18
2.3 Схема замещения электродвигателя расчет ее параметров.....	19
2.4 Выбор частотного преобразователя	21
3. Расчет инвертора	24
4. Расчет выпрямителя	27
5. Схема подключения преобразователя частоты.....	29
6. Расчет канала измерения ТОКА, по которому осуществляется обратная связь	30
6.1 Расчет и выбор трансформатора как основного силового элемента системы регулируемого электропривода	32
6.2 Выбор аппаратуры управления и защиты регулируемого электропривода ...	33
6.3 Расчет и выбор кабельной сети.....	34
7. Статические и динамические характеристик для регулируемого электропривода.....	36
8. Расчет энергетических показателей электропривода.....	44
9. расчет коэффициентов для модели	46
10. Моделирование электромеханических переходных характеристик при пуске двигателя, набросе и сбросе нагрузки.....	47
11. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение....	51
11.1 Анализ конкурентных технических решений	51
11.2 SWOT–анализ проекта.....	53
11.3 Планирование научно–исследовательских работ	55
11.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	55
11.3.2 Определение трудоемкости выполнения технического проекта	56

11.3.3	Разработка графика проведения научного исследования	57
11.4	Расчет бюджета для научно–технического исследования.....	60
11.4.1	Расчет материальных затрат НТИ	60
11.4.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	61
11.4.3	Расчет затрат на программное обеспечение.....	62
11.4.4	Основная заработная плата исполнителей темы	63
11.4.5	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	64
11.4.6	Отчисления во внебюджетные фонды	65
11.4.7	Накладные расходы.....	66
11.4.8	Формирование бюджета затрат научно–исследовательского проекта.....	66
11.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	67
11.6	Заключение по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	69
12.	Социальная ответственность	70
12.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	71
12.2	Производственная безопасность.....	72
12.2.1	Анализ потенциальных вредных и опасных производственных факторов	72
12.2.2	Обоснование мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных производственных факторов.....	73
12.2.2.1	Недостаток необходимого искусственного освещения	73
12.2.2.2	Производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неонизирующими ткани тела человека.....	74
12.2.2.3	Нервно–психические перегрузки	75
12.2.2.4	Производственные факторы, связанные с аномальными микrokлиматическими параметрами воздушной среды	76
12.2.2.5	Производственные факторы, связанные с электрическим током	77
12.3	Экологическая безопасность.....	79

12.3.1 Атмосфера.....	79
12.3.2 Литосфера	80
12.3.2 Гидросфера	80
12.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	81
Выводы по разделу.....	82
Заключение	83
Список используемых источников.....	84
Приложение А	86
Приложение Б.....	87

ВВЕДЕНИЕ

В промышленности буровые установки имеют огромное значение, потому как отображает технико–экономический потенциал страны. Также как и уровень развития энергетики, нефтегазовое дело и добыча полезных ископаемых являются чуть–ли не основными показателями развития.

Развитие многих отраслей, например таких как буровое и нефтегазовое дело зависит от уровня развития энергетики потому как электрическая энергия повсеместно используется в различных поставленных задачах указанных отраслей.

Успех работы энергетиков и электроприводчиков во многом будет определяться повышением культуры проектирования ростом знаний в теоретической и практических сферах.

Все вышеприведенное может охарактеризовать важность проектирования электропривода буровых установок.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР БУРОВОГО НАСОСА И ОБОРУДОВАНИЯ

Насос в буровой установке в основе своей выполняет задачу нагнетания технической жидкости для очистки забоя, в котором может скапливаться порода. Также данная жидкость может охлаждать и смазывать долото буровой установки.

Если учесть вышесказанное, то можно утверждать, что работа насоса на буровой установке является одной из основных и высоко значимых. Требования к качеству и долговечности двигателей и оборудования, находящегося на буровой, как ни странно, находятся на довольно высоком уровне.

Требования, которые имеют место быть предъявленными к насосу находящемуся непосредственно на буровой установке следующие:

1. Подача жидкости насоса должна быть регулируема и подобрана таким образом чтобы осуществить наиболее эффективную промывку скважины;

2. Так как насос также еще и приводит в действие двигателя которые являются забойными гидравлическими, то, его мощность должна быть достаточной для этого, не забывая об охлаждении и промывке скважины.

3. В процессе бурения могут возникнуть такие неприятные моменты как появление нагрузок которые являются инерционными, а вместе с ними могут так появиться пульсации из-за давления, все это в кипе создаст осложнения для работы буровой. Именно поэтому скорость жидкости, промывочной, на выходе с насоса должна быть такой чтобы гасить данные вибрации и нагрузки.

4. Насосы, находящиеся на буровой установке, должны иметь возможность либо быть приспособленными для работы с промывочными растворами, в содержание которых может входить абразивный компонент. Кроме того, насосы желательно приспособить для взаимодействия и дальнейшей работы с растворами которые характеризуются как «маслосодержащие коррозионно–активные»;

5. Не стоит забывать и о требованиях о надежности деталей и узлов насоса, которые будут «работать» напрямую с промывочными растворами, которые как уже выяснилось могут содержать в своем составе абразив. Таким образом можно

сказать, что узлы и детали, работающие с такими растворами, должны обладать максимально возможной долговечностью и помимо этого желательно иметь возможность и доступ к быстрой и удобной замене при выходе из строя данных узлов и деталей насоса;

6. Транспортировка насоса так же должна не уступать в удобности ее осуществления для дальних расстояний в собранном виде, так же желательна возможность перемещения так называемым «волоком» в непосредственной близости к буровой и в ее пределах;

7. Соотношение уровня надежности и долговечности насосов желательна должна быть сопоставима с их экономичностью и что не мало важно, безопасностью при эксплуатации.

Вот далеко не полный список требований, которые предъявляются к насосам, которые производятся и работают на буровых установках.

Технология изготовления и условия их работы на буровых описана в ГОСТ–е. Также важным моментом является то, что при росте глубины бурения увеличивается и мощность насосов, работающих на буровой установке. Постоянно ведутся разработки в области машиностроения и проектирования, для того чтобы производить буровые насосы, которые будут соответствовать непрерывно возрастающим требованиям в промышленности и сфере бурения. Рост общего уровня качества и надежности для машиностроения давно стал постоянным, особенно в областях довольно ответственных таких как буровая установка, был бы непреодолимым пределом которого невозможно было бы достигать без научных трудов в данной области. Именно непрерывная работа в областях разработки, проектирования и машиностроения дала нынешнему производству возможность держаться на высоком уровне производительности и качества. Также в результате постоянных разработок и строения агрегатов мы получили весьма обширный диапазон номенклатуры и моделей с различными модификациями для насосов, работающих на буровой установке.

Далеко не каждый тип насоса подойдет для работы на буровой. Насосы по типу центробежного или вихревые. Для поставленной задачи больше всего

подойдут и подходят насосы объемного действия. Это поршневые либо же плунжерные.

У этих двух типов насосов есть отличия в конструкции:

–поршневые насосы, они чаще всего двухцилиндровые с уплотнительными элементами на поршне. Поршень является подвижным. Сами уплотняющие элементы имеют длину близкую к диаметру, они, насосы, как правило двойного действия;

–плунжерные насосы не имеют поршней что понятно из названия. Потому что то, там есть плунжер, который гладкий и к тому же еще металлический. Плунжер имеет собственную длину, которая значительно больше диаметра, и такие насосы абсолютно всегда одинарного действия.

Чаще всего в бурильных установках встречаются поршневые насосы. Если кратко пояснить основные принципы работы, то выйдет следующая характеристика:

Ведущий вал работает с «трансмиссионным» валом насоса, и потом сам ведущий вал приводится в действие посредством цилиндрической зубчатой передачи.

Подача насоса можно регулировать при помощи сменных цилиндрических втулок. Еще можно изменять число «ходов» насоса.

Пневмокомпенсаторы которые присутствуют в конструкции насоса помогают снизить пульсации давления, до, почти приемлемого уровня.

2. РАСЧЕТ ДВИГАТЕЛЯ И ВЫБОР ОСНОВНОГО СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Исходными данными к научно–исследовательской работе послужили данные, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1

Производительность, м ³ /с	Давление нагнетания, МПа	Скорость вращения вала насоса, об/мин	КПД
0,031	2,9	1130	0,81

После определения задания для работы можно приступить к стадии расчета и выбору оборудования.

2.1 РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ И ЕГО ВЫБОР

Расчетная мощность двигателя определяется по следующему выражению:

$$P = \frac{k_z \cdot Q_n \cdot \rho_n}{\eta} = \frac{1,15 \cdot 0,031 \cdot 2900000}{0,81} = 127,6 \text{ (кВт)}, \quad (2.1.1)$$

где k_z –коэффициент запаса мощности, $k_z=1,15$;

Q_n –подача насоса, м³/с.;

ρ_n –давление нагнетания, Па;

η –к.п.д. передач от двигателя до насоса.

После получения расчетной мощности двигателя мы можем начинать выбор самого электродвигателя. Для верного выбора следует удовлетворить следующему условию:

$$P_n \geq P_{расч} \quad (2.1.2)$$

Основываясь на обязательном условии выбора электродвигателя, которое гласит о том, что номинальная мощность АД должна быть равна либо быть больше мощности которая была рассчитана по выражению (1). В результате выбран электродвигатель серии 4А типа 4А280М4У3. Его номинальная мощность составляет 132 кВт. А расчетная необходимая мощность составила 127,6 кВт. Соответственно двигатель подобран верно.

Параметры выбранного двигателя сведены в таблицу 2.

Таблица 2–параметры двигателя 4А280М4У3

Параметр	Величина
P_n , кВт	132
n_n , об/мин	1500
$\cos(\varphi)_n$	0,90
$U_{1\phi}$, В	220
J_∂ , кг·м ²	2,5
R'_1	0,021
X'_1	0,115
R''_2	0,018
X'_2	0,15
S_n	0,023
η_n	0,93
$m_n = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_n}$	1,3
$m_k = \frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	2
$m_M = \frac{M_{\text{мин}}}{M_n}$	1
$k_{i\partial\phi} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_n}$	6
X'_μ	4,5

Далее следует приступить к расчету параметров электродвигателя. Для дальнейшего расчета схемы замещения двигателя.

2.2 РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Электропривод с трехфазным асинхронным двигателем (АД) является самым массовым видом привода в промышленности. После выбора и определения всех параметров АД будет верно выполнить подсчет следующих параметров АД:

Угловая частота вращения двигателя, которая является синхронной определяют как:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,08 \text{ (рад/с)} \quad (2.2.1)$$

Номинальную частоту вращения двигателя можно найти по следующему выражению:

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - s_n) \cdot \omega_n = (1 - 0,023) \cdot 157,08 = 153,467 \text{ (рад/с)} \quad (2.2.2)$$

Момент, который для двигателя является номинальным считают, как:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_n}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{132000}{153,467} = 860,121 \text{ (Н·м)} \quad (2.2.3)$$

Действующее значение тока вычисляют по нижеприведенному выражению:

$$I_{1\phi n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{132000}{3 \cdot 380 \cdot 0,90 \cdot 0,93} = 138,339 \text{ (А)} \quad (2.2.4)$$

Ток при прямом пуске, который является максимально потребляемым считают, как:

$$I_{1\text{макс}} = k_{i.\text{дв}} \cdot I_{1\phi n} = 6 \cdot 138,339 = 830,032 \text{ (А)} \quad (2.2.5)$$

Также важно рассчитать критический момент для двигателя на электромеханической характеристике:

$$M_k = m_k \cdot M_{\text{дв.н}} = 2 \cdot 860,121 = 1720 \text{ (Н·м)} \quad (2.2.6)$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске определим по выражению ниже:

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_n \cdot M_{\text{дв.н}} = 1,3 \cdot 860,121 = 1118 \text{ (Н·м)} \quad (2.2.7)$$

Статический момент двигателя рассчитаем в соответствии с выражением:

$$M_c = \frac{M_{\text{дв.н}}}{i_{\text{ст.р}} \cdot \eta_n} = \frac{860,121}{2 \cdot 0,93} = 462,431 \text{ (Н·м)} \quad (2.2.8)$$

2.3 СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ РАСЧЕТ ЕЕ ПАРАМЕТРОВ

Не все параметры электродвигателя являются легкодоступными для проектировщиков на стадии разработки электропривода.

Возможны несколько вариантов для определения данных параметров. Это может быть либо определение параметров машины с помощью использования конструктивных параметров двигателя, либо можно воспользоваться математической моделью двигателя.

Первый вариант не очень удобен так как именно на стадии разработки конструктивные параметры двигателя не всегда находятся в открытом доступе.

Именно поэтому для последующего расчета характеристик необходимо воспользоваться математической моделью двигателя, которая в общем случае представляется различными схемами. Такие схемы называют схемами замещения.

Наиболее распространенной является Т-образная схема замещения. Данная схема представлена на рисунке 1.

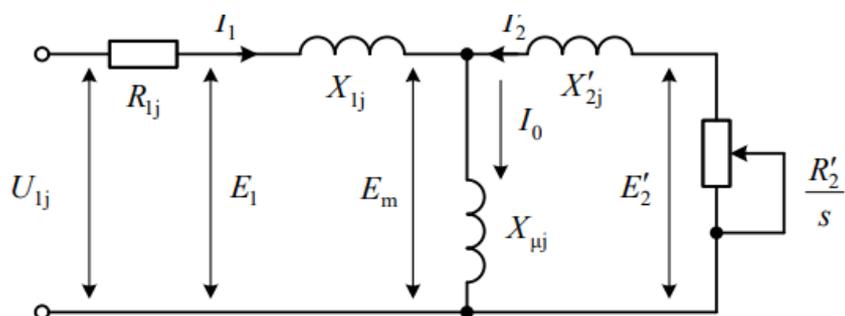


Рисунок 1—Схема замещения Т-образная

Расчет параметров схемы замещения рассматривается и приводится в следующих выражениях:

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = R_1' \cdot \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}} = 0,021 \cdot \frac{220}{138,339} = 0,033 \text{ (Ом)} \quad (2.3.1)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора:

$$X_{1\sigma} = x_1' \cdot \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}} = 0,115 \cdot \frac{220}{138,339} = 0,183 \text{ (Ом)} \quad (2.3.2)$$

Индуктивность обмотки статора:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1n}} = \frac{0,183}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,582 \text{ (мГн)} \quad (2.3.3)$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора:

$$R_2' = R_2'' \cdot \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}} = 0,018 \cdot \frac{220}{138,339} = 0,029 \text{ (Ом)} \quad (2.3.4)$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора:

$$X_{2\sigma}' = X_2' \cdot \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}} = 0,15 \cdot \frac{220}{138,339} = 0,239 \text{ (Ом)} \quad (2.3.5)$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния:

$$L_{2\sigma}' = \frac{X_{2\sigma}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1n}} = \frac{0,239}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,759 \text{ (мГн)} \quad (2.3.6)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания при номинальном режиме:

$$X_{kn} = X_{1\sigma} + X_{2\sigma}' = 0,183 + 0,239 = 0,421 \text{ (Ом)} \quad (2.3.7)$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания:

$$X_{\mu} = x'_{\mu} \cdot \frac{U_{1\phi n}}{I_{1\phi n}} = 4,5 \cdot \frac{220}{138,339} = 7,156 (\text{Ом}) \quad (2.3.8)$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания):

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1n}} = \frac{7,156}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,023 (\text{Гн}) \quad (2.3.8)$$

В результате мы получаем все необходимые нам значения, которые для удобства сведены в таблицу 3.

Таблица 3–Параметры схемы замещения электродвигателя

R_1 , Ом	$X_{1\sigma}$, Ом	$L_{1\sigma}$, мГн	R_2' , Ом	$X_{2\sigma}'$, Ом	$L_{2\sigma}'$, мГн	X_{kn} , Ом	X_{μ} , Ом	L_{μ} , Гн
0,033	0,183	0,582	0,029	0,239	0,759	0,421	7,156	0,023

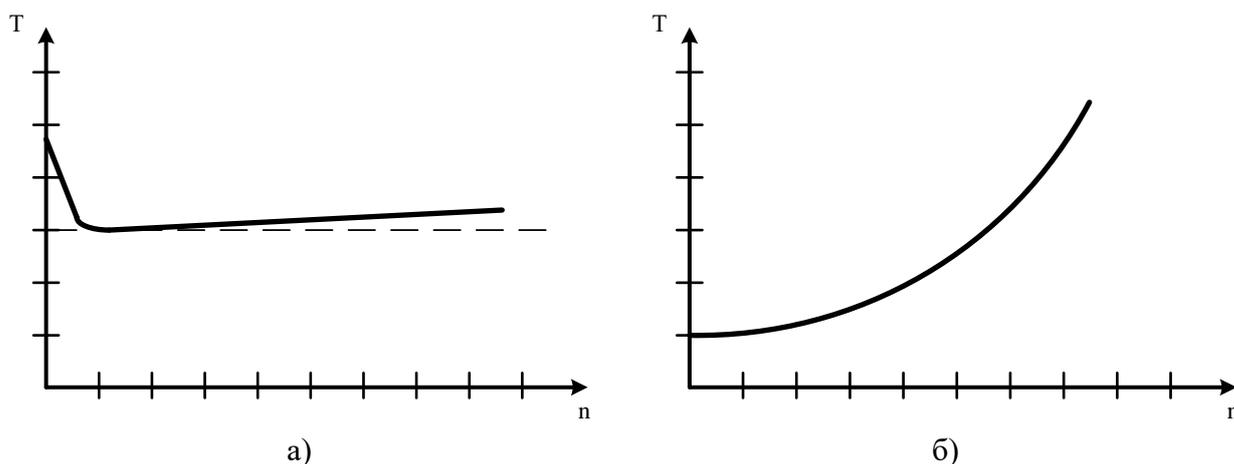
2.4 ВЫБОР ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Номинальное выходное напряжение и частота преобразователя следует выбирать равными номиналу напряжения и частоты асинхронного двигателя.

Для двухзонного регулирования скорости преобразователь частоты должен допускать повышение частоты сверх номинальной при номинальном выходном напряжении.

Чтобы осуществить выбор частотного преобразователя подходящего под задачи необходимо знать характеристику нагрузки. Затем нужно подобрать преобразователь частоты с подходящей выходной мощностью. Требуемая выходная мощность определена как расчетная мощность электродвигателя.

Большинство из производителей частных преобразователей обозначают выходные параметры преобразователя как при условиях квадратичной так и постоянной нагрузки. Иначе их можно называть легким и тяжелым режимом. Стоит понимать, как ведут себя эти характеристики поэтому ниже на рисунке 2 приведены графики данных режимов.



а) – постоянный характер нагрузки; б) – квадратичный характер нагрузки

Рисунок 2 – Нагрузочные моменты

Как можно заметить нагрузки разделились на 2 основных вида, это квадратичная которая соответствует легкому режиму и постоянная которая соответствует тяжелому режиму.

Есть различия незначительные различия между двумя данными характерами нагрузки.

Выбор частного преобразователя будет производиться по мощности. Для этого известны все необходимы коэффициенты, такие как $\cos\varphi$ двигателя и его производительность η . Расчет по мощности осуществляется по следующему выражению:

$$S_{\text{дв}} = \frac{P}{\eta \cdot \cos\varphi} \quad (2.4.1)$$

Соответственно параметры $P=132$ кВт, $\eta=0,93$ и $\cos\varphi=0,9$.

Расчет преобразователя частоты по мощности двигателя:

$$S_{\text{дв}} = \frac{P}{\eta \cdot \cos\varphi} = \frac{132}{0,93 \cdot 0,9} = 157,71 \text{ (кВА)} \quad (2.4.1)$$

Таким образом выходит, что номинальная мощность преобразователя частоты не должна быть менее чем 157,71 кВА.

Уже по имеющимся данным можно осуществить непосредственно выбор преобразователя частоты.

По параметрам подходит частотный преобразователь типа «Веспер Е4–9400–200Н». Внешний вид преобразователя представлен на нижеприведенном рисунке 3.



Рисунок 3–Внешний вид частотного преобразователя «Веспер E4-9400–200H»

Технические данные преобразователя для удобства сведены в таблицу 4.

Таблица 4–Технические данные частотного преобразователя

$P_{ном.пч.}$, кВт	$I_{ном.пч.}$, А	Степень защиты	Протокол связи
160	302	IP00	Modbus RTU

Данный регулятор обладает следующим рядом основных характеристик:

- Скалярное и векторное управление (как с датчиком скорости так и без него);
- Управление скоростью или моментом двигателя;
- Высокий пусковой момент;
- Поддержание технологических параметров (давления и т.п.) с помощью встроенного ПИД–регулятора;
- Управление и мониторинг по протоколам Modbus и Profibus;
- Интерфейс связи RS485;
- Встроенный тормозной прерыватель (до 22 кВт включительно);
- Съемный выносной пульт;
- Меню на русском языке (что делает интерфейс преобразователя довольно дружелюбным для оператора).

3. РАСЧЕТ ИНВЕРТОРА

Для расчета инвертора воспользуемся методикой расчета, которая состоит из определения величин, знание которых позволит нам в дальнейшем сделать выбор транзистора.

Ток в инверторе, который будет максимальным определяется как:

$$I_{c.\max} = \frac{P_n \cdot k_1 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2}{\eta_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1\varphi n}} \quad (3.1)$$

где P_n —номинальная мощность АД;

$k_1=1,4$ —коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимый для обеспечения динамики электропривода;

$k_2=1,2$ —коэффициент допустимой пульсации тока;

η_n —номинальный КПД АД;

$\cos \varphi_n$ —номинальный коэффициент мощности АД;

$U_{1\varphi n}$ —номинальное линейное напряжение АД.

$$I_{c.\max} = \frac{P_n \cdot k_1 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2}{\eta_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1\varphi n}} = \frac{132000 \cdot 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,2}{0,93 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{3} \cdot 220} = 983,308 \text{ (А)} \quad (3.2)$$

Имеет место быть формирование синусоидального сигнала на выходе инвертора. Поэтому расчет потерь следует основать в вычислении потерь, которые входят в состав потерь IGBT–транзисторов.

Потери в проводящем состоянии транзистора определяются по следующему выражению:

$$P_{ss} = I_{cp} \cdot U_{ce.sat} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \cdot \cos \varphi_n \right) \quad (3.3)$$

где $I_{cp} = \frac{I_{c.\max}}{k_1} = \frac{983,308}{1,4} = 702,363 \text{ (А)}$ —максимальная амплитуда

тока на входе;

$D=0,95$ —максимальная скважность;

$U_{ce.sat}=2,2$ —прямое падение напряжения на транзисторе в насыщенном состоянии при I_{cp} .

$$P_{ss} = I_{cp} \cdot U_{ce.sat} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \cdot \cos \varphi_n \right) = 702,363 \cdot 2,2 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3 \cdot 3,14} \cdot 0,9 \right) = 333,327 \text{ (Вт)} \quad (3.4)$$

Потери транзистора при коммутации рассчитываются в соответствии с выражением (3.5):

$$P_{sw} = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{I_{cp} \cdot U_{cc} \cdot (t_{con} + t_{coff}) \cdot f_{sw}}{2} \quad (3.5)$$

где $t_{con}=0,4 \cdot 10^{-6}$ —продолжительность переходных процессов по цепи коллектора на открытие транзистора;

$t_{coff}=0,7 \cdot 10^{-6}$ —продолжительность переходных процессов по цепи коллектора на закрытие транзистора;

$U_{cc} = k_{cn} \cdot U_{1\phi n} = 1,35 \cdot 220 = 297$ (В)—напряжение на коллекторе;

$k_{cn}=1,35$ —коэффициент схемы для номинальной нагрузки;

$f_{sw}=5000$ —частота коммутации ключей.

Таким образом получается:

$$\begin{aligned} P_{sw} &= \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{I_{cp} \cdot U_{cc} \cdot (t_{con} + t_{coff}) \cdot f_{sw}}{2} = \\ &= \frac{1}{3,14 \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{702,363 \cdot 297 \cdot 10^{-6} (0,4 + 0,7) \cdot 5000}{2} = 129,118 \text{ (Вт)} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Суммарные потери в транзисторах определяются выражением (3.7):

$$P_Q = P_{ss} + P_{sw} = 333,327 + 129,118 = 462,445 \text{ (Вт)} \quad (3.7)$$

Потери диода в проводящем состоянии определяются по формуле (3.8):

$$P_{DS} = I_{ep} \cdot U_{ec} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \cdot \cos \varphi_n \right) \quad (3.8)$$

где $I_{ep} \approx I_{cp}$ —максимальная амплитуда тока через обратный диод;

$U_{ec}=2$ (В)—прямое падение напряжения на диоде при I_{ep} .

$$P_{DS} = I_{ep} \cdot U_{ec} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \cdot \cos \varphi_n \right) = 702,363 \cdot 2 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3 \cdot 3,14} \cdot 0,9 \right) = 303,025 \text{ (Вт)} \quad (3.9)$$

Потери при восстановлении запирающих свойств диода определяется как:

$$P_{DR} = \frac{1}{8} \cdot I_{ep} \cdot U_{cc} \cdot t_{rr} \cdot f_{sw} \quad (3.10)$$

где $t_{rr}=0,2$ —продолжительность обратного тока.

$$P_{DR} = \frac{1}{8} \cdot I_{ep} \cdot U_{cc} \cdot t_{rr} \cdot f_{sw} = \frac{1}{8} \cdot 702,363 \cdot 297 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 5000 = 26,075 \text{ (Вт)} \quad (3.11)$$

Суммарные потери диода определяются как:

$$P_D = P_{DS} + P_{DR} = 303,025 + 26,075 = 329,1 \text{ (Вт)} \quad (3.12)$$

Результирующие потери IGBT с обратным диодом:

$$P_T = P_Q + P_D = 462,445 + 329,1 = 791,545 \text{ (Вт)} \quad (3.13)$$

Условие выбора IGBT ключей заключается в следующем: $I_c \geq I_{c.max}$, согласно которому ток, проходящий через ключи инвертора, должен быть больше либо равен его максимальному значению.

Согласно проделанным расчетам и условию выбора, выбран IGBT модуль производства АО «Протон–Электротекс» типа IGBT MIXM–HB17AB–1100N–A. Внешний вид прибора продемонстрирован на рисунке 4.



Рисунок 4–IGBT MIXM–HB17AB–1100N–A

Основные характеристики:

$I_c=1100$ (А)–ток коллектора

Напряжение 1700 (В).

4. РАСЧЕТ ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Значение средневывпрямленного напряжения рассчитывается как (его максимальное значение):

$$I_{dm} = \frac{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{I_{cmax}}{\sqrt{2}} \right) \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_n + n \cdot P_T}{U_d} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{983,308}{\sqrt{2}} \right) \cdot 220 \cdot 0,9 + 3 \cdot 791,545}{297} = 810,863 \text{ (A)} \quad (4.1)$$

где $n = 3$ – количество пар транзисторов и диодов в инверторе;

$U_d = U_{cc}$ – напряжение звена постоянного тока.

Максимальный рабочий ток для диода рассчитываем по выражению:

$$I_{vm} = k_{cc} \cdot I_{dm} = 1,045 \cdot 810,863 = 847,352 \text{ (A)}, \quad (4.2)$$

где $k_{cc} = 1,045$ – для мостовой трехфазной схемы.

Максимальное обратное напряжение диода для мостовой схемы:

$$U_{vm} = k_{zn} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{1\phi n} \cdot k_{cn} \cdot k_c + \Delta U_n = 1,15 \cdot \sqrt{2} \cdot 220 \cdot 1,35 \cdot 1,5 + 150 = 874,537 \text{ (B)}, \quad (4.3)$$

где $k_{zn} = 1,35$ – коэффициент допустимого повышения напряжения;

$\Delta U_n = 150 \text{ (B)}$ – запас на коммутационные выбросы напряжения в звене с постоянным током.

Потери в выпрямителе при установившемся режиме работы:

$$P_{DV} = m_v \cdot k_{cs} \cdot \left(U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \right) \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} = 6 \cdot 0,577 \cdot 1 \cdot \frac{810,863}{1,4} = 2005 \text{ (Bт)}, \quad (4.4)$$

где $k_{cs} = 0,577$ – для мостовой трехфазной схемы;

R_{on} – динамическое сопротивление полупроводникового прибора в проводящем состоянии;

U_j – прямое падение напряжения на приборе при токе 50 (мА);

Принимается, что: $\left(U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \right) \leq 1 \text{ (B)}$;

$m_v = 6$ – число полупроводниковых приборов в схеме.

Емкость конденсатора, необходимая для протекания реактивного тока инвертора:

$$C = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{sm} \cdot \sin\left(\frac{\varphi_n}{2} - \frac{\pi}{12}\right)}{2 \cdot U_d \cdot f_{sw} \cdot q_1} = \frac{\sqrt{3} \cdot 585,302 \cdot (0,037)}{2 \cdot 297 \cdot 5000 \cdot 0,057} = 2,198 \cdot 10^{-4} \text{ (Ф)}, \quad (4.5)$$

$$\text{где } I_{sm} = \frac{\sqrt{2} \cdot P_n}{\sqrt{3} \cdot U_d \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{\sqrt{2} \cdot 132000}{\sqrt{3} \cdot 297 \cdot 0,9 \cdot 0,93} = 585,302 \text{ (А)} - \text{амплитудное}$$

значение тока в фазе АД;

$\varphi_n = 0,45$ – угол сдвига между первой гармоникой фазного напряжения и тока фазы.

$$q_1 = \frac{2}{m_v^2 - 1} = \frac{2}{36 - 1} = 0,057 - \text{коэффициент пульсаций на входе фильтра.}$$

Диоды выбираются по постоянному рабочему току (не менее I_{vm}) и по классу напряжения (не менее $\frac{U_{vm}}{100}$). Согласно проделанным расчетам и условию, выбираем диодные модули АО «Протон–Электротекс» ДИОД Д133-1000 основными характеристиками которого являются:

Ток коллектора (постоянный): $I_{vm} = 1000 \text{ (А)}$;

Напряжение 1800 В.

5. СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Силовая схема регулируемого электропривода представлена на рисунке 5.

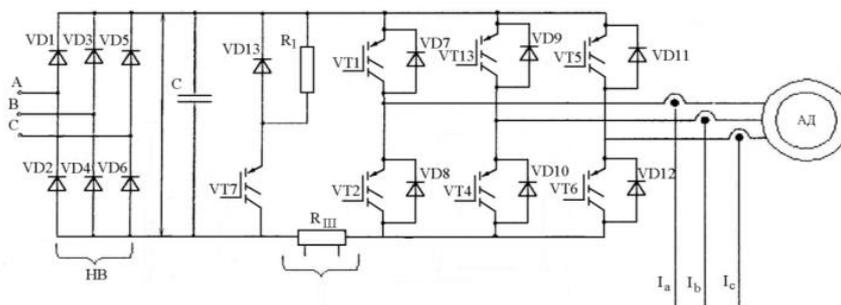


Рисунок 6–Силовая схема регулируемого привода

Сама силовая схема состоит из следующих элементов, которые были выбраны ранее:

Силовые IGBT–транзисторы– IGBT M1XМ–НВ17АВ–1100N–А;

Силовые диоды– ДИОД Д133-1000;

Конденсатор– $C = 2,198 \cdot 10^{-4}$ (Ф).

Если посмотреть на схему показанную на рисунке 6 то можно понять как она работает. Краткое пояснение функционала схемы приводится в следующем абзаце.

В схеме есть силовой канал частотного преобразователя, который собран с промежуточным звеном постоянного тока и инвертором, по сути своей силовой канал является трехфазным инвертором синусоидального напряжения. Получается, что, приходит питание с трехфазной сети на выпрямитель неуправляемый, далее уже выпрямленное напряжение сглаживается конденсатором, который установлен в схеме. Конденсатор имеет большую емкость. После конденсатора напряжение попадает на инвертор, ключи которого управляются микропроцессорная система. Роль силовых ключей в схеме используются транзисторы, у которых имеется высокая нагрузочная способность. Быстродействующие диоды, которые подключены к транзисторам параллельно гасят токи ЭДС самоиндукции.

Также на схеме показан шунт, обозначенный как $R_{ш}$ который включен в схему для контроля за величиной протекающего тока и выполнения функции защиты.

6. РАСЧЕТ КАНАЛА ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА, ПО КОТОРОМУ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ

В качестве датчика тока на обратной связи будем использовать токовый шунт. Главным достоинством токового шунта является линейность регулировочной характеристики. Измеряться будет ток ф фазы обмотки статора. Допустимая кратность пускового тока равна 5. Максимальное напряжение на выходе равно 3В.

На рисунке 7 представлена принципиальная схема канала измерения тока.

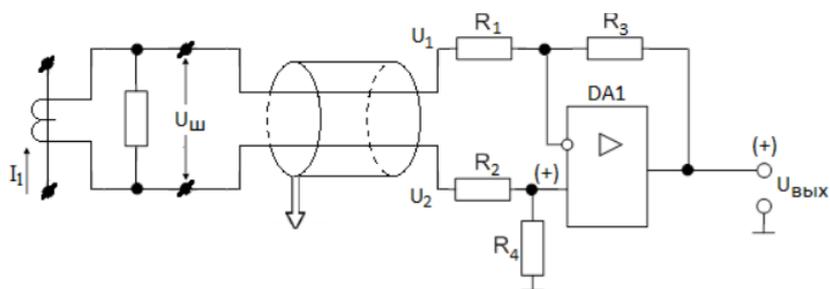


Рисунок 7–Схема датчика измерения тока

Так как токовый шунт не предназначен как измеритель больших значений тока будет использоваться трансформатор тока.

Рассчитаем максимальный ток на обмотке статора, который определяется по выражению:

$$I_{\max} = I_{\text{пуск}} = I_{\text{фн}} \cdot \lambda = 138,339 \cdot 5 = 691,693 \text{ (A)} \quad (6.1)$$

После расчета можно приступить к выбору трансформатора. Выбираем трансформатора тока типа «Т–0,66 800/5А» с классом точности 0,5. Номинальная полная мощность 5 ВА; первичный номинальный ток 800 А; вторичный номинальный ток 5А. Внешний вид представлен на рисунке 8.



Рисунок 8–Трансформатор типа «Т–0,66 800/5А»

Выберем производственный токовый шунт типа «ШУНТ-5А-75шсмм3» с техническими параметрами, которого снесены в таблицу 5.

Таблица 5–Технические параметры шунта «ШУНТ-5А-75шсмм3»

Класс точности	0,5
Номинальный ток, А	5
Номинальное напряжение, В	0,075
Номинальное сопротивление, мкОм	15000
Габаритные размеры, мм	100×20×13
Масса, кг	0,07

Функциональная схема датчика тока представлена на рисунке 9.

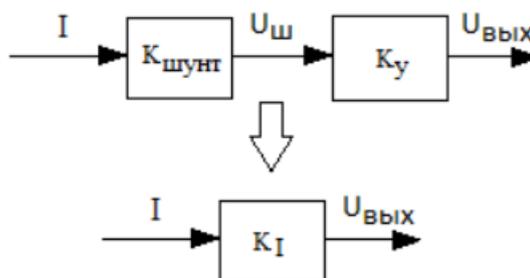


Рисунок 9–Функциональная схема датчика тока

Коэффициент передачи канала измерения тока:

$$K_I = \frac{U_{\text{вых_шунт}}}{I_{\text{ном_шунт}}} = \frac{3}{5} = 0.6 \text{ (В/А)} \quad (6.2)$$

Коэффициент передачи токового шунта:

$$K_{ш} = \frac{U_{\text{max_шунт}}}{I_{\text{max_шунт}}} = \frac{0.075}{5} = 0.015 \text{ (В/А)} \quad (6.3)$$

Коэффициент усиления дифференциального усилителя:

$$K_y = \frac{K_I}{K_{ш}} = \frac{0.6}{0.015} = 40 \text{ (о.е.)} \quad (6.3)$$

Для подач сигнала на вход АЦП микроконтроллера требуется использовать схему сопряжения с напряжением сдвига 3В, которая состоит из следующих компонентов:

- ОУ–операционный усилитель;
- АЦП–аналого-цифровой преобразователь;
- УЗ–устройство защиты входов АЦП от перенапряжений;
- Схема сопряжения.

Сама функциональная схема для канала измерения тока показана на рисунке 10.

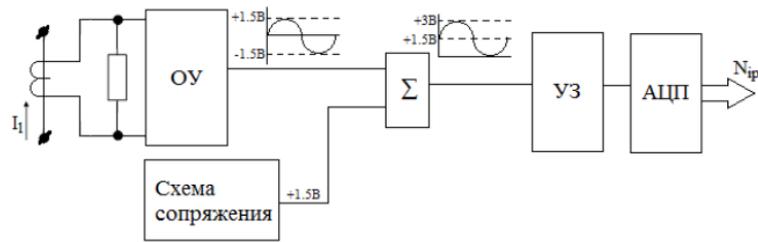


Рисунок 10–Функциональная схема канала измерения тока

Схема того, как устроена защита от перенапряжений показана на рисунке 11. При пробое такого устройства как стабилитрон включается тиристор, который шунтирует нагрузку, в следствии чего перегорает предохранитель.

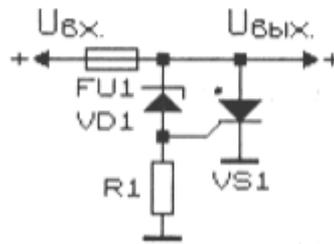


Рисунок 11–Схема защиты входов АЦП

Для схемы устройства защиты входов АЦП от перенапряжений подобран стабилитрон 1N4728А с напряжением пробоя 3,3 В.

6.1 РАСЧЕТ И ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРА КАК ОСНОВНОГО СИЛОВОГО ЭЛЕМЕНТА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Так как питание осуществляется от сборных шин 6 кВ, то выбор трансформатора следует проводить по значению расчетной мощности, первичному и вторичному напряжению сети.

$$U_{ВН} = 6 \text{ кВ};$$

$$U_{НН} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$S_{расч.тр.} \geq P_{дв.н.} = 132 \text{ кВ.}$$

Исходя из условий выбираем масляной трансформатор типа «ТМ–160/6».

Технические параметры трансформатора для удобства снесены в таблицу 6.

Таблица 6–Каталожные и расчетные данные трансформатора

Тип	$S_{ном},$ кВА	Каталожные данные						Расчетные данные	
		$U_{ном},$ обмоток		$U_k,$ %	$\Delta P_k,$ кВт	$P_x,$ кВт	$I_x,$ %	$R_T,$ Ом	$X_T,$ Ом
		ВН	НН						
ТМ–160/6	160	6	0,4	4,5	2,65	0,5	2,4	3,73	10,13

6.2 ВЫБОР АППАРАТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В качестве аппаратуры защиты будет выбран автоматический выключатель, для которого следует учесть следующие условия выбора:

1. $I_{ном} \geq I_{расц}$;
2. $I_{расц} \geq I_{дл}$, $I_{дл} \geq I_{1фн} = 138,339$ (А);
3. $I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{1макс.} = 1,25 \cdot 830,032 = 1037,54$ (А);
4. $K_n \geq \frac{I_{кз}}{I_{ном.расц}}$ – уставка срабатывания расцепителя.

В качестве аппаратуры защиты схемы и оборудования от токов короткого замыкания будет выбран автоматический выключатель типа «ВА 53–43» номинальный ток которого соответствует 1600 (А) и током отключения равным 31 (кА).

Также стоит учитывать, что при работе реального электропривода возможны перегрузки, как кратковременные так и долговременные. Перегрузка описывается процессом превышения тока или напряжения в цепи, в следствии чего может произойти перегрев и в худшем случае выход из строя электропривода, что соответственно весьма недешево, и понесет за собой большие финансовые проблемы.

Чтобы избежать последствий от перегрузок выбрано сверхнадежное тепловое реле типа 3SR7-66 с установкой тока реле в 600 (А).

В качестве аппаратуры управления выбран микроконтроллер типа «МС68НС908MR24».

Блок–схема микроконтроллера показана на рисунке 12.

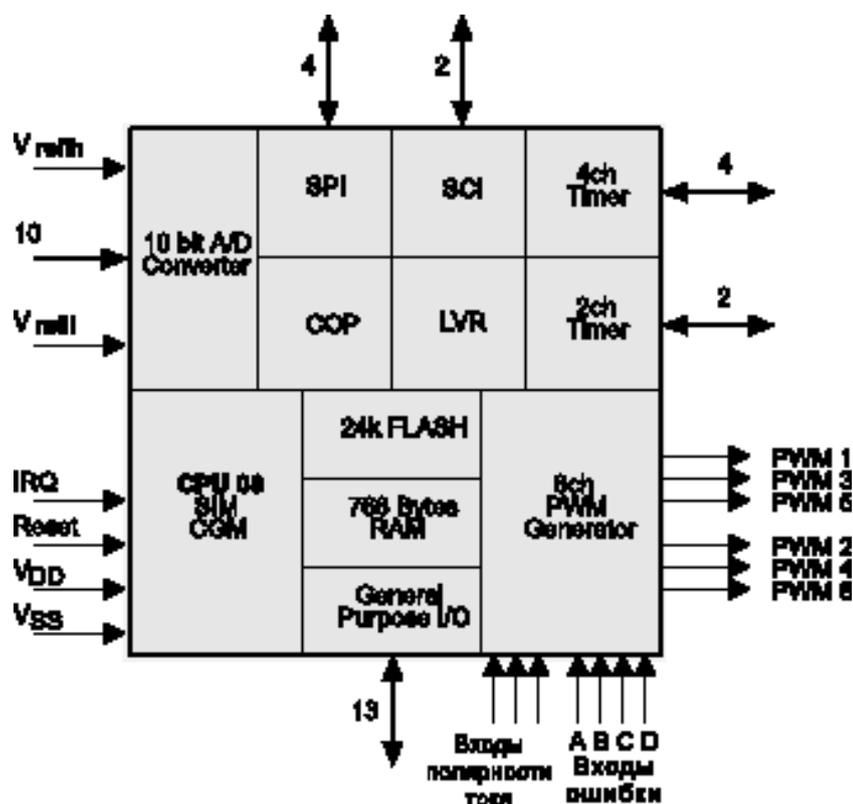


Рисунок 12–Блок–схема микроконтроллера «MC68HC908MR24»

6.3 РАСЧЕТ И ВЫБОР КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ

Для выбора кабельной сети для питания буровой установки необходимо задаться некоторыми величинами, с помощью которых будет в дальнейшем произведен выбор.

Расчет тока в час максимума:

$$I_{ч.макс.} = \frac{S_{mp.}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{BH}} = \frac{160 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot (6 \cdot 10^3)} = 7,698 \text{ (A)} \quad (6.3.1)$$

Расчет тока послеаварийного режима питающей линии определяется по следующему выражению:

$$I_{н.а.р.} = \frac{S_{mp.}}{\sqrt{3} \cdot U_{BH}} = \frac{160 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (6 \cdot 10^3)} = 15,396 \text{ (A)} \quad (6.3.2)$$

Сечение кабельных линий выбирается плотности тока. Экономически целесообразное сечение определяется и следующего выражения:

$$F_{ЭК} = \frac{I_{ч.макс.}}{j_{ЭК}} \quad (6.3.3)$$

где $I_{ч.макс.}$ –расчетный ток в часы максимума, А;

$j_{ЭК}$ –нормированное значение экономической плотности тока, А/мм².

Расчетный ток должен соответствовать условиям нормальной работы электрооборудования, при его определении не следует учитывать увеличение тока при аварийных ситуациях.

Так как время использования максимума нагрузки в год $T_{\max} \geq 5000$ ч., то для кабельной линии $j_{\text{эк}} = 1,6$ А/мм².

Таким образом согласно выражению (6.3.3):

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{ч. макс.}}}{j_{\text{эк}}} = \frac{7,698}{1,6} = 4,811 \text{ (мм}^2\text{)} \quad (6.3.4)$$

Выбран силовой кабель типа «ВВГнг(А)–LS 2×16 мм²».

7. СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Для построения механических естественных и электромеханических естественных характеристик $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ АД определим параметры схемы замещения в номинальном режиме.

Ток холостого хода АД:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{p_* \cdot I_{1n} \cdot [1-s]_n}{1 - p_* \cdot s_n} \right)^2}{1 - \left(\frac{p_* \cdot [1-s]_n}{1 - p_* \cdot s_n} \right)^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{183,284^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 238,949 \cdot [1-0,023]}{1-0,75 \cdot 0,023} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot [1-0,023]}{1-0,75 \cdot 0,023} \right)^2}} = 63,759 \text{ (A)}, \quad (7.1)$$

где $I_{11} = \frac{p_* \cdot P_n}{3 \cdot U_{1\phi n} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 132000}{3 \cdot 220 \cdot 0,88 \cdot 0,93} = 183,284 \text{ (A)}$ – ток в статоре

АД при частичной нагрузке;

$p_* = \frac{P}{P_n}$ – коэффициент загрузки двигателя, принимаем $p_* = 0,75$;

$I_{1n} = \frac{P_n}{3 \cdot U_{1\phi n} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{132000}{3 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,93} = 238,949 \text{ (A)}$ – ток статора в статоре

АД при номинальной нагрузке;

η_{p_*} – КПД АД при частичной нагрузке;

$\cos \varphi_{p_*}$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке.

Расчётный коэффициент:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_{i06} \cdot I_{1n}} = 1 + \frac{63,759}{2 \cdot 6 \cdot 238,949} = 1,023 \quad (7.2)$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора рассчитывается как:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot m_k \cdot P_n \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_k} \right)} = \frac{1 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,023)}{2 \cdot 2 \cdot 132000 \cdot 1,025^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,7} \right)} = 0,021 \text{ (Ом)}, \quad (7.3)$$

где β – поправочный коэффициент, значение которого находится в диапазоне $0,6 \div 2,5$, предварительно принимаем $\beta = 1$;

$$s_k = s_n \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} = \\ = 0,023 \cdot \frac{2 + \sqrt{2^2 - [1 - 2 \cdot 0,023 \cdot 1 \cdot (2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,023 \cdot 1 \cdot (2 - 1)} = 0,021 \quad (7.4)$$

– критическое скольжение двигателя.

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,023 \cdot 0,021 \cdot 1 = 0,022 \text{ (Ом)} \quad (7.5)$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 11,03 \cdot 1,023 \cdot 0,021 = 0,24 \text{ (Ом)}, \quad (7.6)$$

где $\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,07^2} - 1^2} = 11,03$ – коэффициент, определяющий

отношение индуктивного сопротивления к.з. в номинальном режиме к приведенному активному сопротивлению обмотки ротора.

Приведенное сопротивление рассеяния обмотки ротора:

$$X_{1н} = 0,58 \cdot \frac{X_{кн}}{C_1} = 0,42 \cdot \frac{0,24}{1,023} = 0,136 \text{ (Ом)} \quad (7.7)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора:

$$X_{2н} = 0,42 \cdot X_{кн} = 0,58 \cdot \frac{0,24}{1,023} = 0,136 \text{ (Ом)} \quad (7.8)$$

ЭДС ветви намагничивания:

$$E_\mu = \sqrt{(U_{1\phi n} \cdot \cos \varphi_n - I_{1н} \cdot R_1)^2 + (U_{1\phi n} \cdot \arccos \varphi_n - I_{1н} \cdot X_{1н})^2} = \\ = \sqrt{(220 \cdot 0,9 - 238,949 \cdot 0,022)^2 + (220 \cdot 1,104 - 938,949 \cdot 0,099)^2} = 193,368 \text{ (В)} \quad (7.9)$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания:

$$X_{\mu} = \frac{E_{\mu}}{I_0} = \frac{193,368}{64,566} = 2,995 \text{ (Ом)} \quad (7.10)$$

После расчета параметров схемы замещения, рассчитаем естественные характеристики электродвигателя.

Естественная механическая характеристика двигателя $\omega(M)$ рассчитывается по выражениям:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} \quad (7.11)$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1-s) \quad (7.12)$$

Номинальный электромагнитный момент АД:

$$M_{эм.н} = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_n \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_n} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_n \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,021}{157,08 \cdot 0,023 \cdot \left[0,24^2 + \left(0,022 + \frac{0,021}{0,023} \right)^2 + \left(\frac{0,022 \cdot 0,021}{0,023 \cdot 2,995} \right)^2 \right]} \quad (7.13)$$

$$= 896,031 \text{ (Н·м)}$$

Момент трения на валу АД:

$$M_{с.дв} = M_{эм.н} - M_{дв.н} = 896,031 - 860,121 = 35,91 \text{ (Н·м)} \quad (7.14)$$

Критический момент АД:

$$M_{эм} = \frac{3 \cdot U_{1\phi n}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{кн}^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2 \right]} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157,08 \cdot \left[0,022 + \sqrt{(0,022^2 + 0,24^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{0,022}{0,24} \right)^2 \right]} \right]} = 1759 \text{ (Н·м)} \quad (7.15)$$

Далее является возможным построение механической характеристики двигателя без закона Колосса, она изображена на рисунке 13.

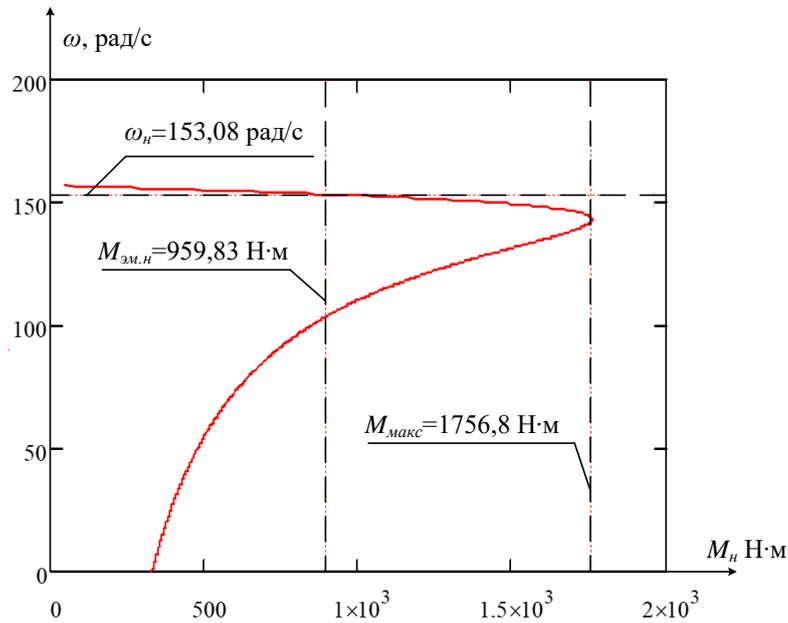


Рисунок 13–Естественная механическая характеристика двигателя

Для построения естественных электромагнитных характеристик будут использоваться следующие выражения:

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}} \quad (7.16)$$

$$I_1'(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2} \quad (7.17)$$

$$\text{где } \sin \varphi_2 = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2}} = \frac{0,24}{\sqrt{\left(0,022 + \frac{0,021}{s}\right)^2 + 0,24^2}}$$

Ниже приведено изображение естественной электромеханической характеристики на рисунок 14.

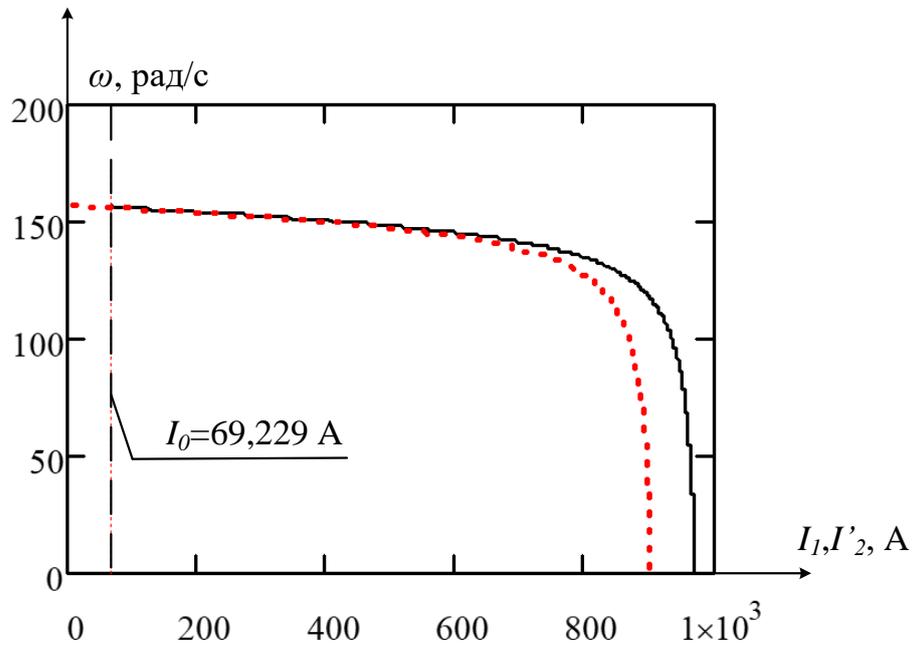


Рисунок 14—Электромеханическая кривая АД

Следующим шагом будет построение кривых характеристик АД в системе ПЧ–АД.

Воспользуемся законом частотного регулирования $\frac{U_1}{f_1} = const$. Данный закон является более сложным в реализации, но позволяет снизить потребление энергии сети за счет дополнительного снижения напряжения.

Механические кривые АД при переменных значениях частоты напряжения питания рассчитываются по выражениям:

$$M_{эм.н} = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2(f_1) \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right) + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_n} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_n \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}} \right)^2 \right]} \quad (7.18)$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s) \quad (7.19)$$

где $U_1(f_1) = U_{1\phi н} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2$ при $f_1 < f_{1\phi н}$; $U_1(f_1) = U_{1\phi н}$ при $f_1 \geq f_{1\phi н}$

Построим семейство механических кривых АД без настроенного частного преобразователя (рисунок 15) по результатам расчета.

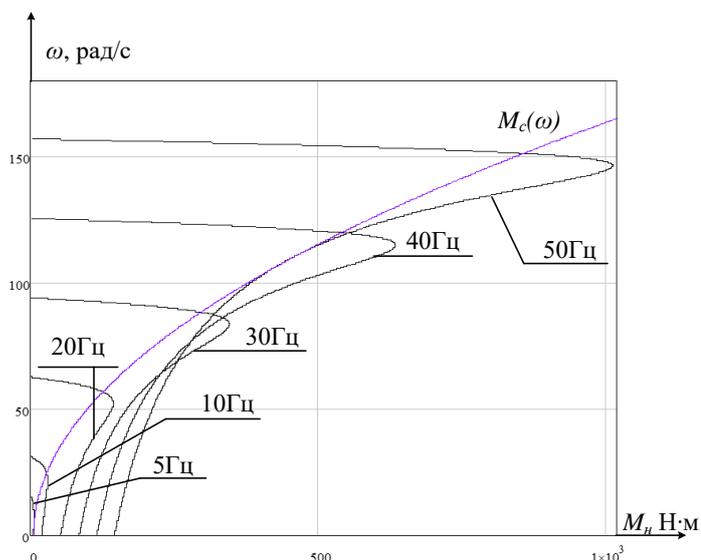


Рисунок 15–Семейство механических характеристик

Проанализировав семейство механических характеристик, можно заметить, что при частоте $f = 5$ Гц не удастся обеспечить запуск двигателя.

Воспользуемся настройкой вольт–частотной характеристики для обеспечения запуска на требуемой частоте и повышения пускового момента путем увеличения напряжения нижним частотам.

Вольт–частотная характеристика представлена зависимостью:

$$U_1(f_1) = U_{1,мин} + (U_{1фн} - U_{1,мин}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 \quad (7.20)$$

Данная характеристика представлена на рисунке 16.

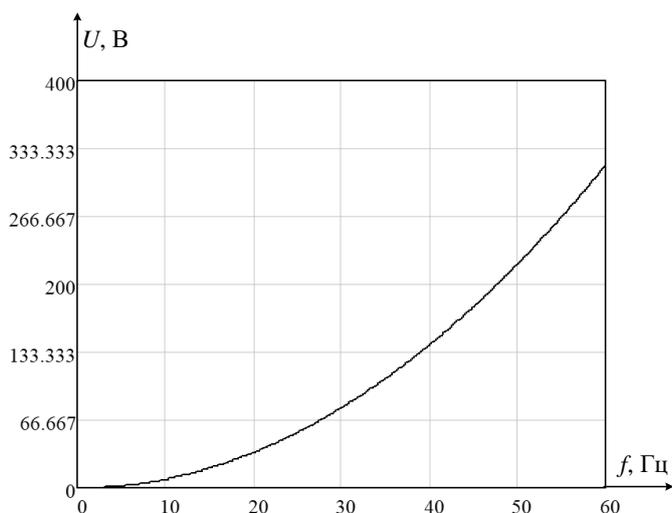


Рисунок 16–Вольт–частотная характеристика частотного преобразователя при законе

регулирования $\frac{U_1}{f_1^2} = const$

Экспериментально выберем параметры начального участка вольт–частотной характеристики с целью обеспечения нужного пускового момента при частоте $f = 5$ Гц. Выберем минимальное напряжение 10В. Построим механические характеристики с учетом настройки (рисунок 17).

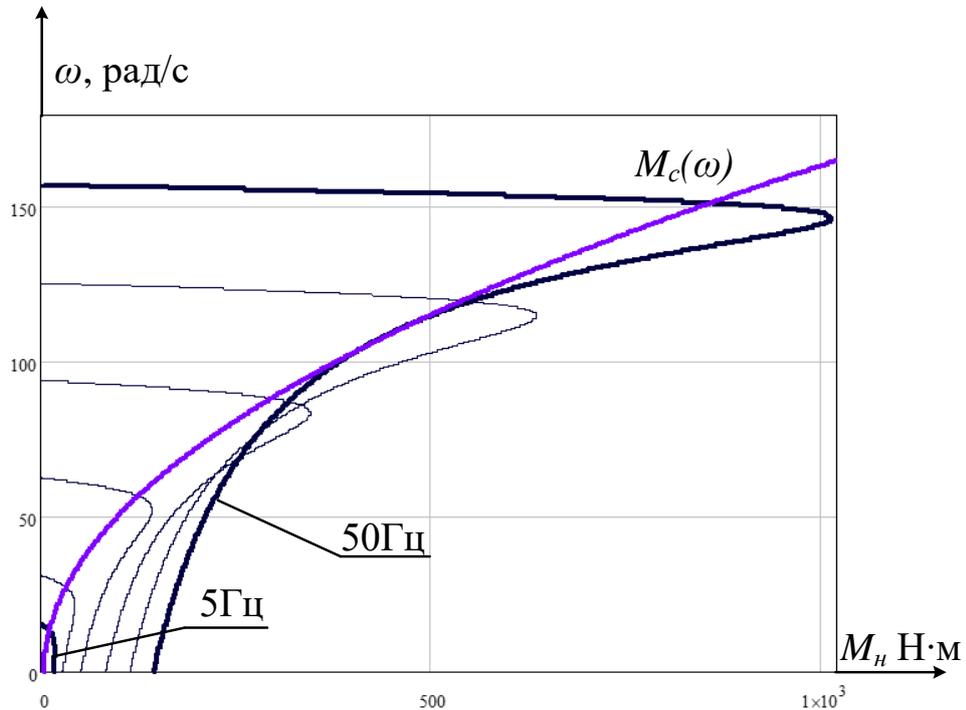


Рисунок 17–Семейство механических характеристик после настройки преобразователя частоты

Электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ разомкнутой системы ПЧ–АД рассчитываются значений частоты по выражениям:

$$I_1'(s) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2^2(s, f_1)^2 + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2^2(s, f_1)^2 \cdot \sin \varphi_2(s, f_1)} \quad (7.21)$$

$$I_0(f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{кн} + X_{\mu})^2 \cdot \left(\frac{f}{f_{1н}}\right)^2}} = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0,022^2 + (0,24 + 2,995)^2 \cdot 1^2}} \quad (7.22)$$

$$I_0(s, f_1) = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{\left(R_1^2 + \frac{R_2'}{s}\right) + X_{кн}^2 \cdot \left(\frac{f}{f_{1н}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f}{f_{1н}}}\right)}} = \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{\left(0,022 + \frac{0,021}{s}\right)^2 + 0,24^2 \cdot 1^2 + \left(\frac{0,022 \cdot 0,021}{s \cdot 2,995 \cdot 1}\right)^2}} \quad (7.23)$$

$$\sin \varphi_2(s, f_1) = \frac{X_{кн} \cdot \frac{f}{f_{1н}}}{\sqrt{\left(R_1^2 + \frac{R_2^2}{s}\right) + X_{кн}^2 \cdot \left(\frac{f}{f_{1н}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{0,24 \cdot 1}{\sqrt{\left(0,022 + \frac{0,021}{s}\right)^2 + 0,24^2 \cdot 1^2}} \quad (7.24)$$

$$U_1(f_1) = 10 + (U_{1\phiн} - 10) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}}\right)^2 \quad (7.25)$$

$$\omega(s, f_1) = 157 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot (1-s) \quad (7.26)$$

После чего можно строить электромеханические характеристики показанные на рисунке 18.

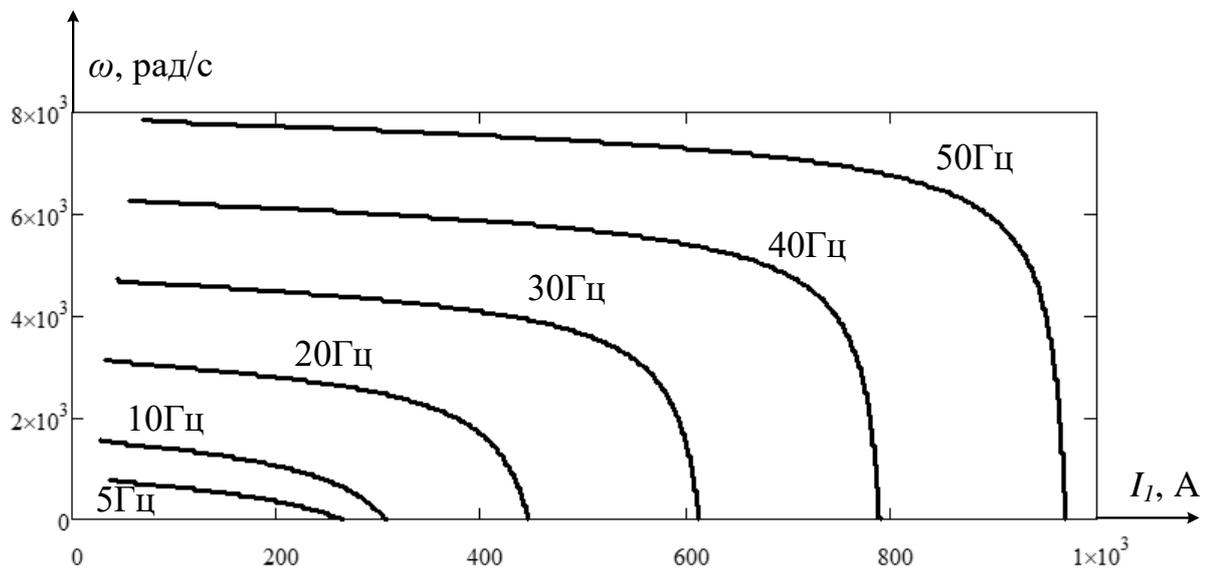


Рисунок 18–Семейство электромеханических характеристик

8. РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В основном потери в электроприводе возникают в электродвигателе. Поэтому их подсчет является довольно важной и ответственной задачей. Суммарные потери мощности в двигателе состоят из магнитных потерь в магнитопроводе статора $\sum P_{cm}$, потерь в обмотке статора $\sum P_1$ и ротора $\sum P_2$, а также механических потерь $\sum P_{мех}$ и дополнительных потерь $\sum P_{дон}$.

Полная мощность:

$$\Delta P_n = P_n \cdot \left(\frac{1}{\eta_n} - 1 \right) = 132000 \cdot \left(\frac{1}{0,93} - 1 \right) = 9935 \text{ (Вт)} \quad (8.1)$$

Переменная составляющая потерь:

$$\begin{aligned} \Delta P_{v.n} &= M_{\text{дв.н}} \cdot (\omega_0 - \omega_{\text{дв.н}}) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = \\ &= 860,121 \cdot (157,08 - 153,467) \cdot \left(1 + \frac{0,022}{0,021} \right) = 6285 \text{ (Вт)} \end{aligned} \quad (8.2)$$

Постоянная составляющая потерь мощности:

$$\Delta P_{c.n} = \Delta P_n - \Delta P_{v.n} = 9935 - 6285 = 3651 \text{ (Вт)} \quad (8.3)$$

Коэффициент потерь:

$$a = \frac{\Delta P_{c.n}}{\Delta P_{v.n}} = \frac{3651}{6285} = 0,581 \quad (8.4)$$

Далее следует произвести расчеты активной энергии. Для этого рассчитаем полезный расход энергии или, как приводится в различной литературе механическую работу по выражению:

$$A_2 = M_c \cdot \omega_{\text{дв.н}} \cdot t_c \quad (8.5)$$

где $t_c=20$ —время установившегося режима.

Таким образом расчет механической работы будет следующим:

$$A_2 = M_c \cdot \omega_{\text{дв.н}} \cdot t_c = 462,431 \cdot 153,467 \cdot 20 = 1,419 \cdot 10^6 \text{ (мВт·с)} \quad (8.6)$$

Постоянная составляющая потерь энергии определяется как:

$$\Delta A_c \approx \Delta P_{c.n} \cdot \left(\frac{\omega_{\text{дв.н}}}{\omega_0} \right) \cdot t_c = 3651 \cdot \left(\frac{153,467}{157,08} \right) \cdot 20 = 69690 \text{ (Вт·с)} \quad (8.7)$$

Приведенный фазный ток ротора рассчитывается следующим образом:

$$I_2' = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left(R_1^2 + \frac{R_2'}{S_c}\right) + X_{кн}^2}} = \frac{380}{\sqrt{\left(0,022 + \frac{0,021}{0,01}\right)^2 + 0,24^2}} = 175,217 \text{ (A)} \quad (8.8)$$

Переменная составляющая потерь энергии можно получить следующим выражением:

$$\Delta A_v = 3 \cdot \left[I_0^2 \cdot R_1 + (I_2')^2 \cdot (b \cdot R_1 + R_2') \right] \cdot t_c \quad (8.9)$$

где $b = 1 + \frac{2 \cdot I_0 \cdot X_k}{U_{1\phi n}} = 1 + \frac{2 \cdot 31,7 \cdot 0,285}{220} = 1,082$ – поправочный коэффициент.

Таким образом:

$$\begin{aligned} \Delta A_v &= 3 \cdot \left[I_0^2 \cdot R_1 + (I_2')^2 \cdot (b \cdot R_1 + R_2') \right] \cdot t_c = \\ &= 3 \cdot \left[31,7 \cdot 0,022 + 175,217^2 \cdot (1,082 \cdot 0,022 + 0,021) \right] = 83890 \text{ (Вт}\cdot\text{с)} \end{aligned} \quad (8.10)$$

Потребляемая из сети энергии находится как:

$$A_1 = A_2 \cdot \Delta A_c \cdot \Delta A_v = (1,419 \cdot 10^6) \cdot 69690 \cdot 83890 = 1,573 \cdot 10^6 \text{ (мВт}\cdot\text{с)}$$

Потребление реактивной энергии определяется как:

$$A_p = \sum_{i=1}^n 3 \cdot \left[I_0^2 \cdot (X_{кн} + X_\mu) + (I_2')^2 \cdot (X_1 + X_2') \right] \quad (8.11)$$

где n – число установившихся режимов.

Таким образом:

$$\begin{aligned} A_p &= \sum_{i=1}^n 3 \cdot \left[I_0^2 \cdot (X_{кн} + X_\mu) + (I_2')^2 \cdot (X_1 + X_2') \right] = \\ &= 3 \cdot \left[31,7^2 \cdot (0,24 + 2,995) + (175,217)^2 \cdot (0,118 + 0,167) \right] = 36000 \text{ (В}\cdot\text{А)} \end{aligned} \quad (8.12)$$

Энергетический (средне цикловой) к.п.д. электропривода:

$$\eta_s = \frac{A_2}{A_1} \cdot 100 = \frac{1,419 \cdot 10^6}{1,573 \cdot 10^6} \cdot 100 = 90,236 \text{ (\%)} \quad (8.13)$$

Энергетический (средне цикловой) коэффициент мощности электропривода определяется как:

$$\cos \varphi = \frac{A}{\sqrt{A_1^2 + A_2^2}} = \frac{1,573 \cdot 10^6}{\sqrt{(1,573 \cdot 10^6)^2 + (1,419 \cdot 10^6)^2}} = 0,742 \quad (8.14)$$

9. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ МОДЕЛИ

Максимальное значение коэффициента усиления ПЧ:

$$k_H = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\Phi H}}{U_{УП.МАКС}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,113 \quad (9.1)$$

где $U_{УП.МАКС} = 10$ – максимальное значение напряжения управления.

Постоянная времени преобразователя:

$$T_H = \frac{1}{f_{ШИМ}} = \frac{1}{5000} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ (с)} \quad (9.2)$$

Эквивалентная индуктивность в статоре:

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_\mu = 5,821 \cdot 10^{-4} + 0,023 = 0,023 \text{ (Гн)} \quad (9.3)$$

Эквивалентная индуктивность ротора:

$$L_2 = L_{2\sigma} + L_\mu = 7,593 \cdot 10^{-4} + 0,023 = 0,024 \text{ (Гн)} \quad (9.4)$$

Коэффициент рассеяния:

$$\sigma = 1 - \frac{L_\mu^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,023^2}{0,023 \cdot 0,024} = 0,056 \quad (9.5)$$

Эквивалентное сопротивление:

$$R_s = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_\mu^2}{L_2^2} = 0,022 + 0,021 \cdot \frac{0,023^2}{0,024^2} = 0,042 \text{ (Ом)} \quad (9.6)$$

Электромагнитные постоянные времени:

$$T_s = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_s} = \frac{0,056 \cdot 0,023}{0,042} = 0,032 \text{ (с)} \quad (9.7)$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0,024}{0,021} = 1,106 \text{ (с)} \quad (9.7)$$

10. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ПУСКЕ ДВИГАТЕЛЯ, НАБРОСЕ И СБРОСЕ НАГРУЗКИ

На рисунке 19 продемонстрирована модель асинхронного двигателя с рассчитанными параметрами в неподвижной системе координат. Реализован прямой пуск асинхронного двигателя без частотного преобразователя.

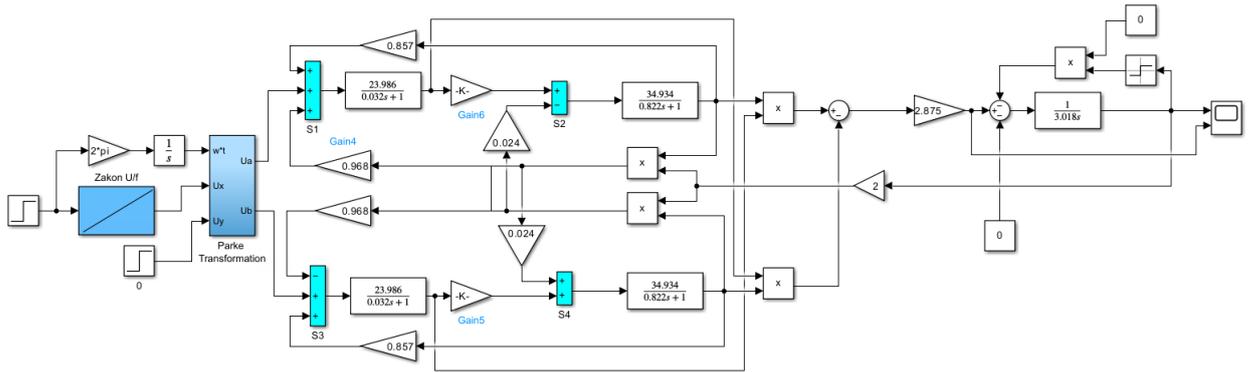


Рисунок 19–Модель АД в неподвижной системе координат

Характеристика работы двигателя без нагрузки показана на рисунке 20:

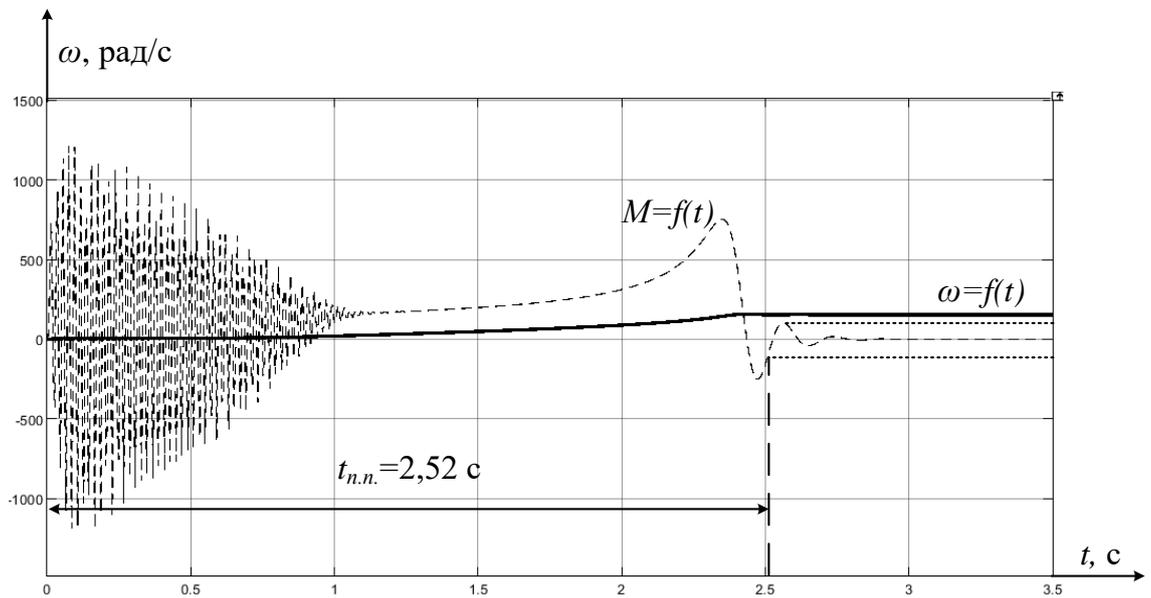


Рисунок 20–Переходный процесс прямого пуска двигателя

Далее продемонстрируем как характеристика двигателя и сам двигатель поведет себя при набросе нагрузки через 5 секунд после его старта работы. Результат моделирования показан на рисунке 21.

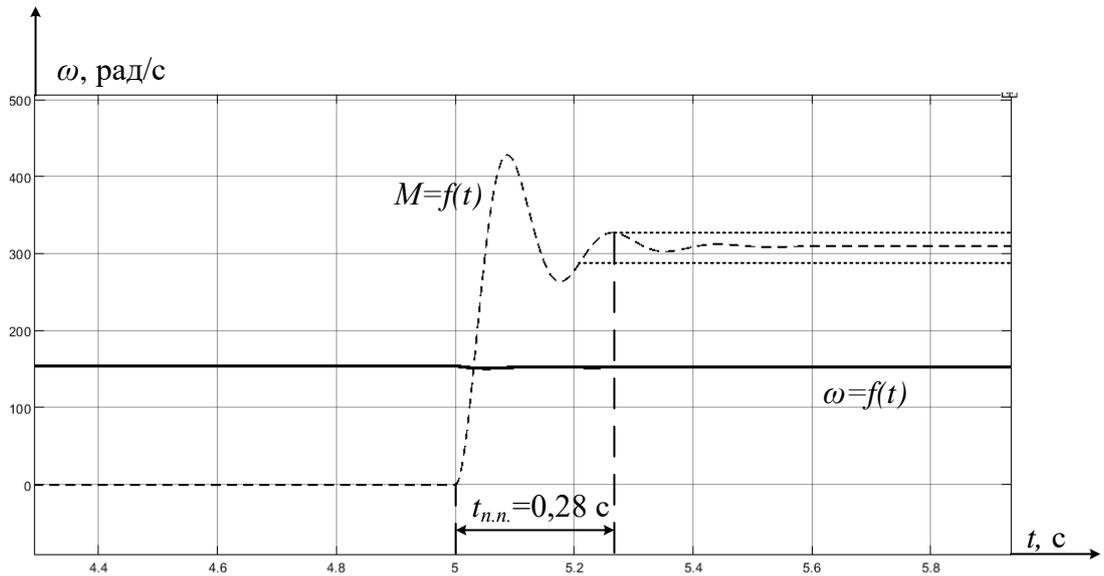


Рисунок 21–Переходный процесс асинхронного двигателя при подачи нагрузки через 5 секунд после пуска

Что будет с характеристикой если по истечении 8 секунд после его старта нагрузку убрать показано на рисунке 22.

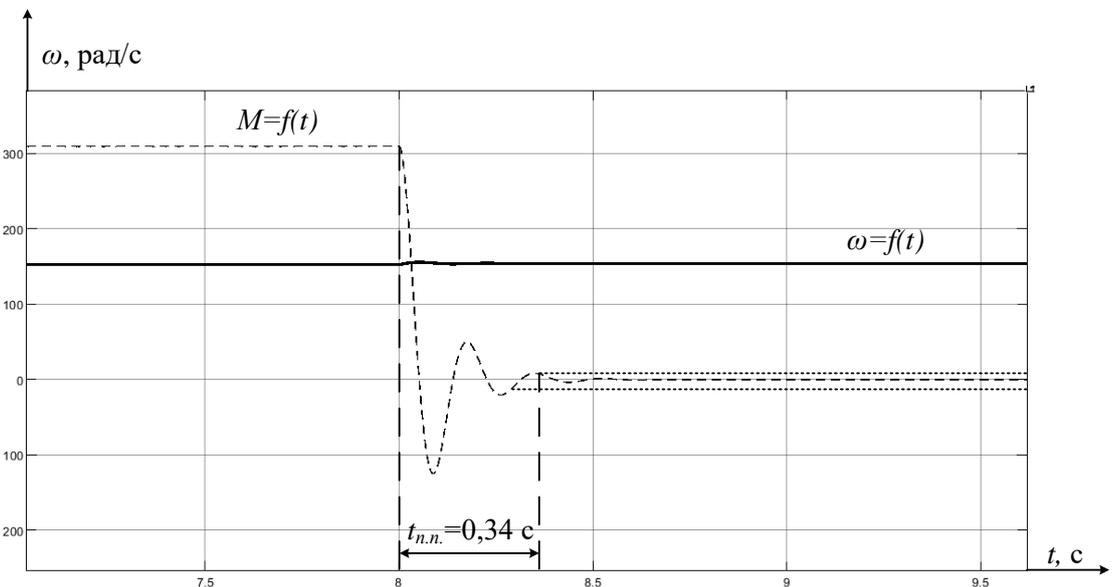


Рисунок 22–переходный процесс при сбросе нагрузки на 8 секунде после его пуска

Как можно заметить время переходных процессов при набросе и сбросе нагрузки с двигателя довольно мало, что в свою очередь является довольно большим плюсом, который означает правильность моделирования в целом.

Промоделируем систему ПЧ–АД для нашего двигателя и покажем переходные процессы для определения качества. Для упрощения восприятия схема была представлена в виду двух subsystem которые представляют собой преобразователь частоты и асинхронный двигатель.

Сама схема представлена на рисунке 23.

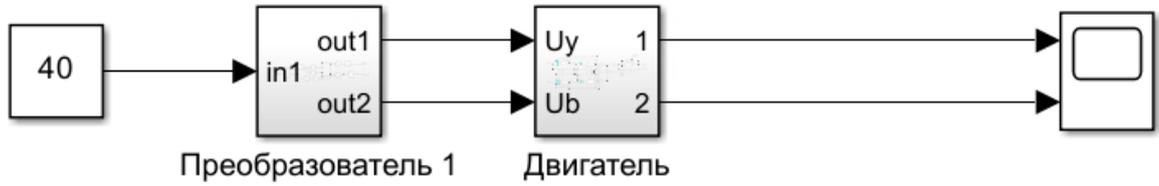


Рисунок 23–Система электропривода ПЧ–АД

В subsystemе преобразователя располагаются следующие блоки:

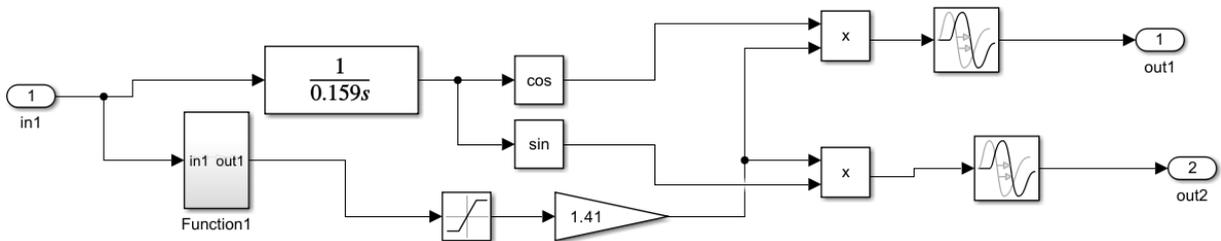


Рисунок 24–Блоки элементов, образующих частотный преобразователь

Subsystem двигателя образуется из ранее представленного асинхронного электродвигателя и выглядит следующий образом:

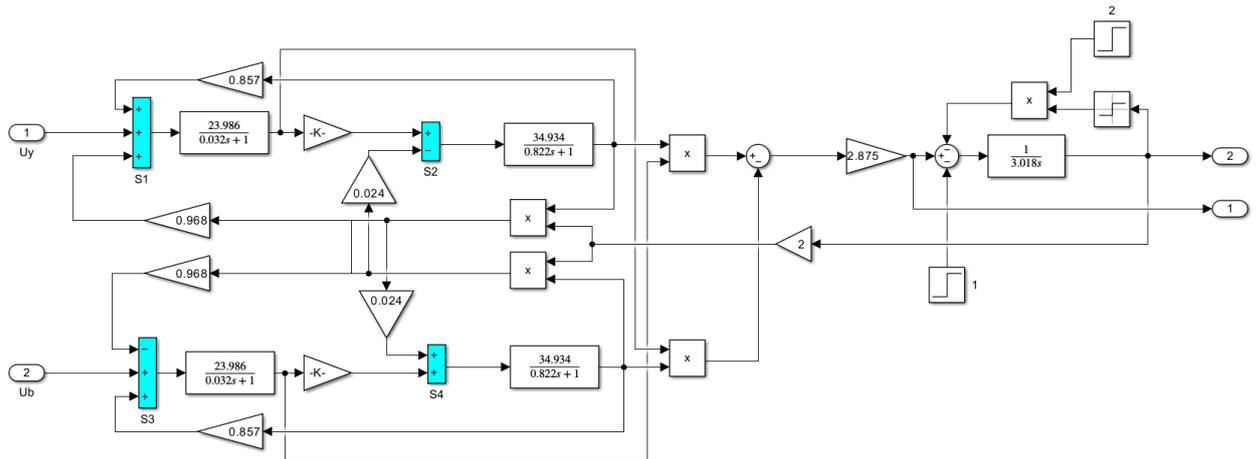


Рисунок 25–Блоки, образующие асинхронный электродвигатель

Таким образом при собранной системе, представленной на рисунке 23 мы можем осуществлять пуск двигателя при разных частотах, которые в свою очередь дадут нам разную синхронную частоту вращения.

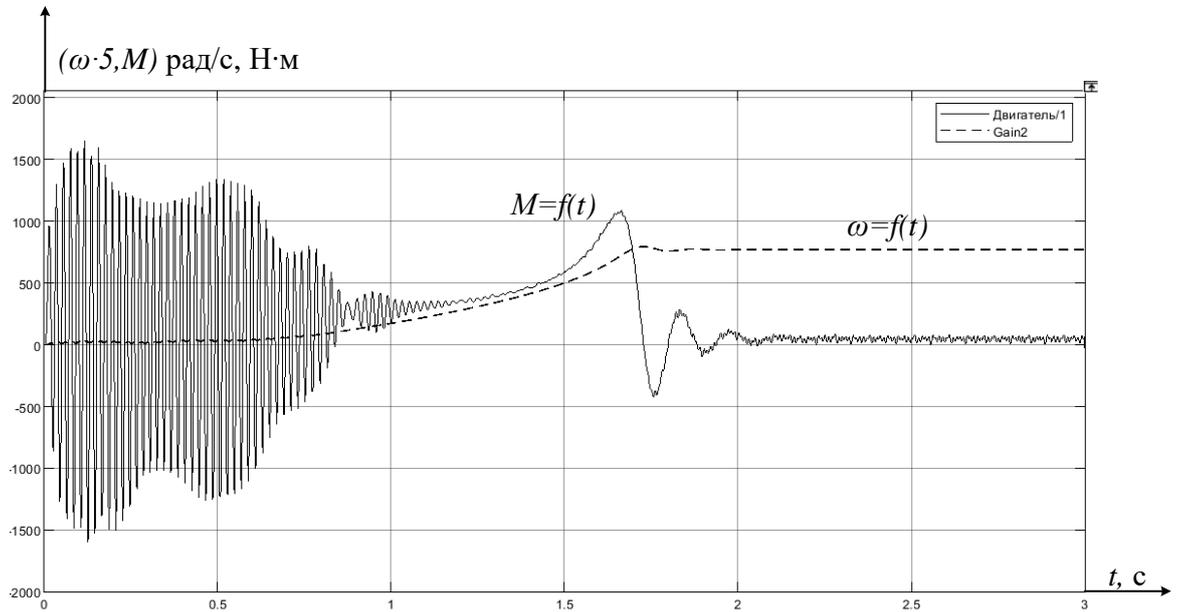


Рисунок 26–Работа системы преобразователь–двигатель

Таким образом получилась система, которая отвечает заданным параметрам качества и производительности. Двигатель может запускаться на разных частотах и выдавать различную скорость вращения в зависимости от поставленной задачи.

11. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В этом разделе будут преследоваться цели проектирования и создания конкурентноспособных разработок и технологий, которые будут отвечать современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели происходит в результате выполнения следующих задач:

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

исследования.

11.1 АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Анализ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения приведен в таблице 7.

Таблица 7–Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		БА	БГ	БВ	КА	КГ	КВ
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0,05	1	1	1	0,05	0,05	0,05
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Уровень шума	0,075	3	3	3	0,225	0,225	0,225
Надежность	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
Безопасность	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
Энергоэкономичность	0,125	4	1	1	0,5	0,125	0,125

Продолжение таблицы 7

Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,3
Уровень проникновения на рынок	0,05	5	2	2	0,25	0,1	0,1
Цена	0,075	3	3	3	0,225	0,225	0,225
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
Послепродажное обслуживание	0,075	4	3	4	0,3	0,225	0,3
Финансирование научной разработки	0,05	4	1	1	0,2	0,05	0,05
Наличие сертификации разработки	0,05	2	1	1	0,25	0,05	0,05
Итого	1	49	30	32	3,8	2,4	2,575

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1–наиболее слабая позиция, а 5–наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (11.1)$$

где K–конкурентоспособность вида;

B_i –вес критерия (в долях единицы);

B_i –балл i -го показателя.

Итог анализа:

Данная установка является энергоэффективной, а также, в системе используется частотно регулируемая система, что гарантирует надежную работу и простоту в управлении, а также возможность легкой настройки для автоматических режимов работы.

Данный анализ показывает, что продукт конкурентоспособен, и он может заинтересовать инвесторов, т.к. экономия энергии и ресурсов является одной из главных задач современности.

11.2 SWOT–АНАЛИЗ ПРОЕКТА

SWOT-анализ—метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории:

1. Strengths (сильные стороны),
2. Weaknesses (слабые стороны),
3. Opportunities (возможности),
4. Threats (угрозы).

Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также его возможности и угрозы. Матрица SWOT–анализа представлена в таблице 8.

Таблица 8–Матрица SWOT анализа

	Сильные стороны проекта: С1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Квалифицированный персонал.	Слабые стороны проекта: Сл1. Трудность монтажа оборудования Сл2. Дороговизна оборудования Сл3. Сложность эксплуатации электрооборудования
--	---	---

Продолжение таблицы 8

<p>Возможности: В1. Существование потенциального спроса на новый продукт со стороны нефтяных компаний; В2. Возможность выхода на мировой рынок; В3. Привлечение потенциальных клиентов в качестве инвесторов.</p>	<p>В1С1С2; В2С1С2С3; В3С1С2;</p>	<p>В1Сл1Сл3 В2Сл2Сл3; В3Сл2;</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства у зрелых компаний; У2. Развитая конкуренция технологий производства.</p>	<p>У1С3; У2С1;</p>	<p>У1Сл1Сл2Сл3; У2Сл2;</p>

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 9 и 10, показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 9–Интерактивные матрицы возможностей

Возможности проекта	Сильные стороны проекта			
		С1	С2	С3
	В1	+	+	–
	В2	+	+	+
	В3	–	+	–
	Слабые стороны проекта			
		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	+	–	+
	В2	–	+	+
	В3	–	+	–

Таблица 10–Интерактивные матрицы угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта			
		С1	С2	С3
	У1	–	–	+
	У2	+	–	–
	Слабые стороны проекта			
		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+
	У2	–	+	–

После проведения анализа были выявлены недостатки и риски использования разрабатываемой установки, включая ее высокую сложность эксплуатации и отсутствие спроса на рынке. Для решения этих проблем рекомендуется найти опытных специалистов, которые смогут правильно обучить пользователей работе с установкой и продемонстрировать ее экономическую и энергоэффективность, пользу и инновационность.

11.3 ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО–ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

11.3.1 СТРУКТУРА РАБОТ В РАМКАХ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Планирование предполагаемых работ осуществляется в следующем рекомендуемом порядке:

1. определение структуры работ в рамках исследования
2. определение участков в каждой работы
3. установление продолжительности
4. построение графика проведения исследований

Для осуществления научных исследований создается команда, которая может состоять из ученых, преподавателей, инженеров и лаборантов. Количество участников в группе может изменяться. Каждой задаче назначается соответствующий сотрудник.

В разделе составлен перечень различных этапов и работ для научного исследования. Так же произведено распределение исполнителей по каждому из видов работ. Результаты распределения исполнителей по работам приведен в таблице 11.

Таблица 11–Распределение исполнителей по видам работ

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования установки	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
Расчеты и проектирование конструкции лабораторной установки	3	Выбор направления исследования	Инженер, научный руководитель
Анализ режимов работы модели	4	Создание модели	Инженер, научный руководитель
	5	Проведение графических построений и обоснований	Инженер, научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер совместно с научным руководителем
Оформление отчета по техническому проектированию	7	Составление пояснительной записки	Инженер
	8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель

11.3.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА

Основная часть стоимости разработки в большинстве случаев складывается из трудовых затрат, таким образом определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования является важным моментом.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко–днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min.i} + 2t_{\max.i}}{5} \quad (11.3.2.1)$$

где $t_{ожі}$ –ожидаемая трудоемкость выполнения i –ой работы чел.–дн.;

$t_{\min i}$ –минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i –ой работы, чел.–дн.;

$t_{\max i}$ –максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i –ой работы, чел.–дн.;

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ по нескольким исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (11.3.2.2)$$

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

$t_{ожі}$ –ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

11.3.3 РАЗРАБОТКА ГРАФИКА ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Чтобы сделать построение графика более удобным, необходимо преобразовать длительность каждого этапа работ в рабочих днях в календарные. Для этой операции следует использовать специальную формулу:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (11.3.3.1)$$

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

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

$k_{кал}$ –коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} \quad (11.3.3.2)$$

где $T_{\text{кал}}=365$ –количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}=52$ –количество воскресений;

$T_{\text{пр}}=14$ –количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - (52 + 14)} = 1,22 \quad (11.3.3.4)$$

Все расчетные значения приведены в таблицу 12 (Исп.1–руководитель, Исп.2–инженер).

Таблица 12–Временные показатели проведения исследования

Название работ	Трудоемкость работ						Испол–ли		Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел-дни		$t_{\text{ож}}$, чел-дни							
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Составление и утверждение технического задания	1	–	2	–	1,4	–	1	–	1,4	–	1,7	–
Подбор и изучение материалов по теме	–	3	–	6	–	4,2	1	1	–	4,2	–	5,12
Выбор направления исследования	2	15	4	25	2,8	19	1	1	2,8	19	3,41	23,18

Продолжение таблицы 12

Создание модели	2	20	4	25	2,8	19	1	1	2,8	19	3,41	28,18
Проведение графических построений и обоснований	1	15	2	14	1,4	10,8	1	1	1,4	10,8	1,7	18,17
Оценка эффективности полученных результатов	2	5	4	7	2,8	5,8	1	1	2,8	5,8	3,4	7,07
Составление пояснительной записки	–	6	–	10	–	7,6		1	–	7,6	–	9,27
Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	3	–	5	–	3,8	–	1	–	3,8	–	4,6	–
Итого									15	67	16	76

Итого длительность работ–76 календарных дней.

На основе таблицы 6 строится календарный план–график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Календарный план-график проведения НИОКР приведен в таблице 13.

Таблица 13–Календарный план

№ п/п	Название работ	Исполнители	T_{ki} раб. дн.	1	2	3-4	5-13	14-33	34-40	41-47	48-53	54-75	76
1	Составление ТЗ	НР	1										
2	Подбор и изучение материалов по теме	С	2										

Продолжение таблицы 13

3	Выбор направления исследований	НР	1									
		С	1									
4	Создание модели	НР	4									
		С	4									
5	Проведение графических построений и обоснований	НР	3									
		С	22									
6	Анализ и оценка полученных результатов	НР	3									
		С	9									
7	Составление ПЗ	С	21									
8	Проверка ВКР	НР	1									

11.4 РАСЧЕТ БЮДЖЕТА ДЛЯ НАУЧНО–ТЕХНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

11.4.1 РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНЫХ ЗАТРАТ НТИ

Материальные затраты, необходимые в данной работе сведены в таблицу 14.

Таблица 14–Материальные затраты

Наименование	Ед. измер.	Количество		Цена за ед. руб.		Затраты на материалы, (З _м), руб.	
		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Бумага А4	Упак.	1	1	350	350	350	350
Канцелярские принадлежности	-	-	-	-	-	500	500
Итого		1700				850	850

11.4.2 РАСЧЕТ ЗАТРАТ НА СПЕЦИАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАУЧНЫХ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ) РАБОТ

В статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Необходимо также учитывать амортизацию оборудования $I_{ам}$:

$$I_{ам} = \left(\frac{T_{исп}}{365} \right) \cdot K_{обр} \cdot H_a \quad (11.4.2.1)$$

где $T_{исп}$ – время использования оборудования (дн);

365 дней – количество дней в году;

$K_{обр}$ – стоимость оборудования (руб.);

H_a – норма амортизации.

Сама норма амортизации считается следующим образом:

$$H_a = \frac{1}{T_{сс}} \quad (11.4.2.2)$$

где $T_{сс}$ – срок службы оборудования (год).

Амортизация персонального компьютера научного руководителя:

$$I_{ам} = \left(\frac{90}{365} \right) \cdot 30000 \cdot \frac{1}{15} = 493.15 \text{ руб.} \quad (11.4.2.3)$$

Амортизация персонального компьютера инженера (студента):

$$I_{ам} = \left(\frac{90}{365} \right) \cdot 45000 \cdot \frac{1}{15} = 739.73 \text{ руб.} \quad (11.4.2.4)$$

Амортизация принтера научного руководителя:

$$I_{ам} = \left(\frac{90}{365} \right) \cdot 5000 \cdot \frac{1}{15} = 82.2 \text{ руб.} \quad (11.4.2.5)$$

Амортизация принтера инженера (студента):

$$I_{ам} = \left(\frac{90}{365}\right) \cdot 3000 \cdot \frac{1}{15} = 49.3 \text{ руб.} \quad (11.4.2.6)$$

Результаты подсчетов сведены в таблицу 15.

Таблица 15–Затраты на специальное оборудование

Наименование	Ед. измер.	Количество		Цена за ед., руб.		Затраты на оборудование, (Зм), руб.	
		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Компьютер	Шт.	1	1	30000	45000	35650	49050
Принтер	Шт.	1	1	5000	3000	5750	3450
Итого						93900	
Амортизационные отчисления						1364,38	

11.4.3 РАСЧЕТ ЗАТРАТ НА ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Программное обеспечение–неотъемлемая часть компьютерной системы. Оно является логическим продолжением технических средств. Сфера применения конкретного компьютера определяется созданным для него ПО. Сам по себе компьютер не обладает знаниями ни в одной области применения. Все эти знания сосредоточены в выполняемых на компьютерах программах.

Произведем анализ программного обеспечения, которое потребуется для выполнения научного исследования. Данные внесены в таблицу 16.

Таблица 16–Затраты для программного обеспечения

Наименование оборудования	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на оборудование, (ЗМ), руб.
Программный комплекс Mathcad Education–Student Edition	1	4238	4238
Лицензия на программное обеспечение Microsoft Office	1	9490	9490
Итого			13728

11.4.4 ОСНОВНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА ИСПОЛНИТЕЛЕЙ ТЕМЫ

В этой статье учитывается основной заработок научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, которые непосредственно участвуют в выполнении работ на данную тему. Величина издержек на заработную плату определяется исходя из сложности работ и текущей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы также входит премия, которая ежемесячно выплачивается из фонда заработной платы и составляет от 20% до 30% от тарифа или оклада. Итоговый доход работника ТПУ составляет:

$$Z_{zn} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (11.4.4.1)$$

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

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

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} + T_p \quad (11.4.4.2)$$

где $Z_{осн}$ —основная заработная плата одного работника;

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

$Z_{дн}$ —среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (11.4.4.3)$$

где Z_m —месячный должностной оклад работника, руб.;

F_d —действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.;

M —количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5–дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6–дневная неделя.

Таблица 17–Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
–выходные дни	52	104
–праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
–отпуск	48	28
–невыходы по болезни	2	2
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	217

Месячный должностной оклад научного руководителя:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot k_p \quad (11.4.4.4)$$

где Z_{mc} –заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_p –районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Месячный должностной оклад работника взят согласно приказу ТПУ.

Расчет основной заработной платы приведён в таблице 18.

Таблица 18–Расчет заработной платы

Исполнители	Разряд	Z_m без учета РК, руб.	Z_m с учетом РК, руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	Доцент	39300	51090	2159,9	15	32398,5
Бакалавр	Инженер	16300	21190	1093,68	67	73276,56
Итого						105675,06

11.4.5 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА ИСПОЛНИТЕЛЕЙ ТЕМЫ

Расчет дополнительной заработной платы следует вести по нижеприведенной формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (11.4.5.1)$$

где $k_{доп}$ –коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

Результаты расчета представлены в таблице 19.

Таблица 19–Расчет основной и дополнительной заработной платы

Наименование	Руководитель	Бакалавр
Основная заработная плата, руб.	32398,5	73276,56
Дополнительная заработная плата, руб.	4859,78	10991,48
Итого дополнительная заработная плата, руб.	15851,26	

11.4.6 ОТЧИСЛЕНИЯ ВО ВНЕБЮДЖЕТНЫЕ ФОНДЫ

Государственные внебюджетные фонды формируются за пределами государственного бюджета и являются централизованными целевыми фондами. Такие фонды формируются за счет обязательных отчислений и платежей юридических лиц для реализации конституционных гражданских прав населения Российской Федерации.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{дон}) \quad (11.4.6.1)$$

где $k_{внеб}$ –коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, составляет 0,302.

Таблица 20–Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Наименование	Руководитель	Бакалавр
Основная заработная плата, руб.	32398,5	73276,56
Дополнительная заработная плата, руб.	4859,78	10991,48
Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, $k_{внеб}$	0,302	
Итого величина отчислений во внебюджетные фонды, руб.	11252	25448,95
Суммарная величина отчислений во внебюджетные фонды, руб.	36700,95	

11.4.7 НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в другие статьи расходов. Их величина определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статьи}) \cdot k_{\text{нр}} \quad (11.4.7.1)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%. Таким образом размер накладных расходов составит:

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (1700 + 95264,38 + 13728 + 10567,06 + 15851,26 + 36700,95) = 27809,9 \quad (11.4.7.2)$$

11.4.8 ФОРМИРОВАНИЕ БЮДЖЕТА ЗАТРАТ НАУЧНО–ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТА

Оценка затрат на научно-исследовательскую работу определяет основу для составления бюджета проекта, и научная организация использует эту сумму в качестве минимальной стоимости разработки научно-технической продукции при заключении контракта с заказчиком.

Определение бюджета затрат на научно–исследовательский проект сведено в таблицу 21.

Таблица 21–Расчет затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	1700	Пункт 1.4.1
2. Затраты на специальное оборудование	95264,38	Пункт 1.4.2
3. Затраты на программное обеспечение	13728	Пункт 1.4.3
4. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	10567,06	Пункт 1.4.4
5. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	15851,26	Пункт 1.4.5
6. Отчисления во внебюджетные фонды	36700,95	Пункт 1.4.6
7. Накладные расходы	27765,15	Пункт 1.4.7
8. Бюджет затрат НТИ	173811,65	Сумма ст. 1-7

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию технического проекта составят примерно 202 тыс. руб., из которых большую часть составят затраты по основной з/п.

При необходимости снизить общие затраты на реализацию проекта, рекомендуется использовать в качестве выборки оборудования какое-либо другое исполнение.

11.5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСНОЙ (РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ), ФИНАНСОВОЙ, БЮДЖЕТНОЙ, СОЦИАЛЬНОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{фин.р}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (11.5.1)$$

где $I_{фин.i}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

$$I_{фин.р}^{исп.1} = \frac{201297,32}{412537,58} = 0,49 \quad (11.5.2)$$

$$I_{фин.р}^{исп.2} = \frac{412537,58}{412537,58} = 1 \quad (11.5.3)$$

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i \quad (11.5.4)$$

где I_p – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Оценка характеристик вариантов исполнения проектов для сравнения представлена в таблице 22.

Таблица 22 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	3
3. Надежность	0,15	5	4
4. Безопасность	0,2	5	5
5. Простота эксплуатации	0,1	4	4
6. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5
7. Уровень проникновения на рынок	0,2	4	4
Итого	1	30	29

$$I_{p-usc1} = 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 4,35; \quad (11.5.5)$$

$$I_{p-usc2} = 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,2. \quad (11.5.6)$$

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

$$I_{usc1} = \frac{I_{p-usc1}}{I_{фин.р}^{usc1}} = \frac{4,35}{0,49} = 8,9 \quad (11.5.7)$$

$$I_{usc2} = \frac{I_{p-usc2}}{I_{фин.р}^{usc2}} = \frac{4,2}{1} = 4,2 \quad (11.5.8)$$

Сопоставление измерения эффективности различных вариантов разработки позволит определить относительную эффективность проекта и выбрать наиболее оптимальный вариант из доступных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{usc1}}{I_{usc2}} \quad (11.5.9)$$

Таблица 23–Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,49	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,35	4,2
3	Интегральный показатель эффективности	8,9	4,2
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2,12	0,5

Путем сравнения интегральных показателей эффективности можно установить, что первая реализация технологии представляет собой более выгодное решение по финансовым и ресурсным параметрам, с точки зрения поставленной задачи в данном исследовании.

11.6 ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАЗДЕЛУ ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были решены следующие задачи:

1. Путем проведения SWOT-анализа была определена высокая коммерческая перспективность и перспективность научного исследования. Возможности имеются благодаря актуальности проводимого исследования и растущей потребности в использовании методики вместе с ВИЭ.

2. Определена структура работ и количество исполнителей работы. Разработан календарный план-график для проведения НИР. Общее число работ составило 12. Общая длительность выполнения работы составила 76 календарных дней.

Определен бюджет НИР, который составил 173811,65.

12. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Безопасность жизнедеятельности человека в среде обитания и работы описывают такие факторы как характер труда, организация рабочего места рабочего и соответственно наличие опасных и вредных производственных факторов. Одним из важнейших аспектов в организации трудовой деятельности человека является ничто иное как социальная ответственность трудовой деятельности непосредственно.

В данном разделе будут рассмотрены вредные и опасные производственные факторы, действующие на инженера-проектировщика в учебном помещении, в котором производится проектирование релейной защиты на ЭВМ, а также будет рассмотрена безопасность в чрезвычайных ситуациях и экологическая безопасность.

Рассматриваемое рабочее место инженера-проектировщика находится в учебном помещении. Вся работа по проектированию производится на персональном компьютере. В процессе разработки инженер-проектировщик подвергается воздействию ряда различных факторов среды, которые влияют на его здоровье. Совокупность всех факторов, влияющих на здоровье человека, называется условиями труда. Условия труда характеризуются вредными и опасными факторами. Данные факторы могут рано или поздно привести к потере здоровья или к несчастному случаю. Поэтому главной целью улучшения условий труда является обеспечение безопасности труда, сохранение жизни и здоровья работающих, сокращение количества несчастных случаев и заболеваний.

12.1 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Права и обязанности, которые имеет работник, описаны в Трудовом кодексе РФ [1]. В нем содержатся основные положения отношений между организацией и сотрудниками, включая оплату и нормирование труда, выходных, отпуска, защиту персональных данных работника и так далее. Согласно трудовому кодексу РФ, режим рабочего времени определяется с учётом особенностей проводимой работы. При этом труд работника должен оплачиваться согласно заключенному трудовому договору, но не ниже величины прожиточного минимума трудоспособного населения.

С целью распознавания вредных и опасных производственных факторов, а также оценки уровня их воздействия на работника и установления классов условий труда на рабочих местах обязательным является проведение специальной оценки условий труда в соответствии с Федеральным законом «О специальной оценке условий труда» (СОУТ) [2].

Важным аспектом являются организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны. Рабочее место для проведения проектных расчетов в лаборатории должно соответствовать ГОСТ 12.2.032-78 [3] и обеспечивать возможность удобного выполнения работ в положении сидя. Согласно ГОСТ 12.2.003-91 элементы конструкции оборудования, используемого на рабочем месте, не должны иметь острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих [4].

Перед началом работы в лаборатории сотрудники и студенты обязаны пройти инструктаж по технике безопасности и по пожарной безопасности. К выполнению работы в учебной лаборатории допускается лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование. Во избежание несчастных случаев следует проводить обучение и проверять знания работников лаборатории согласно ГОСТ 12.0.004-2015 [5].

Рабочее место сотрудника лаборатории 8 корпуса ТПУ соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

12.2 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

12.2.1 АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ

На работников в офисе либо же научных деятелей так же, как и на работников предприятий влияют негативные факторы окружающей среды и рабочей зоны.

Вредные и опасные факторы, характерные для офисной рабочей среды, приведены в таблице 24 согласно классификации ГОСТ 12.0.003-2015 [6].

Таблица 24—Опасные и вредные факторы для офисной рабочей среды

Факторы	Нормативные документы
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"
Производственные факторы, связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека	ГОСТ Р 50948-2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности.
Нервно-психические перегрузки	МР 2.2.9.2311-07 Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
Производственные факторы, связанные с электрическим током	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

12.2.2 ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ

12.2.2.1 НЕДОСТАТОК НЕОБХОДИМОГО ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Дефекты в освещении, вызванные недостаточным освещением либо же полным его отсутствием приводят могут привести к снижению внимания рабочего что может привести к несчастному случаю на производстве.

Минимальная освещенность на рабочих местах не должна отличаться от нормируемой средней освещенности в помещении более чем на 10% согласно СанПин 1.2.3685-21 [7]. Также освещение не должно создавать бликов на экране компьютера. Для исключения бликов отражения в экране светильников общего освещения рабочий стол с ПЭВМ следует размещать между рядами светильников. При этом светильники должны быть расположены параллельно горизонтальной линии взгляда работающего.

Таблица 25—Требования к освещению помещений с ЭВМ [7]

Рабочая поверхность и плоскость нормирования освещенности (Г - горизонтальная, В - вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Разряд и подразряд зрительной работы	Искусственное освещение				
		Освещенность, лк			Объединенный показатель дискомфорта UGR, не более	Коэффициент пульсации Кп, % не более
		при комбинированном освещении		при общем освещении		
		всего	от общего			
Г-0,8	А2	500	300	400	14	5
В-1,2	Б2	–	–	Не более 200	–	–

Системы комбинированного освещения рекомендуется использовать в помещениях, где работа с документами является основным занятием как в производственных, так и в административно–общественных зданиях.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях для использования ЭВМ следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и выполнять своевременную замену перегоревших ламп.

Для обеспечения указанной освещённости в качестве источников общего и местного освещения используют светодиодные лампы. Условия труда по фактору, связанному с отсутствием или недостатками необходимого искусственного освещения, соответствуют оптимальным (1 класс) согласно результатам проведения СОУТ в НИ ТПУ в 2022 году [8].

12.2.2.2 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ, СВЯЗАННЫЕ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ, НЕОНИЗИРУЮЩИМИ ТКАНИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Длительное воздействие ЭМП вызывает нарушения центральной нервной системы, изменения эндокринно-обменных процессов и состава крови, поскольку электромагнитная энергия в человеческом теле превращается в нетепловую форму (из-за молекулярного резонансного истощения, фитохимических реакций и других факторов).

Электромагнитная обстановка в офисных зданиях характеризуется большим числом разнообразных источников электромагнитных полей разной интенсивности и широкого частотного диапазона. Монитор компьютера создает излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Кроме того, образуются электрические и магнитные поля промышленной частоты 50 Гц от кабелей электропитания и систем освещения, а также электромагнитные поля радиочастотных диапазонов 10-30 кГц и 30 кГц-300 МГц от схем управления светодиодными источниками освещения рабочих мест и от сетевых.

Согласно ГОСТ Р 50948-2001, напряженность электрической составляющей электромагнитного поля в точке, расположенной по нормали к центру экрана на расстоянии 40 см от центра клавиатуры не должна превышать 25 В/м в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц, и 2,5 В/м – в диапазоне от 2 до 400 кГц. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250 нТл, и 25 нТл – в диапазоне от 2 до 400 кГц [9].

К основным методам защиты персонала от ЭМП относятся следующие:

- ограничение времени нахождения работающих в ЭМП;
- рациональное размещение оборудования (защита расстоянием);
- использование отражающих и поглощающих экранов, которые должны быть заземлены для обеспечения стекания зарядов;
- применение средств индивидуальной защиты (специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани, и защитные очки).

12.2.2.3 НЕРВНО–ПСИХИЧЕСКИЕ ПЕРЕГРУЗКИ

Нервно–психические перегрузки являются следствием информационного взаимодействия в системе «пользователь–ЭВМ». Они обусловлены несогласованностью параметров информационных технологий с психофизиологическими возможностями человека, необходимостью постоянного наблюдения за информационными символами и быстрого анализа динамично меняющейся информации.

К основным нервно-психическим перегрузкам оператора ЭВМ, относятся: повышенные зрительные напряжения; умственные и нервно-эмоциональные перегрузки; монотонность труда.

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве—это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека.

В процессе работы для уменьшения отрицательного влияния монотонности рекомендуется менять вид работы, например чередовать ввод данных и редактирование, считывание информации и ее осмысление.

Согласно МР 2.2.9.2311-07 [10] в целях снижения нервного напряжения, утомления зрительной и опорно-двигательной систем оператора рекомендуется следующий режим его работы.

Таблица 26–Суммарное время регламентируемых перерывов [10]

Вид работы	Уровень нагрузки			Суммарное время перерывов, мин.	
	группа А (считывание информации), кол-во знаков	группа Б (ввод информации), кол-во знаков	группа В (творческая работа в режиме диалога), ч	При 8–часовой смене	При 12–часовой смене
I	до 20 000	до 15 000	до 2	50	80
II	до 40 000	до 30 000	до 4	70	110
III	до 60 000	до 40 000	до 6	90	140

Не рекомендуется работать на персональном компьютере более 2 часов подряд без перерыва, поэтому суммарное время перерыва следует равномерное распределить в течение рабочего дня.

Условия труда по фактору, связанному неионизирующим излучением, соответствуют допустимым (2 класс) согласно результатам проведения СОУТ в НИ ТПУ в 2022 году [8].

12.2.2.4 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ, СВЯЗАННЫЕ С АНОМАЛЬНЫМИ МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

Микроклимат в производственных помещениях–это условия внутренней среды, определяемые температурой, влажностью, скоростью движения воздуха и температурой поверхностей. В зависимости от времени года можно выделить холодный и теплый периоды, соответствующие среднесуточной температуре ниже и выше +10°С.

Работа, связанная с проектированием электропривода буровой установки, относится к легкой категории Iб по энергетическим затратам организма (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением). Оптимальные показатели микроклиматических условий для данной категории работ согласно ГОСТ 12.1.005-88 [11] приведены в таблице 27.

Таблица 27–Нормируемые показатели параметров микроклимата

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
Холодный	Легкая Iб	21–23	20–24	40–60	75	0,1	менее 0,2
Теплый		22–24	21–28	40–60	60	0,2	0,1–0,3

В холодный период года система центрального водяного отопления используется для удержания оптимальной температуры воздуха, в то время как для поддержания необходимой температуры в тёплый период года применяются системы кондиционирования и приточно-вытяжной вентиляции, а место для впуска свежего воздуха располагают с наветренной стороны зданий.

Благодаря соблюдению данных мер условия труда, связанные с микроклиматическими параметрами, соответствуют оптимальным согласно результатам проведения СОУТ в НИ ТПУ [8].

12.2.2.5 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ, СВЯЗАННЫЕ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

В помещениях с большим количеством устройств, работающих на однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц, есть риск возникновения опасных факторов. Проходя через тело человека, такой ток оказывает сложное воздействие, включающее термические, электролитические, биологические и механические факторы, которые могут привести к местным повреждениям тканей и органов, а также к общему нарушению функций организма.

Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) лабораторные помещения по степени опасности поражения электрическим током относятся к классу помещений без повышенной опасности, поскольку в этих помещениях влажность воздуха не превышает 75%; температура окружающей среды не превышает 35°C; отсутствует токопроводящая пыль и токопроводящие полы; отсутствует возможность одновременного касания проводящих конструкций здания, аппарата, механизма соединенных с землей и проводящих частей электрооборудования [12].

Причины поражения электрическим током при работе с используемым в работе электрооборудованием включают в себя:

–случайное прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением в результате;

–появление напряжения на металлических конструктивных частях электрооборудования в результате повреждения изоляции;

–возникновение напряжения шага на участке земли, где находится человек, в результате: замыкания фазы на землю, выноса потенциала протяженным токопроводящим предметом, неисправности в устройстве защитного заземления.

В соответствии с ГОСТ 12.1.019-2017 [13], для обеспечения электробезопасности защита при повреждении должна состоять из одного или нескольких способов и средств основной защиты (основная изоляция) и технических способов и средств, применяемых дополнительно к ним (автоматическое отключение питания и непроводящая окружающая среда).

Благодаря соблюдению защитных мер условия труда по фактору, связанному с электрическим током, соответствуют допустимым (2 класс) согласно результатам проведения СОУТ в НИ ТПУ в 2022 году [7].

12.3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

12.3.1 АТМОСФЕРА

В процессе генерации на тепловой электростанции электроэнергии, необходимой для питания компьютеров и других электронных устройств, образуются окислы азота, серы и углерода. Особенно опасны окислы азота, обладающие свойством канцерогенности, сернистый ангидрид, диоксид серы и оксиды азота, поскольку они переносятся на большие расстояния и осаждаются, в частности, с осадками на поверхность земли, загрязняя гидросферу и литосферу.

Цель защиты атмосферы от вредных выбросов сводится к обеспечению концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны и приземном слое атмосферы, равных или менее ПДК. Это достигается применением следующих методов и средств:

- снижением объема эмиссии загрязняющих веществ в результате технологических решений;
- рациональным размещением источников вредных выбросов по отношению к населенным зонам и рабочим местам;
- рассеиванием вредных веществ в атмосфере для снижения концентраций в ее приземном слое;
- удалением вредных выделений от источника образования посредством местной или общеобменной вытяжной вентиляции;
- применением средств очистки воздуха от вредных веществ;
- применением средств индивидуальной защиты.

Средства защиты атмосферы должны ограничивать наличие вредных веществ в воздухе на уровне не более 1 доли ПДК [7].

12.3.2 ЛИТОСФЕРА

Возникающие в процессе работы проектировщика твердые бытовые отходы (такие как бумага, оргтехника, светильники) идут на хранение и утилизацию на специальных мусорных полигонах согласно Федеральному закону "Об отходах производства и потребления" от 24.06.1998 N 89-ФЗ и Федеральному закону "О драгоценных металлах и драгоценных камнях" от 26.03.1998 N 41-ФЗ. Люминесцентные лампы сдаются районные ДЕЗ или РЭУ, которые в дальнейшем утилизируют их. Современная вычислительная техника содержит не только ценные материалы (золото, серебро, редкие металлы), но и много токсичных веществ, например тяжелых металлов. Эти вещества поражают нервную систему человека, а также вызывают химические ожоги слизистых оболочек и кожных покровов. Поэтому микропроцессорная техника, на основе которой выполнена защита, требует специальных мер по утилизации [14]. В данный комплекс мероприятий входят: отделение металлических частей от неметаллических, отправка металлических компонентов на переплавку, переработка пластиковых и других неметаллических компонентов прибора.

12.3.2 ГИДРОСФЕРА

Водоемы загрязняются поверхностными стоками (смывы с земной поверхности) и сточными водами. Жизнедеятельность человека связана с бытовыми сточными водами от санитарных узлов производственных и непромышленных корпусов и зданий, душевых установок и так далее.

Для защиты гидросферы от вредных сбросов применяются следующие методы и средства:

- рациональное размещение источников сбросов и организация водозабора и водоотвода;
- разбавление вредных веществ в водоемах до допустимых концентраций;
- использование средств очистки стоков.

Места аккумуляции коммунальных и бытовых отходов могут быть источниками загрязнения подземных вод. В связи с этим при организации и

устройстве аккумулирующих емкостей для отходов промышленного производства и коммунального хозяйства необходимо соблюдать требования ГОСТ 17.1.3.06-82 [15].

12.4 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

К возможным чрезвычайным ситуациям на данном рабочем месте относятся пожар, взрыв вследствие террористического акта, а также эпидемия.

Источниками воспламенения в производственных помещениях с ПЭВМ могут быть: искра при разряде статического электричества; искры от электрооборудования; искры от удара и трения; открытое пламя.

По пожарной и взрывопожарной опасности помещение лаборатории относится к категории В1–В4 (пожароопасность), поскольку в данном помещении находятся горючие и трудногорючие вещества и материалы (древесина, фанера, картон, бумага, пластмассы и так далее). Ввиду наличия данных веществ и материалов пожароопасные зоны относятся к классу П-Па и требуют применения пожарозащищенного электрооборудования согласно ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [16].

Поэтому при работе с ЭВМ на рабочем месте запрещается:

- эксплуатировать электропровода и кабели с видимыми нарушениями изоляции и со следами термического воздействия;

- пользоваться розетками и другими электроустановочными изделиями с повреждениями;

- использовать нестандартные (самодельные) удлинители и электронагревательные приборы;

- оставлять без присмотра включенными в электрическую сеть электроприборы, в том числе находящиеся в режиме ожидания.

При обнаружении пожара или признаков горения в здании, помещении, на территории (задымление, запах гари, повышение температуры воздуха) персоналу необходимо:

–немедленно сообщить об этом по телефону в пожарную охрану с указанием наименования объекта защиты, адреса места его расположения, места возникновения пожара, а также фамилии сообщаемого информацию;

–принять меры по эвакуации людей, а при условии отсутствия угрозы жизни и здоровью - меры по тушению пожара в начальной стадии [17].

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ

В ходе проведённого анализа потенциальных вредных и опасных производственных факторов, экологической безопасности и безопасности при чрезвычайных ситуациях установлено, что на рабочем месте:

1. условия труда соответствуют допустимым (2 класс) согласно Федеральному закону «О специальной оценке условий труда»;

2. проводимые работы относятся к категории тяжести труда Iб (легкая) согласно СанПиН 1.2.3685-21;

3. помещения по электробезопасности соответствуют 1 классу (помещения без повышенной опасности) согласно ПУЭ;

4. персонал должен обладать I группой допуска по электробезопасности согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок;

5. работа проектировщика релейной защиты с использованием ЭВМ несмотря на меньшие потребности в бумажных носителях, оказывает влияние на окружающую среду;

6. по пожарной опасности помещения относятся к категории В1–В4 (пожароопасность), пожароопасные зоны относятся к классу П Па, возможны классы пожаров А и Е согласно Федеральному закону «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

7. помещения оснащены необходимыми средствами пожарной безопасности согласно ГОСТ 12.4.009-83.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе представлен расчет насоса для буровой установки.

В ходе литературного обзора принципа работы насоса и изучения специфика его эксплуатации в пределах буровой установки была установлена значимость насоса и особенности его выбора.

Также произведен выбор силового оборудования для схемы питания электропривода для буровой установки, было выбрано такое оборудование как трансформатор, выключатель и остальная необходимая периферия для силовой части схемы снабжения электропривода.

В работе произведен полный расчет параметров двигателя и его схемы замещения. Построены кривые характеристики для асинхронного электродвигателя как без частотного регулирования, так и вместе с ним. Промоделирована схема электродвигателя в неподвижной системе координат по закону $U/f=const$. В ходе моделирования было установлено что двигатель выходит на свою номинальную синхронную угловую частоту вращения и поддерживает ее, что несомненно говорит нам об устойчивости переходного процесса.

В процессе работы было установлено что выбранный двигатель не способен запускаться от частоты питающей сети в 5 Гц. Для этого и был выбран частотный преобразователь, который решает данную проблему. После построения характеристик механических с учетом частотного преобразователя была видна возможность асинхронного электродвигателя запускаться и работать при частоте питающей сети в 5Гц.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: учебное пособие. Ч. 8. Асинхронный частотно–регулируемый электропривод / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин; Томский политехнический университет.–2–е изд., перераб. и доп.–Томск: Изд–во Томского политехнического университета, 2014.–648 с.
2. Асинхронные двигатели серии 4А: справочник / А.Э. Кравчик, М.М.Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. –504 с.
3. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: учебное пособие для вузов / И.И. Алиев. – М.: Высшая школа, 2000. – 255 с
4. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022, с изм. от 11.04.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023).
5. Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 N 426-ФЗ.
6. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования // Система стандартов безопасности труда: Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001 г.
7. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности // Система стандартов безопасности труда: Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001 г.
8. ГОСТ 12.0.004-2015. Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения - М.: Стандартиформ, 2019 г.
9. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
10. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды

обитания» от 28 января 2021 №1.2.3685-21 (с изменениями на 30 декабря 2022 года).

11. Сводная ведомость результатов проведения специальной оценки условий труда в ФГАОУ НИ ТПУ в 2022 году [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://portal.tpu.ru/departments/otdel/oot/Tab1/Tab1/svod_2022.pdf.

12. ГОСТ Р 50948-2001 Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности.

13. МР 2.2.9.2311-07 Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности.

14. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1) - М.: Стандартинформ, 2008 г.

15. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. утв. приказом Минэнерго России от 08.07.2002 №204. – М: ЭНАС, 2003.

16. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

17. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1) - М.: Стандартинформ, 2006 г.

18. ГОСТ 17.1.3.06-82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.

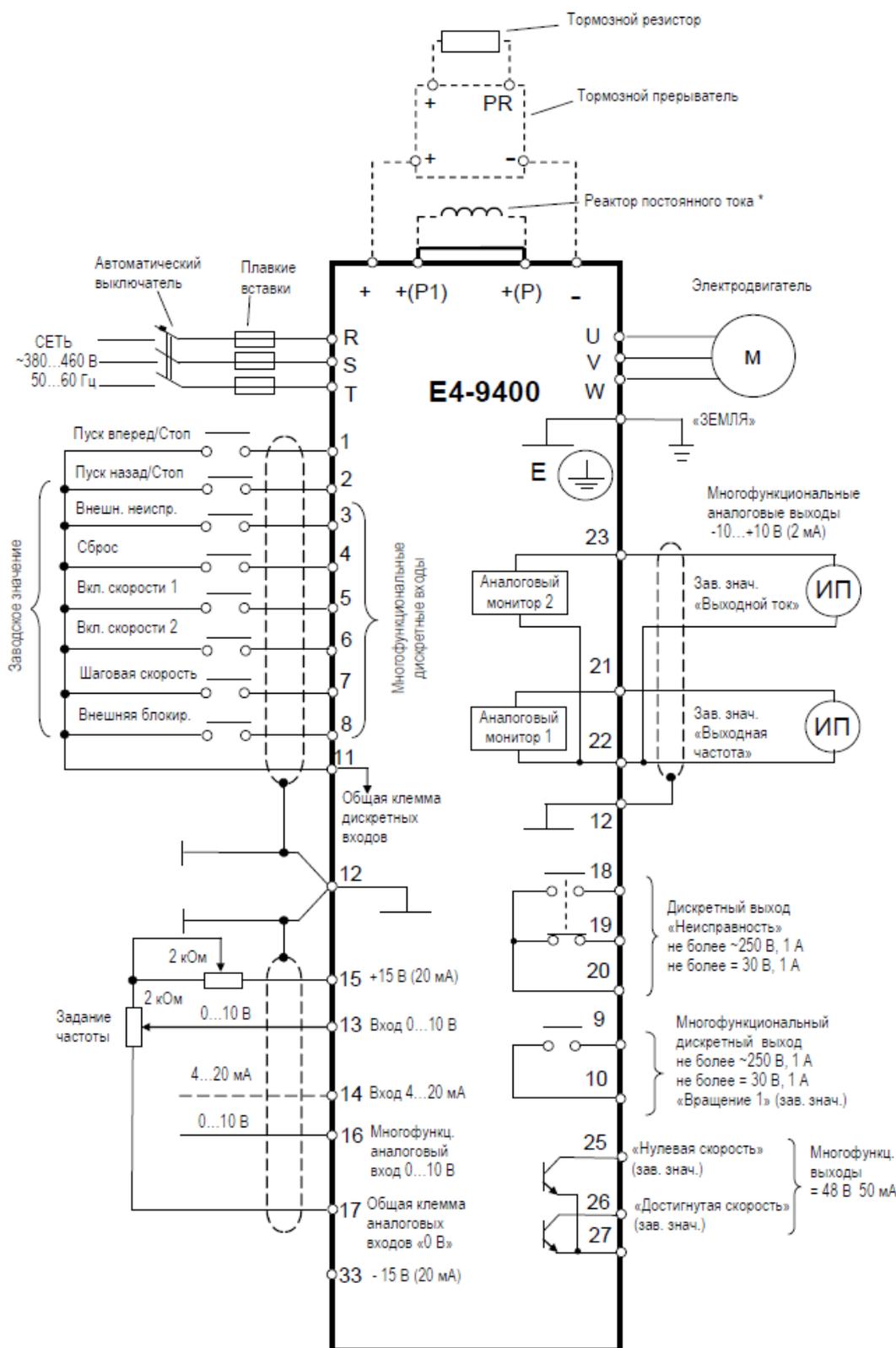
19. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

20. Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 N 1479 (ред. от 24.10.2022) "Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации"

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Схема подключения выбранного частотного преобразователя к АД.

Модели E4-9400-040H...400H



Примечание *: при установке реактора постоянного тока (опция) удалить перемычку между клеммами «+P1» и «+P».

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Структурная схема силового канала системы преобразователь–АД в неподвижной системе координат и результаты моделирования.

