

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

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электрооборудование тепловой насосной станции

УДК 621.31.031:621.577

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Евгений Валентинович Котов		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШЭ, ОЭЭ	Чернышев И.А.	к.т.н, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Попова С.Н.	к.э.н, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Ледовская А.М.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ОЭЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор, руководитель ОЭЭ	Дементьев Ю.Н.	Ph D, доцент		

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

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель отделения ОЭЭ
Ю.Н. Дементьев
(Ф.И.О)

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5ГЗБ2	Котов Евгений Валентинович

Тема работы:

Электрооборудование тепловой насосной станции	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 08.02.2018 №856/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Основные требования к насосам: <ul style="list-style-type: none">- обеспечение постоянного давления в системе- высокая надежность насоса в течение всего периода работы- экономичность и экономические показатели (так как насос включен в работу длительное время)- простота обслуживания и эксплуатации- возможность резервирования насоса для проведения технического обслуживания- электропривод должен соответствовать нормированной степени защиты оболочки от поражения электрическим током- соблюдение экологических требований (уровень шума, ограничение влияния электропривода на питающую сеть, связанное с искажениями, вызванными высшими гармониками тока).
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технологический процесс. 2. Расчет мощности насоса и выбор асинхронного электродвигателя. 3. Описание и выбор системы управления ЭП. 4. Расчет схемы замещения и построение естественных и регулировочных характеристик АД. 5. Разработка и исследование имитационной модели «АД», «ПЧ-АД» в среде Matlab.
Перечень графического материала	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схема замещения АД. 2. Имитационные модели «АД», «ПЧ-АД». 3. Результаты исследований.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Попова Светлана Николаевна
«Социальная ответственность»	Ледовская Анна Михайловна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	23.03.2018 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чернышев Игорь Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Котов Евгений Валентинович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа		ФИО	
3-5ГЗБ2		Котов Евгений Валентинович	
Школа	ИШЭ	Отделение	Отделение электропривода и электрооборудования
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:			
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения		Тепловая насосная станция №2 на предприятии ОП «СТС» АО «Байкалэнерго»	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:			
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты) 		<p>Анализ вредных факторов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенный уровень шума; 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 3. Отклонение показателей микроклимата. <p>Анализ опасных факторов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Механические травмы; 2. Поражение электрическим током. 	
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 		<p>Анализ выявленных воздействий окружающую среду:</p> <ul style="list-style-type: none"> – воздействие на литосферу: образование отходов, связанных с обслуживанием и ремонтом технологического электрооборудования. 	
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; 		<p>Наиболее типичная ЧС для рассматриваемого объекта – пожар. Разработка мер безопасности во время эксплуатации</p>	

<ul style="list-style-type: none"> – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>разрабатываемого решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – по необходимому оснащению (первичные средства пожаротушения, пожарная сигнализация, система автоматического пожаротушения); – инструкция по пожарной безопасности для работников; – план эвакуации работников при пожаре.
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Случаи представления гарантий и компенсаций (в соответствии со ст. 165 ТК РФ); 2. Правила внутреннего трудового распорядка предприятия; 3. Разработка организационных мероприятий при компоновке рабочей зоны (в соответствии с эргономическими требованиями).

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Ледовская Анна Михайловна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Котов Евгений Валентинович		

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

Студенту:

Группа 3-5ГЗБ2		ФИО Котов Евгений Валентинович	
Школа\	Инженерная школа энергетики (ИШЭ)	Отделение	Электропривода и электрооборудования
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>1. Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- Заказчиком проекта является ОП «СТС» АО «Байкалэнерго», - Общие ограничения по бюджету проекта составляют 5 350 000 рублей, - Численность персонала на объекте не должна превышать 10 человек.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- Проект рассчитывается в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расходов материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» - Минимальный размер оплаты труда в 2018 году – 9489 рублей
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов и отчислений</i>	- Отчисления во внебюджетные фонды – 30,2% от ФОТ
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Технико-экономическое обоснование проекта
<i>2. Формирование бюджета проектной работы</i>	- Расчет бюджета затрат на проектирование, в том числе расчет капитальных затрат, эксплуатационных расходов и расчет годового объема ремонтных работ
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта</i>	- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности проводимых работ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	К.Э.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗБ2	Котов Евгений Валентинович		

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	9
1	Технологическая часть	11
2	Расчет параметров электродвигателей ТНС №2	15
2.1	Технические данные	15
2.2	Расчет параметров электродвигателя сетевого насоса	15
2.3	Расчёт искусственных (регулируемых) характеристик $\omega=f(I)$, $\omega=f(M)$ системы регулируемого электропривода для заданного диапазона регулирования скорости сетевого насоса	26
2.4	Расчет переходных процессов скорости и момента для режима прямого пуска с насосом на валу двигателя	33
3	Выбор преобразователя частоты	36
3.1	Описание ПЧ ЭРАТОН-М5	36
3.2	Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска с нагрузкой в виде насоса на валу двигателя системы «ПЧ - АД»	38
4	Электроснабжение тепловой насосной станции №2	46
4.1	Выбор трансформатора, расчет потерь	52
4.2	Расчет токов короткого замыкания на стороне высокого напряжения	60
4.3	Выбор кабелей и электрооборудования управления и защиты для установок до 1000 В	64
5	Социальная ответственность	71
5.1	Производственная безопасность	71
5.1.1	Анализ выявленных вредных факторов	73
5.1.1.1	Повышенный уровень шума на рабочем месте	73
5.1.1.2	Недостаточная освещенность рабочей зоны	73
5.1.1.3	Отклонение показателей микроклимата	74
5.1.2	Анализ выявленных опасных факторов	75
5.1.2.1	Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	78
5.1.2.2	Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	81
5.2	Экологическая безопасность	87
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	89

5.3.1	Чрезвычайные ситуации. Основные причины и ликвидация последствий	89
5.3.2	Пожары	91
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	94
6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	97
6.1	Оценка коммерческого потенциала, перспективности проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	97
6.1.1	Технико-экономическое обоснование проекта	97
6.2	Формирование бюджета проектной работы	97
6.2.1	Расчет бюджета затрат	97
6.2.1.1	Капитальные затраты	97
6.2.1.2	Эксплуатационные расходы	101
6.2.1.3	Расчет годового объема ремонтных работ	103
6.2.1.4	График сменности и баланс рабочего времени	104
6.2.1.5	Расчет выбранного графика сменности на соответствие трудовому законодательству	105
6.2.1.6	Расчет численности персонала	106
6.2.1.7	Расходы на оплату труда и отчисления во внебюджетные фонды	107
6.3	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта	109
6.3.1	Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности проводимых работ	109
6.3.1.1	Эксплуатационные расходы на 1 м ³ перекаченной воды	109
	Заключение	112
	Список литературы	113

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, в связи с повышением тарифов на электроэнергию и ужесточением требований к качеству передаваемой тепловой энергии потребителям, перед руководством ОП «СТС» АО «Байкалэнерго» встал вопрос о наиболее рациональном использовании установленного электрооборудования, а, следовательно, и понижении эксплуатационных затрат на это оборудование, в том числе и затрат на потребляемую электроэнергию.

Тепловая насосная станция №2 ОП «СТС» АО «Байкалэнерго», далее ТНС2, предназначена для передачи теплоносителя (нагретая вода) от котельной ООО «ХКС», далее котельная, потребителям, находящимся в черте города Саяногорска. Необходимость использования ТНС2 выражена удаленным месторасположением котельной (территория ОАО «РУСАЛ—Саяногорск») от потребителей.

Передача воды осуществляется тремя группами насосов. Для повышения циркуляции используются насосы сетевой и перекачивающей сетевой групп, имеющие высоковольтный (6 кВ) электропривод. Подпитка подающего трубопровода производится насосами подпиточной группы, которые приводятся в работу электродвигателями с короткозамкнутым ротором на напряжение 0,4 кВ, по методу дросселирования трубопровода.

Электропитание ТНС-2 получает от, расположенной рядом, подстанции 35/6 кВ по кабельной линии.

Расчетные нагрузки ТНС-2 достигают 1833,8 кВА. Питание нагрузок осуществляется от КРУ 6 кВ.

Предложено напряжение питания 0,4 кВ заменить на 0,69 кВ с целью уменьшения потерь в кабельных линиях.

Для регулирования частоты вращения подпиточного насоса применена схема ПЧ-АД с КЗ ротором, что позволило экономить электроэнергию за счет рационального использования насоса.

От внедрения предложенного повышения напряжения питания экономия электроэнергии составила 46656 кВт·час/год. Экономия проводникового материала составила 63,01 тыс. руб. Экономический эффект составил 85310 руб/год.

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

На тепловую насосную станцию №2 (ТНС2) теплоноситель (горячая вода), поступает, по открыто проложенному трубопроводу, от котельной ООО «ХКС», расположенной на территории ОАО «РУСАЛ-Саяногорск». Далее насосы ТНС2 перекачивают воду потребителям, расположенным на территории г. Саяногорска.

Назначением насосной является поддержание необходимого давления, количества и разности температуры теплоносителя прямого и обратного водоводов. Технологическая схема приведена на рисунке 1.1.

В машинном зале ТНС2 расположены четыре группы насосов, выполняющие различные функции:

группа СН (сетевой насос) состоит из четырех насосов марки СЭ-1250-70-11, выполняет функцию перекачивания сетевой воды от котельной в город, в целях поддержания заданных параметров;

группа ПСН (перекачивающий сетевой насос) состоит из 4-х насосов марки 300Д70, выполняет функцию перекачивания обратной сетевой воды из города на котельную, в целях поддержания заданных параметров;

группа ПН(подпиточный насос) состоит из 3-х насосов марки 200Д90, выполняет функцию перекачивания воды из бака-аккумулятора в теплосеть, в целях поддержания заданных параметров;

группа насосов градирни состоит из 3-х насосов марки В 2/26 АУ2, выполняет функцию перекачивания охлаждающей воды, в целях поддержания необходимых тепловых рабочих параметров насосов остальных групп.

Технические данные установленных насосов представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики насосов

Наименование	СН	ПСН	ПН	Насос градирни	Примечание
Марка	СЭ-1250-70-11	300Д-70	200Д-70	В 2/26 АУ2	-
Номинальная частота вращения, об/мин	1480	1480	1480	1480	-
Производительность, м ³ /час	1250	1080	720	45	при номинально й частоте вращения
Номинальный напор, м	70	70	70	31	
КПД, %	83	87	81	83	

Для выравнивания неравномерности графика расхода воды на горячее водоснабжение в течение суток, предусмотрена установка баков-аккумуляторов общей емкостью 6000 м³.

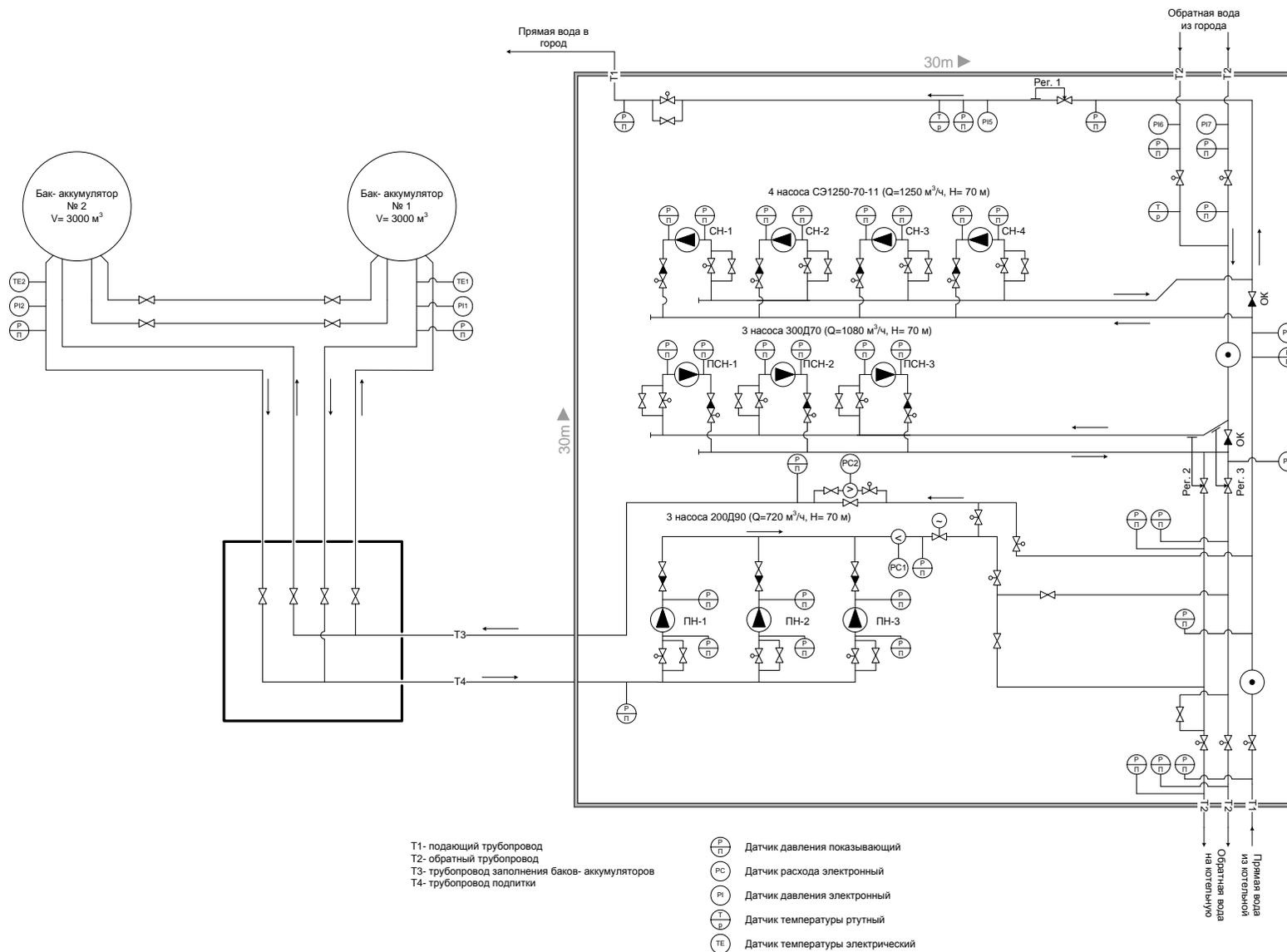


Рисунок 1.1— Технологическая схема насосной станции

Электродвигатели насосов групп СН и ПСН, трансформаторная подстанция 2КТП 6/0,69 получают питание от ячеек отходящих линий КРУ 6 кВ, насосы группы ПН, градирни и другие электроприемники от 2КТП 6/0,69. Сеть освещения питается от трансформатора собственных нужд ТМ-40-6/0,4, расположенного в распределительном пункте высокого напряжения.

СН включается в работу при несоответствии разности температур в прямом и обратном водоводах, причем пуск в работу насоса СН сопряжен с повышением давления в прямом водоводе на город. И если давление превышает норму, то включается насос ПСН, который «выталкивает» избыток воды из города, в результате чего увеличивается циркуляция воды, что приводит к необходимому снижению разности температур прямого и обратного водоводов. Температура теплоносителя в прямом водоводе регулируется на выходе из котельной и в технологическом процессе насосной не участвует.

Во время массового расхода, когда запасов подготовленной воды на котельной не хватает, в работу включаются насосы группы ПН, которые перекачивают, запасенную в баках-аккумуляторах, воду в сетевой трубопровод. Регулирование расхода подпитки осуществляется за счет изменения частоты вращения рабочего колеса насоса. Заполнение баков-аккумуляторов производится в часы минимального расхода воды (как правило в ночное время) открытием задвижки на заполнение и контролируется расходомером. Во время заполнения баков-аккумуляторов все требования к заданным параметрам должны выполняться.

2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ТНС №2

2.1 Технические данные

В данном разделе рассматривается электропривод насосов ТНС 2. Данные насосы необходимы для обеспечения циркуляции теплоносителя в сети ГВС г. Саяногорска.

Основные требования к насосам:

- обеспечение постоянного давления в системе
- высокая надежность насоса в течение всего периода работы
- экономичность и экономические показатели (так как насос включен в работу длительное время)
- простота обслуживания и эксплуатации
- возможность резервирования насоса для проведения технического обслуживания
- электропривод должен соответствовать нормированной степени защиты оболочки от поражения электрическим током
- соблюдение экологических требований (уровень шума, ограничение влияния электропривода на питающую сеть, связанное с искажениями, вызванными высшими гармониками тока).

2.2 Расчет параметров электродвигателя сетевого насоса

Для работы насосной, согласно технологии, применяются насосы с электродвигателями номинальной частоты вращения 1480 об/мин, работающие в длительном режиме, со следующими параметрами:

- сетевые насосы СЭ-1250-70-11, $Q= 1250 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H= 70 \text{ м}$, $\eta= 83\%$
- подпиточные насосы 200Д90, $Q= 720 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H= 70 \text{ м}$, $\eta= 81\%$
- перекачивающие сетевые насосы 300Д70, $Q= 1080 \text{ м}^3/\text{ч}$, $H=70 \text{ м}$, $\eta= 87\%$.

Электропривод насосов в основном выполняется при помощи асинхронных двигателей. Это обусловлено простотой конструкции, высокой надёжностью, низкой по сравнению с другими двигателями ценой, простотой обслуживания.

Необходимая мощность электродвигателя для привода насоса определяется по следующей формуле

$$P = k_3 \cdot k_p \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot g}{3,6 \cdot \eta}, \quad (2.1)$$

где P — необходимая мощность двигателя насоса, кВт;

k_3 — коэффициент запаса двигателя по мощности, учитывающий неточности расчёта (при $Q > 100 \text{ м}^3/\text{ч}$, $k_3 = 1,15$);

k_p — коэффициент, учитывающий мощность двигателей в регулируемых приводах, (для регулируемого привода $k_p = 1$);

Q_n — объемная подача или производительность данного насоса, $\text{м}^3/\text{час}$;

H — напор, создаваемый данным насосом, м;

g — ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$ ($g=9,81 \text{ м}/\text{с}^2$);

η — общий КПД насоса;

ρ — плотность перекачиваемой жидкости.

Мощность сетевого насоса

$$P = 1,15 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1250 \cdot 70 \cdot 1000 \cdot 9,81}{3,6 \cdot 0,83} = 314,2 \text{ кВт} \quad (2.2)$$

Мощность перекачивающего сетевого насоса

$$P = 1,15 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1080 \cdot 70 \cdot 1000 \cdot 9,81}{3,6 \cdot 0,87} = 272,3 \text{ кВт} \quad (2.3)$$

Мощность подпиточного насоса

$$P = 1,15 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{720 \cdot 70 \cdot 1000 \cdot 9,81}{3,6 \cdot 0,81} = 195 \text{ кВт} \quad (2.4)$$

Принимаем для привода сетевых и перекачивающих сетевых насосов асинхронные обдуваемые электродвигатели с короткозамкнутым ротором типа 5А, номинальным напряжением питающей сети – $U_n = 0,69$ кВ. Для подпиточных насосов принимаем асинхронные обдуваемые электродвигатели с короткозамкнутым ротором типа 4А, номинальным напряжением питающей сети – $U_n = 0,69$ кВ. Номинальные данные двигателей приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1— Номинальные данные двигателей насосов для расчетов схемы замещения

Название насоса	Сетевой, перекачивающий сетевой	Подпиточный
Тип двигателя	5АИЗ55М4	4АН-315М-S4УЗ
Р, кВт	315	200
$n_{ном}$, обр/мин	1490	1485
η , %	95,6	94
$\cos\varphi$	0,9	0,91
Мк/Мн	2,2	2,2
Мп/Мн	2,1	1,2
Ип/Ин	6,9	6,5

Расчеты будем проводить для электродвигателя 5АИЗ55М4 приводящего в движение сетевой насос с $f_1 = 50$ Гц.

Номинальное фазное напряжение, число пар полюсов, коэффициенты электродвижущих сил (ЭДС) и рассеяния обмотки статора

$$U_1 = \frac{U_{л1}}{\sqrt{3}} = \frac{660}{\sqrt{3}} = 381 \text{ В} \quad (2.5)$$

$$p = 60 \frac{f_1}{n_1} = 60 \cdot \frac{50}{1500} = 2 \quad (2.6)$$

Номинальная частота вращения двигателя:

$$n_{\text{НОМ}} = (1 - s_{\text{НОМ}}) \cdot n_1 = (1 - 0,02) \cdot 1500 = 1470 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \quad (2.7)$$

Номинальная угловая скорость вращения двигателя:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{НОМ}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 1470}{30} = 153,84 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \quad (2.8)$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{ДВ.Н}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{315000}{153,84} = 2047,6 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.9)$$

Номинальный фазный ток обмотки статора и его активная и реактивная составляющие

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{н.дв}}}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}}} = \frac{315000}{3 \cdot 380 \cdot 0,956 \cdot 0,9} = 321,15 \text{ А} \quad (2.10)$$

Для расчетов статических и динамических характеристик асинхронного двигателя найдем параметры схемы замещения. Т – образная схема замещения асинхронного двигателя для одной фазы приведена на рис. 2.1.

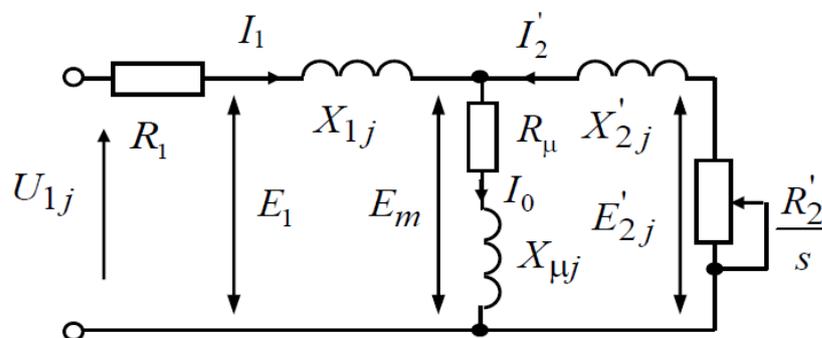


Рис. 2.1 Схема замещения асинхронного двигателя

Асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший КПД достигается при загрузке на 10 – 15 % меньше номинальной. Коэффициент мощности при нагрузке равной значительно отличается от мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие сильно зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости, приведённой на рис. 2.2.

Коэффициент мощности при частичной нагрузке:

$$\cos \varphi_{p^*} = 0,99 \cdot \cos \varphi = 0,99 \cdot 0,9 = 0,891 \quad (2.11)$$

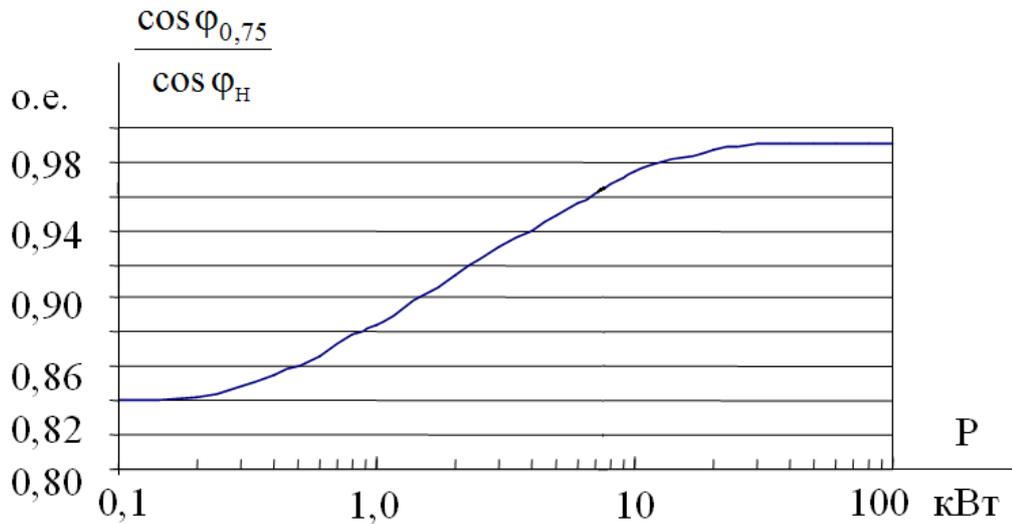


Рис. 2.2. Зависимость $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_H$ от мощности асинхронных двигателей

Коэффициент загрузки двигателя принимаем $p^* = 0,75$ из-за указанных выше особенностей проектирования асинхронных двигателей.

Тогда ток статора двигателя при частичной нагрузке равен:

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_{\text{НОМ}}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_{\text{НОМ}}} = \frac{0,75 \cdot 315000}{3 \cdot 380 \cdot 0,891 \cdot 0,956} = 243,3 \text{ А} \quad (2.12)$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{p^* \cdot I_{\text{H}\phi} \cdot (1 - S_{\text{НОМ}})}{1 - p^* \cdot S_{\text{НОМ}}} \right)^2}{1 - \left(\frac{p^* \cdot (1 - S_{\text{НОМ}})}{1 - p^* \cdot S_{\text{НОМ}}} \right)^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{243,3^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 321,1 \cdot (1 - 0,02)}{1 - 0,75 \cdot 0,02} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1 - 0,02)}{1 - 0,75 \cdot 0,02} \right)^2}} = 63,1 \text{ А} \quad (2.13)$$

Из формулы Клосса следует соотношение для расчета критического скольжения:

$$S_k = S_{\text{ном}} \cdot \frac{k_{\text{max}} + \sqrt{k_{\text{max}}^2 - [1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (k_{\text{max}} - 1)]}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (k_{\text{max}} - 1)} \quad (2.14)$$

Значение коэффициента β , согласно [4], находится в диапазоне $0,6 \div 2,5$. Принимаем $\beta = 1$.

$$S_k = 0,02 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - [1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,09.$$

Предварительно для расчёта активных и индуктивных сопротивлений (параметров схемы замещения) обмоток статора и ротора определяются следующие коэффициенты:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{63,1}{2 \cdot 2,1 \cdot 321} = 1,014 \quad (2.15)$$

$$A_1 = \frac{m_1 \cdot U_{1H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\text{max}} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 380^2 \cdot (1 - 0,02)}{2 \cdot 1,014 \cdot 2,2 \cdot 315000} = 0,302 \quad (2.16)$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_k}\right) \cdot C_1} = \frac{0,302}{\left(1 + \frac{1}{0,09}\right) \cdot 1,014} = 0,024 \text{ Ом} \quad (2.17)$$

Активное сопротивление обмотки статора определяется по следующему выражению:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,014 \cdot 0,024 \cdot 1 = 0,024 \text{ Ом} \quad (2.18)$$

Параметр γ , для определения сопротивления короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,09^2} - 1^2} = 11,4 \quad (2.19)$$

Тогда

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 11,4 \cdot 1,014 \cdot 0,024 = 0,277 \text{ Ом} \quad (2.20)$$

Тогда, индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, приближённо может быть рассчитано:

$$X'_{2\sigma H} = 0,58 \cdot \frac{X_{KH}}{1,014} C_1 = 0,58 \cdot \frac{0,277}{1,014} = 0,158 \text{ Ом} \quad (2.21)$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора:

$$X_{1\sigma H} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 0,277 = 0,116 \text{ Ом} \quad (2.22)$$

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания определяется через значение ЭДС обмотки статора

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{(U_{1H} \cos \varphi_H - R_1 I_{1H})^2 + (U_{1H} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} - X_{1\sigma H} I_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(380 \cdot 0,9 - 0,024 \cdot 321,1)^2 + (380 \cdot \sqrt{1 - 0,9^2} - 0,116 \cdot 321,1)^2} \\ &= 357,9 \text{ В} \end{aligned} \quad (2.23)$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_{mH} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{357,9}{63,1} = 5,7 \text{ Ом} \quad (2.24)$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma H}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,116}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,00037 \text{ Гн} \quad (2.25)$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоками рассеяния:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma H}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,158}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,000503 \text{ Гн} \quad (2.26)$$

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

$$L_m = \frac{X_{mn}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{5,7}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,018 \text{ Гн} \quad (2.27)$$

Найденные параметры схемы замещения электродвигателя сведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2 - Параметры схемы замещения электродвигателя 5АИЗ55М4

$R_1, \text{Ом}$	$X_{1\sigma}, \text{Ом}$	$L_{1\sigma}, \text{Гн}$	$X_{mn}, \text{Ом}$	$L_m, \text{Гн}$	$R'_2, \text{Ом}$	$X'_2, \text{Ом}$	$L'_{2\sigma}, \text{Гн}$	$X_{KH}, \text{Ом}$
0,024	0,116	0,00037	5,14	0,018	0,024	0,158	0,000503	0,277

Момент критический двигательного режима:

$$M_k = \frac{m_1 \cdot U_{1H}^2}{2 \cdot \omega_{ном} \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 380^2}{2 \cdot 153,84 \cdot \left[0,024 + \sqrt{0,024^2 + 0,277^2} \right]} = 4661 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.28)$$

Критическое скольжение:

$$s_k = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} = \pm \frac{0,024}{\sqrt{0,024^2 + 0,277^2}} = \pm 0,09 \quad (2.29)$$

Максимальный момент двигателя:

$$M_{max} = k_{max} \cdot M_{ном} = 2,2 \cdot 2047,6 = 4504 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.30)$$

Минимальный момент двигателя:

$$M_{min} = k_{min} \cdot M_{ном} = 1,7 \cdot 2047,6 = 3480 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.31)$$

Механическая характеристика асинхронного электродвигателя рассчитывается по формуле:

$$M(s) = \frac{m_1 \cdot U_{1H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (X_{1\sigma} + X'_{2\sigma})^2 \right]} =$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{3 \cdot 380^2 \cdot 0,024}{157 \cdot s \cdot \left[\left(0,024 + \frac{0,024}{s} \right)^2 + (0,116 + 0,158)^2 \right]} = \\
&= \frac{10396,8}{157 \cdot s \cdot \left[\left(0,024 + \frac{0,024}{s} \right)^2 + 0,075 \right]} \quad (2.32)
\end{aligned}$$

Численные значения механической характеристики сведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3. - Численные значения механической характеристики

s	1	0,5	0,2	0,1	0,09	0,08	0,05	0,01	0
w	0,00	78,5	125,6	141,3	142,87	144,44	149,15	155,43	157
M	856	1652	3459	4577	4616	4599	4025	1113	0

Механическая характеристика зависимости частоты вращения вала асинхронного электродвигателя от момента, приложенного к нему, изображена на рис. 2.3.

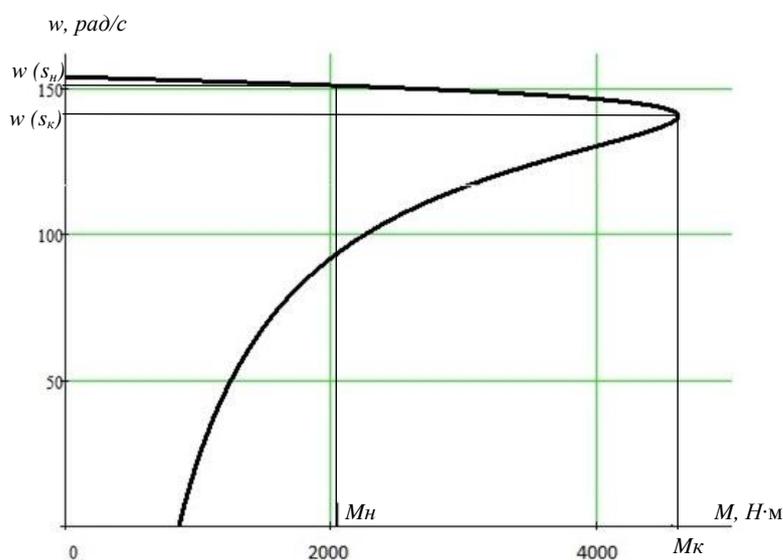


Рис. 2.3. Механическая характеристика асинхронного электродвигателя

Зависимость тока ротора I'_2 , приведенного к обмотке статора, от скольжения S определяется следующим образом:

$$I'_2 = \frac{U_{1H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{KH}^2}} = \frac{380}{\pm \sqrt{\left(0,024 + \frac{0,024}{s}\right)^2 + 0,227^2}} \quad (2.33)$$

Численные значения характеристики тока ротора сведены в табл.

2.4.

Таблица 2.4 - Численные значения характеристики тока ротора

s	-1	-0,5	-0,1	-0,09	0	0,09	0,1	0,5	1
w	314	235,5	172,7	171,2	157	142,87	141,3	78,5	0
I'_2	1674	1665	1213	1144	0	1030	1091	1596	1638

График электромеханической характеристики $\omega = f(I'_2)$ приведен на рис. 2.4.

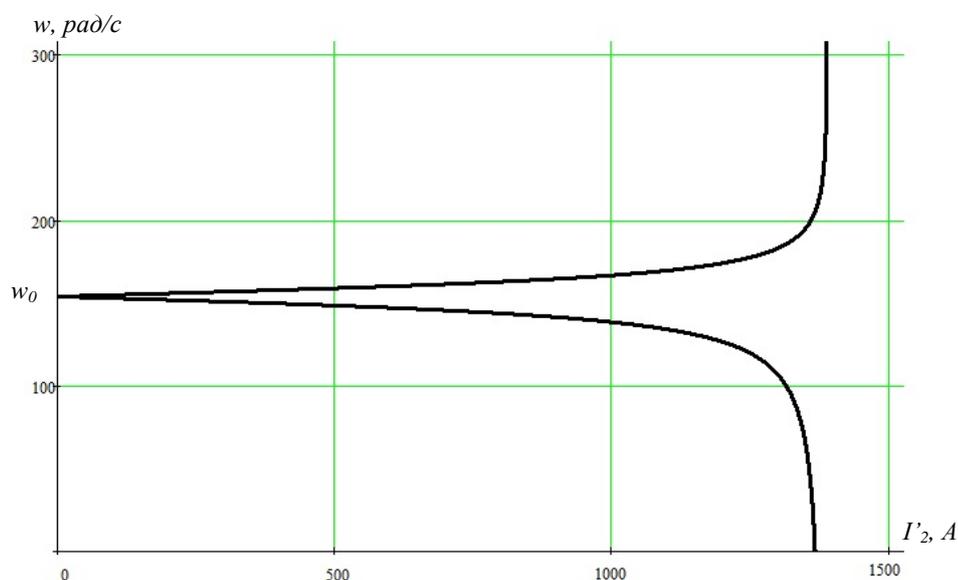


Рис. 2.4. График электромеханической характеристики тока обмотки ротора $\omega = f(I'_2)$

Для построения электромеханической характеристики тока обмотки статора использовано следующее выражение:

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 I_0 I_2' \sin \varphi_2} = \sqrt{63,1^2 + I_2'^2 + 126,2 I_2' \sin \varphi_2} \quad (2.34),$$

где

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_{кн}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{кн}^2}} = \frac{0,277}{\sqrt{\left(0,024 + \frac{0,024}{s}\right)^2 + 0,277^2}} \quad (2.35).$$

Численные значения характеристики тока статора сведены в табл.

2.5.

Таблица 2.5 - Численные значения характеристики тока статора

s	-1	-0,5	-0,1	-0,09	0	0,09	0,1	0,5	1
$\sin \varphi_2$	0,997	0,987	0,759	0,724	0	0,717	0,753	0,984	0,995
w	314	235,5	172,5	171,13	157	142,87	141,3	78,5	0
I_1	1737	1727	1262	1190	63,1	1076	1139	1658	1701

Электромеханические характеристики двигателя приведены на рис. 2.5

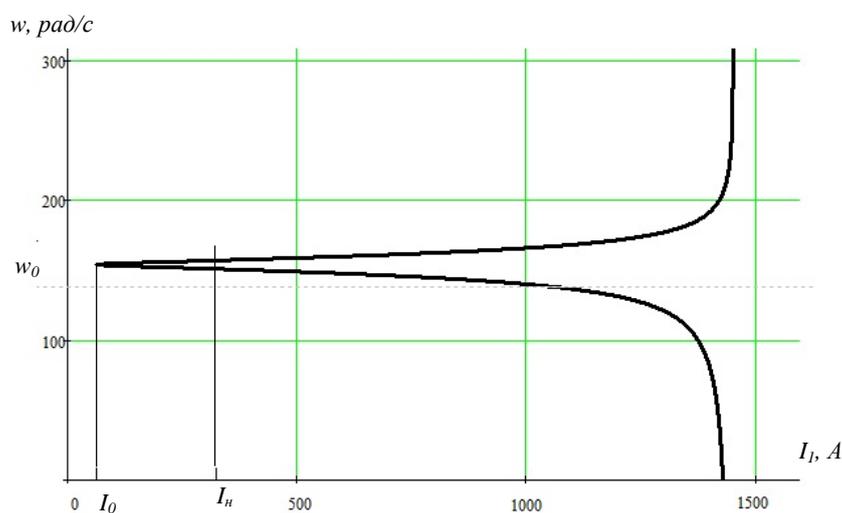


Рис. 2.5. График естественной электромеханической характеристики $I_1 = f(s)$ асинхронного двигателя

Номинальный ток статора асинхронного двигателя $I_{1н}$ при номинальном скольжении $s_H = 0,02$ в соответствии с электромеханической характеристикой.

Номинальный ток ротора определяется при номинальном скольжении:

$$I'_2 = \frac{U_{1н}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H}\right)^2 + X_{кн}^2}} = \frac{380}{\pm \sqrt{\left(0,024 + \frac{0,024}{0,02}\right)^2 + 0,277^2}} = 302,7 \text{ А} \quad (2.36)$$

Синус угла между вектором фазного напряжения $\overline{U_{1\phi}}$ и сопряженным вектором тока ротора $-\overline{I'_2}$

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_{кн}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H}\right)^2 + X_{кн}^2}} = \frac{0,277}{\sqrt{\left(0,024 + \frac{0,024}{0,02}\right)^2 + 0,277^2}} = 0,221 \quad (2.37)$$

Номинальный ток статора двигателя:

$$\begin{aligned} I_1 &= \sqrt{I_0^2 + I'_2{}^2 + 2 I_0 I'_2 \sin \varphi_{2н}} = \\ &= \sqrt{61,3^2 + 302,7^2 + 2 \cdot 63,1 \cdot 302,7 \cdot 0,221} = 322,2 \text{ А} \quad (2.38) \end{aligned}$$

2.3 Расчёт искусственных (регулирующих) характеристик $\omega=f(I)$, $\omega=f(M)$ системы регулируемого электропривода для заданного диапазона регулирования скорости сетевого насоса

Расчет характеристик производится для частот $f_1=50; 35; 25; 12,5$ Гц.

При законе регулирования:

$$Z_p = \frac{U_{1н}}{f^2} = \frac{380}{50^3} = 0,003 \quad (2.39).$$

Относительные значения частот питающего напряжения:

$$\text{при } f_{1н1}=50 \text{ Гц} \quad f_{1*1} = \frac{f_{1н}}{f_{1н}} = \frac{50}{50} = 1;$$

$$\text{при } f_{1H2}=35 \text{ Гц} \quad f_{1*2} = \frac{f_{2H}}{f_{1H}} = \frac{45}{50} = 0,7;$$

$$\text{при } f_{1H3}=25 \text{ Гц} \quad f_{1*3} = \frac{f_{3H}}{f_{1H}} = \frac{25}{50} = 0,5;$$

$$\text{при } f_{1H4}=12,5 \text{ Гц} \quad f_{1*4} = \frac{f_{4H}}{f_{1H}} = \frac{12,5}{50} = 0,2;$$

Фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя:

$$U_{1H2} = Z_p \cdot f_{1H2}^3 = 0,003 \cdot 35^3 = 130,34 \text{ В} \quad (2.40);$$

$$U_{1H3} = Z_p \cdot f_{1H3}^3 = 0,003 \cdot 25^3 = 47,5 \text{ В};$$

$$U_{1H4} = Z_p \cdot f_{1H4}^3 = 0,003 \cdot 12,5^3 = 5,938 \text{ В};$$

В соответствии с представленными частотами питающего напряжения произведем расчет значений скорости идеального холостого хода:

$$\omega_{01} = \frac{2\pi \cdot f_{1H1}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \quad (2.41);$$

$$\omega_{02} = \frac{2\pi \cdot f_{1H2}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 35}{2} = 109,956 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{03} = \frac{2\pi \cdot f_{1H3}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 25}{2} = 78,54 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{04} = \frac{2\pi \cdot f_{1H4}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 12,5}{2} = 39,27 \text{ рад/с};$$

Токи холостого хода при данных частотах регулирования:

$$I_{01} = \frac{U_{1H1}}{X_{\mu H}} = \frac{380}{5,672} = 67 \text{ А} \quad (2.42);$$

$$I_{02} = \frac{U_{1H2}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*2}} = \frac{130,34}{5,672 \cdot 0,7} = 32,8 \text{ А} \quad (2.43);$$

$$I_{03} = \frac{U_{1H3}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*3}} = \frac{47,5}{5,672 \cdot 0,5} = 16,7 \text{ А};$$

$$I_{04} = \frac{U_{1H4}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*4}} = \frac{5,938}{5,672 \cdot 0,2} = 5 \text{ A};$$

Электромеханические характеристики (рис. 2.6) для выбранных частот строятся по выражениям:

$$I'_2(f, s) = \frac{U_{1H}(f)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}(f)^2 + \frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}}} \quad (2.44).$$

$$(f, s) = w_0(f) * (1 - s).$$

$$I'_2(f_{1H}, s) = \frac{380}{\pm \sqrt{\left(0,024 + \frac{0,024}{s}\right)^2 + 0,277^2 \cdot 1^2 + \frac{0,024 \cdot 0,024}{s \cdot 5,672 \cdot 1}}} \quad (2.45);$$

$$I'_2(f_{2H}, s) = \frac{130,34}{\pm \sqrt{\left(0,024 + \frac{0,024}{s}\right)^2 + 0,277^2 \cdot 0,7^2 + \frac{0,024 \cdot 0,024}{s \cdot 5,672 \cdot 0,7}}};$$

$$I'_2(f_{3H}, s) = \frac{47,5}{\pm \sqrt{\left(0,024 + \frac{0,024}{s}\right)^2 + 0,277^2 \cdot 0,5^2 + \frac{0,024 \cdot 0,024}{s \cdot 5,672 \cdot 0,5}}};$$

$$I'_2(f_{4H}, s) = \frac{5,938}{\pm \sqrt{\left(0,024 + \frac{0,024}{s}\right)^2 + 0,277^2 \cdot 0,2^2 + \frac{0,024 \cdot 0,024}{s \cdot 5,672 \cdot 0,2}}};$$

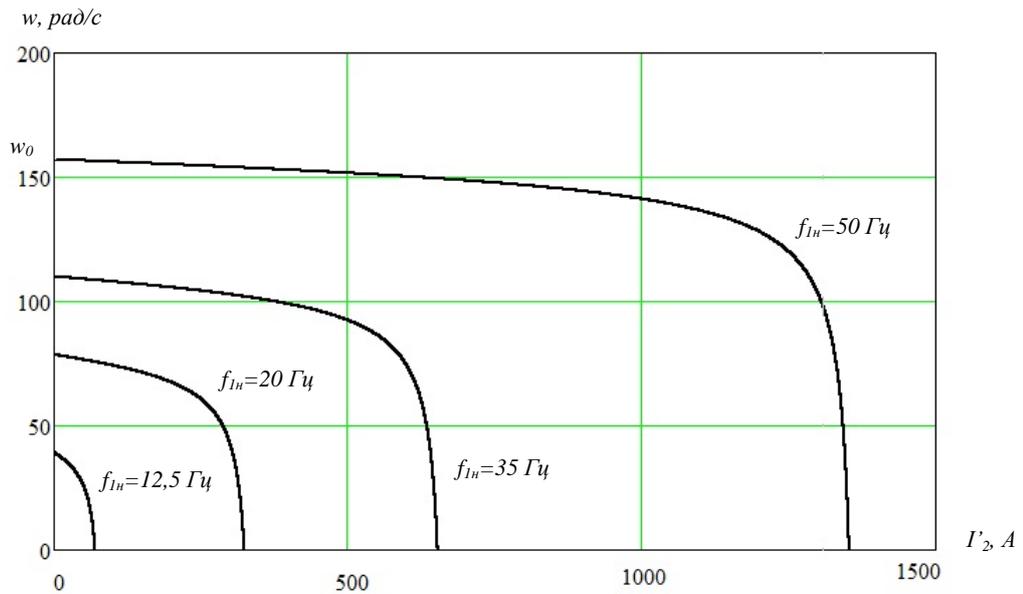


Рис. 2.6 Искусственные электромеханические характеристики тока ротора $I'_2(w)$

Также строятся электромеханические характеристики (рис.2.7) $I_1(w)$ для выбранных частот по выражениям

$$\begin{aligned} \sin \varphi_2 &= \frac{X_{\text{кн}} \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2}} = \\ &= \frac{0,277 \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left(0,024 + \frac{0,024}{0,02}\right)^2 + 0,277^2 \cdot f_{1*}(f)^2}} \end{aligned} \quad (2.46).$$

Номинальный ток статора двигателя

$$I_1 = \sqrt{I_0(f)^2 + I'_2(f, s)^2 + 2 I_0(f) \cdot I'_2(f, s) \cdot \sin \varphi_{2H}(f, s)} \quad (2.47),$$

$$w(f, s) = w_0(f) \cdot (1 - s) \quad (2.48).$$

$I_0(f) = \frac{U_1(f)}{X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}$ – ток холостого хода асинхронного двигателя в

зависимости от частоты.

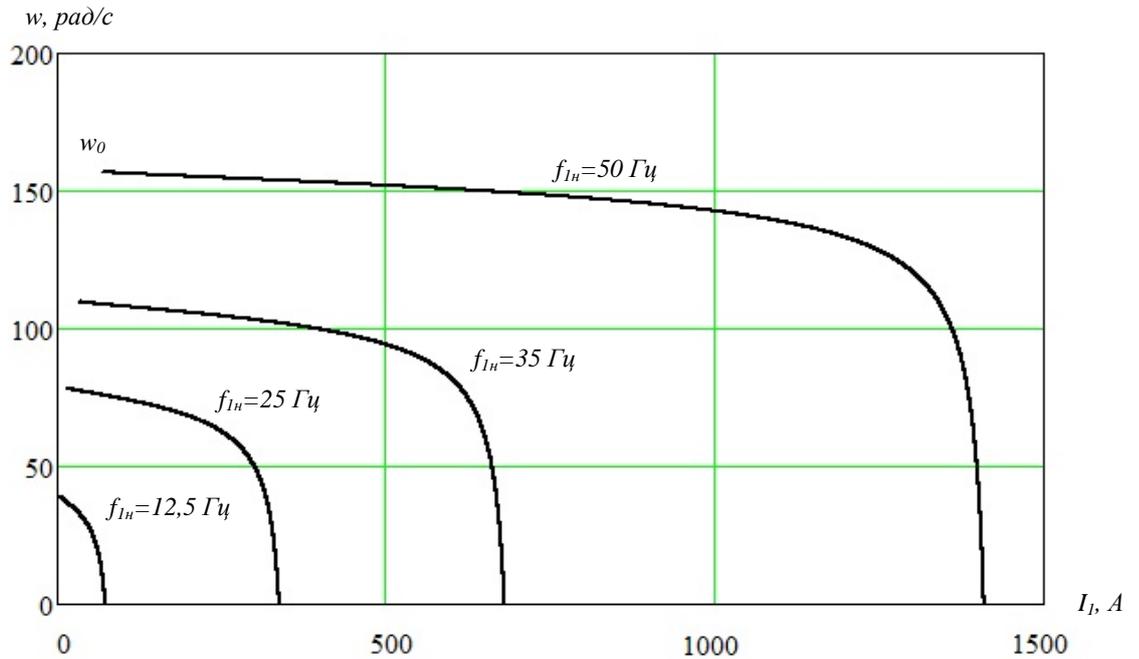


Рис. 2.7 Искусственные электромеханические характеристики тока ротора $I'_2(w)$

Также строятся электромеханические характеристики (рис.2.8) $I_1(w)$ для выбранных частот по выражениям

$$\begin{aligned} \sin \varphi_2 &= \frac{X_{KH} \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H}\right)^2 + X_{KH}^2}} = \\ &= \frac{0,277 \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left(0,024 + \frac{0,024}{0,02}\right)^2 + 0,277^2 \cdot f_{1*}(f)^2}} \end{aligned} \quad (2.46).$$

Номинальный ток статора двигателя

$$I_1 = \sqrt{I_0(f)^2 + I'_2(f, s)^2 + 2 I_0(f) \cdot I'_2(f, s) \cdot \sin \varphi_{2H}(f, s)} \quad (2.47),$$

$$w(f, s) = w_0(f) \cdot (1 - s) \quad (2.48).$$

$$I_0(f) = \frac{U_1(f)}{X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)} - \text{ток холостого хода асинхронного двигателя в}$$

зависимости от частоты.

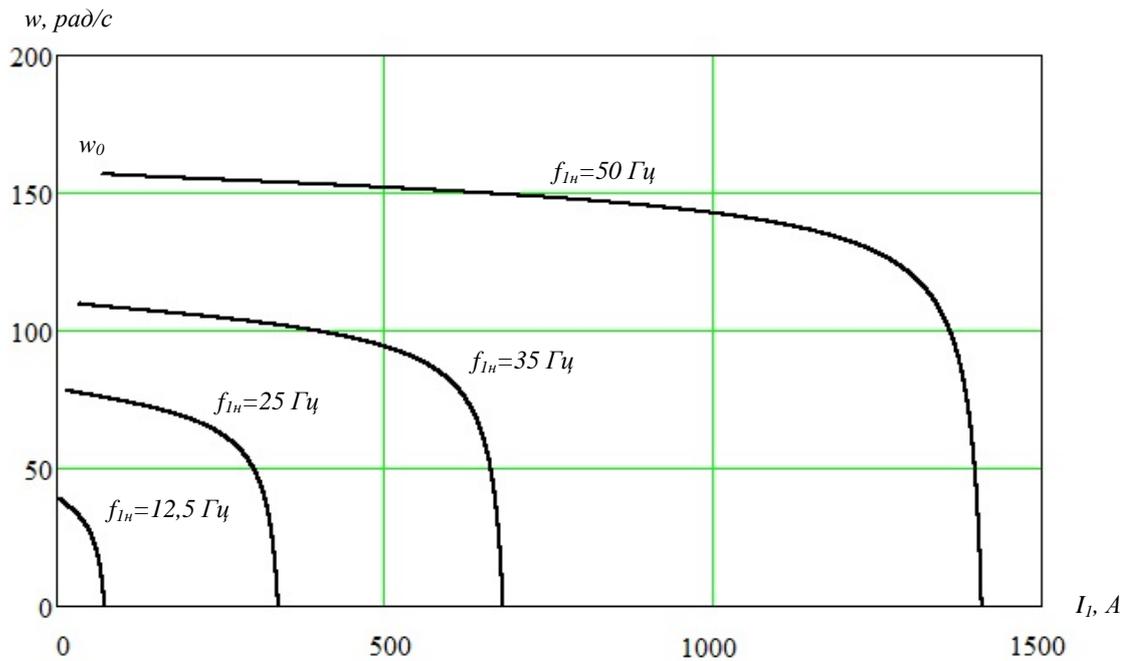


Рис. 2.8. Искусственные электромеханические характеристики тока статора $I_1(\omega)$

Механические характеристики асинхронного двигателя $M(\omega)$ (рис.2.9) рассчитываем для выбранных частот по выражениям

$$M(s, f) = \frac{m_1 \cdot U_{1H}(f)^2 \cdot R'_2}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}(f)^2 + \frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)} \right]} \quad (2.49);$$

Критические момент и скольжение можно определить по выражениям:

$$M_K(s, f) = \frac{3 \cdot U_{1H}(f)^2}{2 \cdot \omega_0(f) \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}(f)^2} \cdot \left(1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)} \right) \right]} \quad (2.50);$$

$$s_k(f) = R'_2 \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}}{R_1^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}(f)^2}}, \quad (2.51)$$

$$w_k(f) = w_0(f) * (1 - s_k(f)). \quad (2.52)$$

Механические характеристики двигателя и нагрузки, представлены на рис. 2.2.3.

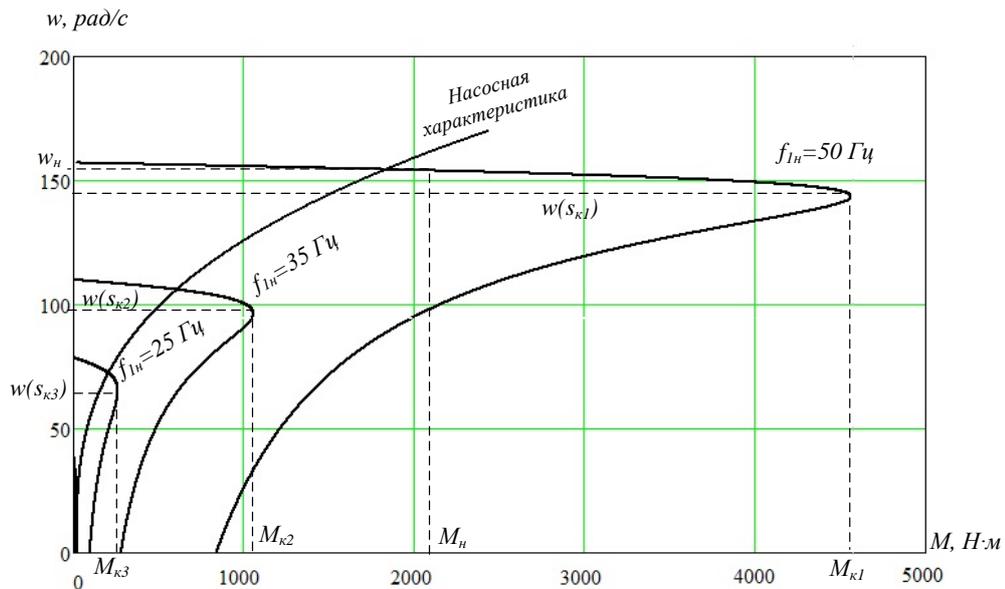


Рис. 2.9. Искусственные механические характеристики $M(\omega)$

Из-за близкого расположения графика на частоте 12,5 Гц и насосной характеристики отобразим участок график искусственных механических характеристик на отдельном рисунке 2.10

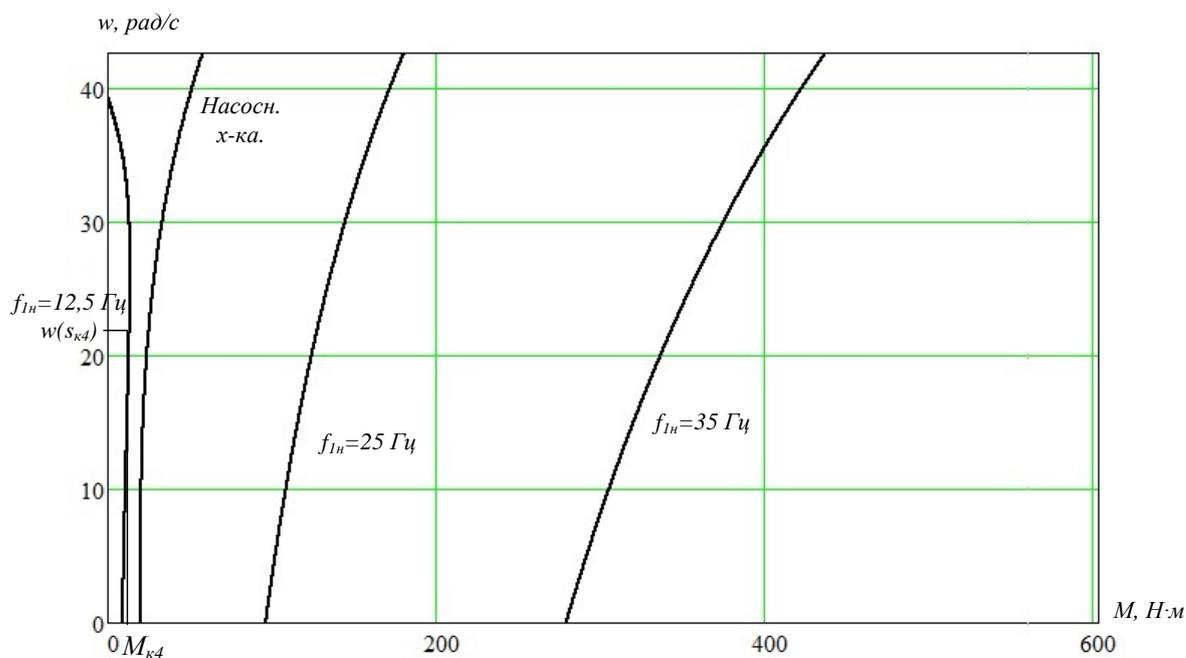


Рис. 2.10. Искусственные механические характеристики $M(\omega)$

Таким образом, исходя из графика мы видим, что электродвигатель не сможет запуститься на частоте 12,5 Гц. Однако, в соответствии с диапазоном регулирования системе необходимо работать на этой частоте. Для этого мы должны скорректировать характеристику закона управления $U/f^3 = \text{const}$.

2.4 Расчет переходных процессов скорости и момента для режима прямого пуска с насосом на валу двигателя

Моделирование асинхронного двигателя осуществим с помощью программы MATLAB Simulink. Имитационная модель прямого пуска асинхронного двигателя представлена на рис. 2.11.

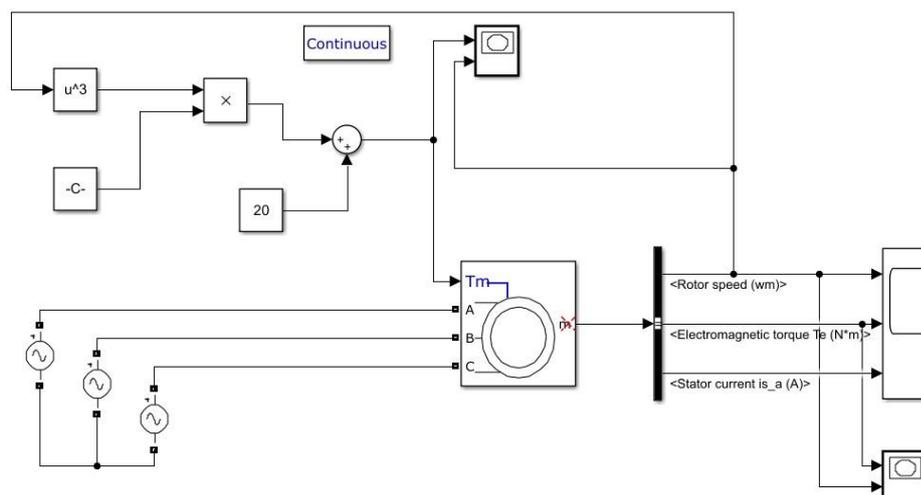


Рис. 2.11. Имитационная модель прямого пуска асинхронного двигателя с насосной нагрузкой.

Для создания имитационной модели используем следующие параметры двигателя: сопротивление обмотки якоря, сопротивление обмотки статора, индуктивность обмотки статора, приведенную индуктивность обмотки ротора и индуктивность цепи намагничивания, рассчитанные в пункте 2.2 данной работы.

Динамическая механическая характеристика двигателя изображена на рис. 2.12.

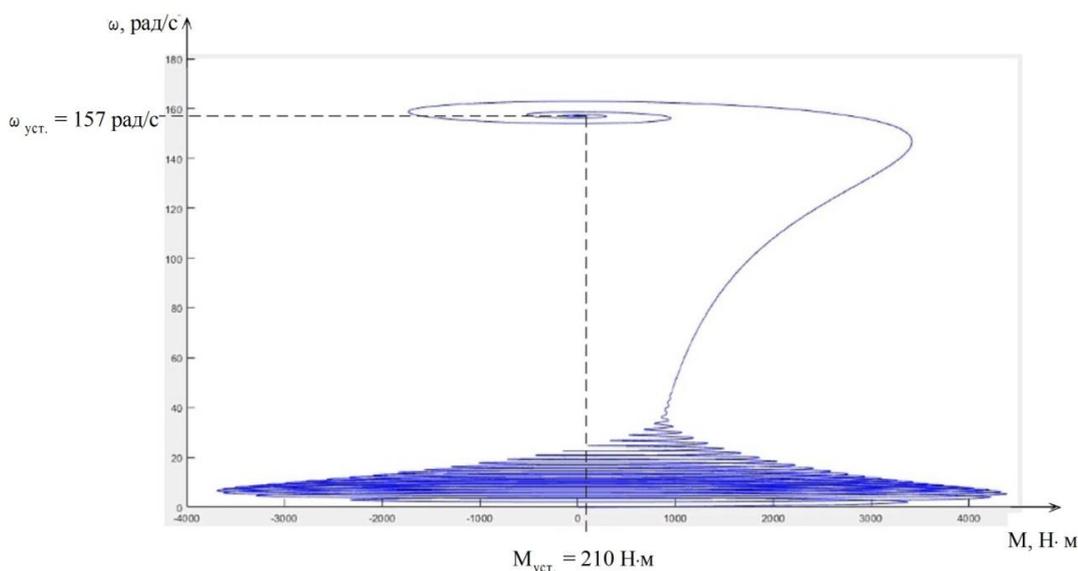


Рис. 2.12. Динамическая механическая характеристика.

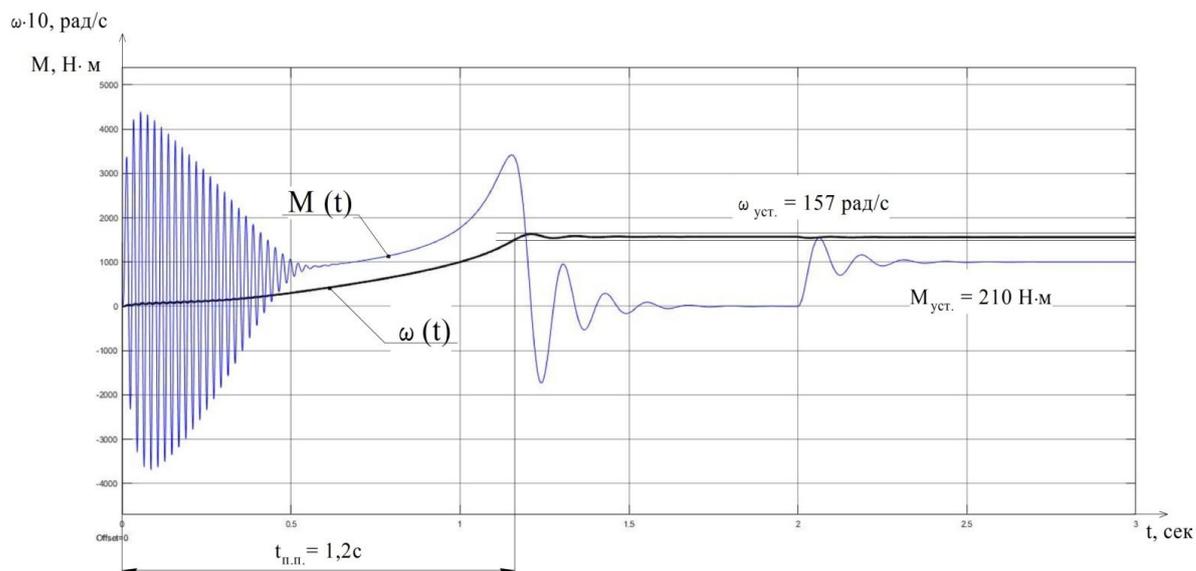


Рис. 2.13. Осциллограмма скорости двигателя $w(t)$, момента $M(t)$ при пуске.

Время переходного процесса определим из условия достижения 5%-ой зоны от полного разгона электропривода, см. рис. 2.13:

$$t_p = 1,2 \text{ с.}$$

Как видим из графиков на рис. 2.13. двигатель разгоняется плавно с нуля до номинальной скорости. Пусковой момент двигателя меньше номинального и при разгоне достигает критического и только потом снижается до номинального (при активной нагрузке больше пускового момента запуск двигателя был бы не возможен).

3 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

3.1 Описание ПЧ ЭРАТОН-М5

На основании полученных выше данных для установки принимаем преобразователь частоты ЭРАТОН-М5. Эратон-М5 выполнен на IGBT модулях. И производится ЗАО «ЭРАСИБ», г. Новосибирск. Внешний вид преобразователя представлен на рисунке 3.1.

При использовании преобразователей частоты в электроприводах таких механизмов может быть получена существенная экономия электроэнергии – от 30 до 60 %. Отличительные черты преобразователей частоты данной модификации: небольшая перегрузочная способность, управление электродвигателем по вольт/частотной характеристике, использование только динамического торможения. Относительно небольшая перегрузочная способность преобразователя достаточна для обеспечения высоких динамических показателей регулирования скорости электродвигателей насосов и вентиляторов благодаря малому моменту сопротивления нагрузки электропривода при малых частотах вращения. Таким образом, максимальное упрощение обеспечивает минимальную цену преобразователей данной модификации.



Рисунок 3.1—Внешний вид преобразователя Эратон-М5

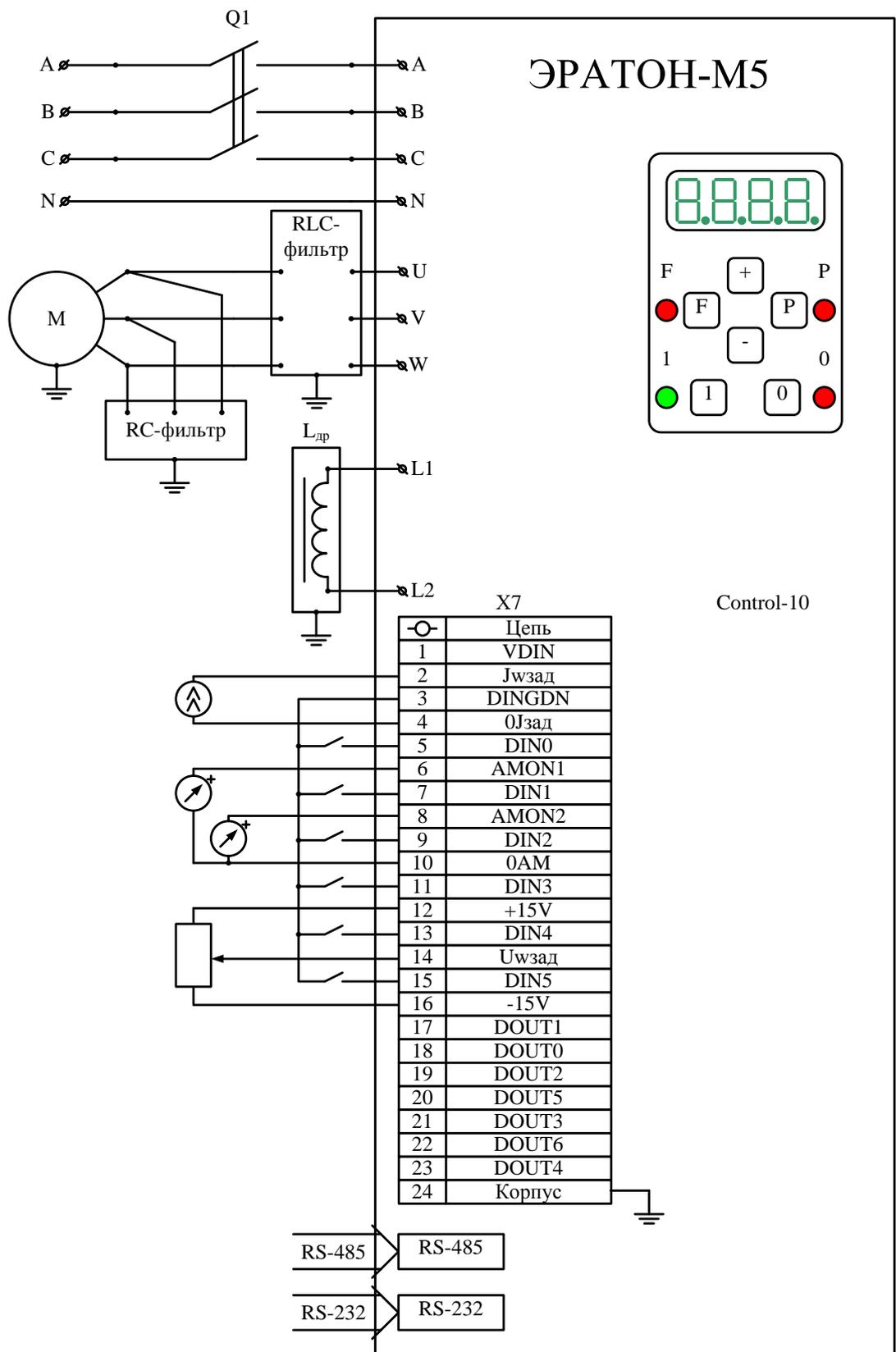


Рисунок 3.2—Схема электрических соединений преобразователя
Эратон-M5

Таблица 3.1 – Технические характеристики преобразователя частоты Эратон-М5

Напряжение питания	3x380 (660) +10.15% В; 50±2% Гц
Степень защиты	IP21, IP44, IP54 по ГОСТ 14254
Средняя наработка на отказ	не менее 10000 ч
Средний срок службы	не менее 10 лет
Выходная частота	1 – 200 Гц
Коэффициент мощности в номинальном режиме работы	0,96
КПД в номинальном режиме работы	97%
Перегрузка	от 105% до 200% от номинального тока, в течение 30 – 120 с

3.2 Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска с нагрузкой в виде насоса на валу двигателя системы «ПЧ - АД»

Составим имитационную модель привода с частотным преобразователем, см. рис. 3.3.

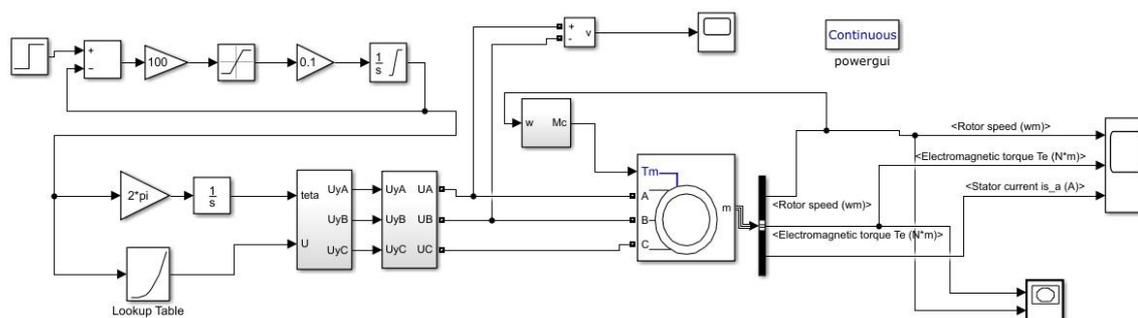


Рис. 3.3. Модель системы ПЧ – АД со скалярным управлением

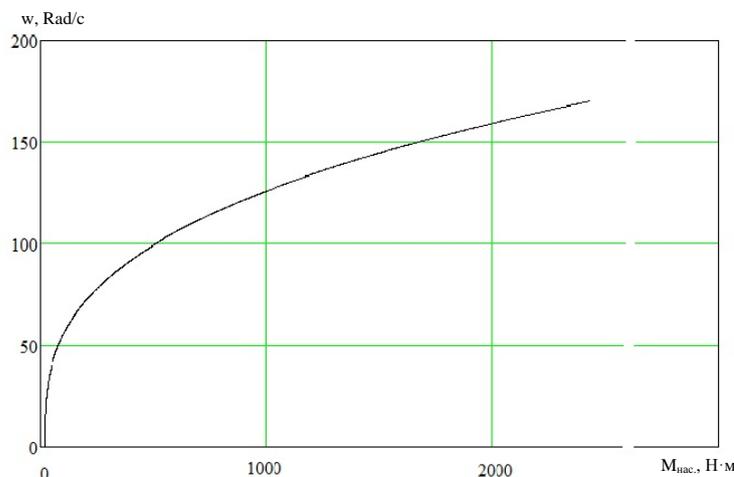


Рис. 3.4. Насосная нагрузка.

Как видим из осциллограммы рис. 3.4 начальный момент практически равен нулю, так как насосная нагрузка описывается выражением, и в начале разгона определяется трением подшипников двигателя и насоса:

$$M_{\text{нас.}} = M_0 + k \cdot \omega^3 = 20 + 0,0000046 \cdot \omega^3 \quad (3.1)$$

где M_0 – начальный момент, означающий трение подшипников,

k – коэффициент пропорциональности между нагрузкой и частотой.

Рассмотрим передаточные функции входящих в нее блоков.

Напряжение и частота изменяются по закону – $U_{1н}/f_{1н}^3 = \text{const.}$, см. рис. 3.5. Который формирует требуемую зависимость скалярного управления между частотой и напряжением преобразователя в блоке «преобразователь частота частота – напряжение» (ПЧН), на рис. 3.3 – блок «Lookur Table».– напряжение».

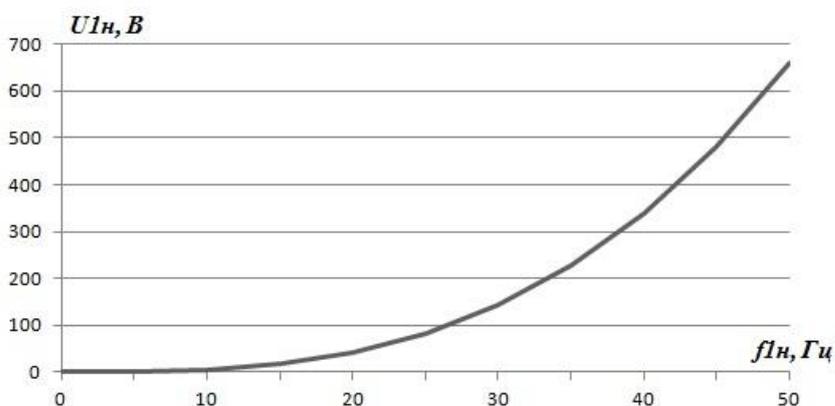


Рис. 3.5. Зависимость $U_{1н}(f_{1н})$.

Инвертор напряжения (блок – «Subsystem») представлен апериодическим звеном:

$$W_{\text{ин}}(p) = \frac{k_{\text{ин}}}{T_{\text{ин}}p + 1} = \frac{1}{0,00001p + 1}, \quad (3.2)$$

где $k_{\text{ин}}$ – коэффициент передачи инвертора;

$$T_{\text{ИН}} = \frac{1}{f_{\text{НЧ}}} = \frac{1}{100000} = 0,00001 \text{ с} \quad - \quad \text{постоянная времени}$$

запаздывания автономного инвертора напряжения, $f_{\text{НЧ}} = 100000 \text{ Гц}$ – несущая частота инвертора.

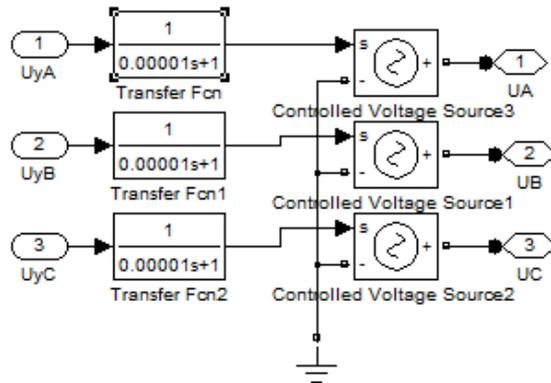


Рис. 3.6. Модель преобразователя частоты

Блок – «Subsystem2» - модель прямого координатного преобразователя (ПКП), на выходе которого формируется три синусоидальных напряжения управления U_{Y1A} , U_{Y1B} , U_{Y1C} , сдвинутые относительно друг друга на угол $\pm 2\pi/3$, с амплитудами, пропорциональными напряжению управления. Сигналы U_{Y1A} , U_{Y1B} , U_{Y1C} формируют фазные напряжения на выходе автономного инвертора напряжения (АИН).

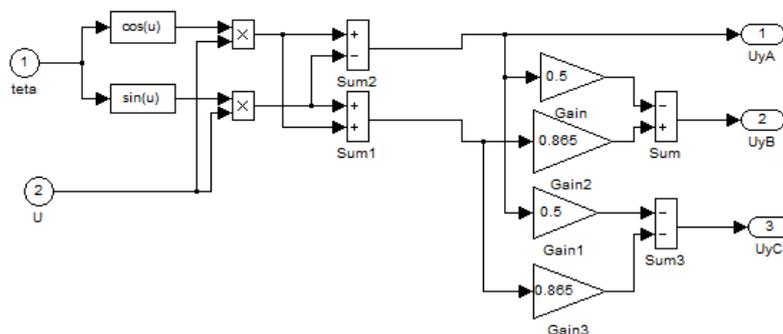


Рис. 3.7. Модель прямого координатного преобразователя

Блок – «Subsystem3» - имитирует нагрузку центробежного насоса.

При малых частотах напряжение на активной части сопротивления статора остается неизменным, в то время как падение напряжения на реактивной части уменьшается, в результате чего сила магнитного поля будет уменьшаться.

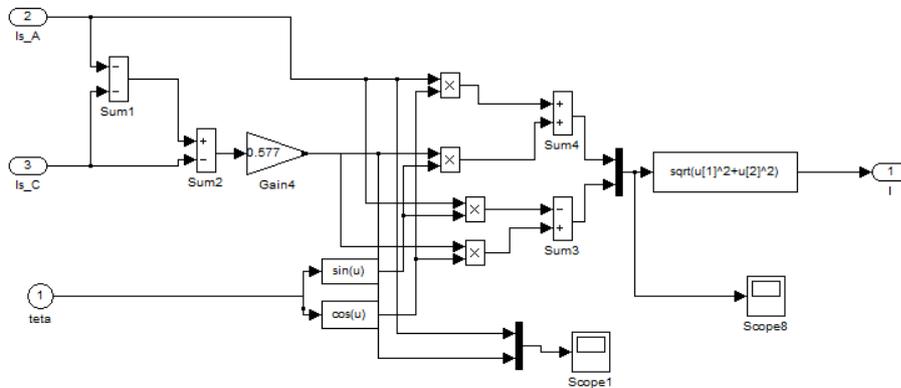


Рис. 3.8. Модель формирователя тока статора.

Построим переходные процессы частоты вращения, электромагнитного момента системы ПЧ – АД при различных входных частотах.

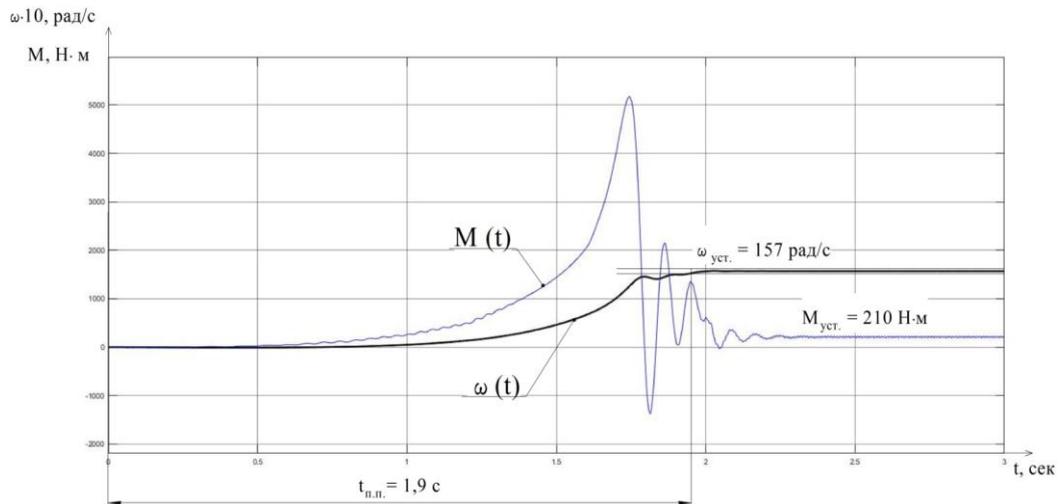


Рис. 3.9. Переходные характеристики системы «ПЧ-АД», $f_{1H} = 50$ Гц.

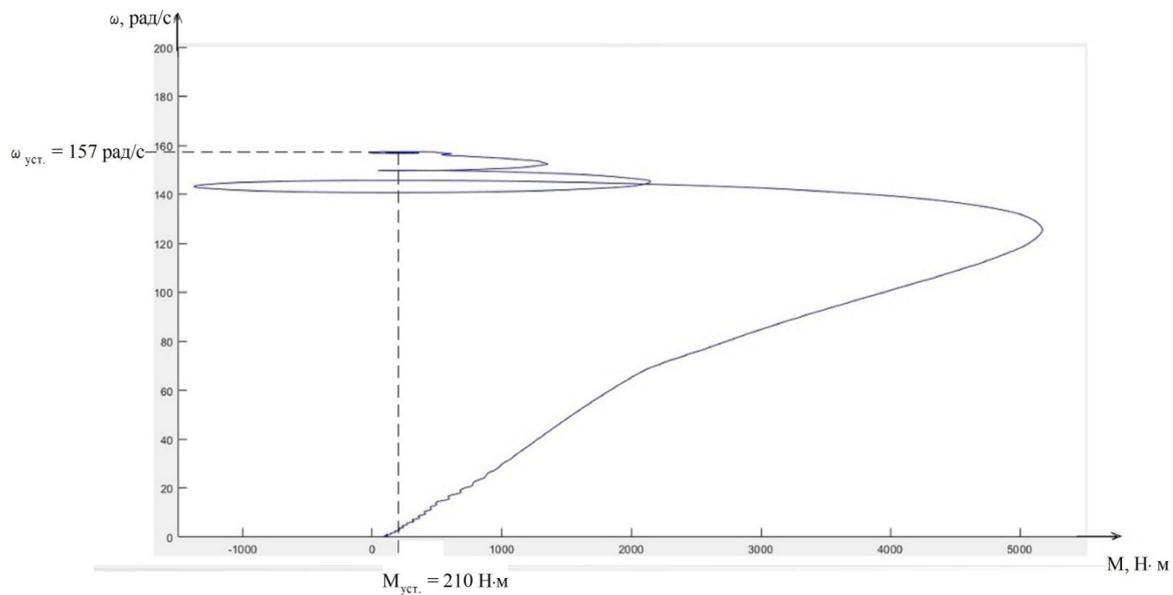


Рис. 3.10. Динамическая механическая характеристика системы «ПЧ-АД»,
 $f_{1H} = 50 \text{ Гц}$.

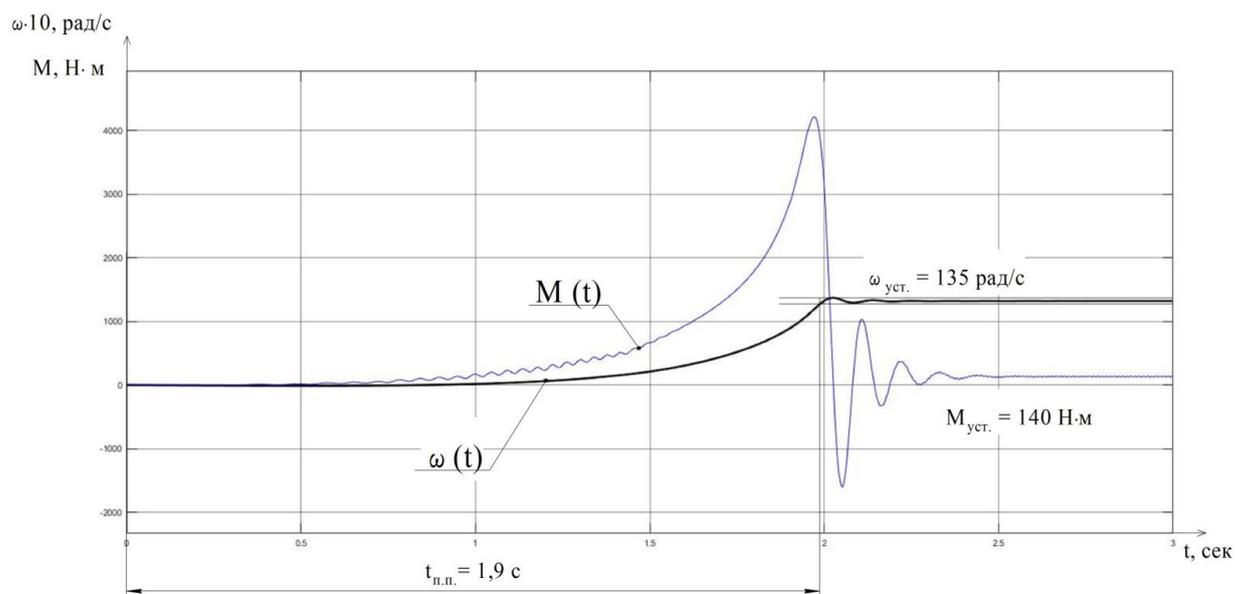


Рис. 3.11. Переходные характеристики системы «ПЧ-АД», $f_{1H} = 42 \text{ Гц}$.

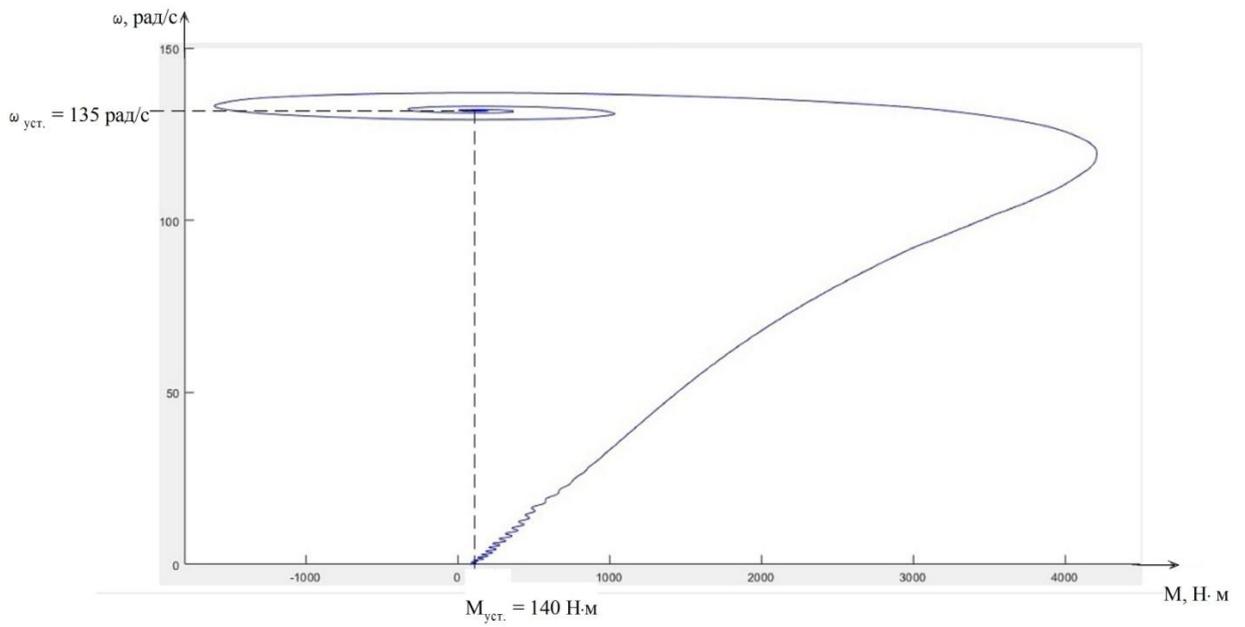


Рис. 3.12. Динамическая механическая характеристика системы «ПЧ-АД»,
 $f_{1н} = 42 \text{ Гц}$.

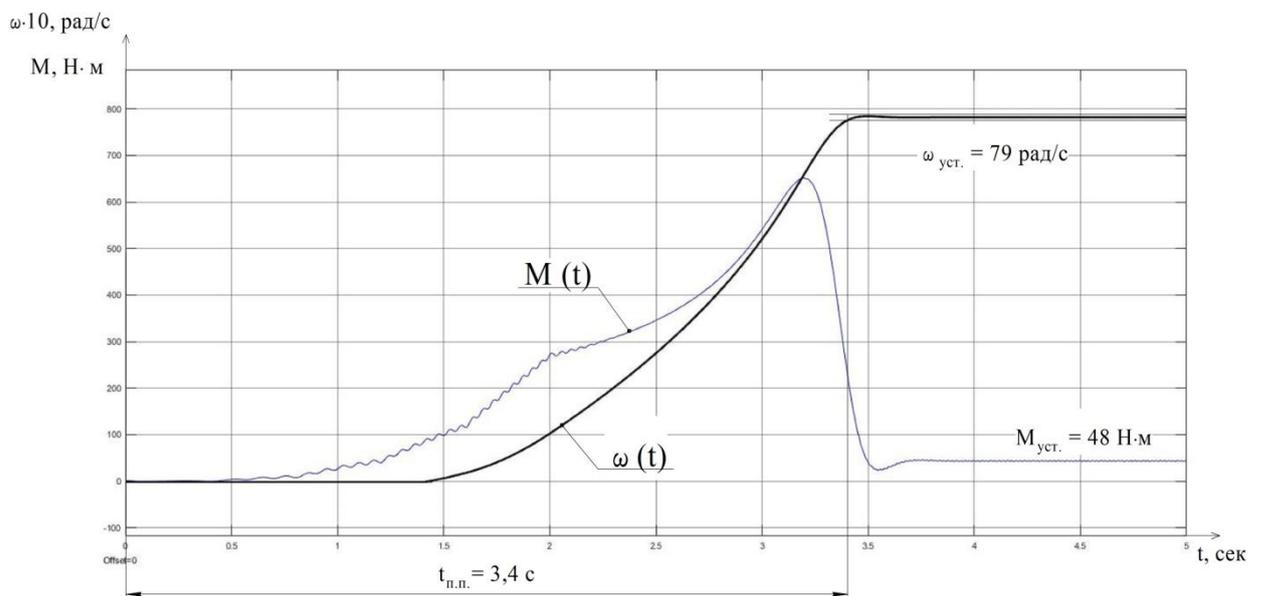


Рис. 3.13. Переходные характеристики системы «ПЧ-АД», $f_{1н} = 25 \text{ Гц}$.

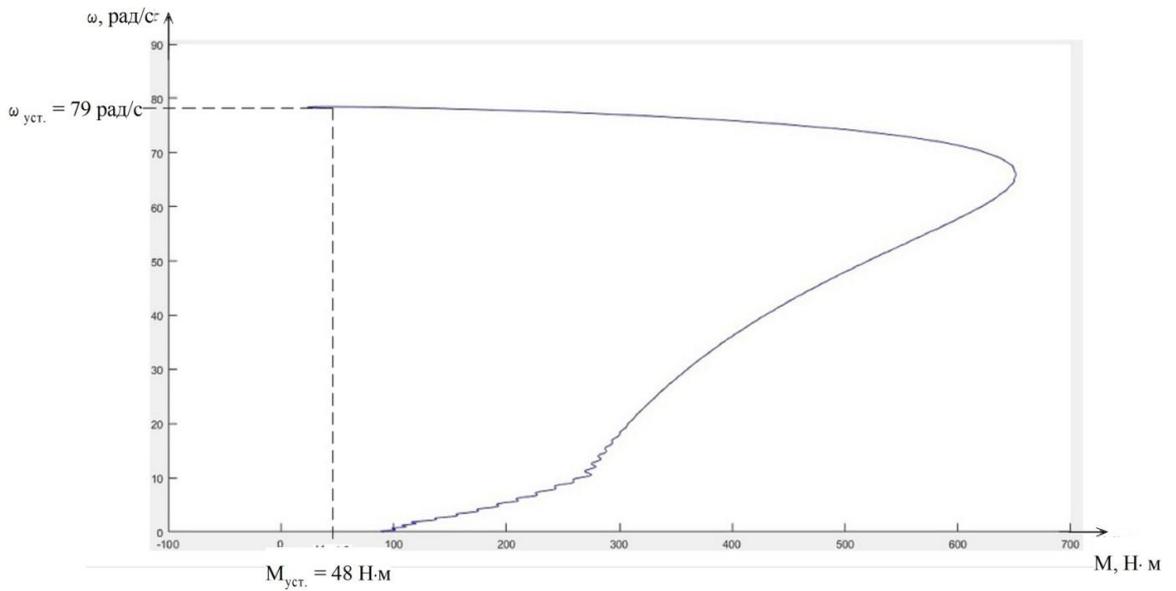


Рис. 3.14. Динамическая механическая характеристика системы «ПЧ-АД»,
 $f_{1н} = 25$ Гц.

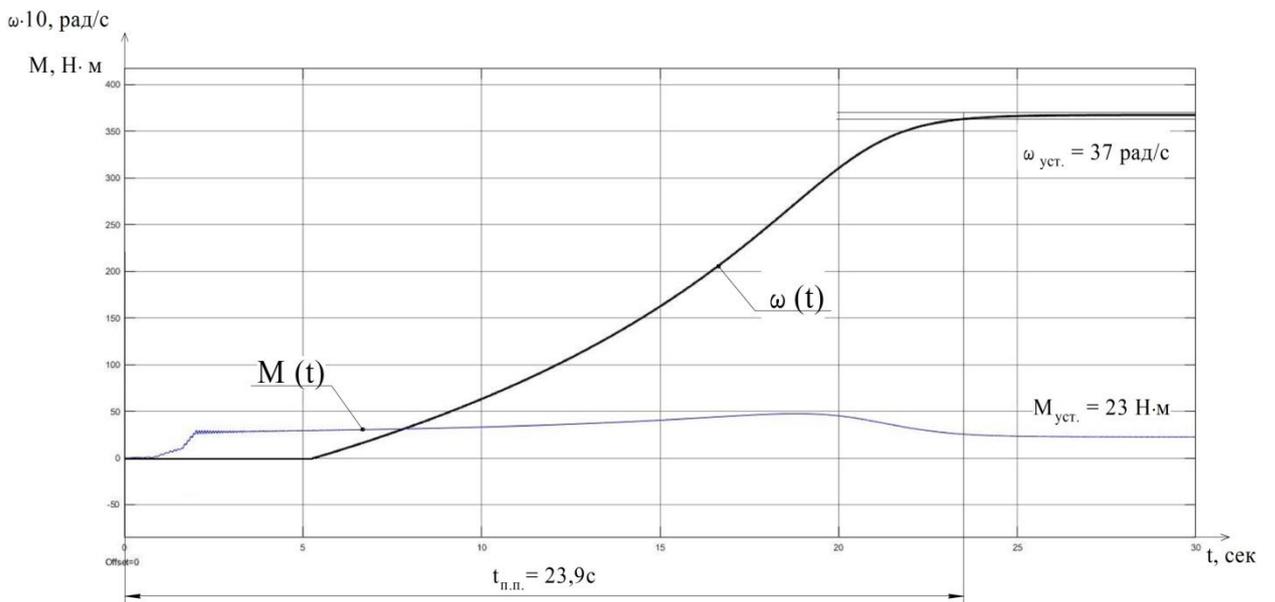


Рис. 3.15. Переходные характеристики системы « ПЧ-АД», $f_{1н} = 12,5$ Гц.

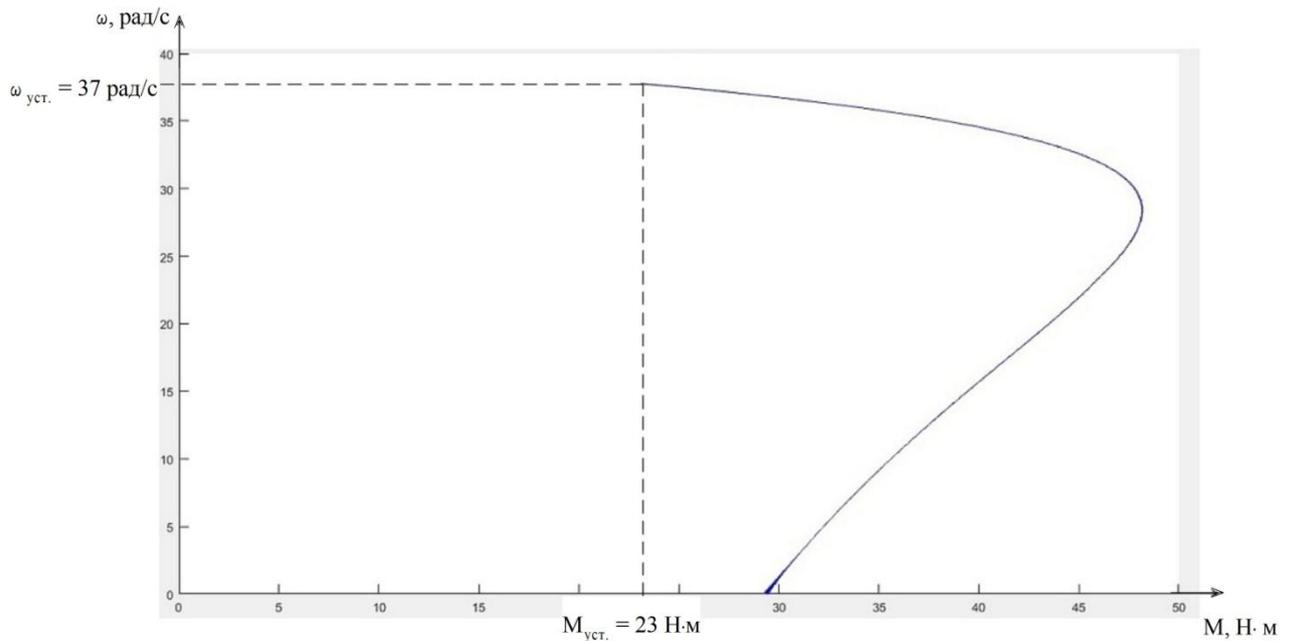


Рис. 3.16. Динамическая механическая характеристика системы «ПЧ-АД»,
 $f_{1н} = 12,5$ Гц.

При использовании частотного преобразователя при определённой задержке (коэффициент задержки 0,05) разгона двигателя получаем четкие характеристики скорости и момента двигателя рис. 3.9 – рис. 3.16. Время разгона увеличилось при $f_{1н} = 50$ Гц с 1,3 с. без ЧП до 1,9с, с ЧП. При последующем понижении частоты время переходного процесса асинхронного двигателя возрастает, данный процесс хорошо виден при $f_{1н} = 25$ Гц, при заданной частоте время переходного процесса составляет 3,4 секунды. А при частоте $f_{1н} = 12,5$ Гц время переходного процесса составляет 23,9 секунды. На основании этих данных, мы можем сделать вывод, что запуск асинхронного двигателя необходимо производить при частоте 50 Гц, после чего необходимо снижать частоту при помощи частотного преобразователя. Именно в такой последовательности, мы сможем добиться наиболее эффективную экономию в потреблении электроэнергии.

4 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ТЕПЛОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ №2

В данном разделе произведен расчет электроснабжения тепловой насосной станции №2 (ТНС№2).

Насосная станция является энергопотребителем второй категории, так как длительное прекращение подачи электроэнергии может привести к снижению давления горячего теплоснабжения.

Исходя из этих соображений, применяется радиальная схема электроснабжения, как наиболее надежная.

Трансформаторная подстанция – комплектная, двухтрансформаторная.

При проектировании применялись современные решения и устройства.

Сети напряжением 6 кВ исполняются с изолированной нейтралью, а в сети напряжением до 1000 В – с глухозаземленной нейтралью.

При проектировании электроснабжения цехов предприятий встает вопрос о выборе рациональных напряжений и роде тока.

При применении повышенных напряжений снижаются потери электроэнергии в проводниках, снижаются токи и сечения проводников (то есть происходит их экономия).

Недостаток перехода на повышенные напряжения в том, что для питания электрического освещения приходится применять специальные трансформаторы 6/0,4 кВ или 0,66/0,4 кВ, так как лампы освещения рассчитаны на линейное напряжение ~380 В. В проектированном варианте для питания осветительных сетей предусматривается использование трансформаторов собственных нужд комплектного распределительного устройства.

При проектировании максимально использовалось стандартное оборудование.

Некоторые разделы общие (расчет освещения и расчет заземления) не дублируются в приложении.

План силовой сети представлен на рисунке 4.1.

Основные энергопотребители представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1—Таблица электроприводов

Номер		Механизмы		Технические данные					Дополнительные данные
По технологическому плану	По плану силовой сети	Наименование электроприемника	Количество	Количество на один механизм	Тип	Номинальная мощность, кВт	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	111, 121, 131, 141	Двигатель насоса группы СН	4	1	A355X-4	315	6000	1485	РП (1 сек.)
2	211, 221, 231	Двигатель насоса группы ПСН	3	1	A355X-4	315	6000	1485	РП(1 сек.- 1 двигат; 2 сек.- 2 двигат.)

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	311, 321, 331	Двигатель насоса группы ПН	3	1	4АН-315М- S4У3	200	660	1485	4Щ, 5Щ,
4	112, 113, 122, 123, 132, 133, 142, 143	Двигатель задвижки воды группы СН		1	АИРС100В4У2	3,4	660	1380	1Щ
5	212, 214, 222, 223, 232, 233	Двигатель задвижки воды группы ПСН		1	АИРС100В4У2	3,4	660	1380	2Щ
6	312, 322, 332	Двигатель задвижки воды группы ПН		1	АИРС100В4У2	3,4	660	1380	3Щ
7	2, 6- 10, 12- 14	Двигатель задвижки воды водоводов	6	1	АИРС100В4У2	3,4	660	1380	1Щ- 3Щ
8	3- 5	Двигатель насоса градирни	3	1	АИР112М4У3	5,5	660	1430	3Щ

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	1, 11	Кран-балка	2	4	-	0,4 2x0,4 4,5	380		1Я,2Я
10	1Щ- 3Щ	-	-	-	-	-	-	-	ПР1
11	1Я, 2Я, ЩО	-	-	-	-	-	-	-	ВРУ1
12	4Щ	-	-	-	-	-	-	-	ТП1 (1-я секция)
13	5Щ	-	-	-	-	-	-	-	6Щ
14	6Щ	Преобразователь частоты	1	1	Эратон М5-200- 0-1	-	660	-	ТП1 (2-я секция)
15	ВРУ1	-	-	-	-	-	-	-	ТСН
16	ПР1	-	-	-	-	-	-	-	ТП1 (2-я секция)

4.1 Выбор трансформатора расчет потерь

Комплектная трансформаторная подстанция КТП 6/0,69 кВ.

Полная средняя нагрузка за смену составит:

$$S_c = \sqrt{(P_{c1} + P_{c2})^2 + (Q_{c1} + Q_{c2})^2} = \sqrt{(140 + 144,3)^2 + (186,7 + 192,44)^2} = \\ = \sqrt{80826,49 + 143747,14} = 474 \text{ кВА} \quad (4.1)$$

$$S_p = \sqrt{(P_{p1} + P_{p2})^2 + (Q_{p1} + Q_{p2})^2} = \sqrt{(160 + 165)^2 + (212,8 + 219,38)^2} = \\ = \sqrt{105625 + 186779,6} = 540,7 \text{ кВА} \quad (4.2)$$

Рассчитаем два варианта трансформаторных подстанций:

- одну двухтрансформаторную,

- две двухтрансформаторных.

Расчетная мощность трансформатора

$$S_{нт} \geq \frac{S_c}{K_3 N_{онт}} = \frac{474}{0,775 \cdot 2} = 305 \text{ кВА}, \quad (4.3)$$

$$S_{нт} \geq \frac{S_c}{K_3 N_{онт}} = \frac{474}{0,775 \cdot 4} = 153 \text{ кВА} \quad (4.4)$$

Наибольшая реактивная мощность, которую целесообразно передать в низковольтную сеть через два трансформатора 400 кВА:

$$Q_{\max.т} = \sqrt{(N_{онт} K_3 S_{нт})^2 - P_c^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,775 \cdot 400)^2 - 80826,49} = 551 \text{ квар} \quad (4.5)$$

Мощность $Q_{нк1}$ на стороне низкого напряжения составит

$$Q_{нк1} = Q_c - Q_{\max.т} = 379 - 551 = -172 \text{ квар}, \quad (4.6)$$

т.е. компенсация реактивной мощности не требуется.

Наибольшая реактивная мощность, которую целесообразно передать в низковольтную сеть через четыре трансформатора 250 кВА:

$$Q_{\max.т} = \sqrt{(N_{онт} K_3 S_{нт})^2 - P_c^2} = \sqrt{(4 \cdot 0,775 \cdot 250)^2 - 80826,49} = 721 \text{ квар} \quad (4.7)$$

Мощность $Q_{нк1}$ на стороне низкого напряжения составит

$$Q_{\text{нк1}} = Q_c - Q_{\text{маx.т}} = 379 - 721 = -342 \text{ квар}, \quad (4.8)$$

т.е. компенсация реактивной мощности не требуется.

Наибольшая реактивная мощность, которую целесообразно передать в низковольтную сеть через четыре трансформатора 160 кВА:

$$Q_{\text{маx.т}} = \sqrt{(N_{\text{опт}} K_3 S_{\text{нт}})^2 - P_c^2} = \sqrt{(4 \cdot 0,775 \cdot 160)^2 - 80826,49} = 406,4 \text{ квар} \quad (4.9)$$

Мощность $Q_{\text{нк1}}$ на стороне низкого напряжения составит

$$Q_{\text{нк1}} = Q_c - Q_{\text{маx.т}} = 379 - 406,4 = -27,4 \text{ квар}, \quad (4.10)$$

т.е. компенсация реактивной мощности не требуется.

Вычислим потери в трансформаторе.

Технические данные трансформаторов представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4—Технические данные трансформаторов

Тип трансформатора		ТМ 400	ТМ250	ТМ160	
Типовая мощность	$S_{\text{нт}}$	кВА	400	250	160
	P_{xx}	кВт	1,2	0,945	0,73
Потери кВт	$P_{\text{кз}}$	кВт	5,5	3,7	2,65
	$U_{\text{кз}}$	%	4,5	4,5	4,5
I_{xx}		%	2,1	2,3	2,4

$$\Delta Q_{\text{xx}} = S_{\text{нт}} \frac{I_{\text{xx}} \%}{100} = \frac{400 \cdot 2,1}{100} = 8,4 \text{ квар}, \quad (4.11)$$

$$\Delta P'_{\text{xx}} = \Delta P_{\text{xx}} + K_{\text{шт}} \Delta Q_{\text{xx}} = 1,2 + 0,15 \cdot 8,4 = 2,46 \text{ кВт}, \quad (4.12)$$

$$\Delta Q_{\text{кз}} = S_{\text{нт}} \frac{U_{\text{кз}} \%}{100} = 400 \frac{4,5}{100} = 18 \text{ квар} \quad (4.13)$$

$$\Delta P'_{\text{кз}} = \Delta P_{\text{кз}} + K_{\text{шт}} \Delta Q_{\text{кз}} = 5,5 + 0,15 \cdot 18 = 8,2 \text{ кВт}, \quad (4.14)$$

$$\beta_c = \frac{S_c}{S_{HT} \cdot n} = \frac{474}{400 \cdot 2} = 0,592 \quad (4.15)$$

$$\beta_p = \frac{S_p}{S_{HT} \cdot n} = \frac{540,2}{400 \cdot 2} = 0,675 \quad (4.16)$$

$$\Delta P_c = \Delta P'_{xx} + \beta_c^2 \Delta P'_{кз} = 2,46 + 0,592^2 \cdot 8,2 = 5,337 \text{ кВт}, \quad (4.17)$$

$$\Delta Q_c = \Delta Q_{xx} + \beta_c^2 \Delta Q_{кз} = 8,4 + 0,592^2 \cdot 18 = 14,716 \text{ квар}, \quad (4.18)$$

$$\Delta P_p = \Delta P'_{xx} + \beta_p^2 \Delta P'_{кз} = 2,46 + 0,675^2 \cdot 8,2 = 6,199 \text{ кВт}, \quad (4.19)$$

$$\Delta Q_p = \Delta Q_{xx} + \beta_p^2 \Delta Q_{кз} = 8,4 + 0,675^2 \cdot 18 = 16,608 \text{ квар}, \quad (4.20)$$

$$\Delta P'_T = n \Delta P'_{xx} + \frac{1}{n} k_3^2 \Delta P'_{xx} = 2 \cdot 2,46 + \frac{1}{2} \cdot 0,75^2 \cdot 2,46 = 5,612 \text{ кВт} \quad (4.21)$$

Расчет с применением двух двутрансформаторных подстанций проведен аналогично и представлен в таблице 4.5.

Таблица 4.5—Расчет трансформаторов 6/0,69 кВ

Рассчитываемые величины, ед. измерения		Тип трансформатора		
		ТМ 400	ТМ250	ТМ160
n	шт.	2	4	4
ΔQ_{xx}	квар	8,4	5,75	3,84
$\Delta Q_{кз}$	квар	18	11,25	7,2
$\Delta P'_{xx}$	кВт	2,46	1,808	1,306
$\Delta P'_{кз}$	кВт	8,2	5,388	3,730
β_c	-	0,592	0,474	0,740
β_p	-	0,675	0,540	0,844
ΔP_c	кВт	5,337	3,017	3,351
ΔQ_c	квар	14,716	8,276	7,787
ΔP_p	кВт	6,199	3,380	3,964
ΔQ_p	квар	16,608	9,033	8,970
$\Delta P'_T$	кВт	5,612	7,484	5,433

Согласно сделанных расчетов видно, что приведенные потери с применением четырех трансформаторов ТМ 160 наименьшие, но ввиду

того, что разница приведенных потерь незначительная (179 Вт), а стоимость двух трансформаторов ТМ400 гораздо больше (167100 руб.), чем стоимость четырех ТМ160 (227400 руб.), то принимаем к установке два трансформатора ТМ 400 мощностью $S_{HT}=400$ кВА.

Принципиальная схема комплектной двухтрансформаторной подстанции представлена на рисунке 4.5.

Трансформатор собственных нужд ТСН 6/0,4 кВ:

Полная средняя нагрузка за смену составит:

$$S_c = \sqrt{(P_{c1} + P_{c2})^2 + (Q_{c1} + Q_{c2})^2} = \sqrt{(17,5 + 18)^2 + (18,8 + 13)^2} = \quad (4.22) \\ = \sqrt{1260,25 + 1011,24} = 48 \text{кВА}$$

$$S_p = \sqrt{(P_{p1} + P_{p2})^2 + (Q_{p1} + Q_{p2})^2} = \sqrt{(20 + 18,9)^2 + (21,48 + 13,32)^2} = \quad (4.23) \\ = \sqrt{1513,21 + 1211,04} = 52 \text{кВА}$$

Расчетная мощность трансформатора

$$S_{HT} \geq \frac{S_c}{K_3 N_{opt}} = \frac{48}{0,775 \cdot 2} = 31 \text{ кВА} \quad (4.24)$$

Наибольшая реактивная мощность, которую целесообразно передать в низковольтную сеть через два трансформатора 40 кВА:

$$Q_{max.T} = \sqrt{(N_{opt} K_3 S_{HT})^2 - P_c^2} = \sqrt{(2 \cdot 0,775 \cdot 40)^2 - 1260,25} = 51 \text{ квар}, \quad (4.25)$$

Мощность $Q_{нк1}$ на стороне низкого напряжения составит

$$Q_{нк1} = Q_c - Q_{max.T} = 31,8 - 51 = -19,2 \text{ квар}, \quad (4.26)$$

т.е. компенсация реактивной мощности не требуется.

Технические данные трансформаторов представлены в таблице 4.6.

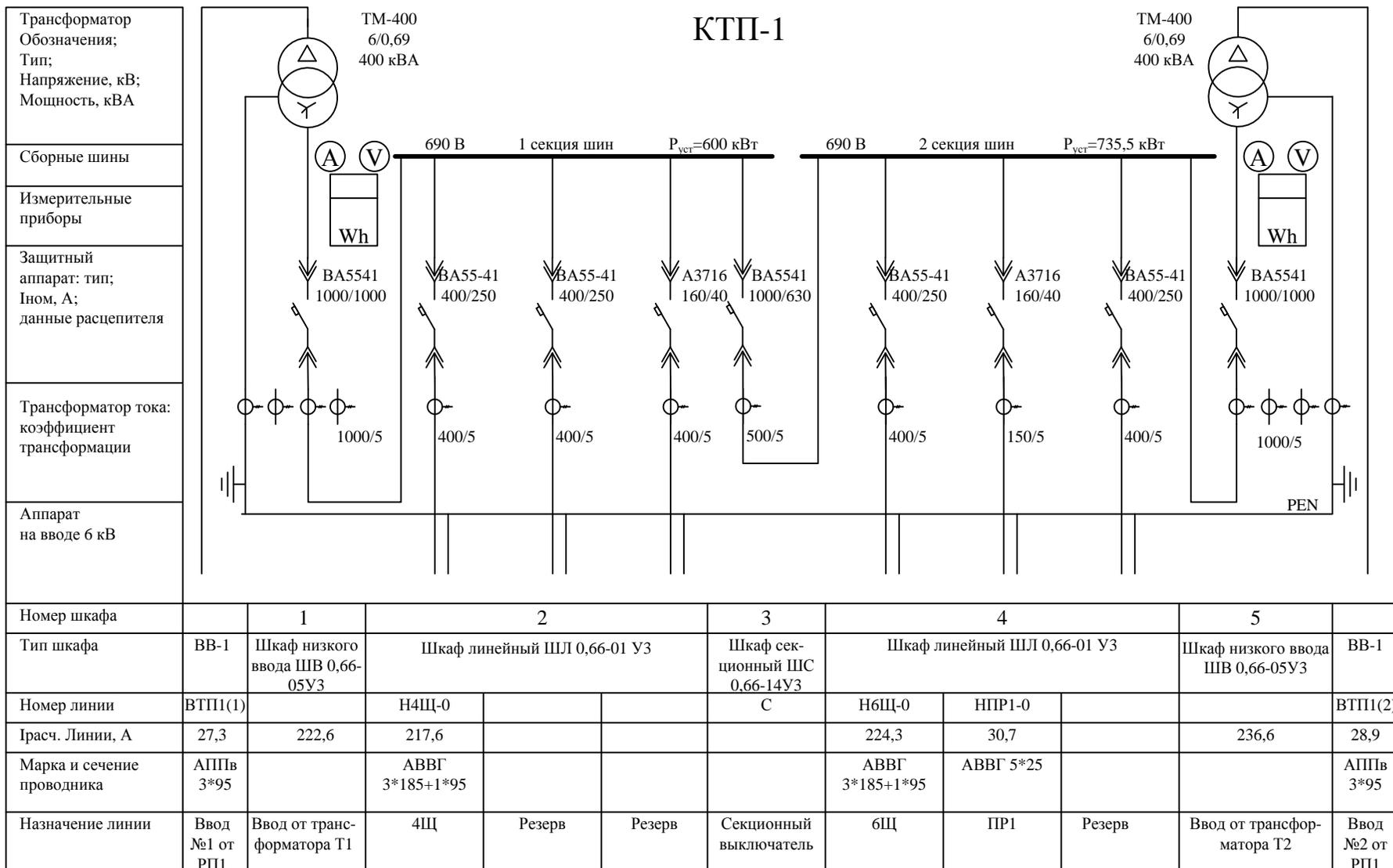


Рисунок 4.5—Принципиальная однолинейная схема КТП-1

Таблица 4.6—Технические данные трансформатора

Тип трансформатора			ТСКС 40
Типовая мощность	S _{HT}	кВА	40
Потери кВт	P _{xx}	кВт	0,24
	P _{кз}	кВт	0,88
U _{кз}		%	4,5
I _{xx}		%	3

Вычислим потери в трансформаторе и сведем их в таблицу 4.7.

$$\Delta Q_{xx} = S_{HT} \frac{I_{xx} \%}{100} = \frac{40 \cdot 3}{100} = 1,2 \text{ квар} \quad (4.27)$$

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + K_{\text{шт}} \Delta Q_{xx} = 0,24 + 0,15 \cdot 1,2 = 0,42 \text{ кВт} \quad (4.28)$$

$$\Delta Q_{кз} = S_{HT} \frac{U_{кз} \%}{100} = 40 \frac{4,5}{100} = 1,8 \text{ квар} \quad (4.29)$$

$$\Delta P'_{кз} = \Delta P_{кз} + K_{\text{шт}} \Delta Q_{кз} = 0,88 + 0,15 \cdot 1,8 = 1,15 \text{ кВт} \quad (4.30)$$

$$\beta_c = \frac{S_c}{S_{HT} n} = \frac{47,5}{40 \cdot 2} = 0,594 \quad (4.31)$$

$$\beta_p = \frac{S_p}{S_{HT} n} = \frac{52,2}{40 \cdot 2} = 0,653 \quad (4.32)$$

$$\Delta P_c = \Delta P'_{xx} + \beta_c^2 \Delta P'_{кз} = 0,42 + 0,594^2 \cdot 1,15 = 0,826 \text{ кВт} \quad (4.33)$$

$$\Delta Q_c = \Delta Q_{xx} + \beta_c^2 \Delta Q_{кз} = 1,2 + 0,594^2 \cdot 1,8 = 1,835 \text{ квар} \quad (4.34)$$

$$\Delta P_p = \Delta P'_{xx} + \beta_p^2 \Delta P'_{кз} = 0,42 + 0,653^2 \cdot 1,15 = 0,91 \text{ кВт} \quad (4.35)$$

$$\Delta Q_p = \Delta Q_{xx} + \beta_p^2 \Delta Q_{кз} = 1,2 + 0,653^2 \cdot 1,8 = 1,966 \text{ квар} \quad (4.36)$$

$$\Delta P'_T = n \Delta P'_{xx} + \frac{1}{n} k_3^2 \Delta P'_{кз} = 2 \cdot 0,42 + \frac{1}{2} \cdot 0,75^2 \cdot 0,42 = 0,958 \text{ кВт} \quad (4.37)$$

Таблица 4.7—Потери в трансформаторе ТСКС 40

Рассчитываемые величины, ед. измерения		Тип трансформатора	
		ТСКС 40	
n	шт.	2	
ΔQ_{xx}	квар	1,2	
$\Delta Q_{кз}$	квар	1,8	
$\Delta P'_{xx}$	кВт	0,42	
$\Delta P'_{кз}$	кВт	1,15	
β_c	-	0,594	
β_p	-	0,653	
ΔP_c	кВт	0,826	
ΔQ_c	квар	1,835	
ΔP_p	кВт	0,91	
ΔQ_p	квар	1,966	
$\Delta P'_T$	кВт	0,958	

Выбор и проверка проводников напряжением 6 кВ приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8—Выбор и проверка проводников напряжением 6 кВ

Расчетные величины			Обозначения и расчетная формулы, ед. измерения	№ п. л.	Числовые значения			
					4	5	6	
1			2					
Наименование участка или назначение линии				1	СН1	СН2	СН3	
исходные данные	Нагрузка установки	Мощность	S_p , КВА	2	394	394	394	
		Ток	I_p , А	3	38	38	38	
	Число линий, питающих установку		N , шт	4	1	1	1	
	Нагрузка наиболее нагруженной линии в режиме	Нормальном		I_p , А	5	38	38	38
		Аварий-ном	Длительно	$I_{дл}$, А	6	38	38	38
			Кратковремен-но	$I_{кр}$, А	7	247	247	247
	Длина линии		L , м	8	27	33	39	
	Способ прокладки			9	Коро б	Коро б	Коро б	

Продолжение таблицы 4.8

1		2	4	5	6	
Расчет	По допустимому нагреву	Кол-во кабелей в траншее	1, 2, 3, 4	10	12	12
		Группа блока №	(I – XI)	11	-	-
		Коэффициенты	K1	12	1	1
			K2	13	0,75	0,75
			K3	14	-	-
	Сечение	S _н , мм ²	15	16	16	
	По экономической плотности тока	Годовое число использования максимума нагрузки	T _м , Ч/год	16	6000	6000
		Экономическая плотность тока	J _э , А/мм ²	17	1,2	1,2
		Сечение	S _э , мм ²	18	32	32
	По току короткого замыкания	Приведенное время	T _п , с	19	0,7	0,7
		Ток КЗ	I _{кз} , А	20	8000	8000
		Сечение	S _з , мм ²	21	89,24	89,24
	По потере напряжения	$\Delta U\% = \sqrt{3} I_{кр} \cdot l (r_0 \cos\varphi + x_0 \sin\varphi) \frac{100}{U_n}$		22	0,06	0,07
Кабель	Марка		23	АП Пв	АППв	
	Кол-во кабелей и жил, сечения жил (шт.мм ²)		24	3·95	3·95	
	Допустимая нагрузка		25	127,5	127,5	

Продолжение таблицы 4.8

№ п. п.	Числовые значения							
	7	9	10	11	13	14	15	16
1	СН4	ПСН1	ПСН2	ПСН3	ТП1(1)	ТП1(2)	РП(1)	РП(2)
2	394	394	394	394	283,3	300	783,4	1050,4
3	38	38	38	38	27,3	28,9	75,4	101,1
4	1	1	1	1	1	1	1	1
5	38	38	38	38	27,3	28,9	75,4	101,1
6	38	38	38	38	56,2	56,2	176,5	176,5
7	247	247	247	247	56,2	56,2	176,5	176,5
8	45	27	33	39	30	36	250	250

Продолжение таблицы 4.8

	7	9	10	11	13	14	15	16
9	Короб	Короб	Короб	Короб	Короб	Короб	Траншея	Траншея
10	12	12	12	12	2	2	2	2
11	-	-	-	-	-	-	-	-
12	1	1	1	1	1	1	1,17	1,17
13	0,75	0,75	0,75	0,75	1	1	0,9	0,9
14	-	-	-	-	-	-	-	-
15	16	16	16	16	35	35	70	70
16	6000	6000	6000	6000	8760	8760	8760	8760
17	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
18	32	32	32	32	23	24	63	84
19	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
20	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
21	89,24	89,24	89,24	89,24	89,24	89,24	89,24	89,24
22	0,10	0,06	0,07	0,09	0,0123	0,0152	0,3739	0,3802
23	АППв	АППв	АППв	АППв	АППв	АППв	АППв	АППв
24	3·95	3·95	3·95	3·95	3·95	3·95	3·95	3·95
25	127,5	127,5	127,5	127,5	170	170	179,01	179,01

4.2 Расчет токов короткого замыкания на стороне высокого напряжения

Расчетный ток КЗ ВН определяется из условий повреждения в такой точке цепи, в которой аппараты и проводники находятся в наиболее тяжелых условиях.

Расчет сопротивлений ведется в относительных единицах, по методике приведенной в [11]. Однолинейная расчетная схема представлена на рисунке 4.6, схема замещения на рисунке 4.7. Расчет приведен в таблице 4.9. Базовая мощность $S_б=100$ МВА.

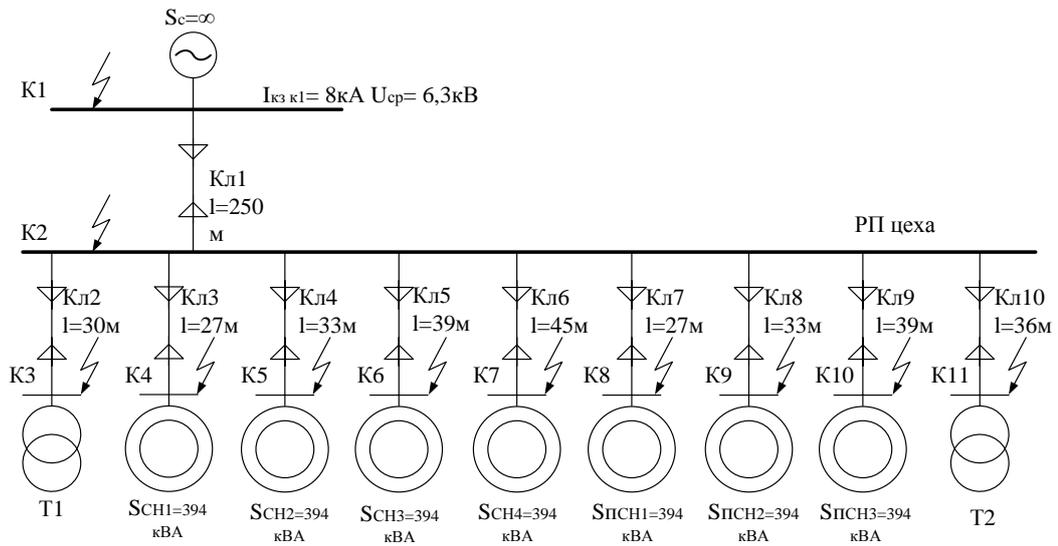


Рисунок 4.6— Однолинейная схема к расчету токов КЗ ВН

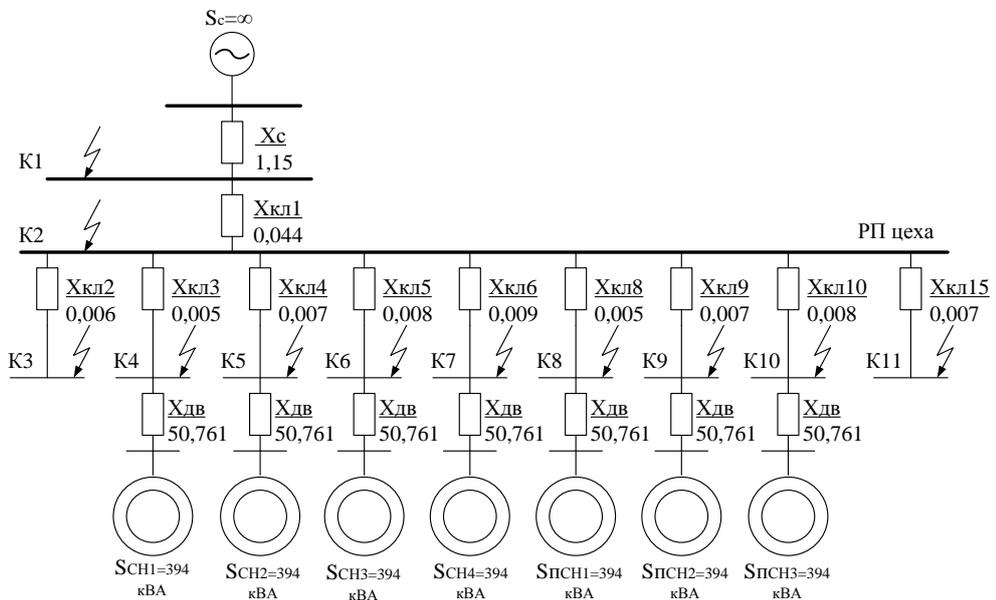


Рисунок 4.7— Полная схема замещения к расчету токов КЗ ВН

Таблица 4.9—Расчет токов короткого замыкания на стороне
высокого напряжения

Точ-ка КЗ	Место КЗ	Un, кВ	Iб, кА	Х-рез(б)	Генерирующие ветви		Относительные единицы		
					наименование	Sn, МВА	E''·0(б)	I·п0(б)	I·п0(ном)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
К1	Шинопровод	6	-	1,15	система	∞	-	-	-
К2	Шины РП 6 кВ	6	9,16	1,194	система	∞	-	-	-
				50,767	1 двигатель	0,394	0,93	0,018	4,65
				-	все двигатели	2,758	-	-	-
				-	сумма	-	-	-	-
К3	Ввод Т1	6	9,16	1,200	система	∞	-	-	-
				50,773	1 двигатель	0,394	0,93	0,018	4,65
				-	все двигатели	2,758	-	-	-
				-	сумма	-	-	-	-
К4	СН1	6	9,16	1,200	система	∞	-	-	-
				50,761	1 двигатель	0,394	0,93	0,018	4,65
				-	все двигатели	2,758	-	-	-
				-	сумма	-	-	-	-
К5	СН2	6	9,16	1,201	система	∞	-	-	-
				50,774	1 двигатель	0,394	0,93	0,018	4,65
				-	все двигатели	2,758	-	-	-
				-	сумма	-	-	-	-
К6	СН3	6	9,16	1,202	система	∞	-	-	-
				50,775	1 двигатель	0,394	0,93	0,018	4,65
				-	все двигатели	2,758	-	-	-
				-	сумма	-	-	-	-
К7	СН4	6	9,16	1,203	система	∞	-	-	-
				50,776	1 двигатель	0,394	0,93	0,018	4,65
				-	все двигатели	2,758	-	-	-
				-	сумма	-	-	-	-
К8	ПСН1	6	9,16	1,201	система	∞	-	-	-
				50,774	1 двигатель	0,394	0,93	0,018	4,65
				-	все двигатели	2,758	-	-	-
				-	сумма	-	-	-	-
К9	ПСН2	6	9,16	1,202	система	∞	-	-	-
				50,775	1 двигатель	0,394	0,93	0,018	4,65
				-	все двигатели	2,758	-	-	-
				-	сумма	-	-	-	-
К10	ПСН3	6	9,16	1,201	система	∞	-	-	-
				50,774	1 двигатель	0,394	0,93	0,018	4,65
				-	все двигатели	2,758	-	-	-
				-	сумма	-	-	-	-
К11	Ввод Т2	6	9,16	1,200	система	∞	-	-	-
				50,774	1 двигатель	0,394	0,93	0,018	4,65
				-	все двигатели	2,758	-	-	-
				-	сумма	-	-	-	-

Продолжение таблицы 4.9

Точка КЗ	Место КЗ	Коэффициенты затухания				Токи КЗ, кА						S _{0,2} , МВА
		$\gamma_{пт=0}$	$\gamma_{пт=0,05}$	$\gamma_{пт=0,1}$	$\gamma_{пт=0,2}$	Int=0	Int=0,05	Int=0,1	Int=0,2	Int= ∞	iy	
1	2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
K1	Шино-провод	-	-	-	-	7,97	7,97	7,97	7,97	7,97	20,31	86,92
K2	Шины РП 6 кВ	-	-	-	-	7,67	7,67	7,67	7,67	7,67	19,56	83,71
		0,88	0,43	0,25	0,08	0,15	0,07	0,04	0,01	0,00	0,38	0,15
		-	-	-	-	1,03	0,50	0,29	0,09	0,00	2,64	1,03
		-	-	-	-	8,70	8,18	7,96	7,77	7,67	22,20	84,73
K3	Ввод Т1	-	-	-	-	7,63	7,63	7,63	7,63	7,63	19,46	83,28
		0,88	0,43	0,25	0,08	0,15	0,07	0,04	0,01	0,00	0,38	0,15
		-	-	-	-	1,03	0,50	0,29	0,09	0,00	2,63	1,02
		-	-	-	-	8,67	8,14	7,93	7,73	7,63	22,10	84,31
K4	СН1	-	-	-	-	7,64	7,64	7,64	7,64	7,64	19,47	83,33
		0,88	0,43	0,25	0,08	0,15	0,07	0,04	0,01	0,00	0,38	0,15
		-	-	-	-	1,03	0,50	0,29	0,09	0,00	2,63	1,03
		-	-	-	-	8,67	8,14	7,93	7,73	7,64	22,11	84,35
K5	СН2	-	-	-	-	7,63	7,63	7,63	7,63	7,63	19,45	83,24
		0,88	0,43	0,25	0,08	0,15	0,07	0,04	0,01	0,00	0,38	0,15
		-	-	-	-	1,03	0,50	0,29	0,09	0,00	2,63	1,02
		-	-	-	-	8,66	8,13	7,92	7,72	7,63	22,09	84,27
K6	СН3	-	-	-	-	7,62	7,62	7,62	7,62	7,62	19,43	83,16
		0,88	0,43	0,25	0,08	0,15	0,07	0,04	0,01	0,00	0,38	0,15
		-	-	-	-	1,03	0,50	0,29	0,09	0,00	2,63	1,02
		-	-	-	-	8,65	8,13	7,91	7,71	7,62	22,07	84,18
K7	СН4	-	-	-	-	7,61	7,61	7,61	7,61	7,61	19,41	83,08
		0,88	0,43	0,25	0,08	0,15	0,07	0,04	0,01	0,00	0,38	0,15
		-	-	-	-	1,03	0,50	0,29	0,09	0,00	2,63	1,02
		-	-	-	-	8,65	8,12	7,91	7,71	7,61	22,05	84,10
K8	ПСН1	-	-	-	-	7,63	7,63	7,63	7,63	7,63	19,45	83,24
		0,88	0,43	0,25	0,08	0,15	0,07	0,04	0,01	0,00	0,38	0,15
		-	-	-	-	1,03	0,50	0,29	0,09	0,00	2,63	1,02
		-	-	-	-	8,66	8,13	7,92	7,72	7,63	22,09	84,27
K9	ПСН2	-	-	-	-	7,62	7,62	7,62	7,62	7,62	19,43	83,16
		0,88	0,43	0,25	0,08	0,15	0,07	0,04	0,01	0,00	0,38	0,15
		-	-	-	-	1,03	0,50	0,29	0,09	0,00	2,63	1,02
		-	-	-	-	8,65	8,13	7,91	7,71	7,62	22,07	84,18
K10	ПСН3	-	-	-	-	7,62	7,62	7,62	7,62	7,62	19,44	83,20
		0,88	0,43	0,25	0,08	0,15	0,07	0,04	0,01	0,00	0,38	0,15
		-	-	-	-	1,03	0,50	0,29	0,09	0,00	2,63	1,02
		-	-	-	-	8,66	8,13	7,92	7,72	7,62	22,08	84,23
K11	Ввод Т2	-	-	-	-	7,63	7,63	7,63	7,63	7,63	19,46	83,28
		0,88	0,43	0,25	0,08	0,15	0,07	0,04	0,01	0,00	0,38	0,15
		-	-	-	-	1,03	0,50	0,29	0,09	0,00	2,63	1,02
		-	-	-	-	8,67	8,14	7,93	7,73	7,63	22,10	84,31

4.3 Выбор кабелей и электрооборудования управления и защиты для установок до 1000 В.

Расчетные выражения для выбора аппаратов защиты в силовых и осветительных сетях представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11—Расчетные выражения для выбора аппаратов защиты НН

Аппарат защиты	Расчетные формулы			
	силовые сети		осветительные сети	
	линии к одиночным электроприемникам	линии к группам электроприемников	лампы накаливания и люминесцентные лампы	лампы ДРЛ, ДРИ
Плавкая вставка предохранителя	1) $I_{н.вс} \geq I_{н.эп}$; 2) $I_{н.вс} \geq I_{пуск}/2,5$; 3) $I_{н.вс} \geq I_{пуск}/(1,6...2)$; 4) $I_{н.вс} \geq 1,2I_{н.св} \sqrt{ПВ}$	1) $I_{н.вс} \geq I_p$; 2) $I_{н.вс} \geq I_{кр}/2,5$	$I_{н.вс} \geq I_p$ -	$I_{н.вс} \geq 1,2 \cdot I_p$ -
Тепловой расцепитель автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависимой от тока характеристикой	$I_{ср.тепл.нр} \geq 1,15 \cdot I_{н.эп}$	$I_{ср.тепл.нр} \geq 1,1 \cdot I_p$	$I_{ср.тепл.нр} \geq I_p$	$I_{ср.тепл.нр} \geq 1,3$
То же, с регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой	$I_{ср.тепл.рег} \geq 1,25 \cdot I_{н.эп}$			
Комбинированный расцепитель автоматического выключателя с регулируемой обратно зависимой характеристикой	$I_{ср.комб.рег} \geq 1,25 \cdot I_{н.эп}$ $I_{уст.э.о} \geq 1,2 \cdot I_{пуск}$	$I_{ср.комб.рег} \geq 1,1 \cdot I_p$ $I_{уст.э.о} \geq 1,2 \cdot I_{кр}$	$I_{ср.комб.рег} \geq I_p$ -	$I_{ср.комб.рег} \geq I_p$ -
То же с нерегулируемой обратозависимой от тока характеристикой	$I_{уст.э.о} \geq 1,2 \cdot I_{пуск}$	$I_{уст.э.о} \geq 1,5 \cdot I_{кр}$	-	-

Выбор кабелей по нагреву длительным током и электрооборудования представлен в таблице 4.12.

Таблица 4.12—Выбор кабелей НН по условию нагрева длительным током

№ п/п	Номер участка сети	Электроприемник				Аппаратура коммутации, управления и защиты								
		Наименование электроприемн ика, тип, номер на плане силовой сети	Рр или Рн, кВт	Iр или Iн, А	Iп или Iкр, А	тип шкафа, ящика или блока	номи- наль- ный ток устройс тва, А	Тип автоматического выключателя	Уставка расцепи- теля выключач- теля, А	Тип магнитного пускателя	Тип тепло- вого реле	Номиналь- ный ток уставки теплового реле, А	Плавкий предохранитель	
													тип предох- рани- теля	ток плавк- ой встав- ки, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	H1-1 H11-1	Кран- балка	5,7	8,66	60,62 178	РУСМ 8104- A170A	100	-	-	-	-	-	ПН2- 100	30
2	H2-1 H6-1 H7-1 H8-1 H9-1 H10-1 H12-1 H13-1 H14-1 H112-1 H113-1 H122-1 H123-1 H132-1 H133-1 H142-1 H143-1 H212-1	Двигатель АИРС100В4У2	3,4	2,97	19,33	РУСМ 5401- 2674Г- УХЛ4	4	АЕ2026-10НУ3-Б	4	ПМЛ1100, 0,4В	РТЛ- 100	4	-	-

Продолжение таблицы 4.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	Н213-1	Двигатель АИРС100В4У2	3,4	2,97	19,33	РУСМ 5401- 2674Г- УХЛ4	4	АЕ2026-10НУ3-Б	4	ПМЛ1100, 0,4В	РТЛ- 100	4	-	-
	Н222-1													
	Н223-1													
	Н232-1													
	Н233-1													
	Н312-1													
	Н322-Н													
Н332-1														
3	Н3-1	Двигатель АИР112М4У3	5,5	4,81	33,68	РУСМ 5101- 2874Г- УХЛ4	6	АЕ2026-10НУ3-Б	8	ПМЛ1100, 0,4В	РТЛ- 100	6	-	-
	Н4-1													
	Н5-1													
4	Н311-1	Двигатель 4АН315MS4У3	200	174,9 5	1137, 21	РУСМ 5101- 4374- УХЛ4	200	А3726Ф	250	КТ6033С	РТЛ- 1000	202	-	-
	Н321-1													
	Н331-1													
5	Н1Я-0	1Я	5,7	7,2	-	ВРУ1- 26-65- УХЛ4	200	-	-	-	-	-	НПН2- 60	10
	Н2Я-0	2Я	5,7	7,2	-	ВРУ1- 26-65- УХЛ4	200	-	-	-	-	-	НПН2- 60	10
7	НЩО-0	ЩО	12, 2	17	-	ВРУ1- 26-65- УХЛ4	200	-	-	-	-	-	ПН2- 100	30

Продолжение таблицы 4.12

8	Н1Щ-0	1Щ	8,4 2	9,4	-	ПР8503 -2051	63	АЕ2040	12,5	-	-	11	-	-
9	Н2Щ-0	2Щ	8,4 2	9,4	-	ПР8503 -2052	63	АЕ2040	12,5	-	-	11	-	-
10	Н3Щ-0	3Щ	13, 99	14,8	-	ПР8503 -2053	63	АЕ2040	20	-	-	17	-	-
11	Н4Щ-0	4Щ	200	217,6 0	-	ШЛО,6 6-01У3	400	ВА55-41	250	-	-	240	-	-
12	Н5Щ-0	5Щ	200	217,6 0	-	ШЛО,6 6-01У3	400	ВА55-41	250	-	-	240	-	-
13	Н6Щ-0	6Щ	206	224,3 0	-	ШЛО,6 6-01У3	400	ВА55-41	250	-	-	247	-	-
14	НПР1-0	ПР1	44	30,7	-	ШЛО,6 6-01У3	160	А3716	40	-	-	34	-	-
15	НВРУ1-0	ВРУ1	21, 7	31,4	-	ТСН	630	-	-	-	-	-	ПН2- 250	80

Продолжение таблицы 4.12

№ п/п	Номер участка сети	Наименование электроприемника, тип, номер на плане силовой сети	Расчет сечения проводов и кабелей								
			ток проводника по условиям срабатывания токовой защиты			ток проводника по условиям нагревания длительным током			принят кабель		
			ток срабатывания защиты I_z , А	коэффициенты защиты K_z	расчетный ток проводника $I_{пр} \geq K_z I_z$, А	характеристика среды и условий прокладки	поправочный коэффициент на условия прокладки K_p	расчетный ток проводника $I_{пр} = K_p I_{дл}$, А	допустимы ток при нормальных условиях $I_{дл}$, А	марка	сечение и количество жил
1	2	3	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	H1-1 H11-1	Кран- балка	30	1,25	38	в воздухе +30°C других кабелей нет	0,94	46,06	49	КГ	5·4
2	H2-1 H6-1 H7-1 H8-1 H9-1 H10-1 H12-1 H13-1 H14-1 H112-1 H113-1 H122-1 H123-1 H132-1 H133-1 H142-1 H143-1	Двигатель АИРС100В4У2	4	1	4	в коробе многослойно +25°C, 13 кабелей	0,65	12,35	19	АВВГ	5·2,5

Продолжение таблицы 4.12

1	2	3	16	17	18	19	20	21	22	23	24
2	Н212-1 Н213-1 Н222-1 Н223-1 Н232-1 Н233-1 Н312-1 Н322-Н Н332-1	Двигатель АИРС100В4У2	4	1	4	в коробе многослойно +25°С, 13 кабелей	0,65	12,35	19	АВВГ	5·2,5
3	Н3-1 Н4-1 Н5-1	Двигатель АИР112М4У3	6	1	6	в коробе многослойно +25°С, 20 кабелей	0,6	11,4	19	АВВГ	5·2,5
4	Н311-1 Н321-1 Н331-1	Двигатель 4АН315MS4У3	202	1	202	в коробе многослойно +25°С, 9 кабеля	0,75	202,5	270	АВВГ	3·185+1·95
5	Н1Я-0	1Я	10	1	10	в коробе многослойно +25°С, 20 кабелей	0,6	11,4	19	АВВГ	5·2,5
6	Н2Я-0	2Я	10	1	10	в коробе многослойно +25°С, 20 кабелей	0,6	11,4	19	АВВГ	5·2,5
7	НЩО-0	ЩО	30	1	30	в коробе многослойно +25°С, 20 кабелей	0,6	36,0	60	АВВГ	5·16

Продолжение таблицы 4.12

1	2	3	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8	Н1Щ-0	1Щ	11	1	11	в коробе многослойно +25°С, 3 кабеля	1	27	27	АВВГ	5·4
9	Н2Щ-0	2Щ	11	1	11	в коробе многослойно +25°С, 3 кабеля	1	27	27	АВВГ	5·4
10	Н3Щ-0	3Щ	17	1	17	в коробе многослойно +25°С, 3 кабеля	1	32	32	АВВГ	5·6
11	Н4Щ-0	4Щ	240	1	240	в коробе многослойно +25°С, 4 кабеля	1	270	270	АВВГ	3·185+1·95
12	Н5Щ-0	5Щ	240	1	240	в коробе многослойно +25°С, 4 кабеля	1	270	270	АВВГ	3·185+1·95
13	Н6Щ-0	6Щ	247	1	247	в коробе многослойно +25°С, 4 кабеля	1	270	270	АВВГ	3·185+1·95
14	НПР1-0	ПР1	34	1	34	в коробе многослойно +25°С, 4 кабеля	1	42	42	АВВГ	5·10
15	НВРУ1-0	ВРУ1	80	1,25	100	в коробе многослойно +25°С, 4 кабеля	1	110	110	АВВГ	3·50+1·25

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Тепловая насосная станция №2 (ТНС), находящаяся в зоне балансовой принадлежности ОП «СТС» АО «Байкалэнерго», предназначена для передачи горячей воды с территории котельной предлежащей ОАО «Хакасские Коммунальные Системы» (ХКС), непосредственно в город Саяногорск. С помощью ТНС город получает горячую воду, а также производится отопление домов, расположенных в городе, в зимний период. В последствие вода возвращается на повторный подогрев на территорию ХКС. Данные действия производятся при помощи групп насосного оборудования, приводимых в действие асинхронными электродвигателями. В процессе модернизации ТНС производится замена электродвигателей и пускорегулирующей аппаратуры.

Процесс монтажных работ разделен на несколько этапов:

- монтаж электропривода;
- настройка электропривода;
- работы по техническому обслуживанию электропривода;
- работы по ликвидации аварий и устранению неисправностей.

Кроме того, проводятся планово–предупредительные ремонты электро–оборудования, выполняемые в сроки ремонтов основного технологического электрооборудования по составленным и утвержденным графикам ППР.

5.1 Производственная безопасность

В данном разделе будут перечислены все опасные и вредные производственные факторы, влияющие на организм человека в процессе выполнения работ, связанных с проведением модернизации и последующей эксплуатации оборудования тепловой насосной станции №2.

Перечень опасных и вредных производственных факторов, характерные для такого типа объекта приведем в таблице 5.1.

Таблица 5.1–Опасные и вредные производственные факторы при выполнении работ на рассматриваемом объекте:

Источник фактора, наименование вида работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Демонтаж оборудования; 2. Отчистка рабочего места от устаревшего оборудования; 3. Монтаж нового оборудования; 4. Настройка электрооборудования для достижения необходимых рабочих параметров. 5. Работы в порядке текущей эксплуатации объекта.	1. Шум; 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 3. Отклонение показателей микроклимата.	1. Механические травмы; 2. Поражение электрическим током (высокое напряжение и напряжение прикосновения).	1. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ [14] 2. ПУЭ [15] 3. Приказ №328 [16] 4. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [17] 5. ПОТ Р М-016-2001 [18] 6. РД 153-34.0-03.150-00 [19] 7. ГОСТ 12.2.003-91 [20] 8. СанПиН 2.2.4.548-96 [21] 9. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ [22] 10. СП 60.13330.2016 [23] 11. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ [24] 12. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ [25] 13. СН 2.2.4/2.1.8.556-96 [26] 14. СанПиН 2.2.4.3359-16 [27] 15. СП 51.13330.2011 [28] 16. ГОСТ 17.1.3.13-86 [29] 17. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [30] 18. ГН 2.2.5.2308-07 [31] 19. ГОСТ Р 22.0.07-95 [32] 20. ФЗ № 68-ФЗ [33] 21. ГОСТ Р 22.3.03-94 [34] 22. ФЗ №213-ФЗ [35] 23. РД 153-34.0-03.301-00 [36] 24. ПП №188 [37] 25. ФЗ №426-ФЗ [38] 26. ФККО, приказ Росприроднадзора №242 от 22.05.2017 [39]

5.1.1 Анализ выявленных вредных факторов

5.1.1.1 Повышенный уровень шума на рабочем месте

В производственных условиях разнообразные машины, аппараты и механизмы являются агрегатами динамически неуравновешенными. Для рассматриваемого цеха такими аппаратами являются двигатели, вентиляторы, кран-балки.

Длительное систематическое воздействие шума на организм человека приводит к следующим негативным последствиям:

- снижает производительность труда;
- снижает чувствительность слуха;
- количество ошибок возрастает;
- нарушает артериальное давление и ритм сердечной деятельности.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звукового давления. Для ориентировочной оценки (например, при проверке органами надзора, выявлении необходимости осуществления мер по шумоглушению и др.) допускается в качестве характеристики постоянного широкополосного шума на рабочих местах принимать уровень звука, значение которого приведено в ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности» [24].

Допустимый уровень звукового давления для цеха 75 дБ в октавных полосах со среднегеометрической частотой 1000 Гц и уровень звука 80 дБА [24].

В механических устройствах часто причинами не допустимого шума являются износ подшипников, неточная сборка деталей при ремонтах и т. п. Поэтому в процессе эксплуатации всех видов машин и механизмов следует точно выполнять все требования Правил технической эксплуатации.

ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Квалификация» [25]. Предусматривает следующие меры для снижения уровня шума:

- Устройство кратковременных перерывов в работе.
- Установка в помещениях звукопоглощающих конструкций и экранов.
- Качественное изготовление деталей станков и машин.
- Звукоизоляция ограждающих конструкций.
- Укрытия в кожухи источников шума.
- Применение средств индивидуальной защиты (беруши, протишумные наушники, шлемофоны и др.).

5.1.1.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

К современному производственному освещению предъявляют высокие требования гигиенического и технико-экономического характера. Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое воздействие на рабочих, содействует повышению производительности труда.

Искусственное освещение в производственных помещениях должно удовлетворять нормам СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [28].

Для безопасного продолжения работы или выхода людей из помещений при внезапном отключении, должно быть предусмотрено аварийное освещение. Длительное снижение напряжения у наиболее удаленной лампы не должно быть более 5%. Питание аварийного освещения должно быть надежным и от независимого источника. Для аварийного освещения должны применяться светильники,

отличающиеся от светильников рабочего освещения типом или размером, или на них должны быть нанесены специальные знаки [28].

В цехе предусмотрено четыре системы освещения: общее, аварийное, эвакуационное и ремонтное. Норма освещенности для рассматриваемого цеха приведена в таблице 5.2 [28].

Таблица 5.2 – Норма освещенности для рассматриваемого объекта

Разряд зрительной работы	Характеристика	Подразряд	Наименьший объект различения, мм	Освещённость (комбинированная)	Освещённость (общая система). Лк
IV	Средней точности	в	0,5-1,0	400	200

Вдоль всех главных коридоров, лестничным клеткам и над пожарным краном, предусмотрены эвакуационные светильники, показывающие выход. Данные светильники оборудованы аккумуляторными батареями и приборами автоматики, так что при исчезновении напряжения в сети, автоматически включаются с помощью собственного источника питания.

Ремонтное освещение предусматривается в технических помещениях, и осуществлено переносными светильниками напряжением питания 36 В. Светильники подключаются с помощью штепсельной розетки, которая размещена в отдельном корпусе вместе с трансформатором 220/36В.

5.1.1.3 Отклонение показателей микроклимата

Для обеспечения нормальных условий труда персонала немаловажную роль играет микроклимат, т.е. факторы производственной среды, влияющие на физическое и эмоциональное состояние человеческого организма.

Производственные процессы могут сопровождаться выделением вредных газов, паров, пыли или избыточного тепла, вследствие чего

воздух в помещении претерпевает некоторые изменения, которые могут вредно отражаться на здоровье работающих.

Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [21].

Показателями, характеризующими микроклимат, являются:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Оптимальные показатели микроклимата распространяются на всю рабочую зону, допустимые показатели устанавливаются дифференцировано для постоянных и непостоянных рабочих мест. Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне рассматриваемого цеха, указаны в таблице 5.3 [21].

Таблица 5.3 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	IIa (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
Теплый	IIa (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2

Допустимые макроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьмичасовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и

понижению работоспособности. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах должны соответствовать значениям, приведенные в таблице 5.4 [21].

Таблица 5.4 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптим. вел.	Диапазон выше оптим. вел.			Для диапазона темпер. воздуха ниже оптим. вел., не более	Для диапазона темпер. воздуха выше оптим. вел., не более
Холодный	Па (175-232)	17-18,9	21,1-23	16-24	15-75	0,1	0,3
Теплый	Па (175-232)	18-19,9	22,1-27	17-28	15-75	0,1	0,4

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 5.5 [21].

Таблица 5.5 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тела работающих от производственных источников

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих от источников излучения, нагретых до белого и красного свечения (раскаленный или расплавленный металл, стекло, пламя и др.) не должны превышать 140 Вт/м². При этом облучению не должно подвергаться более 25 % поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Мероприятия по созданию условий для нормальной терморегуляции организма:

- Механизация и автоматизация производств.
- Теплоизоляция и экранизация.
- Естественная и искусственная вентиляция производственных помещений.
- Рациональный питьевой режим, кратковременные перерывы в работе, спецодежда.
- Вентиляция и отопление.

Нормы производственной вентиляции установлены согласно СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», [23].

На рабочем месте предусматривается искусственная приточно-вытяжная общеобменная вентиляция с расходом воздуха на одного работающего не менее 60 м³/ч.

5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов

5.1.2.1 Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования

Безопасные условия работы обеспечиваются правильной организацией работ, постоянным надзором за работающими со стороны производителя работ и соблюдением рабочими техники безопасности и регламентируются ПОТ Р М-016- 2001 [18]; РД 153-34.0-03.150-00 «Межотраслевыми правилами по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок» [19].

Правила распространяются на работников организаций независимо от форм собственности и организационно-правовых форм, и других физических лиц, занятых техническим обслуживанием

электроустановок, проводящих в них оперативные переключения, организующих и выполняющих строительные, монтажные, наладочные, ремонтные работы, испытания и измерения [19].

В рассматриваемом цехе большая доля вероятности получить механическую травму, так как используется большое количество оборудования. При необходимости принимаются меры для уменьшения вероятности травмирования персонала - предупредительные плакаты, ограждения, сигнализация [19].

Настоящий стандарт ГОСТ 12.2.003-91 [20] распространяется на производственное оборудование, применяемое во всех отраслях народного хозяйства, и устанавливает общие требования безопасности, являющиеся основой для установления требований безопасности в стандартах, технических условиях, эксплуатационных и других конструкторских документах на производственное оборудование конкретных групп, видов, моделей (марок).

Каждый технологический комплекс и автономно используемое производственное оборудование должны укомплектовываться эксплуатационной документацией, содержащей требования (правила), предотвращающие возникновение опасных ситуаций при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации [20].

Материалы конструкции производственного оборудования не должны оказывать опасное и вредное воздействие на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также создавать пожаровзрывоопасные ситуации [20].

Части производственного оборудования (предохранительные клапаны, кабели и др.), механическое повреждение которых может вызвать возникновение опасности, должны быть защищены ограждениями или расположены так, чтобы предотвратить их случайное

повреждение работающими или средствами технического обслуживания [20].

Полное или частичное прекращение энергоснабжения и последующее его восстановление, а также повреждение цепи управления энергоснабжением не должны приводить к возникновению опасных ситуаций, в том числе:

- самопроизвольному пуску при восстановлении энергоснабжения;
- невыполнению уже выданной команды на останов;
- падению и выбрасыванию подвижных частей производственного оборудования и закрепленных на нем предметов (например, заготовок, инструмента и т.д.);
- снижению эффективности защитных устройств.

Требования к средствам защиты, входящим в конструкцию, и сигнальным устройствам [20].

Конструкция средств защиты должна обеспечивать возможность контроля выполнения ими своего назначения до начала и (или) в процессе функционирования производственного оборудования.

Средства защиты должны выполнять свое назначение непрерывно в процессе функционирования производственного оборудования или при возникновении опасной ситуации.

Действие средств защиты не должно прекращаться раньше, чем закончится действие соответствующего опасного или вредного производственного фактора.

Отказ одного из средств защиты или его элемента не должен приводить к прекращению нормального функционирования других средств защиты.

Производственное оборудование, в состав которого входят средства защиты, требующие их включения до начала функционирования производственного оборудования и (или) выключения после окончания его функционирования, должно иметь устройства, обеспечивающие такую последовательность.

Конструкция и расположение средств защиты не должны ограничивать технологические возможности производственного оборудования и должны обеспечивать удобство эксплуатации и технического обслуживания.

Сигнальные устройства, предупреждающие об опасности, должны быть выполнены и расположены так, чтобы их сигналы были хорошо различимы и слышны в производственной обстановке всеми лицами, которым угрожает опасность.

Части производственного оборудования, представляющие опасность, должны быть окрашены в сигнальные цвета и обозначены соответствующим знаком безопасности в соответствии с действующими стандартами.

5.1.2.2 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Настоящий стандарт ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» [14] устанавливает предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека, предназначенные для проектирования способов и средств защиты людей, при взаимодействии их с электроустановками производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц, ПУЭ [15], Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. № 328 н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» [16].

В отношении опасности поражения электрическим током рассматриваемый цех относится к помещению с повышенной опасностью. В цехе присутствует токопроводящая пыль, и есть возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям здания, имеющего соединение с землей, технологическим аппаратам и механизмам с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям), с другой [15].

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов установлены для путей тока от одной руки к другой и от руки к ногам [14].

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 5.6 [14].

Таблица 5.6 – Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки

Род тока	U, В	I, mA
	Не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Основные факторы, определяющие опасность поражения электрическим током:

- электрическое сопротивление тела человека;
- величина напряжения и тока;
- продолжительность воздействия электрического тока;
- условия внешней среды и состояние человека;
- род и частота электрического тока;

- пути тока через тело человека.

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1000В с глухозаземленной или изолированной нейтралью и выше 1000В с изолированной нейтралью не должны превышать значений, указанных в таблице 5.7 [14].

Таблица 5.7 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок

Род тока	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения, не более, при продолжительности воздействия тока t, с							
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	Св.1,0
Переменный 50 Гц	U, В	340	135	105	85	75	70	60	20
	I, мА	400	160	125	90	75	65	50	6
Переменный 400 Гц	U, В	500	330	200	140	130	110	100	36
	I, мА								8
Постоянный	U, В	500	350	250	230	220	210	200	40
	I, мА								15

Защиту человека от воздействия напряжений прикосновения и токов обеспечивают конструкция электроустановок, технические способы и средства защиты, организационные и технические мероприятия по ГОСТ Р 12.1.019-2009 [17].

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства [16]:

- защитные оболочки;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляцию токоведущих частей (рабочую, дополнительную, усиленную, двойную);

- изоляцию рабочего места;
- малое напряжение;
- защитное отключение;
- предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы [16]:

- защитное заземление;
- зануление;
- выравнивание потенциала;
- систему защитных проводов;
- защитное отключение;
- изоляцию нетоковедущих частей;
- электрическое разделение сети;
- малое напряжение;
- контроль изоляции;
- компенсация токов замыкания на землю;
- средства индивидуальной защиты.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита

Трансформаторную подстанцию, питающую объект, необходимо обеспечить защитными средствами.

Для работы с электроустановками выше 1000В применяются [16].

Основные защитные средства:

- изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, устройства и приспособления для ремонтных работ;

- изолирующие устройства и приспособления для работ на ВЛ с непосредственным прикосновением электромонтера к токоведущим частям (изолирующие лестницы, площадки, изолирующие тяги, канаты, корзины телескопических вышек, кабины для работы у провода и др.).

Дополнительные защитные средства:

- диэлектрические перчатки;
- диэлектрические боты;
- диэлектрические ковры;
- индивидуальные экранирующие комплекты;
- изолирующие подставки и накладки;
- диэлектрические колпаки;
- переносные заземления;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

Для работы с электроустановками ниже 1000 В применяются [16]:

Основные защитные средства:

- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- указатели напряжения;
- диэлектрические перчатки;
- слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками.

Дополнительные защитные средства:

- диэлектрические боты;
- диэлектрические ковры;
- переносные заземления;
- изолирующие подставки и накладки;
- оградительные устройства;
- плакаты и знаки безопасности.

Каждая подстанция должна иметь комплект предупредительных плакатов.

На рабочем месте дежурного персонала находится полный комплект рабочих инструкций и инструкций по технике безопасности [16]:

- Должностная инструкция дежурного данного района обслуживания.
- Инструкция по производству оперативных переключений на подстанции данного района.
- Инструкция действий оперативного персонала в случае аварии.
- Инструкция по отысканию однофазных замыканий на землю в данном районе подстанций.
- Инструкция дежурного персонала по технике безопасности.
- Оперативный журнал.
- Журнал производства работ.
- Журнал телефонограмм.
- Журнал закороток.

На подстанции имеется список лиц административно – технического персонала утвержденный главным энергетиком предприятия, имеющих право единоличного осмотра подстанций [16].

5.2 Экологическая безопасность

Мероприятия по экологической безопасности регламентируются ГОСТ 17.1.3.13-86. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений» [29], СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.

«Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» [30], ГН 2.2.5.2308-07. «Ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [31].

Для работающих на промышленных предприятиях, непосредственной окружающей средой является воздух рабочей зоны.

Для предприятия устанавливается санитарно-защитная зона в соответствии с санитарной классификацией предприятия, 1000 м [30].

Охрана окружающей среды на предприятии предусматривает мероприятия, предотвращающие загрязнение воздушного бассейна. С этой целью загрязненный воздух, удаляемый из производственных помещений, пропускается через специальные очистительные фильтрующие и обезвреживающие устройства, которые обеспечивают вытяжному воздуху то же качество, что и на входе.

В самом цехе не образуются сточные воды. Сточные воды появляются в результате мойки оборудования и текущей уборки и специальными сливами отводятся в технологическую канализационную сеть. Предварительная обработка этой воды перед выливанием в общие сети достигается отведением в бассейн для нейтрализации.

В процессе деятельности цеха предприятия образуются промышленные отходы. Отходы, которые в дальнейшем могут быть использованы в производстве собираются, складываются и по мере их накопления отправляются на переработку. Отходы, не подлежащие переработке и дальнейшему использованию, передаются специализированным организациям для дальнейшей утилизации и размещения на объектах размещения отходов.

В целях общего улучшения состояния окружающей среды мероприятиями по обеспечению благоприятных условий жизни населения предусматривается:

- Озеленение и благоустройство территории предприятия;
- Содержание дорог, тротуаров и прилегающих озелененных территорий в соответствии с санитарными требованиями;
- Ликвидация несанкционированных свалок отходов;
- Создание и обустройство санитарно-защитной зоны предприятия.

ФККО, приказ Росприроднадзора №242 от 22.05.2017 [39]. В процессе монтажа и работ, проводимых в порядке текущей эксплуатации, на ТНС образуются следующие типы отходов:

- лампы ртутные, люминесцентные, утратившие потребительские свойства;
- отходы вентиляей, термометров, ламп ртутных, люминесцентных в смеси, утративших потребительские свойства;
- отходы масел, содержащих стойкие органические загрязнители;
- отходы масел трансформаторных, содержащих полихлорированные дифенилы и трихлорбензол;

- отходы масел трансформаторных, содержащих полихлорированные дифенилы и терфенилы.

Данные типы отходов складированы в специально отведенных местах, расположенных на центральном складе предприятия, в последствие отходы, имеющие в себе ртуть, передаются на утилизацию в специализированную организацию.

Отработки масел проходят очистку непосредственно на территории предприятия, очищенные масла и смазочные материалы в последствие используются повторно. Примеси, полученные в процессе очистки, собираются в бочки и временно хранятся на складе предприятия, в специально отведенном для этого месте. После окончания ремонтных и наладочных работ бочки с примесями, полученные после очистки масел и смазочных материалов, передаются на утилизацию в специализированную организацию. Таким образом отходы, полученные с ТНС, не наносят вреда окружающей среде. Контроль за соблюдением норм и правил хранения отходов производства, производится в два этапа. На ТНС контроль, за соблюдением норм и правил хранения и передачи отходов, производит работник из числа инженерно-технического персонала, ответственный за данный объект. Вторым этапом контроля являются плановые и внеплановые проверки работников службы охраны труда и окружающей среды.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.3.1 Чрезвычайные ситуации. Основные причины и ликвидация последствий

Мероприятия по безопасности и защите населения и территорий регламентируются ГОСТ Р 22.0.07-95 «Безопасность в ЧС. Источники техногенных ЧС. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров» [32], ФЗ от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите

населения и территорий отЧСприродногоитехногенногохарактера»[33],ГОСТР22.3.03-94. «Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения» [34].

К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия. К стихийным бедствиям обычно относят землетрясения, наводнения, селевые потоки, оползни и др. [32].

Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций:

- результат стихийных бедствий;
- воздействие внешних природных факторов, приводящих к старению материалов;
- технико-производственные дефекты сооружений;
- нарушение правил эксплуатации сооружений и технологических процессов;
- нарушение правил техники безопасности при ведении работ и во время технологических процессов.

К чрезвычайным ситуациям в рассматриваемом цехе можно отнести нарушения бесперебойности электроснабжения. В случае возникновения выхода из строя одной из двух кабельных линий, электроснабжение объекта будет обеспечивать вторая кабельная линия.

Для повышения устойчивости к ЧС предусмотрены различные меры [33]:

- Для обеспечения бесперебойной работы в случае ЧС предусмотрено питание от двух источников электроэнергии, удаленных на такое расстояние, чтобы исключить возможность разрушения их в военное время одним ядерным ударом, а в мирное время – стихийным бедствием или аварией, а также имеются резервные источники питания.

- В целях снижения опасности взрыва применяют вентиляционные установки, автоматическая сигнализация, систематически контролируется температура узлов электрооборудования. На каждом этаже предприятия установлена радиоточка для оповещения людей о пожаре или другой ЧС.

- В качестве профилактики от сезонных вспышек вируса гриппа регулярно проводится вакцинация работающих.

- Для снижения вероятности пожара предусмотрена автоматическая пожарная сигнализация. На случай возникновения пожара предусмотрены первичные средства пожаротушения.

- Ликвидация последствий стихийных бедствий организуется, как правило, под руководством специально создаваемых чрезвычайных комиссий. Для непосредственного осуществления мероприятий гражданской обороны (ГО) и проведения спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ на всех объектах формируются службы ГО.

- На сводные отряды, помимо спасения людей, возлагаются неотложные аварийно-восстановительные работы, тушение пожаров, обеззараживание участков местности, транспорта, техники.

5.3.2 Пожары

Основы противопожарной защиты определяются Федеральным законом от 22.07.2013 г. №213-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [35].

Основной причиной пожаров на предприятиях является нарушение технологического режима. Пожарная опасность электроустановок обусловлена наличием горючих изоляционных материалов.

На предприятии на основе типовых правил пожарной безопасности для промышленных предприятий разрабатываются объектовые и цеховые противопожарные инструкции. Ответственность за соблюдения необходимого противопожарного режима и своевременное выполнение противопожарных мероприятий возлагается на начальника цеха.

Рассматриваемый цех относится к категории В (в соответствии с НПБ 105-03) по пожарной опасности помещения производственного и складского назначения.

Пожарная техника в зависимости от назначения и области применения подразделяется на следующие типы [35]:

- первичные средства пожаротушения;
- мобильные средства пожаротушения;
- установки пожаротушения;
- средства пожарной автоматики;
- пожарное оборудование;
- средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре;
- пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный);
- пожарные сигнализация, связь и оповещение.

Для локализации небольших загораний обслуживающий персонал до прибытия передвижных средств пожаротушения должен использовать первичные средства пожаротушения, находящиеся на пожарных щитах. Первичные средства размещаются вблизи мест наиболее вероятного их применения, на виду, в безопасности при пожаре месте, с обеспечением к ним свободного доступа.

В помещении цеха устанавливается пожарный инвентарь, согласно РД 153- 34.0-03.301-00 [36] такие первичные средства пожаротушения, как:

- углекислотные огнетушители ОУ-2 и ОУ-5;
- пенные огнетушители ОВП-4;
- ящик с песком;
- ведра;
- лопаты и багор;
- асбест.

На предприятии используется система автоматической пожарной безопасности, основанная на датчиках различных видов (дымовые, тепловые, датчики пламени). В случае возникновения пожара, срабатывает система оповещения, подается световой и звуковой сигнал об опасности.

На площадках предприятия устанавливаются пожарные щиты, оснащенные первичными средствами пожаротушения.

Запрещение курения в неустановленных местах и производства огневых работ в пожароопасных помещениях.

План эвакуации представлен на рисунке 5.1.

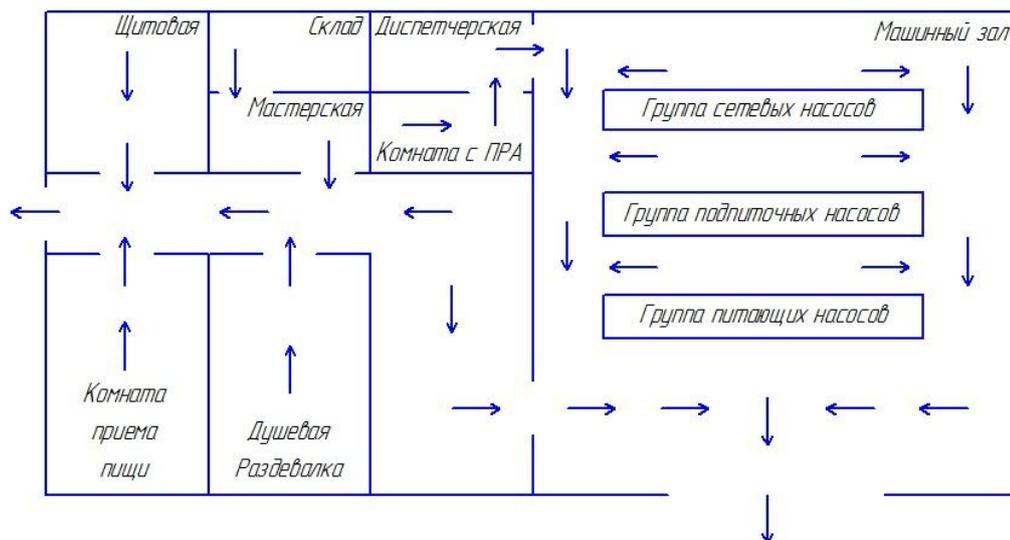


Рисунок 5.1 - План эвакуации

5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Под вредными условиями труда следует понимать присутствие на производстве таких факторов, которые наносят ущерб здоровью работников. То есть на рабочих местах не соблюдены определенные гигиенические требования, что может оказывать отрицательное воздействие на дееспособность служащих, а также на здоровье их возможных детей.

Работникам предприятия приходится часто выполнять различные операции, сопряженные с прямым риском здоровью (вредные условия труда). Такие сферы деятельности и специальности, связанные с вредными условиями труда, указываются в Постановлении Правительства РФ от 29.03.2002 г. №188 «Об утверждении списков производств, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право гражданам, занятым на работах с химическим оружием, на меры социальной поддержки» [37], Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда» [38].

Люди, работающие на вредных производствах, обеспечиваются льготами и компенсациями, Трудовой кодекс РФ, ст. 165 «Случаи предоставления гарантий и компенсаций».

Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливаются на основании статей Трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия.

Ежегодно на социальные программы предприятие выделяет средства.

Сюда входит:

- организация санаторно-курортного лечения, оздоровление работников и их детей;
- оказание медицинских услуг;
- развитие корпоративного спорта и культурно-массовой деятельности;
- материальное поощрение работников к юбилеям и знаменательным датам;
- материальная помощь работникам, нуждающимся в дополнительной социальной поддержке;
- единовременные компенсационные выплаты увольняющимся работникам в связи с выходом на пенсию;
- пенсионные социальные программы, предусматривающие досрочное оформление пенсии работникам;
- выплаты ежеквартальной материальной помощи для частичного покрытия расходов по квартплате, коммунальным услугам, приобретению угля на зимний период, а также единовременной материальной помощи на оплату медикаментов и т.д.

Сотрудники предприятия имеют ряд социальных гарантий, а также спектр финансовых льгот, таких как социальное страхование, кредитование, материнские выплаты. Предусмотрено бесплатное обучение в ВУЗах, регулярное повышение квалификации.

К организационным мероприятиям, обеспечивающим, безопасность работ электромонтера согласно Межотраслевым правилам по охране труда относятся:

- инструктаж;
- оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерыва в работе, перевода на другое место, окончание работы.

6 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

6.1 Оценка коммерческого потенциала, перспективности проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

6.1.1 Техничко-экономическое обоснование проекта

При реконструкции производится перевод оборудования на повышенное напряжение (с 380В на 660В). Ввиду этого уменьшается расход проводникового материала, уменьшаются токи и, следовательно, потери электроэнергии.

Далее рассматриваем два варианта проекта: аналоговый и проектируемый.

Сравниваемые показатели обоих вариантов представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1—Сравниваемые показатели альтернативных вариантов

Показатели	Проект	Аналог
Капитальные затраты, млн. руб	6899,1304	6945,3025
Эксплуатационные затраты, млн. руб/год	5378,9885	5464,2984
Эксплуатационные затраты на м ³ перекаченной воды, руб/м ³	0,265	0,269

6.2 Формирование бюджета проектной работы

6.2.1 Расчет бюджета затрат

6.2.1.1 Капитальные затраты

Перечень оборудования приведен в разделе «Электроснабжение», Цены даны на апрель 2018 г. Учтены расходы на монтаж и транспортирование – 15 %. Расчет выполнен в табличной форме.

Капитальные затраты аналогового варианта приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2— Капитальные затраты аналогового варианта

Наименование оборудования	Количество (длина), шт (м)	Оптовая стоимость, тыс.руб/шт	Затраты на транспортировку и монтаж, тыс. руб/шт	Балансовая стоимость, тыс. руб	Амортизационные отчисления	
					норма, %	сумма, тыс. руб
1	2	3	4	5	6	7
Ячейки КРУ						
ввода	2	180,000	27,000	387,00	6,4	24,77
отходящих линий	10	180,000	27,000	1 827,00	6,4	116,93
1	2	3	4	5	6	7
с измерительны-ми приборами	2	55,000	8,250	118,25	6,4	7,57
с ТСН	2	60,000	9,000	129,00	6,4	8,26
секционные	1	180,000	27,000	207,00	6,4	13,25
Трансформаторное оборудование						
2КТП 400-6/0,4	1	643,500	96,525	740,03	6,4	47,36
Оборудование ввода, управления и защиты						
РУСМ 8104-А170А-УХЛЗ	2	1,818	0,273	3,91	6,4	0,25
РУСМ 5401-2874Г-УХЛЗ	26	2,870	0,431	75,05	6,4	4,80
РУСМ 5101-3074Г-УХЛЗ	3	2,870	0,431	9,04	6,4	0,58
РУСМ 5101-4574-УХЛЗ	6	8,648	1,297	53,19	6,4	3,40
ПР8503-2051	1	6,500	0,975	7,48	6,4	0,48
Частотный преобразователь "Эратон 5М"	1	384,500	57,675	442,18	6,4	28,30

Продолжение таблицы 6.2

Электродвигатели							
1	2	3	4	5	6	7	
АИРС100В4У3 кВт	3,4	26	4,523	0,678	118,28	12,6	14,90
АИР112М4У3 кВт	5,5	3	8,066	1,210	25,41	12,6	3,20
5АМ315М4Е кВт	200	3	156,392	23,459	492,63	8,1	39,90
5АИ355М4 315 кВт		7	267,260	40,089	1 910,91	8,1	154,78
Кабели АВВГ							
5*2,5		915	0,008	0,001	7,32	6,4	0,47
5*4		50	0,011	0,00171	0,57	6,4	0,04
5*6		170	0,015	0,00231	2,62	6,4	0,17
3*50+1*25		40	0,100	0,015	4,01	6,4	0,26
3*120+1*70		220	0,258	0,039	56,76	6,4	3,63
3*150+1*95		396	0,312	0,047	123,78	6,4	7,92
Кабели АППв 3*95		809	0,252	0,038	203,91	6,4	13,05
Итого					6945,302		494,27

Капитальные затраты проектируемого варианта приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3— Капитальные затраты проектируемого варианта

Наименование оборудования	Количество (длина), шт (м)	Оптовая стоимость, тыс.руб/шт	Затраты на транспортировку и монтаж, тыс. руб/шт	Балансовая стоимость, тыс. руб	Амортизационные отчисления	
					норма, %	сумма, тыс. руб
1	2	3	4	5	6	7
Ячейки КРУ						
ввода	2	180,00	27,00	387,00	6,40	24,77
отходящих линий	10	180,00	27,00	827,00 ¹	6,40	116,93
с измерительными приборами	2	55,00	8,25	118,25	6,40	7,57
с ТСН	2	60,00	9,00	129,00	6,40	8,26
секционные	1	180,00	27,00	207,00	6,40	13,25
Трансформаторное оборудование						
2КТП 400-6/0,69	1	643,50	96,53	740,03	6,40	47,36
Оборудование ввода, управления и защиты						
РУСМ 8104-А170А-УХЛ3	2	1,82	0,27	3,91	6,40	0,25
РУСМ 5401-26А7Г-УХЛ4	26	2,87	0,43	75,05	6,40	4,80
РУСМ 5101-28А7Г-УХЛ4	3	2,87	0,43	9,04	6,40	0,58

Продолжение таблицы 6.3

1	2	3	4	5	6	7
РУСМ 5101-43А7-УХЛ4	6	8,65	1,30	53,19	6,40	3,40
ВРУ2-50-02 УХЛ4	1	14,53	2,18	16,70	6,40	1,07
ПР8503-2051	1	6,50	0,98	7,48	6,40	0,48
Частотный преобразователь "Эратон 5М"	1	384,50	57,68	442,18	6,40	28,30
Электродвигатели						
АИРС100В4У3 3,4 кВт	26	4,52	0,68	118,28	12,60	14,90
АИР112М4У3 5,5 кВт	3	8,07	1,21	25,41	12,60	3,20
5АМ315М4Е 200 кВт	3	156,39	23,46	492,63	8,10	39,90
5АИ355М4 315 кВт	7	267,26	40,09	910,91	8,10	154,78
Кабели АВВГ						
5*2,5	915	0,008	0,00120	7,32	6,40	0,47
5*4	80	0,01139	0,00171	0,91	6,40	0,06
5*6	90	0,0154	0,00231	1,39	6,40	0,09
5*16	30	0,03671	0,00551	1,11	6,40	0,07
5*25	40	0,05456	0,00818	2,19	6,40	0,14
3*50+1*25	20	0,09987	0,01498	2,01	6,40	0,13
3*185+1*95	308	0,38575	0,05786	118,87	6,40	7,61
Кабели АППв 3*95	809	0,25	0,03750	202,29	6,40	12,95
Итого				6899,13		491,31

6.2.1.2 Эксплуатационные расходы

Стоимость электроэнергии рассчитывается по двухставочному тарифу:

$$C_{\text{эл}} = a \cdot P_{\text{max}} + b \cdot W_a \quad (6.1)$$

где P_{max} – заявленная мощность, кВт;

a - стоимость одного кВт установленной мощности, руб/кВт;

b – стоимость одного кВт·час, руб;

W_a - потребленное количество активной электроэнергии, кВт·ч/год.

Заявленная мощность:

- до реконструкции: $P_{max}=1833,8$ кВт,

- после реконструкции $P_{max}=1833,8$ кВт.

Расчет стоимости электроэнергии приведен в таблице 6.4.

Таблица 6.4—Стоимость электроэнергии, потребляемой за год

Показатели	Проект	Аналог
Максимальная мощность, кВт	1 834	1 834
Коэффициенты:	a	194,962
	b	0,279
Полезная потребляемая электроэнергия, тыс. кВт*час/год	10 562,7	10 562,7
Потребляемая электроэнергия с учетом потерь, тыс. кВт*час/год	10 645,056	10 691,712
Потери электроэнергии, тыс. кВт*час/год	82,368	129,024
Стоимость потерь, руб/год	23 019,385	36 058,337
Стоимость электроэнергии, руб/год	3 332 495,299	3 345 534,252

График планово-предупредительных ремонтов представлены в таблицах 6.5 и 6.6.

Таблица 6.5—График ППР электрооборудования проектируемого варианта

Наименование электрооборудования	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2КТП400-6/0,69	К			ТО			Т			ТО		
Электро-двигатели	ТО, Т, К											
КРУ	ТО						Т					К
ПР			Т			ТО					К	
ЩСУ		Т			ТО					К		

Таблица 6.6— График ППР электрооборудования аналогового варианта

Наименование электрооборудования	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2КТП400-6/0,4	К			ТО			Т			ТО		
Электродвигатели	ТО, Т, К											
КРУ	ТО						Т					К
ВРУ				Т			ТО					К
ПР			Т			ТО					К	
ЩСУ		Т			ТО					К		

6.2.1.3 Расчет годового объема ремонтных работ

Годовой объем ремонтных работ рассчитывается на основе графика ППР электрооборудования и норм трудозатрат на выполнение ремонтных работ.

Расчет годового объема ремонтных работ приведен в таблицах 6.7 и 6.8.

Таблица 6.7— Годовой объем ремонтных работ аналогового варианта

Наименование	Кол-во	Кол-во ремонтов в год			Нормы трудозатрат, чел.ч			Объем трудозатрат, чел.ч/год
		ТО	Т	К	ТО	Т	К	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2КТП400-6/0,4	1	2	1	1	25	30	100	180
Электродвигатели	39	6	2	1	2	3	12	1170
КРУ	18	1	1	1	2	4	20	468
ЩСУ	6	1	1	1	2	4	20	156
ПР	1	1	1	1	2	4	20	26
Итого								2009

Таблица 6.8—Годовой объем ремонтных работ проектируемого варианта

Наименование	Кол-во	Кол-во ремонтов в год			Нормы трудозатрат, чел.ч			Объем трудозатрат, чел.ч/год
		ТО	Т	К	ТО	Т	К	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2КТП400-6/0,69	1	2	1	1	25	30	100	180
Электродвигатели	39	6	2	1	2	3	12	1170
КРУ	18	1	1	1	2	4	20	468
ВРУ	1	1	1	1	2	4	20	26
ЩСУ	6	1	1	1	2	4	20	156
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПР	1	1	1	1	2	4	20	26
Итого								2035

6.2.1.4 График сменности и баланс рабочего времени

График сменности и баланс рабочего времени одного рабочего составляем из данных технологического режима и трудового законодательства.

В отделении условия труда нормальные, технологический режим непрерывный.

Двенадцатичасовая рабочая смена и работа 40 часов в неделю.

Расчет количества бригад (для смены 12 часовой рабочий день).

Годовой фонд времени:

$$T_k = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ часов,} \quad (6.2)$$

Номинальный фонд времени:

$$T_{\text{ном}} = (T_k - T_{\text{вых}} - T_{\text{празд}}) \cdot T_{\text{см}} = (365 - 52 - 11) \cdot 12 = 3624 \text{ ч/год,} \quad (6.3)$$

Принимаем 4 бригады.

Составляем график сменности для 12 часовой рабочей смены.

График сменности выполнен в таблице 6.9.

Таблица 6.9— График сменности

Бригады	Числа месяца															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
А	1	2	х	х	1	2	х	х	1	2	х	х	1	2	х	х
		1	2	х	х	1	2	х	х	1	2	х	х	1	2	х
Б	х	1	2	х	х	1	2	х	х	1	2	х	х	1	2	х
		х	1	2	х	х	1	2	х	х	1	2	х	х	1	2
В	х	х	1	2	х	х	1	2	х	х	1	2	х	х	1	2
		х	х	1	2	х	х	1	2	х	х	1	2	х	х	1
Г	2	х	х	1	2	х	х	1	2	х	х	1	2	х	х	1
		2	х	х	1	2	х	х	1	2	х	х	1	2	х	х

Примечание: 1—смена с 8.00 до 20.00; 2—вторая смена с 20.00 до 8.00; х—выходной день.

6.2.1.5 Расчет выбранного графика сменности на соответствие трудовому законодательству

Отработанное за неделю время

$$t_{нед}^{факт} = 365 \cdot t_{см} \cdot K_{он}^{раб/ц} / Ц \cdot K_{нед} = 365 \cdot 12 \cdot 2 / 4 \cdot (365/7) = 8760 / 208,57 = 42 \text{ ч}, \quad (6.4)$$

Недоработка (переработка) в году

$$H/P = (t_{нед}^{норм} - t_{нед}^{факт}) \cdot K_{нед} / t_{см} = (42 - 40) \cdot (365 / 7) / 12 = 8,7 \text{ ч}, \quad (6.5)$$

Количество выходных дней в году:

$$K_{вых} = (365 / Ц) \cdot K_{он}^{вых/ц} = (365 / 4) \cdot 2 = 183 \text{ дн}, \quad (6.6)$$

Баланс рабочего времени одного рабочего приведен в таблице 6.10.

Таблица 6.10— Баланс рабочего времени одного рабочего

Персонал	Дежурный	Ремонтный
Календарный фонд времени, дни	365	365
Выходные и не рабочие дни по графику сменности.	183	115
Номинальный фонд рабочего времени, дни	182	250
Выходные по причинам:	41	41
1. отпуск	36	36
2. болезни	3	3
3. отпуск по беременности	-	-
4. выполнение государственных обязанностей	1	1
5. льготные отпуска учащимся	1	1
Эффективный (рабочий) фонд, дни	141	209
Коэффициент перехода от штатной численности к списочной	1,29	1,196

6.2.1.6 Расчет численности персонала

Из графика ППР годовой объем ремонтных работ составляет:

- для аналогового варианта $T_{\text{рем}}=2009$ нормо-часов,
- для проектируемого варианта $T_{\text{рем}}=2035$ нормо-часов.

Рассмотрим аналоговый вариант.

Определим списочную численность ремонтного состава:

$$Ч_{\text{сп}} = T_{\text{рем}}/T_{\text{ф}} \cdot K_{\text{п}}, \quad (6.7)$$

где $T_{\text{рем}}$ – годовой объем ремонтных работ.

$T_{\text{ф}}$ – годовой эффективный фонд рабочего времени.

$K_{\text{п}}$ – плановый коэффициент выполнения нормы.

$$Ч_{\text{сп}}=2009/209 \cdot 8 \cdot 1=2 \text{ человека.}$$

Определим списочную численность дежурного персонала:

$$Ч_{\text{сп}}=(C+1) \cdot K_{\text{сп}}=(2+2) \cdot 1,29=5 \text{ человек,} \quad (6.8)$$

где C – число смен в сутки.

1 – число подменных смен.

$K_{\text{сп}}$ – коэффициент списочного состава.

Общая численность:

$$Ч_{\text{общ}} = 2+5=7 \text{ человек,} \quad (6.9).$$

Рассмотрим проектируемый вариант.

Определим списочную численность ремонтного состава:

$$Ч_{\text{сп}}=2035/209 \cdot 8 \cdot 1=2 \text{ человека,} \quad (6.10)$$

Определим списочную численность дежурного персонала:

$$Ч_{\text{сп}}=(C+1) \cdot K_{\text{сп}}=(2+2) \cdot 1,25=5 \text{ человек,} \quad (6.11)$$

где C – число смен в сутки.

1 – число подменных смен.

$K_{\text{сп}}$ – коэффициент списочного состава.

Общая численность:

$$Ч_{\text{общ}} = 2+5=7 \text{ человек.}$$

6.2.1.7 Расходы на оплату труда и отчисления во внебюджетные фонды

Предлагается использовать повременно-премиальную систему оплаты труда.

Размер премии 40%.

Доплата за работу в ночное и вечернее время:

$$8/24 \cdot 0,4= 0,133 \text{ (ночные).}$$

$$4/24 \cdot 0,2=0,033 \text{ (вечерние).}$$

Всего 8,3%.

Доплата за работу в праздничные дни:

$$- 11/365=0,03.$$

Доплата за отпуск:

- для дежурных: $36/141=0,255$;

- для ремонтного персонала: $36/209=0,172$.

Расчет фонда оплаты труда рабочих и руководителей приведен в таблицах 6.11, 6.12 и 6.13.

Таблица 6.11—Расходы на оплату труда

Профессия	Разряд	Кол-во чел.	Тарифная ставка, руб/час	Годовой фонд времени, ч	Годовой тарифный фонд, тыс. руб	Доплаты, тыс. руб				Основная з/п, тыс. руб	Основная з/п с РК и СК, тыс. руб
						Премия	Ночные и вечерние	Праздничные	Всего		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Электрик	4	1	37,18	1672	62,165	24,866			24,866	87,031	139,25
Электрик	5	1	39,12	1672	65,409	26,1635			26,1635	91,572	146,515
Дежурный электрик	5	5	39,12	1692	66,191	26,4764	10,9877	1,98573	39,4499	105,641	169,025
Итого		7									

Таблица 6.12 – Дополнительные расходы а оплату труда

Профессия	Дополнительная з/п, тыс. руб.			Годовой фонд оплаты труда, тыс. руб
	Отпуск	Гос. обяз.	Всего	
1	13	14	15	16
Электрик	23,951	0,666	24,617	163,867
Электрик	25,201	0,701	25,902	172,417
Дежурный электрик	43,101	1,199	44,3	213,326
Итого				549,609

Таблица 6.13—Фонд оплаты труда руководителей

Должность	Кол-во	Месячный оклад, тыс. руб	Годовой оклад, тыс. руб	Премия, тыс. руб	Годовой фонд, тыс. руб	З/п с РК и СК
Мастер	1	14,5	174	69,6	243,6	389,76

Сводные расходы на оплату труда и социальный налог сведен в таблицу 6.14.

Таблица 6.14—Сводные расходы на оплату труда и отчисления во внебюджетные фонды

Статьи затрат	Расходы, тыс. руб
Заработная плата рабочих	549,609
Заработная плата руководителей	389,76
Отчисления во внебюджетные фонды (30,2 % от ФОТ)	283,690
Итого:	1185,484

Сводные расходы на оплату труда, аналогового и проектируемого вариантов одинаковы.

Общие эксплуатационные расходы по обоим вариантам показаны в таблице 6.15.

Таблица 6.15 — Общие эксплуатационные расходы

Статьи затрат	Расходы, тыс. руб	
	аналог	проект
Амортизационные отчисления	494,27	491,31
Расходы на оплату труда и отчисления во внебюджетные фонды	1185,484	1185,484
Расходы на электроэнергию	3275,512	3262,473
Материалы	399,1	336,09
Расходы на материалы	39,91	33,609
Итого:	5394,276	5308,966

6.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта

6.3.1 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности проводимых работ

6.3.1.1 Эксплуатационные расходы на 1 м³ перекаченной воды

За год перекачивается 20 045 000 м³ воды, тогда на 1 м³ эксплуатационные расходы составляют

$$\mathcal{E}_{\text{аналог}} = \mathcal{E} / V = 5394276 / 20045000 = 0,269 \text{ руб/м}^3, \quad (6.12)$$

$$\mathcal{E}_{\text{проект}} = \mathcal{E} / V = 5308966 / 20045000 = 0,265 \text{ руб/м}^3,$$

Расчет текущего дисконтированного дохода представлен в таблице

6.16.

Таблица 6.16—Расчет чистого дисконтированного дохода

Показатели	Периоды								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Экономический эффект, тыс. руб/год	0	85,31	85,31	85,31	85,31	85,31	85,31	85,31	85,31
Изменение амортизации, тыс. руб.	0	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96
Дополнительный поток от операционной деятельности, тыс. руб.	0	88,27	88,27	88,27	88,27	88,27	88,27	88,27	88,27
Поток от инвестиционной деятельности, тыс. руб.	88,3								
Коэффициент дисконтирования	1	0,870	0,756	0,658	0,572	0,497	0,432	0,376	0,327
Дисконтированный дополнительный операционный поток, тыс. руб/год	0	76,757	66,745	58,039	50,469	43,886	38,162	33,184	28,856
Дисконтированный инвестиционный поток, тыс. руб/год	88,3								
Текущий ЧДД, тыс. руб.	88,3	-11,513	55,231	113,270	163,739	207,625	245,786	278,970	307,826

Срок окупаемости

$$T_{\text{ок}} = 2 + \frac{(-11,513)}{66,745} = 1,83 \text{ года}, \quad (6.13)$$

Итоговая таблица технико-экономических показателей проекта приведена в таблице 6.17.

Таблица 6.17 — Сравнительные показатели вариантов

Показатели	Проект	Аналог
Установленная мощность, кВт	1 795	1 795
Потребляемая электроэнергия, тыс. кВт ч/год	10 645,056	10 691,712
Капитальные вложения, тыс. руб	6 899,13	6 945,302
Численность обслуживающего персонала, чел, в том числе	8	8
рабочих	7	7
руководителей	1	1
Эксплуатационные расходы, тыс. руб, в том числе	5 378,988	5 464,298
расходы на электроэнергию	3 332,495	3 345,534
амортизационные отчисления	491,31	494,27
оплата труда и социальный налог	1 185,484	1 185,484
материалы	336,09	399,1
Эксплуатационные расходы на 1 м ³ перекаченной воды, руб/м ³	0,265	0,269
Срок окупаемости, год	1,83	-
Экономический эффект, тыс. руб/год	85,31	-

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнение данного дипломного проекта завершает курс обучения по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профилю «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

Выбор наиболее выгодного варианта требует умения правильно сформулировать критерии выбора, расчет и сравнение многих вариантов. Кроме этого, инженер должен уметь применять современную вычислительную технику, ориентироваться в современной технике, быть в курсе современных технических решений.

Для рационального использования сетевого насоса применена схема ПЧ-АД с КЗ ротором, что позволяет экономить электроэнергию. В настоящее время подобная схема находит все большее применение ввиду несомненных достоинств: высокие энергетические характеристики, дешевизна АД с КЗ ротором, постоянно снижающаяся стоимость преобразователя.

Также произведено сравнение вариантов питания цеха при напряжениях 6/0,4 и 6/0,69 кВ. Расчет показал, что повышение напряжения имеет несомненные достоинства: снизился расход проводникового материала, уменьшились потери электроэнергии.

В проекте проведен экономический анализ и сравнение вариантов.

Расчеты показывают, что применение повышенного напряжения дает экономию, как капитальных вложений, так и текущих расходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивановский В.Н., Даришев В.И., Сабиров А.А., Каштанов В.С., Пекин С.С. Скважинные насосные установки для добычи нефти. — М: ГУП Изд-во , 2012. — 824 е.: ил.
2. Каталог ОАО «Нововет». — Пермь: ОАО «Нововет», 2001.
3. МР 2.2.7.2129-06. 2.2.7. Физиология труда и эргономика. Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях. Методические рекомендации.
4. СП 52.13330.2016, естественное и искусственное освещение.
5. СанПиН 2.2.4.3359-16, «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах»,.
6. Ивановский В.Н., Даришев В.И., Сабиров А.А., Каштанов В.С., Пекин С.С. Скважинные насосные установки для добычи нефти. — М: ГУП Изд-во , 2002. — 824 е.: ил.
7. Костенко М. П., Пиотровский Л. М. Электрические машины. М.: Энергия, 1965. Т. 2. 704 с.
8. Проектирование электрических машин / Под ред. И. П. Копылова. М.: Высшая школа, 2002. 757 с.
9. Проектирование электрических машин / Под ред. П. С. Сергеева. М.: Энергия, 1969. 632 с.
10. Фаттахов К. М., Фаттахов Р. К. О проведении расчета сопротивлений асинхронной машины // Нефтегазовое дело: электрон, науч. журн. 2015. № 3. С. 679-692. <http://vwwvv.ogbus.ru>.
11. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. - М.: ДМК Пресс и СПб.: Питер, 2008. - 288 с.: ил.
12. Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности (ПБ 08-624-03). Серия 08. Выпуск4/Колл.авт. - 2-е изд., испр. - М.: Открытое акционерное общество "Научно-технический центр по безопасности в промышленности", 2007. -308 с.
13. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.
14. М.Б. Полозов Учебно-методическое пособие «Экология нефтегазодобывающего комплекса». – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2012 г.
15. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.

16. Технологический регламент по эксплуатации фонда скважин в процессе добычи углеводородного сырья Фестивального месторождения.

17. СП 51.13330.2011, Защита от шума.

18. Промышленная безопасность опасных производственных объектов. Сборник нормативных документов.ИД "Урал Юр Издат", 2007. 2007.

29. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсо-сбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Се-рикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина З.В. Криницына и п, Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ.

30. ГОСТ12.1.038-82ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»

31. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. Сибирское университетское издательство, 2011 г.

32. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. №328 н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»

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

34. ПОТ Р М-016-2001. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок, РД 153-34.0-03.150-00. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок.

35. РД 153-34.0-03.150-00 «Межотраслевыми правилами по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок»

36. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

37. СанПиН 2.2.4.584-96 «Гигиеническиетребования к микроклимату производственных помещений»

38. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ.Общие санитарно-гигиенические требованияк воздуху рабочей зоны.

39. СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»

40. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности»

41. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Квалификация»

42. СН 2.2.4/2.1.8.556 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»
43. СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»
44. СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение»
45. ГОСТ 17.1.3.13-86. « Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений»
46. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов»
47. ГН 2.2.5.2308-07. «Ориентировочна безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»
48. ГОСТ Р 22.0.07-95«Безопасность в ЧС. Источники техногенных ЧС. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров»
49. ФЗ от 21.12.1994г. №68-ФЗ «О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера»
50. ГОСТ Р 22.3.03-94. « Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения»
51. Федеральный закон от 22.07.2013г. №213- ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
52. РД 153-34.0-03.301-00. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий.
53. Постановление Правительства РФ от 29.03.2002 г. №188 «Об утверждении списков производств, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право гражданам, занятым на работах с химическим оружием, на меры социальной поддержки»
54. Федеральный закон РФ от 28.12.2013 г. №426-ФЗ «Об специальной оценке условий труда»
55. О.Б. Назаренко, А.Г. Дашковский. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2001.
56. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
57. Федеральный классификационный каталог отходов, приказ Росприроднадзора 242 от 22.05.2017.