

Школа: Энергетики  
 Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Отделение школы (НОЦ): Электроэнергетика и электротехника

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

<b>Тема работы</b>
Система электроснабжения НПО "Вирион"

УДК 621.31.031:577.1.002.(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А4Д1	Агишев Данила Евгеньевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Герасимов Д.Ю.	К.Т.Н, Доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Завьялова З.С.	К.Ф.Н., Доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	К.Т.Н, Доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шестакова В.В	К.Т.Н, Доцент		

## Планируемые результаты обучения по ООП «Электроэнергетика»

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
<b>Общие по направлению подготовки (специальности)</b>		
P1	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (ПК-20, ПК-19, ПК-21), <i>CDIOSyllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-4 *(ОК-5), ОПК-1, ПК-2), <i>CDIOSyllabus</i> (3.2, 4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-4 *(ОК-5), УК-5 *(ОК-6)), <i>CDIOSyllabus</i> (3.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-5 *(ОК-6), УК-7 *(ОК-8)), <i>CDIOSyllabus</i> (2.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-5*(ОК-6), УК-7 *(ОК-8), УК-8 *(ОК-9), ПК-3, ПК-4, ПК-10), <i>CDIOSyllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-6 *(ОК-7), УК-7 *(ОК-8)), <i>CDIOSyllabus</i> (2.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<b>По профилям подготовки</b>		
P7	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-1 *(ОК-1, ОК-2), УК-2 *(ОК-3, ОК-4), УК-3 *(ОК-5), УК-4 *(ОК-5), ОПК-1, ОПК-2), <i>CDIOSyllabus</i> (1.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P8	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-2 *(ОК-3, ОК-4), ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3), <i>CDIOSyllabus</i> (2.1), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180</i>
P9	Уметь проектировать <i>электроэнергетические системы и их компоненты.</i>	Требования ФГОС ВО, СУОС (УК-2*(ОК-3, ОК-4), ПК-3, ПК-4, ПК-9), <i>CDIOSyllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты: 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040,</i>

		25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180
P10	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики, интерпретировать данные и делать выводы.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-12, ПК-14, ПК-15), <i>CDIOSyllabus</i> (2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты:</i> 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180
P11	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-2, ОПК-3, ПК-11, ПК-13, ПК-18), <i>CDIOSyllabus</i> (4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты:</i> 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180
P12	Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической отрасли, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.	Требования ФГОС ВО, СУОС (ОПК-4, ОПК-5, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8 ПК-9, ПК-16, ПК-17), <i>CDIOSyllabus</i> (4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> <i>Профессиональные стандарты:</i> , 20.003, 20.012, 20.016, 20.030, 20.031, 20.032, 24.014, 25.001, 25.027, 25.038, 25.040, 25.043, 32.001, 32.003, 40.011, 40.037, 40.139, 40.160, 40.179, 40.180

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Отделение Электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г. В.В. Шестакова

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
5А4Д1	Агишев Данила Евгеньевич

Тема работы:

Система электроснабжения НПО «Вирион»		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Утверждена приказом директора (дата, номер)</td> <td style="width: 40%; text-align: center;">ИШЭ от 08.04.2019г. №2692/С</td> </tr> </table>	Утверждена приказом директора (дата, номер)	ИШЭ от 08.04.2019г. №2692/С
Утверждена приказом директора (дата, номер)	ИШЭ от 08.04.2019г. №2692/С	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	Июнь 2019г.
--	-------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).</i></p>	<p><b>Электроснабжение цеха по производству лекарственных препаратов и вакцин в ампулах. НПО «Вирион».</b></p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p><b>Введение</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Описание технологического процесса предприятия</li> <li>2. Исходные данные к проекту</li> <li>3. Расчёт электрических нагрузок</li> <li>4. Картограмма нагрузок и определение центра электрических нагрузок</li> <li>5. Схема внешнего и внутрипроизводственного электроснабжения</li> <li>6. Выбор трансформаторов тока</li> <li>7. Электроснабжение цеха по производству лекарственных препаратов и вакцин в ампулах.</li> <li>8. Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В и построение карты селективности</li> <li>9. Социальная ответственность</li> <li>10. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> </ol>

	Заключение
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)	1.Этюра отклонения напряжения и карта селективности действия аппаратов защиты. 2.Генплан предприятия с картограммой нагрузок и указанием места расположения пунктов питания. 3.Схема внешнего и внутривыпускного электроснабжения 4.Схема внутрицехового электроснабжения. 5.Принципиальная однолинейная схема цеха.

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	к.т.н., доцент, Дашковский А.Г.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	к.ф.н., доцент, Завьялова З.С.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	12.02.2019г.
---	--------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Герасимов Д.Ю.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А4Д1	Агишев Данила Евгеньевич		

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

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования: бакалавр

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Период выполнения: осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Июнь 2019г.

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
05.03.19	Расчёт электрических нагрузок	20
02.04.19	Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций	20
23.04.19	Электроснабжение цеха по производству лекарственных препаратов и вакцин в ампулах.	20
21.05.19	Расчёт токов короткого замыкания в сети ниже 1000В, проверка срабатывания защиты от однофазных КЗ Построение эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее мощного электроприёмника для режимов максимальной, минимальной и послеаварийной нагрузок	20
22.05.19	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	10
25.05.19	Социальная ответственность	10
		100

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Герасимов Д.Ю.	к.т.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шестакова В.В.	к.т.н., доцент		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5А4Д1	Агишев Данила Евгеньевич

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение</b>	Отделение электроэнергетики и электротехники
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса)	Корпус 4 профилируется по производству лекарственных препаратов и вакцин в ампулах. Система вентиляции предусмотрена для вентиляции производственных помещений третьего этажа, приточный воздух подготавливается в климатической камере, производительность которой 24.500 м <sup>3</sup> /час, и которая работает со 100% приточным воздухом.
2. Отбор законодательных и нормативных документов по теме.	ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	Анализ опасных и вредных факторов Виброакустические вредные факторы Электромагнитные поля от работы электрического оборудования Электробезопасность, Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. Освещенность Техника безопасности
2. Охрана окружающей среды:	Производственная санитария Воздухообмен Вентиляция технического помещения Экология и охрана окружающей среды
3. Защита в чрезвычайных ситуациях:	Чрезвычайные ситуации. Пожарная безопасность
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и социальной защиты работников на предприятии	Единовременные и ежемесячные выплаты.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	к.т.н		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А4Д1	Агишев Д.Е.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5А4Д1	Агишев Данила Евгеньевич

<b>Школа</b>	Инженерная школа энергетики	<b>Отделение</b>	Отделение электроэнергетики и электротехники
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	нормы амортизации; размер минимальной оплаты труда.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	действующие в РФ ставки страховых взносов.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценка осуществляется на основе анализа потенциальных потребителей результатов исследования, конкурентных технических решений, а также Quad и SWOT анализа.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Основой для формирования бюджета являются основная заработная плата исполнителей, страховые отчисления и накладные расходы
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения НИ
---

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Завьялова З.С.	к. ф. н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5А4Д1	Агишев Д.Е.		

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа 170 с., 22 рис., 50 табл., 20 источников.

Ключевые слова: ФГУП НПО «Вирион», лекарственный цех, производство, капитальные затраты на сооружение проектируемой схемы электроснабжения, производственная и экологическая безопасность.

Объектом работы является электрическая часть электроснабжения предприятия.

Цель работы – проектирование электроснабжения производственного предприятия ФГУП НПО «Вирион», детальная проработка снабжения объекта.

В процессе работы проводился сбор исходных данных в ходе производственной практики непосредственно в организации ФГУП НПО «Вирион», расчет и проектирование системы электроснабжения данного предприятия.

В результате работы была рассчитана мощность, потребляемая цехами ФГУП НПО «Вирион», в соответствии с этим выбраны трансформаторы, КТП, удовлетворяющие всем условиям, прокладываемых кабелей, коммутационного оборудования, измерительных трансформаторов. Произведена детальная проработка электроснабжения цехов с выбором питающих кабелей и аппаратов защиты, проверенных на селективное срабатывание. Также результатом работы стал экономический расчет капитальных затрат на сооружение данной схемы электроснабжения, определены условия безопасного труда на предприятии.

## **Содержание**

Реферат.....	9
Введение.....	12
1 Описание технологического процесса предприятия.....	15
2 Исходные данные к проекту.....	17
3 Расчёт электрических нагрузок.....	25
3.1 Определение расчётной электрической нагрузки корпуса №1.....	25
3.2 Определение суммарной нагрузки предприятия.....	31
3.3 Определение суммарной нагрузки предприятия в целом.....	35
4 Картограмма нагрузок и определение центра электрических нагрузок.....	37
5 Схема внешнего и внутрипроизводственного электроснабжения.....	40
5.1 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций и разработка схемы электроснабжения 10кВ.....	40
5.2 Техничко-экономический расчет мощности батарей статических конденсаторов и выбор места их установки.....	40
5.3 Схема внешнего электроснабжения.....	46
5.3.1 Выбор трансформаторов по графику нагрузок, техничко-экономическое сравнение рассматриваемых вариантов.....	46
6 Схема внутривозводской сети 10 кВ.....	53
7 Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.....	59
8 Выбор электрооборудования в сетях напряжением 35 и 10кВ.....	63
8.1 Выбор коммутационных аппаратов.....	63
8.2 Выбор трансформаторов тока.....	65
8.3 Выбор трансформаторов напряжения.....	67
8.4 Выбор изоляторов и шин связи ГПП-ЗРУ.....	69
8.5 Выбор опорных изоляторов.....	72
9 Электроснабжение корпуса №4.....	74
9.1 Выбор автоматических выключателей.....	75
9.2 Выбор аппаратов защиты цеховой сети.....	79
9.3 Выбор сечений питающей сети по длительно допустимой токовой	

нагрузке из условия нагрева и проверка их по потере напряжения, выбор силовой распределительной сети и аппаратов защиты и управления цеха.....	88
10 Расчёт токов короткого замыкания в сети ниже 1000В, проверка срабатывания защиты от однофазных КЗ.....	94
11 Построение эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее мощного электроприёмника для режимов максимальной, минимальной и послеаварийной нагрузок.....	100
12 Построение карты селективности действия защитных аппаратов.....	110
13 Схема учёта электроэнергии на 0,4 кВ.....	112
14 Расчет надёжности системы электроснабжения завода.....	114
15 Социальная ответственность.....	126
16 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	156
Заключение.....	170
Список литературы.....	171

## **Введение**

В 1904 г. мечта многих людей об открытии в Сибири Бактериологического института, призванного противостоять губительным инфекциям, стала реальностью. Теперь, спустя век, санитарно-бактериологический институт, Томский областной институт эпидемиологии и микробиологии, Томский научно-исследовательский институт вакцин и сывороток и, наконец, научно-производственное объединение «Вирион» - все это имена учреждения, рожденного в городе Томске как Сибирский Бактериологический институт имени Ивана и Зинаиды Черных. С июля 2003г. НПО «Вирион» вошел в состав ФГУП НПО «Микроген» Министерства здравоохранения Российской Федерации, являясь филиалом последнего в городе Томске.

Возникают важнейшие задачи развития промышленности путём повышения эффективности производства на базе научно-технического прогресса.

В области электроснабжения потребителей эти задачи предусматривают повышения уровня проектно-конструкторских разработок, внедрение и рациональную эксплуатацию высоконадёжного оборудования, снижение непроизводительных расходов электроэнергии при её передаче распределении и потреблении.

В данном исследовании рассматривается электроснабжение торгового дома, расположенного в городе Краснодар.

Актуальность разработки выпускной квалификационной работы заключается в обеспечении бесперебойного и достаточного электроснабжения научно-производственное объединение «Вирион».

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка темы «Проектирование сети электроснабжения цеха по производству лекарственных препаратов и вакцин в ампулах».

Задачи выпускной квалификационной работы:

1. Изучить теоретический материал по теме проекта для описания краткой характеристики предприятия и проектируемой схемы его энергоснабжения.

2. Рассчитать и выбрать основное и вспомогательное оборудование для снабжения электричеством проектируемого объекта, количество электрических нагрузок.

3. Разработать мероприятия по основным видам защиты электрооборудования.

4. Произвести описание социальной ответственности и расчет технико-экономических показателей.

Объект исследования – проект электроснабжения научно-производственного объединения «Вирион», расположенного в Томске, покрывающего возникающие потребности людей в лекарственной продукции.

Предметом исследования в данном дипломном проекте является расчет и выбор соответствующего оборудования для электроснабжения научно-производственного объединения «Вирион».

Методы исследования выпускной квалификационной работы включают в себя: анализ литературы по теме проекта, анализ технической документации, сравнительный анализ, систематизацию и обобщение материала, математические и статистические методы.

В данной работе использовалась техническая и справочная литература, техническая документация.

Структура исследования. ВКР состоит из введения, восемнадцати глав, заключения и списка использованной литературы.

Развитие и усложнение структуры систем электроснабжения, возрастающие требования к экономичности и надёжности их работы в сочетании с изменяющейся структурой и характером потребителей электроэнергии, широкое внедрение устройств управления распределением и потреблением электроэнергии на базе современной вычислительной техники ставят проблему о подготовке высококвалифицированных инженеров.

Важным этапом в развитии творческой деятельности является курсовое и дипломное проектирование.

Большое внимание в проекте уделялось вопросам повышения экономичности системы электроснабжения ФГУП НПО «Вирион» путём выбора рациональных режимов работы, снижения потерь электроэнергии, применения современного комплектного оборудования. Учитывая, что при проектировании системы электроснабжения существенно проявляется взаимное влияние многих факторов, в дипломе вопросы о выборе силовых трансформаторов и компенсации реактивной мощности и др. рассмотрены с единых позиций.

## 1 Описание технологического процесса предприятия

В составе предприятия имеются четыре производственных корпуса.

Корпус 1 профилируется на производстве иммуноглобулинов, клещевых вакцин, лекарственных препаратов, также в этом корпусе имеется отделение лактобактерина и интерферона. В корпусе 2 и 4 расположены линии наполнения (розлива) и упаковки ампул, с относительными производственными помещениями, коммуникациями и складами, гардеробами и канцелярскими помещениями, помещениями для стирки одежды. Сырьё, пустые ампулы и баллоны с вакциной в корпуса 2 и 4 поступают уличными транспортными средствами (ручными погрузчиками) и лифтами. Производство фармацевтических, психотропных и венерологических препаратов осуществляется в корпусе 3, там же находится отделение биолого-технического контроля. Также в составе предприятия имеются складские помещения для хранения разных видов тароупаковочного материала (картонные коробки, пачки) и готовой продукции.

Технология производства: приготовление лекарственных препаратов, вакцин, их розлив, контроль и упаковка.

В производственном процессе предусмотрено:

- приготовление вакцин, лекарственных средств и т.д.;
- промежуточное хранение вакцины с необходимыми температурными режимами;
- подготовка ампул (мойка, стерилизация);
- наполнение и запайка ампул;
- финишная стерилизация;
- контроль на целостность ампул и наличие механических частиц;
- этикетирование ампул;
- упаковка ампул в пачки.

Предприятие относится к потребителям 2-ой категории электропотребления. Обуславливается непрерывностью технологического

процесса, остановка, которого понесёт значительный материальный ущерб, связанный с массовым браком дорогостоящей продукции.

## 2 Задание на проектирование системы электроснабжения промышленного предприятия

1. Генеральный план ФГУП НПО «Вирион» (рис.1);
2. Сведения об электрических нагрузках цехов (табл.2.1);
3. План цеха по производству лекарственных препаратов и вакцин в ампулах (3 этаж) (рис. 2) и план технологического помещения (4 этаж) (рис.2);
4. Сведения об электрических нагрузках цеха по производству лекарственных препаратов и вакцин в ампулах (табл.2.2) и технологического этажа (табл.2.3)

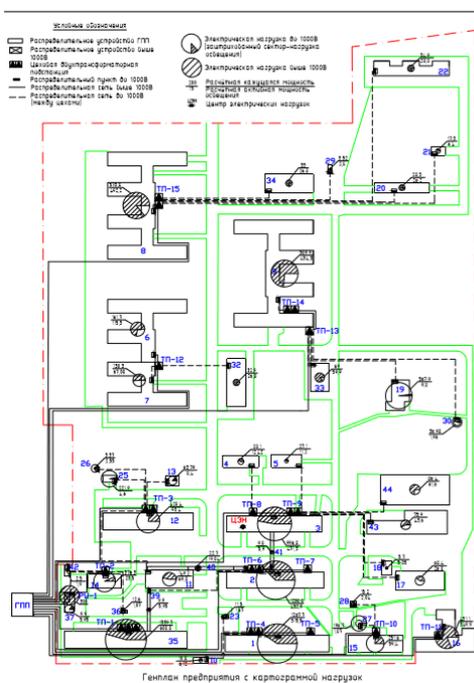


Рисунок 1 - Генеральный план ФГУП НПО «Вирион»

Схема силовой сети цеха по производству лекарственных препаратов и вакцин в ампулах (3 этаж)

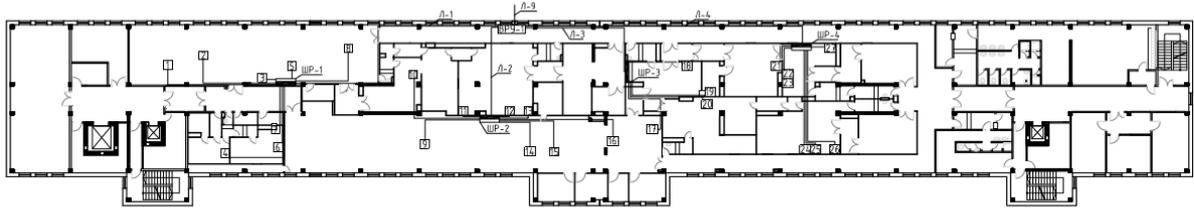


Схема силовой сети технологического этажа (4 этаж)

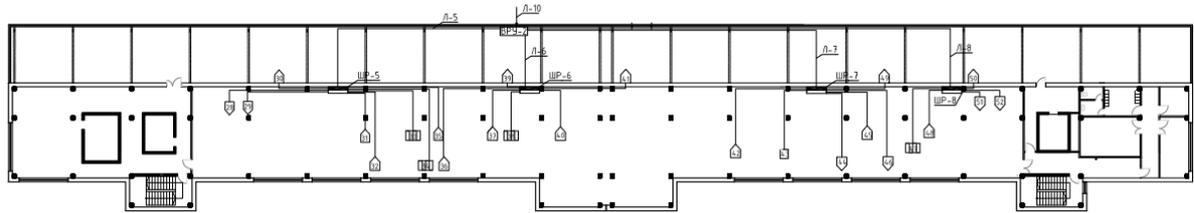


Рисунок 2 - План цеха по производству лекарственных препаратов и вакцин в ампулах (3 этаж) и план технологического помещения (4 этаж) .

Таблица 2.1 - Ведомость электрических нагрузок по цехам

Номер на ген-плане	Наименование	Р уст, кВт
1	Корпус 1 (производство иммуноглобулинов, клещевых вакцин, лекарственных препаратов, отделение лактобактерина, отделение интерферона, техническая служба)	850
2	Корпус 2 (отделение розлива, отделение сублимации)	850
3	Корпус 3 (техническая служба, производство венерологических, фармацевтических и психотропных препаратов, отделение биолого-технического контроля)	600
4	Склад	15
5	Склад	15
6	Оспенный изолятор	60
7	Склад готовой продукции	80
8	Галленовое производство	100
9	Ремонтно-строительный участок	200
10	Проходная	
11	Склад сбыта	100
12	Ремонтно-механические мастерские	350
13	Станция обезжелезования	60
14	Оспенный корпус	400
15	Виварий	200
16	Административный корпус	100
17	Гараж	50
18	Склад ГСМ	1
19	Котельная	560
20	Корнеплодохранилище	3
21	Крематорий	15
22	Склад сырья	10
23	Спиртохранилище	15
24	Центральная распределительная подстанция	
25	Центральная водопроводная насосная станция	250
26	Водонапорная башня	1
27	Насосная станция оборотного водоснабжения №1	200
28	Градирия	15
29	Автовесы	1
30	Канализационная насосная станция	40
31	Резервуар ёмкостью 60 м3	
32	Склад медицинского стекла	10
33	Здравпункт, отдел качества	15
34	Склад фуража	10
35	Корпус 4 (цех по производству лекарственных препаратов и вакцин в ампулах)	950
36	Насосная станция оборотного водоснабжения №2	12
37	Компрессорная станция	300
38	Трансформаторная подстанция «Новая»	
39,40,41	Галерея транспортировки готовой продукции	
42	Склад азота и кислорода	1
43	Гараж	50
44	Материальный склад	40

45	Трансформаторная подстанция №36	
46	Трансформаторная подстанция №5	
47	Трансформаторная подстанция №3	

Таблица 2.2 - Сведения об электрических нагрузках цеха по производству лекарственных препаратов и вакцин в ампулах

Номер на плане	Наименование электроприёмника	Руст. ЭП, кВт
1	Транспортёр	4,5
2	Упаковка	12
3	Этикетирование	11
4	Стиральная машина/ машина для сушки одежды	31,5
5	Контроль герметичности	15
6	Автоклав	25
7	Сушка	4
8	Контроль частиц	3
9	Блистерная и картонная машина	27
10	Автоклав	25
11	Подогреватель	4
12	Наполнение ампул	15
13	Мойка ампул	46,5
14	Этикетирование	3
15	Контроль герметичности	17,5
16	Контроль частиц	6
17	Автоклав	8
18	Сушка	4
19	Сушка	4
20	Автоклав	25
21	Подогреватель	8
22	Кабина для взвешивания	2,5
23	Кабина для взвешивания	2,5
24	Наполнение ампул	15
25	Стерилизация ампул	39
26	Мойка ампул	19,5
27	Кабина для взвешивания	2,5

Таблица 2.3 - Сведения об электрических нагрузках технологического этажа

Номер на плане	Наименование электроприёмника	Руст. ЭП, кВт
28	Вытяжной вентилятор	1,5
29	Вытяжной вентилятор	1,1
30	Вытяжной вентилятор	1,19
31	Приточный вентилятор	15
32	Приточный вентилятор	3
33	Нагреватели с жалюзи	0,2
34	Нагреватели с жалюзи	0,3
35	Вытяжной вентилятор	7,5
36	Вытяжной вентилятор	0,75
37	Вытяжной вентилятор	4
38	Нагреватели с жалюзи	0,3
39	Вытяжной вентилятор	1,19
40	Приточный вентилятор	18,5
41	Вытяжной вентилятор	1,19
42	Вытяжной вентилятор	11
43	Насос рекуперативный	1,1
44	Нагреватели с жалюзи	0,3
45	Приточный вентилятор	7,5
46	Приточный вентилятор	18,5
47	Нагреватели с жалюзи	0,3
48	Вытяжной вентилятор	5,5
49	Вытяжной вентилятор	1,19
50	Вытяжной вентилятор	1,19
51	Вытяжной вентилятор	0,55
52	Вытяжной вентилятор	1,1

Таблица 2.4 - Характер производственной среды цехов, категории электроприёмников по надёжности электроснабжения

Номер на ген-плане	Наименование	Характер среды	Категория ЭП
1	2	3	4
1	Корпус 1	нормальная	III
2	Корпус 2	нормальная	II
3	Корпус 3	нормальная	III
4	Склад	нормальная	III
5	Склад	нормальная	III
6	Оспенный изолятор	нормальная	III
7	Склад готовой продукции	нормальная	III
8	Галленовое производство	взрывоопасная, пожароопасная	III
9	Ремонтно-строительный участок	нормальная	III
10	Проходная	нормальная	III
11	Склад сбыта	нормальная	III
12	Ремонтно-механические мастерские	нормальная	III
13	Станция обезжелезования	нормальная	III
14	Оспенный корпус	нормальная	III
15	Виварий	нормальная	III
16	Административный корпус	нормальная	III
17	Гараж	нормальная	III
18	Склад ГСМ	взрывоопасная, пожароопасная	III
19	Котельная	жаркая	III
20	Корнеплодохранилище	нормальная	III
21	Крематорий	нормальная	III
22	Склад сырья	нормальная	III
23	Спиртохранилище	взрывоопасная, пожароопасная	III
24	Центральная распределительная подстанция	нормальная	III
25	Центральная водопроводная насосная станция	влажная	III
26	Водонапорная башня	влажная	III
27	Насосная станция оборотного водоснабжения №1	влажная	II
28	Градирня	нормальная	II
29	Автовесы		III
30	Канализационная насосная станция	влажная	III
31	Резервуар ёмкостью 60 м <sup>3</sup>		
32	Склад медицинского стекла	нормальная	III
33	Здравпункт, отдел качества	нормальная	III
34	Склад фуража	нормальная	III
35	Корпус 4	нормальная	III
36	Насосная станция оборотного водоснабжения №2	влажная	III
37	Компрессорная станция	нормальная	III

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4
38	Трансформаторная подстанция «Новая»		
39,40,41	Галерея транспортировки готовой продукции	нормальная	III
42	Склад азота и кислорода	взрывоопасная, пожароопасная	III
43	Гараж	нормальная	III
44	Материальный склад	нормальная	III
45	Трансформаторная подстанция №36		
46	Трансформаторная подстанция №5		
47	Трансформаторная подстанция №3		

### 3 Расчёт электрических нагрузок

#### 3.1 Определение расчетной электрической нагрузки корпуса №1

Расчет силовых нагрузок цеха производим по методу упорядоченных диаграмм, т.е. с использованием коэффициента максимума и  $P_{см}$ .

Все электроприемники цеха разбиваются на две группы с одинаковыми режимами работы:

- электроприемники с переменным графиком нагрузки,  $k_{и} < 0,6$  – группа А;
- электроприемники с практически постоянным графиком нагрузки,  $k_{и} \geq 0,6$  – группа Б.

По каждой группе определяется суммарная номинальная мощность:

$$P_{НОМ} = \sum_{i=1}^n P_{НОМ i}, \quad (3.1.1)$$

Средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену для каждой группы электроприемников:

$$P_{см} = k_{и} \cdot P_{НОМ}, \quad (3.1.2)$$

где  $k_{и}$  – коэффициент использования.

Средняя реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену для каждой группы электроприемников:

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (3.1.3)$$

Коэффициент использования  $k_{и}$  и  $\cos \varphi$  для каждого ЭП или группы ЭП определяются по справочным данным [2].

Средневзвешенный коэффициент использования определяется:

$$K_{и.ср} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{НОМ}}, \quad (3.1.4)$$

где  $\sum P_{см}$  – суммарная средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену группы электроприемников цеха,

$\sum P_{\text{НОМ}}$  - суммарная установленная мощность группы электроприемников цеха.

Коэффициент максимума активной мощности определяется по кривым или по таблице [2] в зависимости от средневзвешенного коэффициента использования  $K_{\text{и.ср}}$  и эффективного числа электроприемников  $n_3$ , для данной группы:

$$n_3 = \frac{\left( \sum_1^n P_{\text{НОМ}i} \right)}{\sum_1^n P_{\text{НОМ}i}}. \quad (3.1.5)$$

При  $m \leq 3$  и любом значении  $K_{\text{и.ср}}$  допускается принимать  $n_3 = n$ , где  $n$  – исходное число ЭП;

$$m = \frac{P_{\text{НОМ. max}}}{P_{\text{НОМ. min}}}.$$

При  $3 \leq m$  и  $K_{\text{и.ср}} \geq 0.2$

$$n_3 = \frac{2 \cdot \left( \sum_1^n P_{\text{НОМ}i} \right)}{P_{\text{НОМ. пвх}}}$$

Расчетная активная и реактивная мощности группы приемников определяются из выражений:

$$P_{\text{пвх}} = k_{\text{пвх}} \cdot P_{\text{см}}, \quad (3.1.6)$$

$$Q_{\text{max}} = Q_{\text{см}} \text{ при } n_3 > 10, \quad (3.1.7)$$

$$Q_{\text{max}} = 1,1 \cdot Q_{\text{см}} \text{ при } n_3 \leq 10. \quad (3.1.8)$$

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по установленной мощности и коэффициенту спроса:

$$P_{\text{р.о}} = P_{\text{НОМ.о}} \cdot k_{\text{с.о}}, \quad (3.1.9)$$

$k_{\text{с.о}}$  принимается по справочным данным [2].

$$P_{\text{НОМ.о}} = P_{\text{уд.о}} \cdot F_{\text{ц}}, \quad (3.1.10)$$

где  $P_{\text{уд.о}}$  – удельная плотность осветительной нагрузки по [2],

$F_{\text{ц}}$  – площадь цеха по генплану рис.2.1.

Полная расчетная нагрузка цеха с учетом освещения определяется:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + Q_p^2}. \quad (3.1.11)$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \quad (3.1.12)$$

Пример:

Транспортёр:  $P_{уст}=4,5$  кВт;  $k_{и}=0,4$ ,  $\cos\varphi=0,8$  [2];

по (3.1.2):  $P_{см} = k_{и} \cdot P_{прод} = 0,4 \cdot 4,5 = 1,8$  кВт;

по (3.1.3):  $Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 1,8 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,8)) = 1,35$  кВар;

Определение  $K_{и.ср}$  по группе А:

$$\text{по (3.1.4):} \quad K_{и.ср} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{ном}} = \frac{61,55}{179,5} = 0,34;$$

$$m = \frac{P_{ном.макс}}{P_{ном.мин}} = \frac{31,5}{2,5} \geq 3;$$

$$n_3 = \frac{2 \cdot \left( \sum_1^n P_{номi} \right)}{P_{ном.макс}} = \frac{2 \cdot 179,5}{31,5} = 11$$

при  $m > 3$ ,  $n_3 = 11$ ,  $k_{макс} = 1,5$  при  $k_{и.ср} = 0,34$  [2];

по (3.1.6):  $P_{макс} = k_{макс} \cdot P_{см} = 1,5 \cdot 61,55 = 92,33$  кВт;

по (3.1.8):  $Q_{макс} = Q_{см} = 36,3$  кВар при  $n_3 > 10$ .

$F_{ц} = 16864$  м<sup>2</sup>;  $k_{с.о} = 0,85$  [2];

$K_{с.о} = 0,85$  - коэффициент спроса для производственных зданий состоящих из ряда отдельных помещений;

$P_{уд.о} = 0,019$ , [кВт/м<sup>2</sup>] – удельная плотность осветительной нагрузки;

по (3.1.10):  $P_{ном.о} = P_{уд.о} \cdot F_{ц} = 0,019 \cdot 16864 = 320,42$  кВт;

по (3.1.9):  $P_{р.о} = P_{ном.о} \cdot k_{с.о} = 320,42 \cdot 0,85 = 304,4$  кВт;

по (3.1.11):  $S_p = \sqrt{(P_p + P_{р.о})^2 + Q_p^2} = \sqrt{(300,3 + 304,4)^2 + 154,98^2} = 624,2$  кВА;

по (3.1.12): 
$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{624,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 948,4 \text{ А.}$$

Результаты расчёта представлены в таблице 3.1.1

Таблица 3.1.1 - Определение расчетных нагрузок цеха по производству лекарственных препаратов и вакцин в ампулах

№ п/п	Наименование узлов питания и групп электроприемников	Количество ЭП, $n$	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100 %		$m = P_{н.макс} / P_{н.мин}$	Коэффициент использования $K_{и}$	$\cos\varphi / tg\varphi$	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число электроприемников $N_{э}$	Коэффициент максимума $K_{м}$	Максимальная нагрузка			Расчетный ток $I_{р}, А$
			одного ЭП (наименьшего, наибольшего) $p_{н}, кВт$	общая $P_{н}, кВт$				$P_{см} = K_{и} \cdot P_{м}, кВт$	$Q_{см} = P_{см} \cdot tg\varphi_{см}, кВар$			$P_{м} = K_{м} P_{см}, кВт$	$Q_{м} = Q_{см}$ при $n_{э} > 10$ , $Q_{м} = 1,1 Q_{см}$ при $n_{э} \leq 10$ , кВар	$S_{м} = \sqrt{P_{м}^2 + Q_{м}^2}, кВА$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<u>Приемники группы А</u>															
1	Транспортёр	1	4,5	4,5		0,4	0,8/0,75	1,8	1,35						
2	Упаковка	1	12	12		0,4	0,85/0,62	4,8	2,98						
3	Стиральная машина/ машина для сушки одежды	1	31,5	31,5		0,3	0,9/0,48	9,45	4,54						
4.	Этикетирование	2	3÷11	14		0,4	0,9/0,48	5,6	2,69						
5.	Автоклав	4	8÷25	83		0,3	0,85/0,62	24,9	15,44						
6.	Блистерная и картонная машина	1	27	27		0,5	0,85/0,62	13,5	8,37						
7.	Кабина для взвешивания	3	2,5	7,5		0,2	0,85/0,62	1,5	0,93						
	<b>Итого по группе А:</b>	<b>13</b>	<b>2,5÷31,5</b>	<b>179,5</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,34</b>	<b>-</b>	<b>61,55</b>	<b>36,3</b>	<b>11</b>	<b>1,5</b>	<b>92,33</b>	<b>36,3</b>		
<u>Приемники группы Б</u>															
8.	Контроль герметичности	2	15÷17,5	32,5		0,7	0,9/0,48	22,75	10,92						
9.	Сушка	3	4	12		0,7	0,8/0,75	8,4	6,3						
10.	Контроль частиц	2	3÷6	9		0,7	0,9/0,48	6,3	3,02						
11.	Подогреватель	2	4÷8	12		0,7	0,95/0,33	8,4	2,77						
12.	Наполнение ампул	2	15	30		0,7	0,9/0,48	21	10,08						
13.	Мойка ампул	2	19,5÷46,5	66		0,7	0,9/0,48	46,2	22,18						
14.	Стерилизация ампул	1	39	39		0,7	0,9/0,48	27,3	13,1						
15.	Вытяжной вентилятор	14	0,55÷11	38,95		0,65	0,8/0,75	25,3	18,98						
16.	Приточный вентилятор	5	3÷18,5	62,5		0,65	0,8/0,75	40,63	30,47						
17.	Нагреватель с жалюзи	5	0,2÷0,3	1,4		0,7	0,95/0,33	0,98	0,32						

Продолжение табл. 3.1.1

№ п/п	Наименование узлов питания и групп электроприемников	Количество ЭП, $n$	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100 %		$m = P_{н.макс} / P_{н.мин}$	Коэффициент использования $K_{и}$	$\cos\varphi / \operatorname{tg}\varphi$	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число электроприемников $N_{э}$	Коэффициент максимума $K_{м}$	Максимальная нагрузка			Расчетный ток $I_p$ , А
			одного ЭП (наимень- шего, наиболь- шего) $p_n$ , кВт	общая $P_n$ , кВт				$P_{см} = K_{и} \cdot P_{м}$ , кВт	$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{см}$ , кВар			$P_{м} = K_{м} P_{см}$ , кВт	$Q_{м} = Q_{см}$ при $n_{э} > 10$ , $Q_{м} = 1,1 Q_{см}$ при $n_{э} \leq 10$ , кВар	$S_{м} = \sqrt{P_{м}^2 + Q_{м}^2}$ , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
18.	Насос рекуперативный	1	1,1	1,1	-	0,65	0,8/0,75	0,72	0,54	-	-	-	-	-	-
	<b>Итого по группе Б</b>	<b>39</b>	<b>0,2÷46,5</b>	<b>304,45</b>	-	-	-	<b>207,98</b>	<b>118,68</b>	-	<b>1</b>	<b>207,98</b>	<b>118,68</b>		
	Итого силовая нагруз-ка по цеху (гр. А и Б)	52	0,2÷46,5	483,95	-	-	-	269,53	154,98	-	-	300,3	154,98		
	Электрическое освещ.	-	-	320,42	-	0,95	-	304,4	-	-	-	304,4	-		
	<b>Итого по цеху:</b>	<b>52</b>	<b>0,2÷46,5</b>	<b>804,4</b>	-	-	-	<b>573,9</b>	<b>154,98</b>	-	-	<b>604,7</b>	<b>154,98</b>	<b>624,2</b>	<b>948,4</b>

### 3.2 Определение суммарной нагрузки предприятия

Расчетная полная мощность предприятия определяется по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов (до и выше 1000 В) с учетом расчетной нагрузки освещения цехов и территории предприятия, потерь мощности в трансформаторах цеховых подстанций и ГПП и потерь в высоковольтных линиях.

Расчетная нагрузка (активная и реактивная) силовых приемников цехов определяются из соотношений:

$$P_p = k_c \cdot P_{ном}, \quad (3.2.1)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (3.2.2)$$

где  $P_{ном}$  - суммарная установленная мощность всех приемников цеха;

$k_c$  - коэффициент спроса, принимаемый по справочным данным;

$\operatorname{tg}\varphi$  - принимается по соответствующему значению коэффициента мощности.

Приемники напряжением выше 1000 В учитываются отдельно. Расчетная активная и реактивная мощности групп приемников выше 1000 В определяются по вышеприведенным формулам.

Пример:

Корпус 1:  $P_{ном}=850$  кВт;  $k_c=0,8$ ;  $\cos\varphi=0,85$ ;

по (3.2.1):  $P_p = k_c \cdot P_{ном} = 0,8 \cdot 850 = 680$  кВт;

по (3.2.2):  $Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 680 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0,85)) = 421,6$  кВар;

по (3.1.10):  $P_{ном.о} = P_{уд.о} \cdot F_{ц} = 0,019 \cdot 28560 = 542,6$  кВт;

$$P_{p.о} = k_{c.о} \cdot P_{ном.о} = 0,95 \cdot 542,6 = 515,5 \text{ кВт};$$

$$P_p + P_{p.о} = 680 + 515,5 = 1195,5 \text{ кВт};$$

по (3.1.11):  $S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.о})^2 + Q_p^2} = \sqrt{(1195,5)^2 + 421,6^2} = 1267,7$  кВА.

Результаты расчётов сведены в таблицу 3.2.1.

Таблица 3.2.1 - Определение полной нагрузки предприятия в целом

№ на ген. плане	Наименование потребителей	Силовая нагрузка					Осветительная нагрузка					Силовая и осветительная нагрузка		
		P <sub>н</sub> , кВт	K <sub>с</sub>	$\frac{\cos \varphi}{\text{tg} \varphi}$	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВт	F <sub>ц</sub> , м <sup>2</sup>	R <sub>уд.о</sub> , кВт	P <sub>но</sub> , кВт	K <sub>со</sub>	P <sub>ро</sub> , кВт	P <sub>р</sub> +P <sub>ро</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВар	S <sub>р</sub> , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Потребители электроэнергии 0,38 кВ</b>														
1.	Корпус 1	850	0,8	0,85/0,62	680	421,6	7140	19	542,6	0,95	515,5	1195,5	421,6	1267,7
2.	Корпус 2	850	0,8	0,85/0,62	680	421,6	6272	19	476,7	0,95	452,9	1132,9	421,6	1208,8
3.	Корпус 3	600	0,8	0,85/0,62	480	297,6	6528	19	496,1	0,95	471,3	951,3	297,6	996,8
4.	Склад	15	0,75	0,6/1,33	11,3	15,03	1728	12	20,7	0,6	12,42	23,7	15,03	28,1
5.	Склад	15	0,75	0,6/1,33	11,3	15,03	1560	12	18,7	0,6	11,2	22,5	15,03	27,1
6.	Оспенный изолятор	60	0,75	0,9/0,48	45	21,6	9048	15	135,7	0,85	115,3	160,3	21,6	161,7
7.	Склад готовой продукции	80	0,75	0,9/0,48	60	28,8	7984	14	111,8	0,6	67,08	127,1	28,8	130,3
8.	Галленовое производство	100	0,8	0,88/0,54	80	43,2	17032	17	579,1	0,85	492,2	572,2	43,2	573,8
9.	Ремонтно-строительный участок	200	0,75	0,8/0,54	150	81	17032	15	510,96	0,85	434,3	584,3	81	589,9
10.	Проходная	5	0,9	0,9/0,48	4,5	2,16	480	15	7,2	0,85	6,12	10,6	2,16	10,8
11.	Склад сбыта	100	0,75	0,9/0,48	75	36	2736	15	82,08	0,85	69,8	144,8	36	149,2
12.	Ремонтно-механические мастерские	350	0,8	0,8/0,75	280	210	6552	15	98,3	0,95	93,4	373,4	210	428,4
13	Станция обезжелезования	60	0,8	0,85/0,62	48	29,8	616	16	9,9	0,85	8,4	56,4	29,8	63,79
14	Оспенный корпус	400	0,8	0,9/0,48	320	153,6	1848	15	27,7	0,85	23,5	343,5	153,6	376,3
15	Виварий	200	0,9	0,92/0,43	180	77,4	3908	16	62,5	0,95	59,4	239,4	77,4	251,6
16	Административный корпус	100	0,8	0,93/0,395	80	31,6	5400	18	388,8	0,9	349,9	429,9	31,6	431,1

Продолжение табл. 3.2.1

№ на ген. плане	Наименование потребителей	Силовая нагрузка					Осветительная нагрузка					Силовая и осветительная нагрузка		
		P <sub>н</sub> , кВт	K <sub>с</sub>	$\frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \varphi}$	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВт	F <sub>ц</sub> , м <sup>2</sup>	P <sub>уд.о</sub> , кВт	P <sub>но</sub> , кВт	K <sub>со</sub>	P <sub>ро</sub> , кВт	P <sub>р</sub> +P <sub>ро</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВар	S <sub>р</sub> , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Потребители электроэнергии 0,38 кВ</b>														
17	Гараж	50	0,75	0,85/0,62	37,5	23,25	3724	12	44,7	0,6	26,8	64,3	23,25	68,4
18	Склад ГСМ	1	0,6	0,85/0,62	0,6	0,372	600	14	8,4	0,6	5,05	5,64	0,372	5,7
19	Котельная	560	0,9	0,9/0,48	504	241,9	684	15	10,3	0,95	9,8	513,8	241,9	567,9
20	Корнеплодохранилище	3	0,7	0,95/0,33	2,1	0,693	2200	14	30,8	0,85	26,2	28,3	0,693	28,3
21	Крематорий	15	0,7	0,95/0,33	10,5	3,47	504	15	7,56	0,85	6,4	16,9	3,47	17,3
22	Склад сырья	10	0,6	0,9/0,48	6	2,88	4000	12	48	0,6	28,8	34,8	2,88	34,9
23	Спиртохранилище	15	0,6	0,9/0,48	9	4,32	140	14	1,96	0,85	1,67	10,67	4,32	11,5
25	Центральная водопроводная насосная станция	250	0,8	0,92/0,43	200	86	364	15	5,46	0,85	4,6	204,6	86	221,9
26	Водонапорная башня	1	0,8	0,92/0,43	0,8	0,344	200	15	3	0,85	2,55	3,35	0,344	3,37
27	Насосная станция обратного водоснабжения №1	200	0,8	0,82/0,698	160	111,7	145	15	2,2	0,85	1,87	161,9	111,7	196,7
28	Градирия	15	0,8	0,9/0,48	12	5,76	152	16	2,4	0,85	2,04	14,04	5,76	15,2
29	Автовесы	1	0,7	0,9/0,48	0,7	0,336	232	15	3,5	0,8	2,8	3,5	0,336	3,52
30	Канализационная насосная станция	40	0,75	0,85/0,62	30	18,6	154	15	2,31	0,85	1,96	31,96	18,6	36,98
32	Склад медицинского стекла	10	0,6	0,9/0,48	6	2,88	3724	12	44,7	0,6	26,8	32,8	2,88	32,9
33	Здравпункт, отдел качества	15	0,6	0,9/0,48	9	4,32	2204	17	74,9	0,8	59,9	68,9	4,32	69
34	Склад фуража	10	0,6	0,85/0,62	6	3,72	3724	12	44,7	0,6	26,8	32,8	3,72	33

Продолжение табл. 3.2.1

№ на ген. плане	Наименование потребителей	Силовая нагрузка					Осветительная нагрузка					Силовая и осветительная нагрузка		
		P <sub>н</sub> , кВт	K <sub>с</sub>	$\frac{\cos \varphi}{\text{tg} \varphi}$	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВт	F <sub>ц</sub> , м <sup>2</sup>	P <sub>уд.о</sub> , кВт	P <sub>но</sub> , кВт	K <sub>со</sub>	P <sub>ро</sub> , кВт	P <sub>р</sub> +P <sub>ро</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВар	S <sub>р</sub> , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Потребители электроэнергии 0,38 кВ</b>														
35	Корпус 4/1	483,95	-	-	300,3	154,98	16864	19	320,4	0,95	304,4	604,7	154,98	624,2
35	Корпус 4/2	466	0,8	0,85/0,62	372,8	231,1	16864	19	320,4	0,95	304,4	677,2	231,1	715,5
36	Насосная станция оборотного водоснабжения №2	12	0,8	0,82/0,698	9,6	6,7	84	15	1,26	0,85	1,07	10,67	6,7	12,6
37	Компрессорная станция	60	0,8	0,8/0,75	48	36	760	15	11,4	0,85	9,69	57,7	36	68
39	Галерея	4,5	0,8	0,82/0,698	3,6	2,5	500	14	7	0,85	5,95	9,55	2,5	9,9
40	транспортировки	4,5	0,8	0,82/0,698	3,6	2,5	1600	14	22,4	0,85	19,04	22,6	2,5	22,7
41	готовой продукции	4,5	0,8	0,82/0,698	3,6	2,5	492	14	6,89	0,85	5,9	9,5	2,5	9,8
42	Склад азота и кислорода	1	0,6	0,85/0,62	0,6	0,372	240	13	3,12	0,6	1,9	2,5	0,372	2,5
43	Гараж	50	0,6	0,85/0,62	30	18,6	6052	12	72,6	0,6	43,6	73,6	18,6	75,9
44	Материальный склад	40	0,6	0,9/0,48	24	11,52	8556	12	102,7	0,6	61,6	85,6	11,52	86,4
	Территория завода	-	-	-	-	-	975188	0,22	214,5	1	214,5	214,5	-	-
	Итого по 0,38 кВ	6307,5	-	-	4975,4	2863,3	285651	-	4986,4	-	4388,8	9364,2	2863,3	9792,2
<b>Потребители электроэнергии 10 кВ</b>														
37	Компрессорная станция	300	0,8	0,8/0,75	240	180	760	-	-	-	-	240	180	300
	Итого по 10 кВ	300	-	-	240	180	-	-	-	-	-	240	180	-

### 3.3 Определение суммарной нагрузки предприятия в целом

Электроприемники до 1000 В  
В

(см. табл. 3.2.1):

$$\sum P_{расч}^{НН} = 4975,4 \text{ кВт};$$

$$\sum Q_{расч}^{НН} = 2863,3 \text{ кВар};$$

$$\sum P_{расч.осв}^{НН} = 4388,8 \text{ кВт}.$$

Электроприемники выше 1000

(см. табл. 3.2.1):

$$\sum P_{расч}^{ВН} = 240 \text{ кВт};$$

$$\sum Q_{расч}^{ВН} = 180 \text{ кВар};$$

Расчетная мощность предприятия на шинах напряжением до 1000 В за максимально загруженную смену:

$$S_{расч}^{НН} = \sqrt{(\sum P_{расч}^{НН} + \sum P_{расч.осв}^{НН})^2 + (\sum Q_{расч}^{НН})^2} = \sqrt{(4975,4 + 4388,8)^2 + 2863,3^2} = 9792,2 \text{ кВА}. \quad (3.3.1)$$

Так как трансформаторы цеховых подстанций и распределительная сеть 10 кВ еще не выбраны, то приближенно потери мощности в них можно определить из выражений:

$$\Delta P_{тр} = 0,02 \cdot S_{расч}^{НН} = 0,02 \cdot 9792,2 = 195,8 \text{ кВт}; \quad (3.3.2)$$

$$\Delta Q_{тр} = 0,1 \cdot S_{расч}^{НН} = 0,1 \cdot 9792,2 = 979,2 \text{ кВар}; \quad (3.3.3)$$

$$\Delta P_{к.л} = 0,03 \cdot S_{расч}^{НН} = 0,03 \cdot 9792,2 = 293,8 \text{ кВт}. \quad (3.3.4)$$

Суммарные расчетные активная, реактивная и полная мощности, приведенные к шинам 10 кВ ГПП, определяются из выражений:

$$P_{р\Sigma} = (\sum P_{расч}^{НН} + \sum P_{расч}^{ВН}) \cdot k_{р.м} + \sum P_{расч.осв}^{НН} + \Delta P_{тр} + \Delta P_{лэн} = (4975,4 + 240) \cdot 0,95 + 4388,8 + 195,8 + 293,8 = 9833,03 \text{ кВт}; \quad (3.3.5)$$

$$Q_{р\Sigma} = (\sum Q_p^{НН} + \sum Q_p^{ВН}) \cdot k_{р.м} + \Delta Q_m = (2863,3 + 180) \cdot 0,95 + 979,2 = 3170,3 \text{ кВар} \quad (3.3.6)$$

где  $k_{р.м}$  - коэффициент одновременности максимумов нагрузки отдельных групп электроприемников, характеризующий смещение максимума отдельных ЭП во времени, что вызывает снижение суммарного графика

нагрузки по сравнению с суммой максимумов отдельных ЭП или групп ЭП, принимаемый в пределах  $0,9 \div 1,0$ ;

$$S_{расч\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p\Sigma}^2} = \sqrt{9833,03^2 + 3170,3^2} = 10331,5 \text{ кВА.} \quad (3.3.7)$$

Так как трансформаторы главной понизительной подстанции еще не выбраны, то приближенно потери мощности в них можно определить из выражений (3.3.2),(3.3.3):

$$\Delta P_{mp}^{zmn} = 0,02 \cdot S_{расч\Sigma} = 0,02 \cdot 10331,5 = 206,6 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{mp}^{zmn} = 0,1 \cdot S_{расч\Sigma} = 0,1 \cdot 10331,5 = 1033,2 \text{ кВар.}$$

Наибольшее значение реактивной мощности, передаваемой из сети энергосистемы в сеть предприятия в режиме наибольших активных нагрузок энергосистемы:

$$Q_c = \alpha \cdot P_{p\Sigma} = 0,24 \cdot 9833,03 = 2359,9 \text{ кВар,} \quad (3.3.8)$$

где  $\alpha$  – расчетный коэффициент, соответствующий средним условиям передачи реактивной мощности по сетям системы к потребителям, с учетом затрат на потери мощности и энергии в различных объединенных энергетических системах:

для Сибири  $\alpha = 0,24$  при  $U_{ном} = 35 \text{ кВ};$   
 $\alpha = 0,29$  при  $U_{ном} = 110 \text{ кВ};$   
 $\alpha = 0,40$  при  $U_{ном} = 220 \text{ кВ.}$

Мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{ку} = Q_{p\Sigma} - Q_c = 3170,3 - 2359,9 = 810,4 \text{ кВар.} \quad (3.3.9)$$

Полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП определяется:

$$S_{расч}^{zmn} = \sqrt{(P_{p\Sigma} + \Delta P_{mp}^{zmn})^2 + (Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{mp}^{zmn} - Q_{ку})^2} =$$

$$= \sqrt{(9833,03 + 206,6)^2 + (3170,3 + 1033,2 - 810,4)^2} = 10597,5 \text{ кВА.} \quad (3.3.10)$$

## 4 Картограмма нагрузок и определение центра электрических нагрузок

Картограмма нагрузок представляет собой размещённые на генплане предприятия площади, ограниченные кругами, которые в определённом масштабе соответствуют расчётным нагрузкам цехов.

Радиусы окружностей для каждого цеха определяются из выражения:

$$r_i = \sqrt{\frac{S_{pi}}{\pi \cdot m}}, \quad (4.1)$$

где  $S_{pi}$  – расчётная площадь  $i$ -го цеха с учётом освещения, кВА;  $m$  – масштаб для определения площади круга, кВА/мм<sup>2</sup> (постоянный для всех цехов предприятия).

Силовые нагрузки до и выше 1000 В изображаются отдельными кругами или секторами в круге. Считаем, что нагрузка по цеху распределена равномерно, поэтому центр нагрузок совпадает с центром тяжести фигуры, изображающей цех в плане.

Осветительная нагрузка наносится в виде сектора круга, изображающего нагрузку до 1000 В. Угол сектора ( $\alpha$ ) определяется из соотношения полных расчётных ( $S_{pi}$ ) и осветительных нагрузок ( $P_{po}$ ) цехов:

$$\alpha = \frac{360 \cdot P_{po}}{S_{pi}}. \quad (4.2)$$

На генплане завода произвольно наносятся оси координат и определяются значения  $x_i$  и  $y_i$  для каждого цеха. Координаты центра электрических нагрузок завода  $x_o$  и  $y_o$  определяются по формулам:

$$x_o = \frac{\sum S_{pi} \cdot x_i}{\sum S_{pi}}, \quad (4.3)$$

$$y_o = \frac{\sum S_{pi} \cdot y_i}{\sum S_{pi}}. \quad (4.4)$$

Пример: Корпус №1.

По (4.1):  $r_1 = \sqrt{\frac{S_{расч1}}{\pi \cdot t}} = \sqrt{\frac{1267,7}{\pi \cdot 1}} = 20 \text{ мм};$

по (4.2):  $\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{расч.осв1}}{S_{расч1}} = \frac{360^\circ \cdot 515,5}{1267,7} = 146^\circ;$

по (4.3):  $x_o = \frac{\sum S_{расчи} \cdot x_i}{\sum S_{расчи}} = \frac{4031245}{9969,46} = 404,4 \text{ м};$

по (4.4):  $y_o = \frac{\sum S_{расчи} \cdot y_i}{\sum S_{расчи}} = \frac{2768157}{9969,46} = 277,7 \text{ м}.$

Результаты расчётов представлены в таблице 4.1.

Генплан предприятия с картограммой нагрузок показан на рис.3.

## КАРТОГРАММА

Рисунок 3 - Картограмма

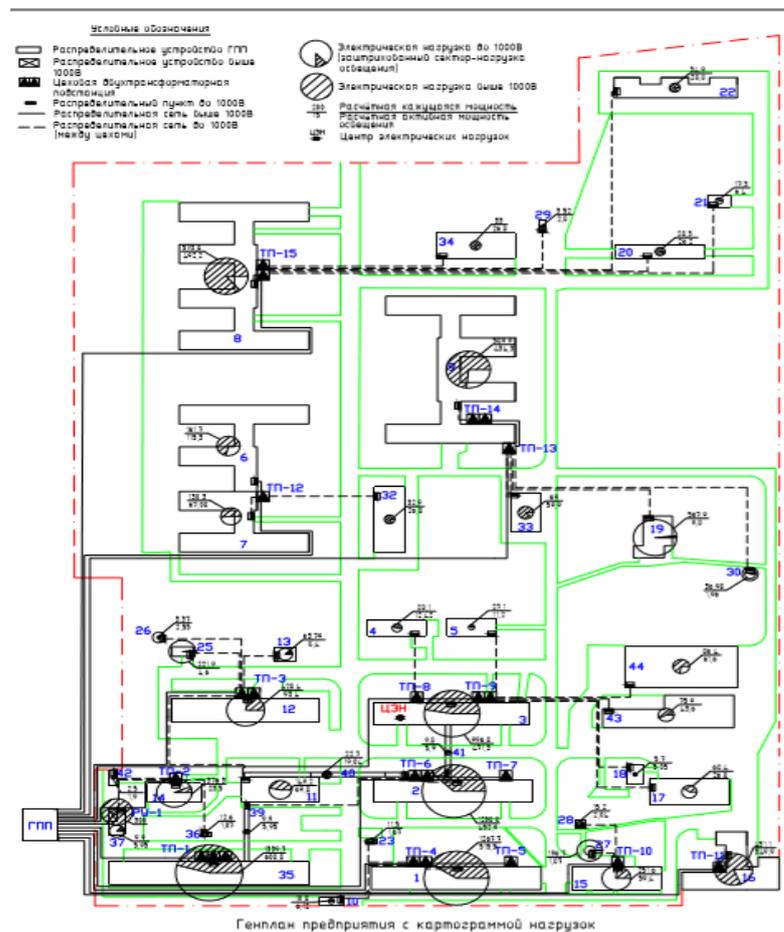


Таблица 4.1 - Расчётные данные для построения картограммы нагрузок

№ цеха на генплане	$S_{pi}$ , кВА	$P_{po}$ , кВт	$r$ , мм	$\alpha$ , град	$x_i$ , м	$y_i$ , м	$S_{pi} \cdot x_i$ , кВА·м	$S_{pi} \cdot y_i$ , кВА·м
Потребители 0,38 кВ								
1.	1267,7	515,5	20	146	474	42	600889,8	53243,4
2.	1208,8	452,9	19,6	135	470	170	568136	205496
3.	996,8	471,3	17,2	170	468	285	466502,4	284088
4.	28,1	12,42	3	159	400	412	11240	11577,2
5.	27,1	11,2	1,9	149	492	466	13333,2	12628,6
6.	161,7	115,3	7,2	257	192	682	31046,4	110279,4
7.	130,3	67,08	6,4	185	195	578	25408,5	75313,4
8.	573,8	492,2	13,5	309	189	934	108448,2	535929,2
9.	589,9	434,3	13,7	265	488	795	287871,2	468970,5
10.	10,8	6,12	1,9	204	319	7	3445,2	75,6
11.	149,2	69,8	6,9	168	256	172	38195,2	25662,4
12.	428,4	93,4	11,7	78	213	290	91249,2	124236
13.	63,79	8,4	4,5	47	262	373	16712,98	23793,67
14.	376,3	23,5	10,9	24	125	168	47037,5	63218,4
15.	251,6	59,4	9	85	671	41	168823,6	10315,6
16.	431,1	349,9	11,7	292	813	50	350484,3	21555
17.	68,4	26,8	4,7	141	761	169	52052,4	11559,6
18.	5,7	5,05	1,3	318	694	195	3955,8	1111,5
19.	567,9	9,8	13,4	6	718	546	407752,2	310073,4
20.	28,3	26,2	3	333	725	970	20517,5	27451
21.	17,3	6,4	2,3	133	798	1045	13805,4	18078,5
22.	34,9	28,8	3,3	297	744	1205	25965,6	42054,5
23.	11,5	1,67	1,9	52	342	97	3933	1115,5
25.	221,9	4,6	8,4	7	256	172	56806,4	38166,8
26.	3,37	2,55	1,04	272	106	398	357,22	1341,26
27.	196,7	1,87	7,9	3	638	82	125494,6	16129,4
28.	15,2	2,04	2,2	48	626	121	9515,2	1839,2
29.	3,52	2,8	1,06	286	580	1008	2041,6	3548,16
30.	36,98	1,96	3,4	19	836	492	30915,28	18194,16
32.	32,9	26,8	3,2	293	391	573	12863,9	18851,7
33.	69	59,9	4,7	313	559	583	38571	40227
34.	33	26,8	3,2	292	497	979	16401	32307
35.	1339,7	608,8	20,7	164	168	49	225069,6	65645,3
36.	12,6	1,07	2	31	164	106	2066,4	1335,6
37.	68	9,69	4,7	51	54	135	3672	9180
39.	9,9	5,95	1,8	216	125	168	1237,5	1663,2
40.	22,7	19,04	2,7	302	314	195	7127,8	4426,5
41.	9,8	5,9	1,8	217	463	227	4537,4	2224,6
42.	2,5	1,9	0,9	274	22	190	55	475
43.	75,9	43,6	4,9	207	746	87	56621,4	6603,3
44.	86,4	61,6	5,2	257	751	355	64886,4	30672
Потребители 10 кВ								
37.	300	-	9,8	-	54	125	16200	37500
Итого	9901,46	-	-	-	-	-	4031245	2768157

## 5 Схема внешнего и внутрипроизводственного электроснабжения

### 5.1 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций

При установке на крупных промышленных предприятиях группы цеховых трансформаторов их номинальная мощность определяется плотностью нагрузки и выбирается, как правило, одинаковой для всей группы. Удельная плотность нагрузки определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{S_{расч}^{нн}}{F_{ц}} = \frac{9792,2}{285651} = 0,034 \text{ кВА/м}^2. \quad (5.1.1)$$

Примем  $S_{ном тр} = 630$  кВА [3].

Минимально возможное число трансформаторов цеховых ТП:

$$N_{расч.} = \frac{\sum (P_p^н + P_{po})}{\beta_T \cdot S_{ном.тр}} = \frac{9364,2}{0,7 \cdot 630} = 21,2, \quad (5.1.2)$$

где  $\beta_T$  – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме (принимается 0,7).

Полученную величину округляем до ближайшего большего целого числа, принимаем  $N = 22$  трансформатора.

### 5.2 Технико-экономический расчет мощности батарей статических конденсаторов и выбор места их установки.

Потребляемая мощность в сети 0,4 кВ за максимально загруженную смену:

$$P=9833,03 \text{ кВт}, \quad Q = 3170,3 \text{ кВАр}.$$

Мощность, которую может выдать энергосистема:  $Q_c = 2359,9$  кВАр

Вариант 1. (N=22шт.)

Количество реактивной мощности, которую могут передать трансформаторы:

$$Q'_1 = \sqrt{(N \cdot \beta_n \cdot S_n)^2 - P_p^2} = \sqrt{(22 \cdot 0,7 \cdot 0,630)^2 - 9,8^2} = 0,2 \text{ МВАр} \quad (5.2.1)$$

Располагаемая реактивная мощность:

$$Q_1 = Q_c = 2,3 \text{ МВАр.}$$

Мощность компенсирующих устройств на стороне 0,4 кВ:

$$Q_{ку} = Q_p - Q'_1 = 3,17 - 0,2 = 2,97 \text{ МВАр} \quad (5.2.2)$$

Выбираем УКБ - 0,38 - 150 в количестве 20 штук комплектных конденсаторных установок общей мощностью 3000 кВАр (рис.4).

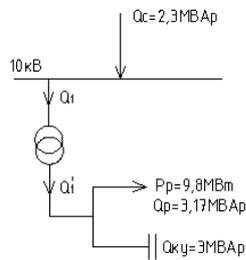


Рисунок 4 - Распределение реактивной мощности.

Затраты:

$$\begin{aligned} Z_T &= E_n \cdot K_y \cdot \left( \frac{U_{\text{ок}}}{U} \right)^2 \cdot Q_{\text{ок}} + C_0 \cdot P_{\text{ок}} \cdot Q_{\text{ок}} = \\ &= 0,223 \cdot 12 \cdot \left( \frac{1}{1} \right)^2 \cdot 3000 + 85 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3000 = 9175,5 \text{ тыс.у.е.} \end{aligned} \quad (5.2.3)$$

Вариант 2. Увеличим число трансформаторов на один, т.е. N=23шт.

Количество реактивной мощности, которую могут передать трансформаторы:

$$Q'_1 = \sqrt{(N \cdot \beta_n \cdot S_n)^2 - P_p^2} = \sqrt{(23 \cdot 0,7 \cdot 0,630)^2 - 9,8^2} = 2,6 \text{ МВАр} \quad (5.2.4)$$

Располагаемая реактивная мощность:

$$Q_1 = Q_c = 2,3 \text{ кВАр.}$$

Мощность компенсирующих устройств на стороне 0,4 кВ:

$$Q_{ку}^H = Q_p - Q_1' = 3,17 - 2,6 = 0,57 \text{ МВАр} \quad (5.2.5)$$

Выбираем УКБ - 0,38 - 150 в количестве 4 штук комплектных конденсаторных установок общей мощностью 600 кВАр.

Мощность КУ на стороне 10 кВ:

$$Q_{ку}^B = Q_p - Q_1' = 2,6 - 2,3 = 0,3 \text{ МВАр} \quad (5.2.6)$$

Затраты:

$$Z_{II} = E_n \cdot K_y \cdot \left( \frac{U_{\text{ок}}}{U} \right)^2 \cdot Q_{\text{ок}} + C_0 \cdot P_{\text{ок}} \cdot Q_{\text{ок}} = 0,223 \cdot 12 \cdot \left( \frac{1}{1} \right)^2 \cdot 600 + 85 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 600 +$$

$$+ 0,223 \cdot 6,2 \cdot \left( \frac{1}{1} \right)^2 \cdot 300 + 85 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 300 + 0,193 \cdot 12 = 2409,5 \text{ тыс.у.е.} \quad (5.2.7)$$

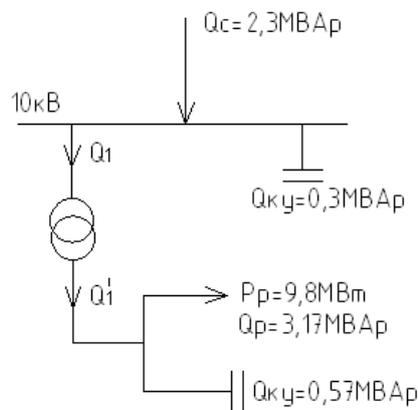


Рисунок 5 - Распределение реактивной мощности.

По результатам расчета  $Z_I > Z_{II}$ , следовательно, делаем вывод, что батареи статических конденсаторов устанавливаем на стороне 0,4 кВ в количестве 4 штуки, общей мощностью 600кВАр, а на стороне 10 кВ- 2 штуки, общей мощностью 300кВАр.

С учётом проделанного технико-экономического расчета мощностей батарей статических конденсаторов и выбора места их установки, окончательно принимаем количество трансформаторов равное 23 шт.

Определим активную нагрузку на один трансформатор:

$$P_1 = \frac{\sum (P_p + P_{po})}{N} = \frac{9364,2}{23} = 407,1 \text{ кВт;} \quad (5.2.8)$$

Определим число трансформаторов для установки в цехах предприятия:

$$N_i = \frac{(P_{p.o} + P_p)_i}{P_i}; \quad (5.2.9)$$

Для систематизации расчётов, представим полученные числа трансформаторов, устанавливаемые в каждом цехе в виде таблицы 5.2.1.

Пример:

$$\text{По (31) } N_i = \frac{P_{p.o1} + P_{p1}}{P_1} = \frac{1195,5}{407,1} = 2,94 \quad (5.2.10)$$

Схема расположения трансформаторов в цехах представлена на рис.5.

Таблица 5.2.1 - Число трансформаторов в цехе

№ цеха на генплане	Наименование цехов	$P_p + P_{p.o}$ , кВт	Количество трансформаторов N, шт
1.	Корпус 1	1195,5	2,94
2.	Корпус 2	1132,9	2,78
3.	Корпус 3	951,3	2,34
4.	Склад	23,7	0,06
5.	Склад	22,5	0,06
6.	Оспенный изолятор	160,3	0,39
7.	Склад готовой продукции	127,1	0,31
8.	Галленовое производство	572,2	1,41
9.	Ремонтно-строительный участок	584,3	1,44
10.	Проходная	10,6	0,03
11.	Склад сбыта	144,8	0,36
12.	Ремонтно-механические мастерские	373,4	0,92
13	Станция обезжелезования	56,4	0,14
14	Оспенный корпус	343,5	0,84
15	Виварий	239,4	0,59
16	Административный корпус	429,9	1,06
17	Гараж	64,3	0,16
18	Склад ГСМ	5,64	0,01
19	Котельная	513,8	1,26
20	Корнеплодохранилище	28,3	0,07
21	Крематорий	16,9	0,04
22	Склад сырья	34,8	0,09
23	Спиртохранилище	10,67	0,03
25	Центральная водопроводная насосная станция	204,6	0,50
26	Водонапорная башня	3,35	0,01
27	Насосная станция оборотного водоснабжения №1	161,9	0,40
28	Градирия	14,04	0,03
29	Автовесы	3,5	0,01
30	Канализационная насосная станция	31,96	0,08
32	Склад медицинского стекла	32,8	0,08
33	Здравпункт, отдел качества	68,9	0,17
34	Склад фуража	32,8	0,08
35	Корпус 4	1281,9	3,15
36	Насосная станция оборотного водоснабжения №2	10,67	0,03
37	Компрессорная станция	57,7	0,14
39	Галерея транспортировки готовой продукции	9,55	0,02
40		22,6	0,06
41		9,5	0,02
42	Склад азота и кислорода	2,5	0,01
43	Гараж	73,6	0,18
44	Материальный склад	85,6	0,21

Так как получаются дробные числа, то необходимо объединить нагрузки ближайших цехов:

$$N_1 + N_{10} + N_{23} = 3$$

$$N_{15} + N_{27} + N_{28} = 1,02$$

$$N_2 + N_{41} + N_{40} + N_{39} = 2,88$$

$$N_{14} + N_{36} + N_{37} + N_{42} = 1,02$$

$$N_{11} + N_{12} + N_{13} + N_{25} + N_{26} = 1,93;$$

$$N_3 + N_{17} + N_{18} + N_{43} + N_{44} + N_4 + N_5 = 3,02$$

$$N_8 + N_{20} + N_{21} + N_{22} + N_{29} + N_{34} = 1,7$$

$$N_9 + N_{19} + N_{30} + N_{33} = 2,95$$

$$N_6 + N_7 + N_{32} = 0,78$$

$$N_{16} = 1,06$$

$$N_{35} = 3,15$$

Таблица 5.2.2 - Распределение электрических нагрузок по пунктам питания

№ п/п	Наименование пункта питания	Потребители э/э	Место расположения пункта питания на генплане	Примечание
1	2	3	4	5
1	ТП-1	Цех №35	Цех №35	
2	ТП-2	Цех №14, Цех №37, Цех №36 , Цех №42	Цех №14	
3	ТП-3	Цех №12, Цех №11, Цех №13, Цех №25, Цех №26	Цех №12	
4	ТП-4	Цех №1, Цех №10, Цех №23	Цех №1	
5	ТП-5	Цех №1	Цех №1	
6	ТП-6	Цех №2, Цех №41, Цех №40, Цех №39	Цех №2	
7	ТП-7	Цех №2	Цех №2	
8	ТП-8	Цех №3, Цех №17, Цех №18, Цех №43, Цех №44, Цех №4, Цех №5	Цех №3	
9	ТП-9	Цех №3	Цех №3	
10	ТП-10	Цех №15, Цех №27, Цех №28	Цех №15	
11	ТП-11	Цех №16	Цех №16	
12	ТП-12	Цех №6, Цех №7, Цех №32	Цех №7	
13	ТП-13	Цех №9, Цех №19, Цех №30, Цех №33	Цех №9	
14	ТП-14	Цех №9	Цех №9	

### Продолжение таблицы 5.2.2

1	2	3	4	5
15	ТП-15	Цех №8, Цех №20, Цех №21, Цех №22, Цех №29, Цех №34	Цех №8	
16	РУ-1		Цех №37	Потребители выше 1 кВ

## 5.3 Схема внешнего электроснабжения

Электроснабжение завода осуществляется от подстанции энергосистемы. При наличии одного источника питания в целях резервирования принимается схема внешнего электроснабжения по двум радиальным линиям (ГПП с двумя трансформаторами связи). Питающие линии выполняются воздушными. В нормальном рабочем режиме пропускная способность каждой из питающих линий составляет не менее половины расчетной нагрузки завода. В аварийном режиме работы любая из питающих линий с учетом допустимой перегрузки (до 30%) должна обеспечить электроэнергией потребители второй категории.

ГПП размещается за территорией предприятия, с некоторым смещением в сторону источника питания.

Выбор напряжения питающих и распределительных сетей зависит от мощности, потребляемой предприятием, его удаленности от источника питания, напряжения источника питания, количества и единичной мощности ЭП.

### 5.3.1 Выбор трансформаторов по графику нагрузок

Характерный суточный график электрических нагрузок предприятия (рис.6):

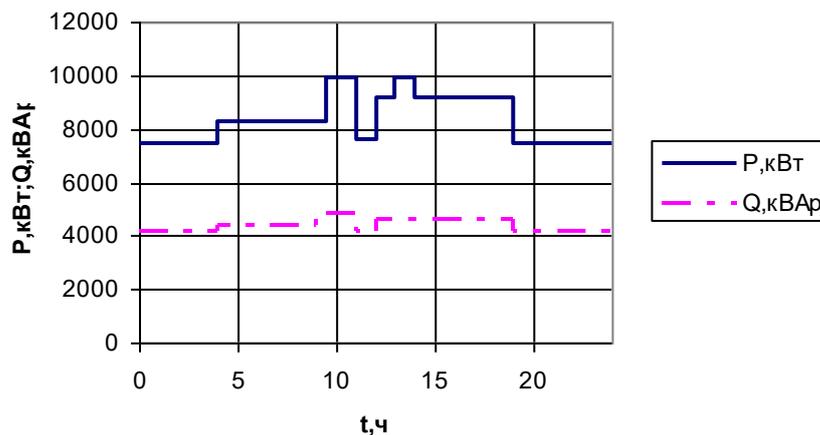


Рисунок 6 - Характерный суточный график электрических нагрузок

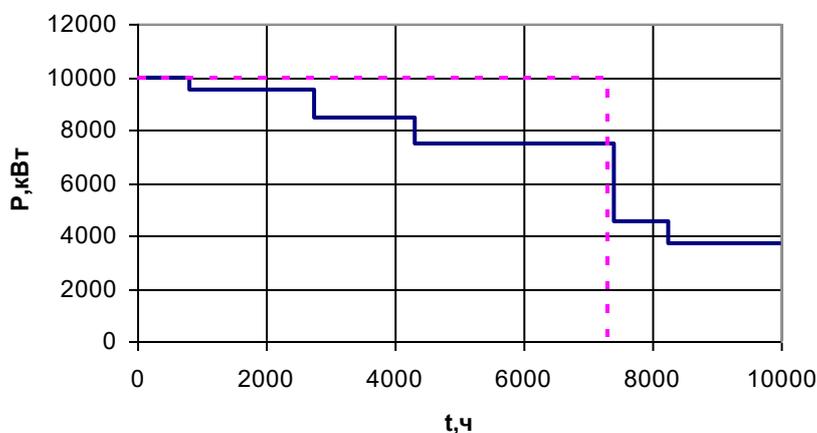


Рисунок 7 - Годовой график нагрузок по продолжительности использования мощности

Определим потребляемую активную и реактивную суточные энергии как площади под графиками активной и реактивной мощности соответственно.

$$W_{\text{сут}} = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot t_i) = 200386 (\text{кВт} \cdot \text{ч}) \quad (5.3.1.1)$$

$$V_{\text{сут}} = \sum_{i=1}^n (Q_i \cdot t_i) = 105980,7 (\text{кВАр} \cdot \text{ч}) \quad (5.3.1.2)$$

Средняя полная мощность предприятия за сутки:

$$S_{\text{ср}} = \frac{\sqrt{W_{\text{сут}}^2 + V_{\text{сут}}^2}}{24} = \frac{\sqrt{200386^2 + 105980,7^2}}{24} = 9445,2 \text{кВА} \quad (5.3.1.3)$$

$$P_{см} = \frac{W_{сум}}{24} = \frac{200386}{24} = 8349,4 \text{ кВт} \quad (5.3.1.4)$$

$$Q_{см} = \frac{V_{сум}}{24} = \frac{105980,7}{24} = 4415,9 \text{ кВт} \quad (5.3.1.5)$$

Определяем  $T_{\max}$  :

$$T_{\max} = \frac{W_{сум} \cdot 365}{P_{\max}} = \frac{200386 \cdot 365}{9984,36} = 7325,5 \text{ ч} \quad (5.3.1.6)$$

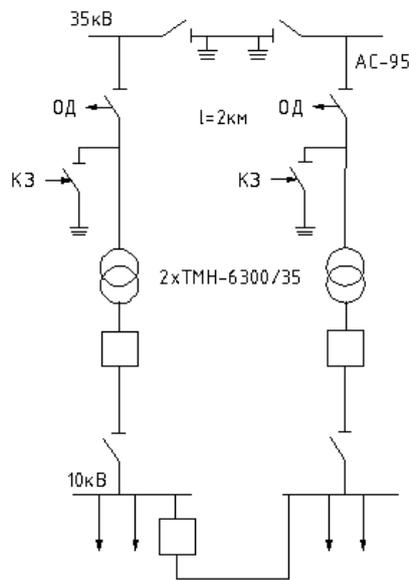


Рисунок 8 - Схема ГПП

Выбор трансформаторов:

1. Учитывая наличие потребителей 2 категории, устанавливаем на ГПП два трансформатора.

2. Коэффициент заполнения графика нагрузок:

$$k_{зан} = \frac{S_{ср}}{S_{\max}} = \frac{9445,2}{11112,87} = 0,85 \quad (5.3.1.7)$$

3. По  $k_{зан}$  и  $t_{\max} = 2 \text{ ч}$  по графику [5] определяем  $k_{н} = 1,083$

4. Определим мощность трансформаторов:

$$S_{ном.тр} = \frac{S_{\max}}{k_{н}} = \frac{11112,87}{1,083} = 10261 \text{ кВА} \quad (5.3.1.8)$$

Соответственно, на один трансформатор приходится мощность равная  $10261/2=5131\text{кВА}$

Для дальнейшего рассмотрения выберем трансформаторы двух номинальных мощностей:

$$S_1 = 6,3\text{МВА} \text{ и } S_2 = 10\text{МВА}$$

$$\text{При этом } k_{\text{загр}1} = \frac{11112,87}{2 \cdot 6300} = 0,88 \quad (5.3.1.9)$$

$$k_{\text{загр}2} = \frac{S_{\text{max}}}{2S_{\text{ном}}} = \frac{11112,87}{2 \cdot 10000} = 0,56 \quad (5.3.1.10)$$

Проверка для послеаварийного режима:

$$1,4 \cdot S_{\text{ном}} = 1,4 \cdot 6,3 = 8,82\text{МВА} > 0,75 \cdot S_{\text{max}} = 8,3\text{МВА}$$

$$1,4 \cdot S_{\text{ном}} = 1,4 \cdot 10 = 14\text{МВА} > 0,75 \cdot S_{\text{max}} = 8,3\text{МВА}$$

а) ВЛЭП

*Выбор напряжения питающей линии*

Рекомендации по выбору напряжения говорят о следующем, что напряжение 35 кВ имеет экономические преимущества при передаваемой мощности не более 10 МВА, а напряжение 110 кВ целесообразно применять при потребляемой промышленным предприятием мощности 10-150 МВА. Так как мощность данного предприятия составляет 10597,5 кВА, то выбор напряжения 110 кВ ( $\ell_{\text{факт.}} = 8\text{км}$ ), не целесообразно по сравнению с напряжением 35 кВ, где  $\ell_{\text{факт.}} = 2\text{км}$ . Следовательно, исходя из выше сказанного, выбираем напряжение питающей сети 35 кВ.

Сечение провода выбирается по экономической плотности тока и проверяется:

- по 30%-ой перегрузке;
- по допустимой потере напряжения (5% - в нормальном, 10% - в послеаварийном режимах);
- по механической прочности;
- на корону (для напряжения 110 кВ и выше).

Экономическое сечение:

$$S_{\text{эк}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot j_{\text{эк}}} \quad (5.3.1.11)$$

где  $j_{\text{эк}} = 1 \frac{A}{\text{мм}^2}$  – нормированное значение экономической плотности тока

(при  $T_M > 5000 \text{ ч}$ ) [15].

Выберем сечение ВЛЭП по экономической плотности тока в нормальном и аварийном режимах.

$$I_p = \frac{S_{p\text{III}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{11112,87}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 91,7 \text{ A} \quad (5.3.1.12)$$

$$I_{p \text{ н/ав}} = 2 \cdot 91,7 = 183,3 \text{ A} \quad (5.3.1.13)$$

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{91,7}{1} = 91,7 \text{ мм}^2 \quad (5.3.1.14)$$

(расчет на одну цепь)

Принимаем ближайшее стандартное сечение 95 мм<sup>2</sup>. Выбираем сталеалюминовые провода марки АС-95 [3], допустимый ток  $I_{\text{дон}} = 330 \text{ A}$  [3].

Для принятого сечения производим все необходимые проверки.

а) По нагреву:

$$1,3 I_{\text{дон}} \geq I_{p \text{ max}}, \text{ т.е.} \quad (5.3.1.15)$$
$$1,3 \cdot 330 = 429 \geq 183,3$$

б) По механической прочности:

Для сталеалюминовых проводов минимальное сечение по условиям механической прочности 25 мм<sup>2</sup>.

$$F_{\text{эк ВЛЭП}} \geq F_{\text{min мех}} - \text{условие выполнено.} \quad (5.3.1.16)$$
$$95 \text{ мм}^2 \geq 25 \text{ мм}^2$$

в) По допустимой потере напряжения:

- допустимая длина питающей линии:

$$l_{\text{дон}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{дон}} \% \cdot \frac{I_{\text{дон}}}{I_p} \geq l_{\text{факт}}, \quad (5.3.1.17)$$

где  $l_{\Delta U 1\%}$  - длина линии при полной нагрузке, на которой потеря напряжения равна 1%. По [3] принимаем  $l_{\Delta U 1\%} = 1,84 \text{ км}$ ;

$\Delta U_{\text{доп}} \% = 5\%$  - допустимая потеря напряжения в нормальном режиме.

Итак,

$$I_{\text{доп}} = 1,84 \cdot 5\% \cdot \frac{330}{91,7} = 33,1 \geq I_{\text{факт}} = 2 \text{ км}$$

г) Проверка на корону при  $U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$  не производится.

## б) ТРАНСФОРМАТОРЫ

Стоимость потерь электроэнергии в трансформаторах:

$$C_{\text{пот.тр}} = \Delta W \cdot \Delta C_{\text{э}} = \left( \frac{1}{2} \Delta P_{\text{кз}} \cdot k_{\text{загр}}^2 \cdot \tau_{\text{max}} + 2 \cdot \Delta P_{\text{хх}} \cdot T_{\text{вкл}} \right) \cdot \Delta C_{\text{э}} \quad (5.3.1.18)$$

Время максимальных потерь:

$$\tau_{\text{max}} = (0,124 + 0,876 \cdot k_{\text{зан}})^2 \cdot 8760 = (0,124 + 0,876 \cdot 0,85)^2 \cdot 8760 = 6609,1 \text{ ч} \quad (5.3.1.19)$$

Для первого варианта трансформатора,  $S_{\text{ном}} = 6,3 \text{ МВА}$ , намечаем трансформаторы марок ТМН-6300/35 и ТМН-6300/110 для напряжений 35 и 110 кВ соответственно.

Для второго варианта,  $S_{\text{ном}} = 10 \text{ МВА}$ , намечаем трансформаторы марок ТДНС-10000/35 и ТДН-10000/110

Рассмотрим все четыре трансформатора:

*Вариант1:* ТМН-6300/35:  $U_{\text{нн}}=11 \text{ кВ}$ ;  $P_{\text{х}}=8 \text{ кВт}$ ;  $P_{\text{к}}=46,5 \text{ кВт}$ ;

$K_{\text{тр}}=21,2 \text{ тыс. у. е.}$  [10]

$$K_{\text{загр}} = \frac{S_{\text{расч}}}{2 \cdot S_{\text{н.тр}}} = \frac{11112,87}{2 \cdot 6300} = 0,88 \quad (5.3.1.20)$$

$$C_{\text{пот.тр}} = \left( \frac{1}{2} \cdot 46,5 \cdot 0,88^2 \cdot 6609,1 + 2 \cdot 8 \cdot 8760 \right) \cdot 0,77 = 199,5 \text{ тыс. у. е.}$$

Приведенные годовые затраты:

$$Z_{\text{тр}} = E_{\text{н}} \cdot K_{\text{тр}} + C_{\text{год}} \quad (5.3.1.21)$$

$$Z_{\text{тр}} = 2 \cdot 21,2 \cdot 0,193 + 2 \cdot 21,2 \cdot 0,094 + 199,5 = 211,7 \text{ тыс. у. е.}$$

*Вариант2:* ТДНС-10000/35:  $U_{\text{нн}}=10,5 \text{ кВ}$ ;  $P_{\text{х}}=12 \text{ кВт}$ ;  $P_{\text{к}}=60 \text{ кВт}$ ;

$K_{\text{тр}}=43 \text{ тыс. у. е.}$  [10]

$$K_{\text{загр}} = \frac{11112,87}{2 \cdot 10000} = 0,56$$

$$C_{ном. mp} = \left(\frac{1}{2} \cdot 60 \cdot 0,56^2 \cdot 6609,1 + 2 \cdot 12 \cdot 8760\right) \cdot 0,77 = 209,8 \text{ тыс. у.е.}$$

Приведенные годовые затраты:

$$Z_{mp} = 2 \cdot 43 \cdot 0,193 + 2 \cdot 43 \cdot 0,094 + 209,8 = 217,9 \text{ тыс. у.е.}$$

*Вариант3: ТМН-6300/110:*

U<sub>нн</sub>=11 кВ; P<sub>х</sub>=10 кВт; P<sub>к</sub>=44кВт; K<sub>тр</sub>=36тыс.у.е. [10]

$$K_{загр} = \frac{11112,87}{2 \cdot 6300} = 0,88$$

$$C_{ном. mp} = \left(\frac{1}{2} \cdot 44 \cdot 0,88^2 \cdot 6609,1 + 2 \cdot 10 \cdot 8760\right) \cdot 0,77 = 221,6 \text{ тыс. у.е.}$$

Приведенные годовые затраты:

$$Z_{mp} = 2 \cdot 36 \cdot 0,193 + 2 \cdot 36 \cdot 0,094 + 221,6 = 242,3 \text{ тыс. у.е.}$$

*Вариант4: ТДН-10000/110:*

U<sub>нн</sub>=11 кВ; P<sub>х</sub>=14 кВт; P<sub>к</sub>=58кВт; K<sub>тр</sub>=40тыс.у.е. [10]

$$K_{загр} = \frac{11112,87}{2 \cdot 10000} = 0,56$$

$$C_{ном. mp} = \left(\frac{1}{2} \cdot 58 \cdot 0,56^2 \cdot 6609,1 + 2 \cdot 14 \cdot 8760\right) \cdot 0,77 = 235,1 \text{ тыс. у.е.}$$

Приведенные годовые затраты:

$$Z_{mp} = 2 \cdot 40 \cdot 0,193 + 2 \cdot 40 \cdot 0,094 + 235,1 = 258,06 \text{ тыс. у.е.}$$

Полные затраты по вариантам:

$$\text{Вариант1: } Z_{mp}^1 = 211,7 \text{ тыс. у.е.}$$

$$\text{Вариант2: } Z_{mp}^2 = 217,9 \text{ тыс. у.е.}$$

$$\text{Вариант3: } Z_{mp}^3 = 242,3 \text{ тыс. у.е.}$$

$$\text{Вариант4: } Z_{mp}^4 = 258,06 \text{ тыс. у.е.}$$

Согласно технико-экономическому обоснованию, выбираем вариант с использованием напряжения питающей линии 35 кВ и трансформаторами на ГПП ТМН-6300/35.

## 6 Схема внутриводской сети 10 кВ

Распределительная сеть выше 1000 В (рис.9) по территории предприятия выполняется кабельными линиями, проложенными в траншеях.

Сечения кабельных линий выбираются по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение  $S$ , мм<sup>2</sup>, определяется из выражения:

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (6.1)$$

$$I_{\text{расч}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot S_p}{N_{\text{кл}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (6.2)$$

где  $I_p$  – расчетный ток установки, А;  $j_{\text{эк}}$  – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>, принимается по справочным данным.

Полученное сечение округляется до ближайшего стандартного сечения. Расчетный ток должен соответствовать условиям нормальной работы, при его определении не следует учитывать увеличение тока при аварийных ситуациях. Расчетным током линии для питающих цеховых трансформаторов, преобразователей, высоковольтных электродвигателей и трансформаторов электропечей является их номинальный ток, независимо от фактической загрузки.

Пример:

1) Выбор кабеля для участка ГПП - РУ-1.

$$\text{По (6.2): } I_{\text{расч}} = \frac{S_p^B}{N_{\text{кл}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{300}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 8,7 \text{ А};$$

Для  $T_{\text{max}} > 5000$  час  $j_{\text{эк}} = 1,2$  А/мм<sup>2</sup> – экономическая плотность тока для кабелей с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами;

$$\text{по (6.1): } S_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{8,7}{1,2} = 7,25 \text{ мм}^2;$$

округляем полученное значение до ближайшего стандартного значения 10 мм<sup>2</sup>; выбираем кабель марки АСБ – 2(3х10) по [3] с I<sub>доп</sub>=75 А ;

учитывая поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле k<sub>пр</sub> [2]:

$$I'_{доп} = k_{прокл} \cdot I_{доп} = 75 \cdot 0,9 = 67,5 \text{ А};$$

$$I_{расч.ав} = 2 \cdot I_{расч} = 2 \cdot 8,7 = 17,4 \text{ А}.$$

Проверка:  $I_{расч} \leq I'_{доп}$ ;  $I_{расч.ав} \leq 1,3 \cdot I'_{доп}$ ;

$$8,7 < 67,5 \text{ А}; \quad 17,4 < 1,3 \cdot 67,5 \text{ А};$$

Выбранное сечение удовлетворяет всем условиям.

2) Выбор кабеля для участка ГПП - ТП-1.

$$\text{По (6.2): } I_{расч} = \frac{N_{тр} \cdot S_p}{N_{кл} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{3 \cdot 630}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 54,6 \text{ А};$$

Для T<sub>max</sub>>5000 час j<sub>эк</sub>=1,2 А/мм<sup>2</sup> – экономическая плотность тока для кабелей с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами;

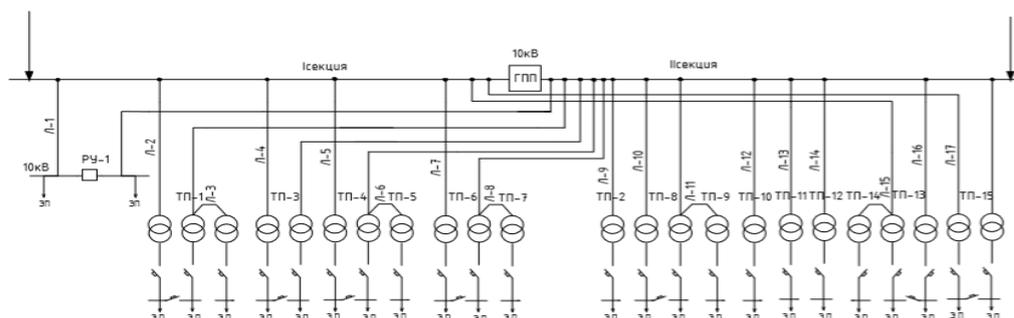


Рисунок 9 - Однолинейная схема электроснабжения

$$\text{по (6.1): } S_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} = \frac{54,6}{1,2} = 45,5 \text{ мм}^2;$$

округляем полученное значение до ближайшего стандартного значения 50 мм<sup>2</sup>; выбираем кабель марки АСБ – 2(3х50) по [3] с I<sub>доп</sub>=140 А;

учитывая поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле k<sub>пр</sub> [2]:

$$I'_{доп} = k_{прокл} \cdot I_{доп} = 140 \cdot 0,9 = 126 \text{ А};$$

$$I_{расч.ав} = 2 \cdot I_{расч} = 2 \cdot 54,6 = 109,2 \text{ А.}$$

Проверка:  $I_{расч} \leq I'_{доп}; \quad I_{расч.ав} \leq 1,3 \cdot I'_{доп};$   
 $54,6 < 126 \text{ А}; \quad 109,2 < 1,3 \cdot 126 \text{ А};$

Выбранное сечение удовлетворяет всем условиям.

3) Выбор кабеля для участка ГПП - ТП-2.

$$\text{По (6.2): } I_{расч} = \frac{N_{тр} \cdot S_p}{N_{кл} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А};$$

Для  $T_{max} > 5000$  час  $j_{эк} = 1,2 \text{ А/мм}^2$  – экономическая плотность тока для кабелей с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами;

$$\text{по (6.1): } S_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} = \frac{36,4}{1,2} = 30,3 \text{ мм}^2;$$

округляем полученное значение до ближайшего стандартного значения 35 мм<sup>2</sup>; выбираем кабель марки АСБ – (3х35) по [3] с  $I_{доп} = 115 \text{ А};$

учитывая поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле  $k_{пр}$  [2]:

$$I'_{доп} = k_{прокл} \cdot I_{доп} = 115 \cdot 1 = 115 \text{ А};$$

$$I_{расч.ав} = 2 \cdot I_{расч} = 2 \cdot 36,4 = 72,8 \text{ А.}$$

Проверка:  $I_{расч} \leq I'_{доп}; \quad I_{расч.ав} \leq 1,3 \cdot I'_{доп};$   
 $36,4 < 115 \text{ А}; \quad 72,8 < 1,3 \cdot 115 \text{ А};$

Выбранное сечение удовлетворяет всем условиям.

4) Выбор кабеля для участка ГПП - ТП-3.

$$\text{По (6.2): } I_{расч} = \frac{N_{тр} \cdot S_p}{N_{кл} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2 \cdot 630}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А};$$

Для  $T_{max} > 5000$  час  $j_{эк} = 1,2 \text{ А/мм}^2$  – экономическая плотность тока для кабелей с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами;

$$\text{по (6.1): } S_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} = \frac{36,4}{1,2} = 30,3 \text{ мм}^2;$$

округляем полученное значение до ближайшего стандартного значения 35 мм<sup>2</sup>; выбираем кабель марки АСБ – 2(3х35) по [3] с  $I_{доп} = 115 \text{ А};$

учитывая поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле  $k_{пр}$  [2]:

$$I'_{доп} = k_{прокл} \cdot I_{доп} = 115 \cdot 0,9 = 103,5 \text{ А};$$

$$I_{расч.ав} = 2 \cdot I_{расч} = 2 \cdot 36,4 = 72,8 \text{ А}.$$

Проверка:  $I_{расч} \leq I'_{доп}; \quad I_{расч.ав} \leq 1,3 \cdot I'_{доп};$

$$36,4 < 103,5 \text{ А}; \quad 72,8 < 1,3 \cdot 103,5 \text{ А};$$

Выбранное сечение удовлетворяет всем условиям.

5) Выбор кабеля для участка ГПП - ТП-4.

$$\text{По (6.2): } I_{расч} = \frac{N_{тр} \cdot S_p}{N_{кл} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{3 \cdot 630}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 54,6 \text{ А};$$

Для  $T_{max} > 5000$  час  $j_{эк} = 1,2 \text{ А/мм}^2$  – экономическая плотность тока для кабелей с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами;

$$\text{по (6.1): } S_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}} = \frac{54,6}{1,2} = 45,5 \text{ мм}^2;$$

округляем полученное значение до ближайшего стандартного значения  $50 \text{ мм}^2$ ; выбираем кабель марки АСБ – 2(3х50) по [3] с  $I_{доп} = 140 \text{ А}$ ;

учитывая поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле  $k_{пр}$  [2]:

$$I'_{доп} = k_{прокл} \cdot I_{доп} = 140 \cdot 0,9 = 126 \text{ А};$$

$$I_{расч.ав} = 2 \cdot I_{расч} = 2 \cdot 54,6 = 109,2 \text{ А}.$$

Проверка:  $I_{расч} \leq I'_{доп}; \quad I_{расч.ав} \leq 1,3 \cdot I'_{доп};$

$$54,6 < 126 \text{ А}; \quad 109,2 < 1,3 \cdot 126 \text{ А};$$

Выбранное сечение удовлетворяет всем условиям.

б) Выбор кабеля для участка ТП-4 - ТП-5.

$$\text{По (6.2): } I_{расч} = \frac{N_{тр} \cdot S_p}{N_{кл} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36,4 \text{ А};$$

Для  $T_{max} > 5000$  час  $j_{эк} = 1,2 \text{ А/мм}^2$  – экономическая плотность тока для кабелей с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами;

$$\text{по (6.1): } S_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}} = \frac{36,4}{1,2} = 30,3 \text{ мм}^2;$$

округляем полученное значение до ближайшего стандартного значения 35 мм<sup>2</sup>; выбираем кабель марки АСБ – (3х35) по [3] с  $I_{\text{доп}}=115 \text{ А}$  ;

учитывая поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле  $k_{\text{пр}}$  [2]:

$$I'_{\text{доп}} = k_{\text{прокл}} \cdot I_{\text{доп}} = 115 \cdot 1 = 115 \text{ А};$$

$$I_{\text{расч.ав}} = 2 \cdot I_{\text{расч}} = 2 \cdot 36,4 = 72,8 \text{ А}.$$

$$\text{Проверка: } I_{\text{расч}} \leq I'_{\text{доп}} ; \quad I_{\text{расч.ав}} \leq 1,3 \cdot I'_{\text{доп}} ;$$

$$36,4 < 115 \text{ А}; \quad 72,8 < 1,3 \cdot 115 \text{ А};$$

Выбранное сечение удовлетворяет всем условиям.

Дальнейшие расчеты проводятся аналогично. Представим выбранные сечения кабелей в виде таблицы 6.1.

Таблица 6.1 - Сечения кабельных линий внутризаводской сети 10 кВ

№ п/п	№ линии	Назначение линии	Количество линий	Расчетная нагрузка на один кабель		Длина линии, км	Способ прокладки	$K_{\text{прокл}}$	Марка и сечение кабеля, $S_1$ , мм <sup>2</sup>	Допустимая нагрузка на один кабель	
				$I_p, A$	$I_{pa}, A$					$I_{\text{доп}}, A$	$1,3 \cdot I'_{\text{доп}}, A$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Л1	ГПП-РУ1	2	8,7	17,4	0,067	в траншее	0,9	АСБ-2(3x10)	75	87,85
2	Л2	ГПП-ТП1	2	54,6	109,2	0,215	в траншее	0,9	АСБ-2(3x50)	140	163,8
3	Л3	ТП1-ТП1.1	1	36,4	72,8	0,020	в траншее	1	АСБ-(3x35)	115	149,5
4	Л9	ГПП-ТП2	1	36,4	72,8	0,197	в траншее	1	АСБ-(3x35)	115	149,5
5	Л4	ГПП-ТП3	2	36,4	72,8	0,410	в траншее	0,9	АСБ-2(3x35)	115	134,5
6	Л5	ГПП-ТП4	2	56,4	109,2	0,560	в траншее	0,9	АСБ-2(3x50)	140	163,8
7	Л6	ТП4-ТП5	1	36,4	72,8	0,092	в траншее	1	АСБ-(3x35)	115	149,5
8	Л7	ГПП-ТП6	2	56,4	109,2	0,682	в траншее	0,9	АСБ-2(3x50)	140	163,8
9	Л8	ТП6-ТП7	1	36,4	72,8	0,084	в траншее	1	АСБ-(3x35)	115	149,5
10	Л10	ГПП-ТП8	2	56,4	109,2	0,622	в траншее	0,9	АСБ-2(3x50)	140	163,8
11	Л11	ТП8-ТП9	1	36,4	72,8	0,062	в траншее	1	АСБ-(3x35)	115	149,5
12	Л12	ГПП-ТП10	1	36,4	72,8	0,810	в траншее	1	АСБ-(3x35)	115	149,5
13	Л13	ГПП-ТП11	1	36,4	72,8	0,934	в траншее	1	АСБ-(3x35)	115	149,5
14	Л14	ГПП-ТП12	1	36,4	72,8	0,842	в траншее	1	АСБ-(3x35)	115	149,5
15	Л15	ТП13-ТП14	1	36,4	72,8	1,094	в траншее	0,9	АСБ-(3x35)	115	134,5
16	Л16	ГПП-ТП13	2	56,4	109,2	0,08	в траншее	0,9	АСБ-2(3x50)	140	163,8
17	Л17	ГПП-ТП15	2	36,4	72,8	1,164	в траншее	0,9	АСБ-2(3x35)	115	134,5

## 7 Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В

Все электрические аппараты и токоведущие части электрических установок должны быть выбраны таким образом, чтобы исключалось их разрушение при прохождении по ним наибольших возможных токов КЗ, в связи с чем возникает необходимость расчёта этих величин.

Расчёт токов КЗ ведётся в относительных единицах. Для этого все расчётные данные приводят к базисному напряжению и базисной мощности.

Величина базисного напряжения  $U_b$  превышает номинальное на 5%. За базисную мощность  $S_b$  принимают любое число кратное 10.

Для расчёта токов КЗ составляется расчётная схема – упрощенная однолинейная схема электроустановки, в которой учитываются все источники питания (п/ст энергосистемы, генераторы ТЭЦ), трансформаторы, воздушные и кабельные линии.

По расчётной схеме составляется схема замещения, в которой указываются сопротивления всех элементов и намечаются точки для расчётов токов КЗ.

Базисные сопротивления в относительных единицах определяются по следующим формулам:

1. сопротивление воздушных и кабельных линий

$$r_{\delta}^* = r_o \cdot l \frac{S_b}{U_b^2}; \quad (7.1)$$

$$x_{\delta}^* = x_o \cdot l \frac{S_b}{U_b^2}, \quad (7.2)$$

где  $r_o$  и  $x_o$  – соответственно активное и индуктивное сопротивление линии на один км длины, Ом/км;

$l$  – длина линии, км.

2. индуктивное сопротивление трансформатора

$$x_{\delta}^* = \frac{U_k}{100} \frac{S_b}{S_{н.тр}}, \quad (7.3)$$

где  $U_k$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$S_{н.тр}$  – номинальная мощность трансформатора, МВА.

Для генераторов, трансформаторов, высоковольтных линий обычно учитываются только индуктивные сопротивления. При значительной протяжённости сети (кабельной и воздушной) учитываются также их активные сопротивления. Считается целесообразно учитывать активное сопротивление, если соотношение между суммарными активными  $r_{\Sigma}$  и реактивными  $x_{\Sigma}$  сопротивлениями до места КЗ следующие:  $r_{\Sigma} > x_{\Sigma} / 3$ .

Действующее значение установившегося тока КЗ:

$$I_k = \frac{I_{\delta}}{Z_{\delta * \Sigma}}, \quad (7.4)$$

где  $I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{\delta}}$  – базисный ток; (7.5)

$Z_{\delta * \Sigma} = \sqrt{r_{\delta * \Sigma}^2 + x_{\delta * \Sigma}^2}$  – полное сопротивление от источника питания до точки КЗ, выраженное в относительных единицах и приведенное к базисной мощности (если активное сопротивление не учитывается, то

$$Z_{\delta * \Sigma} = x_{\delta * \Sigma}. \quad (7.6)$$

$$\text{Ударный ток КЗ } i_y = I_k \cdot \sqrt{2} \cdot K_{уд}, \quad (7.7)$$

где  $K_{уд}$  – ударный коэффициент.

По величине  $I_k$  проверяют электрические аппараты и токоведущие части на термическую устойчивость. По величине  $i_y$  проверяются аппараты на динамическую устойчивость.

Для расчёта токов КЗ принимаем базисные величины:

$$U_{\delta 1} = 37 \text{ (кВ)}, U_{\delta 2} = 10,5 \text{ (кВ)}.$$

$$S_{\delta} = 100 \text{ (МВА)}.$$

Принимаем, что мощность источника электроэнергии (энергосистемы)

$$S_c = 63 \text{ МВт} \text{ и соответственно индуктивное сопротивление } x_c = \frac{S_{\delta}}{S_{сис.}} = \frac{100}{63} = 1,59.$$

Расчёт токов КЗ будем проводить для участка распределительной сети 10 кВ ГПП – ТП1 (рис.10). Для данного участка составляем расчётную схему представленную ниже.

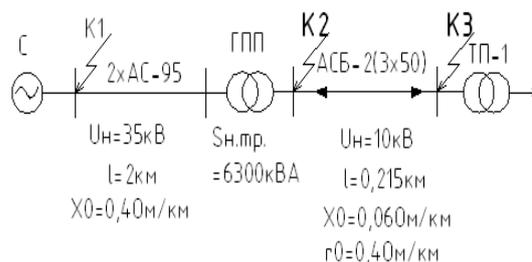


Рисунок 10 - Расчётная схема для участка распределительной сети 10 кВ ГПП – ТП1

#### Расчёт токов для точки К1:

Для ВЛЭП принимаем удельное индуктивное сопротивление  $x_0 = 0,4$  (Ом/км), согласно [15].

Для кабельных линий принимаем удельное индуктивное сопротивление  $x_{кл} = 0,06$  (Ом/км), согласно [3].

Напряжение короткого замыкания для выбранного трансформатора принимаем равным  $U_k = 7,5\%$ , согласно [10].

$$I_k = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_{k2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ (кА)};$$

$$x_{\Sigma 1} = x_c = 1,59 \text{ (о.е)};$$

$$I_{K1} = \frac{I_k}{x_{\Sigma 1}} = \frac{5,5}{1,59} = 3,46 \text{ (кА)};$$

Согласно [3] принимаем  $K_{y\phi 1} = 1,8$ ;

$$i_{y1} = I_{K1} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\phi 1} = 3,46 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,8 = 8,8 \text{ (кА)}.$$

#### **Расчёт токов для точки К2:**

$$x_n = x_0 \cdot l \frac{S_6}{U_{61}^2} = 0,4 \cdot 2 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,058 \text{ (о.е)};$$

$$x_{mp*} = \frac{U_k}{100} \frac{S_\delta}{S_{n,mp}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{6,3} = 1,19 \text{ (о.е)};$$

$$I_6 = \frac{S}{\sqrt{3}U_2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ (кА)};$$

$$x_{\Sigma 2} = x_l + x_{mp} + x_c = 0,058 + 1,19 + 1,59 = 2,838 \text{ (о.е)};$$

$$I_{K2} = \frac{I_6}{x_{\Sigma K2}} = \frac{5,5}{2,838} = 1,96 \text{ (кА)};$$

Согласно [3] принимаем  $K_{y01} = 1,8$ ;

$$i_{y2} = I_{K1} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y01} = 1,96 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,8 = 4,99 \text{ (кА)}.$$

### **Расчёт токов для точки К3:**

Для кабельных линий с алюминиевыми жилами, с бумажной пропитанной изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке принимаем удельное индуктивное сопротивление  $x_o = 0,06$  (Ом/км), удельное активное сопротивление  $r_o = 0,67$  (Ом/км) согласно [3].

$$x_{кл} = x_o \cdot l \frac{S_\delta}{U_6^2} = 0,06 \cdot 0,215 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,012 \text{ (о.е)};$$

$$r_{кл} = r_o \cdot l \frac{S_\delta}{U_6^2} = 0,67 \cdot 0,215 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,13 \text{ (о.е)};$$

$$x_{\Sigma K3} = 2,838 + 0,012 = 2,85 \text{ (о.е)};$$

Принимая во внимание соотношение  $r_\Sigma < x_\Sigma / 3$  ( $0,13 < 0,42$ ) согласно [3] активное сопротивление не учитываем;

$$I_{K3} = \frac{I_6}{x_{\Sigma K3}} = \frac{5,5}{2,85} = 1,93 \text{ (кА)};$$

$$i_{y3} = I_{K2} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y02} = 1,93 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,8 = 4,91 \text{ (кА)}.$$

Представим для наглядности расчет в виде таблицы 7.1.

Таблица 7.1 - Значения токов КЗ

Расчётные точки		1	2	3
Токи КЗ		3,46	1,96	1,93
		8,8	4,99	4,91

Используя полученные значения токов короткого замыкания, проверим принятые ранее сечение кабелей на термическую стойкость при КЗ.

$$\text{Термически стойкое сечение равно: } F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T} = \frac{I_{k_n} \cdot \sqrt{t_{np}}}{C_T}, \quad (7.8)$$

$$\text{где } B_k = I_{k_n}^2 \cdot t_{np} - \text{тепловой импульс тока КЗ, А}^2\text{с;} \quad (7.9)$$

$$t_{np} = t_{pz} + t_g - \text{время отключения КЗ, с;} \quad (7.10)$$

$t_{pz}$  – время действия основной защиты, принимаем равной 1,2 с, согласно [5];

$t_g$  – полное время отключения выключателя; учитывая, что в ЗРУ ГПП установлены выключатели типа ВМЭ-10Э-1000/20УЗ, у которого согласно [5]  $t_g = 0,06$  с;

$C_T$  – коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника; принимаем, согласно [3] равным 85 (А·с<sup>1/2</sup>/мм<sup>2</sup>).

В точке КЗ (линия ГПП - ТП1):

$$F_{\min} = \frac{I_{k3} \sqrt{t_{omk} + T_a}}{C_T} = \frac{1930 \sqrt{1,26}}{85} = 25,49 \text{ (мм)}$$

Полученное значение минимального сечения показывает, что выбранный кабель, для данного участка распределительной сети 10 (кВ) АСБ – 2(3х50) проходит по термической стойкости к току КЗ:  $F \geq F_{\min}$  (50 > 25,49 мм<sup>2</sup>).

## 8 Выбор электрооборудования в сетях напряжением 35 и 10кВ

### 8.1 Выбор коммутационных аппаратов

Выбор выключателя 10 кВ произведем по следующим параметрам:

1. По напряжению установки:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
2. По длительному току:  $I_p \leq I_n$ ;
3. По отключающей способности:  $I_0 \leq I_{н.откл}$ ;
4. По электродинамической стойкости:  $i_y \leq i_{дин}$ ;
5. По термической стойкости:  $B_k \leq I^2_{тер} \cdot t_{тер}$ .

Выбор выключателя в распределительной сети 10 кВ сведем в таблицу

#### 8.1.1.

Выбор разъединителя, отделителя и короткозамыкателя 35 кВ осуществим по следующим условиям:

1. По напряжению установки:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
2. По длительному току:  $I_p \leq I_n$  (кроме короткозамыкателя);
3. По электродинамической стойкости:  $i_y \leq i_{дин}$ ;
4. По термической стойкости:  $B_k \leq I^2_{тер} \cdot t_{тер}$ .

Результаты сведём в таблицу 8.1.2.

Таблица 8.1.1 - Выбор выключателя 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные
	Выключатель ВВ/ТЕЛ-10-32/1000/У2
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{max} = 642 \text{ А}$ $I_{по} = 1,93 \text{ кА}$ $i_y = 4,91 \text{ кА}$ $B_k = 1,93^2 \cdot 1,26 = 4,7 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_n = 1000 \text{ А}$ $I_{н.откл} = 32 \text{ кА}$ $I_{дин} = 32 \text{ кА}$ $I^2_{терм} \cdot t_{терм} = 12,5^2 \cdot 3 = 457,5 \text{ кА}^2\text{с}$

Таблица 8.1.2 - Выбор отделителя, разъединителя и короткозамыкателя 35 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные		
	Разъединитель РНД-35/1000У1	Отделитель ОД-35/630У1	Короткозамыкатель КЗ-35Т1
$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$ $I_{max} = 183,3 \text{ А}$ $i_y = 8,8 \text{ кА}$ $B_k = 3,46^2 \cdot 1,26 =$ $= 15,1 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$ $I_n = 1000 \text{ А}$ $I_{дин} = 63 \text{ кА}$ $I^2_{терм} \cdot t_{терм} =$ $= 25^2 \cdot 4 =$ $= 2500 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$ $I_n = 630 \text{ А}$ $I_{дин} = 80 \text{ кА}$ $I^2_{терм} \cdot t_{терм} =$ $= 12,5^2 \cdot 4 =$ $= 625 \text{ кА}^2\text{с}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$ $---$ $I_{дин} = 42 \text{ кА}$ $I^2_{терм} \cdot t_{терм} =$ $= 12,5^2 \cdot 4 =$ $= 625 \text{ кА}^2\text{с}$

Принимаем к установке разрядник РТФ-35-0,5/2,5УХЛ1 с  $U_{ном}=35$  кВ, и разрядник РТФ-10-0,2/1УХЛ1 с  $U_{ном}=10$  кВ.

## 8.2 Выбор трансформаторов тока

Осуществляем выбор по следующим условиям:

1. По напряжению установки:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
2. По длительному току:  $I_{ном} \leq I_{ном}$ ;  $I_{max} \leq I_{ном}$ ;
3. По электродинамической стойкости:  $i_y \leq i_{дин}$ ;
4. По термической стойкости:  $B_k \leq I^2_{терм} \cdot t_{терм}$ ;
5. По вторичной нагрузке:  $Z_2 \leq Z_{2 ном}$ ;  $r_2 = Z_2 \leq Z_{2 ном}$ ,

где  $Z_2$  – вторичная нагрузка трансформатора тока;

$Z_{2 ном}$  – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности.

Выбор трансформатора тока сведем в таблицу 8.2.1.

Таблица 8.2.1 - Выбор трансформатора тока 35 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные ТФЗМ-35А-У1
$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$ $I_{max} = 183,3 \text{ А}$ $i_y = 8,8 \text{ кА}$ $B_k = 15,1 \text{ кА}^2\text{с}$ $r_2 = z_2 = 1,2 \text{ Ом}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 200 \text{ А}$ $i_{дин} = 42 \text{ кА}$ $I^2_{терм} \cdot t_{терм} = 7^2 \cdot 3 = 147 \text{ кА}^2\text{с}$ $z_2 = 1,2 \text{ Ом}$

Проверим выбранный трансформатор тока по вторичной нагрузке.

Таблица 8.2.2 - Вторичная нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип	Нагрузка, ВА, фазы		
		А	В	С
Счетчик активной энергии	СА4-И 682	2,5	-	2,5
Счетчик реактивной энергии	СР4-И 682	2,5	-	2,5
Амперметр регистрирующий	Н-344	-	10	-
Ваттметр	Д-335	0,5	-	0,5
Итого		5,5	10	5,5

Наиболее загружен трансформатор тока фазы В.

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{10}{25} = 0,4 \text{ Ом.} \quad (8.1)$$

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{пр}} = z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}} = 1,2 - 0,4 - 0,1 = 0,7 \text{ Ом,} \quad (8.2)$$

где  $r_{\text{к}} = 0,1 \text{ Ом}$  – принимается при числе приборов, большем трех (сопротивление контактов).

Зная  $r_{\text{пр}}$ , можно определить сечение соединительных проводов:

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пр}}}, \quad (8.3)$$

где  $\rho = 0,0283$  – удельное сопротивление провода, Ом/м.

$l_{\text{расч}}$  – расчётная длина соединительных проводов.

$$l_{\text{расч}} = 2 \cdot 1 = 2 \cdot 75 = 150 \text{ м.}$$

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 150}{0,7} = 6 \text{ мм}^2.$$

Принимаем контрольный кабель АКРВГ с жилами сечением  $6 \text{ мм}^2$ .

Выбранный нами трансформатор тока удовлетворяет всем условиям.

Выбор трансформатора тока 10 кВ.

Выбираем трансформатор тока. ТШЛ-10-У3

Выбор трансформатора тока 10 кВ сведем в таблицу 8.2.3.

Таблица 8.2.3 - Выбор трансформатора тока 10 кВ

Расчетные данные	Каталожные данные ТОЛ-10-У2
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$ $I_{max} = 642 \text{ А}$ $i_y = 4,91 \text{ кА}$ $B_k = 4,7 \text{ кА}^2\text{с}$ $r_2 = z_2 = 1,2 \text{ Ом}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ $I_{ном} = 800 \text{ А}$ $i_{дин} = 100 \text{ кА}$ $I^2_{терм} \cdot t_{терм} = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$ $z_2 = 1,2 \text{ Ом}$

Проверка производится аналогично трансформатору тока 35 кВ ТФЗМ.

Выбранный нами трансформатор тока удовлетворяет всем условиям.

### 8.3 Выбор трансформаторов напряжения

Осуществляем выбор трансформаторов напряжения по следующим условиям:

1. По напряжению установки:  $U_{уст} \leq U_{ном}$ ;
2. По конструкции и схеме соединения обмоток;
3. По классу точности;
4. По вторичной нагрузке:  $S_{2\Sigma} \leq S_{ном}$ ,

где  $S_{ном}$  – номинальная мощность в выбранном классе точности;

$S_{2\Sigma}$  - нагрузка всех измерительных приборов.

Выбираем трансформатор напряжения *НТМК-10-71У3*:

$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$ ;

класс точности: 0,5;

схема соединения обмоток:  $\text{Y} / \text{Y} / \Delta - 0$

Проверим по вторичной нагрузке:

$S_{ном}$  – номинальная мощность в выбранном классе точности, для трансформаторов, соединенных по схеме (Y/ Y/Δ-0) открытого треугольника следует взять удвоенную мощность одного трансформатора;

$S_{2\Sigma}$  - нагрузка всех измерительных приборов и реле, присоединенных к трансформатору напряжения, ВА.

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2}$$

Таблица 8.3.1 - Вторичная нагрузка трансформатора напряжения

Прибор	Тип	Мощность одной обмотки, ВА	Число обмоток	cos φ	sin φ	число приборов	Общая потребляемая мощность		
							P, Вт	Q, ВАр	
Вольтметр (сборные шины)	Э-335	2	1	1	0	1	2	-	
Счетчик активной энергии	Ввод 10 кВ от трансформатора	И-674	3 Вт	2	0,38	0,925	1	6	14,5
Счетчик реактивной энергии		И-673	3 Вт	2	0,38	0,925	1	6	14,5
Счетчик активной энергии	Линии 10 кВ	И-674	3 Вт	2	0,38	0,925	4	24	58
Счетчик реактивной энергии		И-673	3 Вт	2	0,4	0,93	4	24	58
Итого							60	145	

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения первой секции:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2} = \sqrt{60^2 + 145^2} = 156 \text{ ВА}$$

Трансформаторы, соединенные по схеме открытого треугольника, имеют мощность:  $2 \cdot 75 = 150, \text{ ВА}$ .

$S_{ном} < S_{2\Sigma}$ , поэтому предусматриваем дополнительно установку двух трансформаторов *НТМК-10-71У3*, общей мощностью  $2 \cdot 75 = 150$ , ВА.

Полная мощность всех установленных на первой секции трансформаторов напряжения:  $150 + 150 = 300$ , ВА.

Таким образом, трансформаторы напряжения будут работать в выбранном классе точности 0,5.

Выбор трансформаторов напряжения второй секции шин производится аналогично.

Выбираем трансформаторы *НТМК-10-71У3*.

Для соединения трансформаторов напряжения с приборами принимаем контрольный кабель АКРВГ с сечением жил 2,5, мм<sup>2</sup> по условию механической прочности.

#### 8.4 Выбор изоляторов и шин связи ГПП-ЗРУ

Сечение шин выбирают по нагреву длительно проходящим максимальным током нагрузки и по экономической целесообразности.

Проверку шин производят: на устойчивость к электродинамическому воздействию токов к.з. и дополнительным механическим усилиям, возникающим в шинах от собственных колебаний и на термическую устойчивость к токам к.з.

1. Выбор шин по длительно допустимому току (по нагреву).

$$I_{max\text{ раб}} \leq I_{доп}; \quad (8.4.1)$$

$$I_{max\text{ раб}} = 642 \text{ А};$$

$$I_{доп} = I_{доп.ном} \sqrt{\frac{V_{доп} - V_0}{V_{доп} - V_{0ном}}}, \quad (8.4.2)$$

где  $I_{доп}$  – допустимый ток на шины выбранного сечения;

$I_{доп.ном}$  – допустимый ток по таблицам при температуре воздуха  $V_{0ном} = 25^{\circ}\text{C}$ ;

$V_0$  – действительная температура воздуха;

$V_{\text{дон}}$  – допустимая температура нагрева продолжительного режима,  
 $V_{\text{дон}}=70^{\circ}\text{C}$  (ПУЭ).

$$I_{\text{дон}} = I_{\text{дон.ном}} \sqrt{\frac{V_{\text{дон}} - V_0}{V_{\text{дон}} - V_{0\text{ном}}}} = 642 \sqrt{\frac{70 - 20}{70 - 25}} = 676,7 \text{ A},$$

$$676,7 \text{ A} < 870 \text{ A},$$

по условию нагрева шины проходят.

Принимаем шины прямоугольного сечения, алюминиевые (60×6) мм.

2.Проверка сборных шин на термическую стойкость:

$$q_{\text{min}} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} = \frac{\sqrt{4,7 \cdot 10^6}}{91} = 24 \text{ мм}^2 \quad (8.4.3)$$

что меньше принятого сечения.

$$C = 9I \frac{A \cdot c^{1/2}}{\text{мм}^2} - \text{для алюминиевых шин, [15].}$$

3.Проверяем шины на механическую прочность.

$$f_0 = \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{q}}, \quad (8.4.4)$$

где  $l$  – длина пролета между изоляторами, м;

$J$  – момент инерции поперечного сечения шины относительно оси, перпендикулярной направлению изгибающей силы,  $\text{см}^4$ ;

$q$  – поперечное сечение шины,  $\text{см}^2$ .

Изменяя длину пролета и форму сечения шин, добиваются того, чтобы механический резонанс был исключен, то есть  $200 < f_0 < 30 \text{ Гц}$

$$200 \geq \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{q}}, \quad (8.4.5)$$

$l = 2 \text{ м}$  – ориентировочно принятая длина пролета между изоляторами.

Если шины на изоляторах расположены плашмя, то

$$J = \frac{b \cdot h^3}{6} = \frac{0,6 \cdot 8^3}{6} = 51,2 \text{ см}^4; \quad (8.4.6)$$

$$f_0 = \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{q}} = \frac{173,2}{2^2} \sqrt{\frac{51,2}{3,6}} = 163,3 \text{ Гц.}$$

Так как  $f_0 < 200 \text{ Гц}$ , принимаем решение увеличить  $l$  до  $5 \text{ м}$ :

$$f_0 = \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{J}{q}} = \frac{173,2}{5^2} \sqrt{\frac{51,2}{3,6}} = 26,1 \text{ Гц} < 30 \text{ Гц,}$$

то есть механический резонанс не возникнет.

$q = 6 \cdot 0,6 = 3,6 \text{ см}^2$  – поперечное сечение шины.

Принимаем расположение шин плашмя; пролет  $5 \text{ м}$ ; расстояние между фазами  $a = 0,8 \text{ м}$ .

Наибольшее удельное усилие при трехфазном К.З.:

$$f^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot k_\phi \frac{i_y^2}{a} = \sqrt{3} \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot \frac{4990^2}{0,8} = 5,39 \text{ Н/м,} \quad (8.4.7)$$

где  $K_\phi = 1$ , так как  $a \gg 2 \cdot (b + h)$ ; (8.4.8)

$80 \text{ см} \gg 2 \cdot (8 + 0,6) = 18,2 \text{ см}$ .

Напряжение в материале полосы, возникающее при воздействии изгибающего момента:

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{f \cdot l_n^2}{10 \cdot W} = \frac{5,39 \cdot 5^2}{10 \cdot 6,4} = 2,1 \text{ МПа} \quad (8.4.9)$$

где  $W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,6 \cdot 8^2}{6} = 6,4 \text{ см}^3$ , – момент сопротивления шины. (8.4.10)

Шины механически прочны, если

$$\sigma_{\text{расч}} = 2,1 \text{ МПа} \leq \sigma_{\text{дон}} = 42 \text{ МПа,} \quad (8.4.11)$$

где  $\sigma_{\text{дон}} \leq 0,7 \sigma_{\text{разр}} = 0,7 \cdot 60 = 42 \text{ МПа,}$  (8.4.12)

где  $\sigma_{\text{дон}}$  - допустимое механическое напряжение в материале шин;

$\sigma_{\text{разр}}$  - разрушающее напряжение для алюминиевой шины марки АДО.

Таким образом, шины механически прочны.

## 8.5 Выбор опорных изоляторов

Осуществляем выбор опорных изоляторов по следующим условиям:

1. По номинальному напряжению:  $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$ ;

2. По допустимой нагрузке:  $F_{\text{расч}} \leq F_{\text{дон}}$ ;

где  $F_{\text{расч}}$  – сила, действующая на изолятор;

$F_{\text{дон}}$  – допустимая нагрузка на головку изолятора;

$$F_{\text{дон}} = 0,6 \cdot F_{\text{разр}}, \quad (8.5.1)$$

где 0,6 – коэффициент запаса;

$F_{\text{разр}}$  – разрушающая нагрузка на изгиб.

$$F_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot \frac{i_y^2}{a} \cdot l \cdot k_h \cdot 10^{-7} = f_\phi \cdot l \cdot k_h, \quad (8.5.2)$$

где  $K_h$  – поправочный коэффициент на высоту шины,  $K_h = 1$  – при расположении шин плашмя.

$$F_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot \frac{i_y^2}{a} \cdot l \cdot k_h \cdot 10^{-7} = f_\phi \cdot l \cdot k_h = \sqrt{3} \cdot \frac{4,99^2 \cdot 10^6}{0,8} \cdot 5 \cdot 1 \cdot 10^{-7} = 26,96 \text{ Н} < F_{\text{дон}} = 0,6 \cdot 4000 = 2400 \text{ Н}$$

Выбираем опорные изоляторы И4 – 80 УХЛЗ с  $U_n = 10$ , кВ;  $F_{\text{разр}} = 4$  кН.

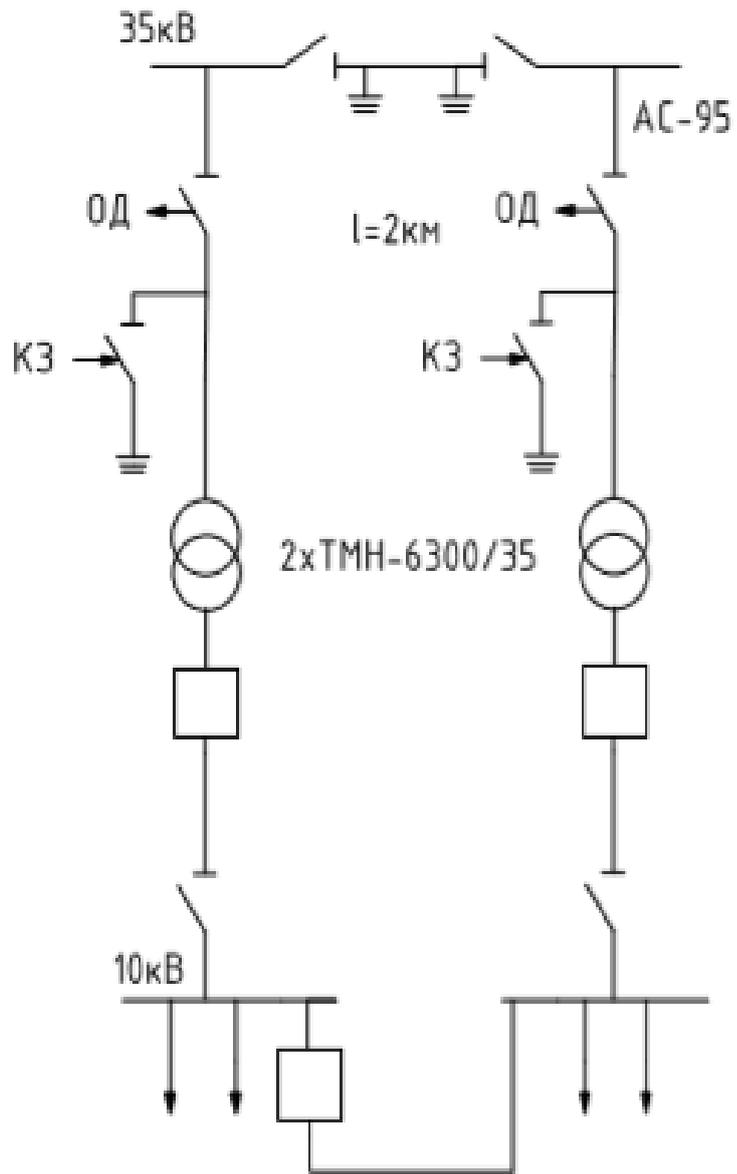


Рисунок 11 - Схема ГПП

## 9 Электроснабжение корпуса №4

Электроснабжение цеха выполняется в следующей последовательности.

1. Приёмники цеха распределяются по пунктам питания (силовым распределительным шкафам или шинопроводам), выбирается схема и способ прокладки питающей сети цеха (от ТП до пунктов питания). Принятая схема (радиальная, магистральная, смешанная) питающей сети должна обеспечивать требуемую надёжность питания приёмников и требуемую по технологическим условиям гибкость, и универсальность сети в отношении присоединения новых приёмников и перемещения приёмников по площади цеха. Выбор способа прокладки питающей сети производится с учётом характера окружающей среды и возможных условий места прокладки. Исполнение силовых распределительных пунктов и шинопроводов должно также соответствовать характеру окружающей среды.

2. Определяются расчётные электрические нагрузки по пунктам питания цеха (табл.9.2.1)

3. Производится выбор сечений питающей сети по длительно допустимой токовой нагрузке из условия нагрева и проверка их по потере напряжения (табл.9.3.1)

4. Производится выбор силовой распределительной сети и аппаратов защиты и управления цеха (табл.9.3.2)

5. Для участка цеховой сети (от вводного автомата на подстанции до самого мощного или самого удалённого электроприёмника) строится карта селективности действия аппаратов защиты.

6. Производится расчёт питающей и распределительной сети по условиям допустимой потере напряжения и построения эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее удалённого от цеховой ТП или наиболее мощного электроприёмника для режимов максимальной и минимальной нагрузок, а в случае двухтрансформаторной подстанции и послеаварийного режима.

7. Производится расчёт токов короткого замыкания для участка цеховой сети от ТП до наиболее мощного электроприёмника цеха. Полученные данные наносятся на карту селективности действия аппаратов защиты.

### 9.1 Выбор автоматических выключателей

Выбор автоматических выключателей необходим для обеспечения автоматического отключения при ненормальных режимах работы в сети.

Выбор производится по следующим условиям:

$$I_{\text{ном.расц}} \geq I_{\text{олит}}; \quad (9.1.1)$$

$$I_{\text{кз}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{кр}}; \quad (9.1.2)$$

Уставки по времени должны быть проверены на селективность действия последовательно включенных аппаратов защиты, чтобы при каждом нарушении нормального режима отключался только поврежденный участок, но не срабатывали аппараты в высших звеньях.

Выбор вводного автоматического выключателя для КТП:

$$I_{\text{ол}} = I_{\text{ном.тр}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 957,2 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп}} = 1,4 \cdot I_{\text{ном.тр}} = 1,4 \cdot 957,2 = 1340,1 \text{ А};$$

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{пуск}}^{\text{max}} + (I_{\text{ном.тр}} - k_{\text{и}} \cdot I_{\text{ном}}^{\text{max}}) = 92,4 \cdot 5,5 + (957,2 - 0,7 \cdot 92,4) = 1400,7 \text{ А};$$

$$I_{\text{кз}} = 1,25 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,25 \cdot 1400,7 = 1750,9 \text{ А};$$

Используя справочную литературу [3] выбираем автоматический выключатель типа ВА74-43, у которого:  $I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$

$$I_{\text{ном.расц}} = 1250 \text{ А} \geq I_{\text{олит}} = 957,2 \text{ А}.$$

Уставка в зоне перегрузки:

$$I_{\text{перег.уст.}} = 2,5 \cdot 1250 = 3125 \text{ А} \geq I_{\text{доп}} = 1340,1 \text{ А}.$$

Уставка в зоне кз:

$$I_{\text{кз.уст.}} = 2,5 \cdot 1250 \text{ А} \geq I_{\text{кз}} = 1750,9 \text{ А}.$$

### Выбор автоматического выключателя РУ-ВРУ1:

$$I_{н.расц} \geq I_{дл} = I_{ном} = I_p = 419 (A);$$

$$I_{кз} \geq 1,25I_{кр} (A);$$

$$I_{кр} = I_{ник} = I_{пуск_{\max}} + (I_p - k_u \cdot I_n^{нб}) = 508,2 + (419 - 0,7 \cdot 92,4) = 863(A)$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 863 = 1078,2(A)$$

Используя справочную литературу [3] выбираем автоматический выключатель типа ВА74–40, у которого  $I_{н.расц} = 500(A)$ ,  $I_{кз} = 4,5 \cdot I_{н.расц} = 4,5 \cdot 500 = 2250(A)$ .

### Выбор автоматического выключателя РУ-ВРУ2:

$$I_{н.расц} \geq I_{дл} = I_{ном} = I_p = 128,11(A);$$

$$I_{кз} \geq 1,25I_{кр} (A);$$

$$I_{кр} = I_{ник} = I_{пуск_{\max}} + (I_p - k_u \cdot I_n^{нб}) = 196,6 + (128,11 - 0,65 \cdot 35,7) = 301,5(A)$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 301,5 = 376,9(A)$$

Используя справочную литературу [3] выбираем автоматический выключатель типа ВА51–33, у которого  $I_{н.расц} = 160(A)$ ,  $I_{кз} = 10 \cdot I_{н.расц} = 10 \cdot 160 = 1600(A)$ .

## **9.2 Выбор аппаратов защиты цеховой сети**

Все электрические сети должны иметь защиту от токов КЗ по возможности с наименьшим временем отключения и обеспечением селективности последовательно включенных аппаратов защиты. Защита при этом должна обеспечивать отключение аварийной линии при КЗ на любом её участке, включая и КЗ в конце линии.

Обязательная защита от перегрузки согласно ПУЭ требуется для:

➤ сетей внутри помещений, выполненных открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией;

➤ осветительных сетей в жилых или общественных зданиях, в торговых помещениях, промышленных предприятиях, а так же в пожароопасных зонах;

➤ силовых сетей на предприятиях, в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях – только в случаях, когда по условиям технологического процесса или по режиму работы сети может возникать длительная перегрузка;

➤ проводников силовых, осветительных и вторичных цепей в сетях до 1 кВ во взрывоопасных зонах классов В-I, В-Ia, В-II, В-IIa.

Аппаратами защиты в сетях до 1 кВ обычно служат предохранители и автоматические выключатели.

Номинальные токи электроприемников:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (9.2.1)$$

где  $\cos \varphi = 0,85$ ;  $\eta = 0,9$  – принимаем для всех электроприемников.

Пусковые токи электроприемников:

$$I_{\text{ПУСК}} = k \cdot I_{\text{НОМ}}, \quad (9.2.2)$$

где  $k = 5 \div 7$  – кратность пускового тока, принимается для всех электроприемников с асинхронным приводом.

Выбор предохранителей производится по следующим условиям:

$$I_{\text{вс}} \geq I_{\text{длит}}; \quad (9.2.3)$$

$$I_{\text{вс}} \geq \frac{I_{\text{кр}}}{\alpha}; \quad (9.2.4)$$

где  $I_{\text{длит}} = I_{\text{НОМ}}$  – для одиночного электроприемника;  $I_{\text{кр}} = I_{\text{ПУСК}}$  – для одиночного электроприемника, при нечастых пусках принимается  $\alpha = 2,5$ .

Пример:

Транспортёр :  $P_{\text{НОМ}} = 4,5$  кВт;

$$\text{По (9.2.1): } I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{4,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 8,9 \text{ А;}$$

$$\text{По (9.2.3): } I_{\text{вс}} \geq I_{\text{длит}} = I_{\text{НОМ}} = 8,9 \text{ А;}$$

Используя справочную литературу [2] выбираем предохранитель типа НПН2–60, у которого  $I_{ном} = 60 \text{ А}$ ,  $I_{вс} = 20 \text{ А}$ .

Расчёты представлены в таблице 9.3.2.

Выбор автоматического выключателя ШР-1.

$$I_{н.расц} \geq I_{дл} = I_{ном} = I_p = 97,1 \text{ (А)};$$

$$I_{кз} \geq 1,25I_{кр} \text{ (А)};$$

Так как к ШР-1 присоединяются более пяти ЭД, расчёт ведём по формуле:

$$I_{кр} = I_{ник} = I_{пуск_{\max}} + (I_p - k_u \cdot I_n^{нб}) = 344,1 + (97,1 - 0,3 \cdot 62,6) = 422,4 \text{ (А)}$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 422,4 = 528,03 \text{ (А)}$$

Используя справочную литературу [3] выбираем автоматический выключатель типа ВА51Г–31, у которого  $I_{н.расц} = 100 \text{ (А)}$ ,

$$I_{кз} = 14 \cdot I_{н.расц.} = 14 \cdot 100 = 1400 \text{ (А)}.$$

Выбор автоматического выключателя ШР-2.

$$I_{н.расц} \geq I_{дл} = I_{ном} = I_p = 172,7 \text{ (А)};$$

$$I_{кз} \geq 1,25I_{кр} \text{ (А)};$$

Так как к ШР-2 присоединяются более пяти ЭД, расчёт ведём по формуле:

$$I_{кр} = I_{ник} = I_{пуск_{\max}} + (I_p - k_u \cdot I_n^{нб}) = 508,2 + (172,7 - 0,7 \cdot 92,4) = 616,2 \text{ (А)}$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 616,2 = 770,3 \text{ (А)}$$

Используя справочную литературу [3] выбираем автоматический выключатель типа ВА74–40, у которого  $I_{н.расц} = 260 \text{ (А)}$ ,

$$I_{кз} = 8 \cdot I_{н.расц.} = 8 \cdot 260 = 2080 \text{ (А)}.$$

Выбор автоматического выключателя ШР-3.

$$I_{н.расц} \geq I_{дл} = I_{ном} = I_p = 47,7 \text{ (А)};$$

$$I_{кз} \geq 1,25I_{кр} \text{ (А)};$$

Расчёт ведём по формуле:

$$I_{кр} = \Sigma I_n = 62,3 \text{ (A)}$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 62,3 = 77,9 \text{ (A)}$$

Используя справочную литературу [3] выбираем автоматический выключатель типа ВА13–29, у которого  $I_{н.расц} = 50 \text{ (A)}$ ,  $I_{кз} = 3 \cdot I_{н.расц} = 3 \cdot 50 = 150 \text{ (A)}$ .

#### Выбор автоматического выключателя ШР-4.

$$I_{н.расц} \geq I_{дл} = I_{ном} = I_p = 101,51 \text{ (A)};$$

$$I_{кз} \geq 1,25 I_{кр} \text{ (A)};$$

Так как к ШР-4 присоединены три ЭД, расчёт ведём по формуле:

$$I_{кр} = I_{пуск\max} + \Sigma I_n = 426 + (75,98) = 502 \text{ (A)}$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 494,4 = 618 \text{ (A)}$$

Используя справочную литературу [3] выбираем автоматический выключатель типа ВА51–33, у которого  $I_{н.расц} = 125 \text{ (A)}$ ,

$$I_{кз} = 10 \cdot I_{н.расц} = 10 \cdot 125 = 1250 \text{ (A)}.$$

#### Выбор автоматического выключателя ШР-5.

$$I_{н.расц} \geq I_{дл} = I_{ном} = I_p = 36,69 \text{ (A)};$$

$$I_{кз} \geq 1,25 I_{кр} \text{ (A)};$$

Так как к ШР-5 присоединяются более пяти ЭД, расчёт ведём по формуле:

$$I_{кр} = I_{ник} = I_{пуск\max} + (I_p - k_u \cdot I_n^{нб}) = 163,9 + (36,69 - 0,65 \cdot 29,8) = 181,22 \text{ (A)}$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 181,22 = 226,5 \text{ (A)}$$

Используя справочную литературу [3] выбираем автоматический выключатель типа ВА13–29, у которого  $I_{н.расц} = 40 \text{ (A)}$ ,  $I_{кз} = 6 \cdot I_{н.расц} = 6 \cdot 40 = 240 \text{ (A)}$ .

#### Выбор автоматического выключателя ШР-6.

$$I_{н.расц} \geq I_{дл} = I_{ном} = I_p = 31,97 \text{ (A)};$$

$$I_{кз} \geq 1,25 I_{кр} \text{ (A)};$$

Так как к ШР-6 присоединены пять ЭД, расчёт ведём по формуле:

$$I_{кр} = I_{пуск\max} + \Sigma I_n = 196,6 + (11,26) = 207,9(A)$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 207,9 = 259,8(A)$$

Используя справочную литературу [3] выбираем автоматический выключатель типа ВА14–26, у которого  $I_{н.расц} = 32(A)$ ,  $I_{кз} = 10 \cdot I_{н.расц} = 10 \cdot 32 = 320(A)$ .

#### Выбор автоматического выключателя ШР-7.

$$I_{н.расц} \geq I_{дл} = I_{ном} = I_p = 48,83(A);$$

$$I_{кз} \geq 1,25 I_{кр}(A);$$

Так как к ШР-7 присоединены четыре ЭД, расчёт ведём по формуле:

$$I_{кр} = I_{пуск\max} + \Sigma I_n = 196,6 + (33,1) = 229,7(A)$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 229,7 = 287,2(A)$$

Используя справочную литературу [3] выбираем автоматический выключатель типа ВА13–29, у которого  $I_{н.расц} = 50(A)$ ,  $I_{кз} = 6 \cdot I_{н.расц} = 6 \cdot 50 = 300(A)$ .

#### Выбор автоматического выключателя ШР-8.

$$I_{н.расц} \geq I_{дл} = I_{ном} = I_p = 10,62(A);$$

$$I_{кз} \geq 1,25 I_{кр}(A);$$

Так как к ШР-8 присоединены четыре ЭД, расчёт ведём по формуле:

$$I_{кр} = I_{пуск\max} + \Sigma I_n = 60,1 + (4,77) = 64,9(A)$$

$$I_{кз} \geq 1,25 \cdot 64,9 = 81,1(A)$$

Используя справочную литературу [3] выбираем автоматический выключатель типа ВА13–25, у которого  $I_{н.расц} = 25(A)$ ,  $I_{кз} = 7 \cdot I_{н.расц} = 7 \cdot 25 = 175(A)$ .

Приёмники цеха распределим по пунктам питания (силовым распределительным шкафам) и определим расчётные нагрузки по этим пунктам, данные расчёта сведены в таблицу 9.2.1.

Таблица 9.2.1 - Определение расчётных нагрузок по пунктам питания цеха по производству лекарственных препаратов и вакцин в ампулах

№ п/п	Наименование узлов питания и групп электроприёмников	Количество ЭП n	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100%		m=Рн.макс / Рн.мин.	Коэффициент использования Ки	cosφ / tgφ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число Электроприёмников пэф	Коэффициент максимума Км	Расчётная нагрузка			Расчётный ток Iр, А
			Одного ЭП (наменьшего, наибольшего) Рн, КВт	Общая Рн, КВт				Рсм=Ки·Рн КВт	Qсм=Рсм·tgφсм КВар			Рр=Км·Рсм, КВт	Qр=Qсм при пэ>10 Qр=1,1·Qсм при пэ<10	Sp=√Pp <sup>2</sup> + Qp <sup>2</sup> КВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Шкаф распределительный ШР-1 (ШР11-73510)</b>															
	<u>Группа А</u>														
	Транспортёр	1	4,5	4,5		0,4	0,8/0,75	1,8	1,35						
	Упаковка	1	12	12		0,4	0,85/0,62	4,8	2,98						
	Этикетирование	1	11	11		0,4	0,9/0,48	4,4	2,11						
	Стиральная машина	1	31,5	31,5		0,3	0,9/0,48	9,45	4,54						
	Автоклав	1	25	25		0,3	0,85/0,62	7,5	4,65						
	<b>Итого по группе А</b>	<b>5</b>	<b>4,5-31,5</b>	<b>84</b>	<b>&gt;3</b>	<b>0,33</b>	<b>□</b>	<b>27,95</b>	<b>15,63</b>	<b>5</b>	<b>1,55</b>	<b>43,3</b>	<b>17,19</b>		
	<u>Группа Б</u>														
	Контроль герметичности	1	15	15	□	0,7	0,9/0,48	10,5	5,04						
	Сушка	1	4	4	□	0,7	0,8/0,75	2,8	2,1						
	Контроль частиц	1	3	3	□	0,7	0,9/0,48	2,1	1						
	<b>Итого по группе Б</b>	<b>3</b>	<b>3-15</b>	<b>22</b>	<b>□</b>	<b>□</b>	<b>□</b>	<b>15,4</b>	<b>8,14</b>	<b>□</b>	<b>1</b>	<b>15,4</b>	<b>8,14</b>		
	<b>Итого по ШР-1</b>	<b>8</b>	<b>3 – 31,5</b>	<b>106</b>	<b>□</b>	<b>□</b>	<b>□</b>	<b>43,35</b>	<b>23,77</b>	<b>□</b>	<b>□</b>	<b>58,7</b>	<b>25,33</b>	<b>63,9</b>	<b>97,1</b>

Продолжение табл. 9.2.1

№ п/п	Наименование узлов питания и групп электроприёмников	Количество ЭП n	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100%		m=Рн.макс / Рн.мин.	Коэффициент использования Ки	cosφ / tgφ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число Электроприёмников пэф	Коэффициент максимума Км	Расчётная нагрузка			Расчётный ток Iр, А
			Одного ЭП (наменьшего, наибольшего) Рн, КВт	Общая Рн, КВт				Рсм=Ки·Рн КВт	Qсм=Рсм·tgφсм КВар			Рр=Км·Рсм, КВт	Qр=Qсм при п>10 Qр=1,1·Qсм при п<10	Sp=√(Рр² + Qр²) КВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Шкаф распределительный ШР-2 (ШР11-73510)</b>															
	<u>Группа А</u>														
	Блистерная и картонная машина	1	27	27		0,5	0,85/0,62	13,5	8,37						
	Этикетирование	1	3	3		0,4	0,9/0,48	1,2	0,58						
	Автоклав	1	25	25		0,3	0,85/0,62	7,5	4,65						
	Итого по группе А	3	3-27	55	>3	0,4	□	22,2	13,6	3	1,9	42,18	14,96		
	<u>Группа Б</u>														
	Контроль герметичности	1	17,5	17,5	□	0,7	0,9/0,48	12,25	5,88						
	Подогреватель	1	4	4	□	0,7	0,95/0,33	2,8	0,924						
	Контроль частц	1	6	6	□	0,7	0,9/0,48	4,2	2,02						
	Наполнение ампул	1	15	15	□	0,7	0,9/0,48	10,5	5,04						
	Мойка ампул	1	46,5	46,5	□	0,7	0,9/0,48	32,6	15,6						
	Итого по группе Б	5	4 – 46,5	89	□	□	□	62,4	29,5	□	1	62,4	29,5		
	<b>Итого по ШР-2</b>	8	3 – 46,5	144	□	□	□	84,6	43,1	□	□	104,58	44,46	113,64	172,7

Продолжение табл. 9.2.1

№ п/п	Наименование узлов питания и групп электроприёмников	Количество ЭП n	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100%		m=Рн.макс / Рн.мин.	Коэффициент использования Ки	cosφ / tgφ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число Электроприёмников пэф	Коэффициент максимума Км	Расчётная нагрузка			Расчётный ток Iр , А
			Одного ЭП (наменьшего, наибольшего) Рн, КВт	Общая Рн, КВт				Рсм=Ки·Рн КВт	Qсм=Рсм·tgφсм КВар			Рр=Км·Рсм, КВт	Qр=Qсм при пэ>10 Qр=1,1·Qсм при пэ≤10 Квар	Sp=√Pp² + Qp² КВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Шкаф распределительный ШР-3 (ШР11-73701)</b>															
	<u>Группа А</u>														
	Автоклав	2	8 - 25	33		0,3	0,85/0,62	9,9	6,14						
	Итого по группе А	2	8 - 25	33	>3	0,3	□	9,9	6,14	2	2,4	23,8	6,75		
	<u>Группа Б</u>														
	Сушка	2	4	8	□	0,7	0,8/0,75	5,6	4,2						
	Итого по группе Б	2	4	8	□	□	□	5,6	4,2	□	1	5,6	4,2		
	<b>Итого по ШР-3</b>	4	4 - 25	41	□	□	□	15,5	10,34	□	□	29,4	10,95	31,4	47,7
<b>Шкаф распределительный ШР-4 (ШР11-73510)</b>															
	<u>Группа А</u>														
	Кабина для взвешивания	3	2,5	7,5		0,2	0,85/0,62	1,5	0,93						
	Итого по группе А	3	2,5	7,5	<3	0,2	□	1,5	0,93	□	2,54	3,81	1,02	3,9	5,9
	<u>Группа Б</u>														
	Наполнение ампул	1	15	15	□	0,7	0,9/0,48	10,5	5,04						
	Подогреватель	1	8	8	□	0,7	0,95/0,33	5,6	1,85						
	Стерилизация ампул	1	39	39	□	0,7	0,9/0,48	27,3	13,1						
	Мойка ампул	1	19,5	19,5	□	0,7	0,9/0,48	13,65	6,55						
	Итого по группе Б	4	8 - 39	81,5	□	□	□	57,05	26,54	□	1	57,05	26,54		

	<b>Итого по ШР-4</b>	7	2,5-39	89	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	58,55	27,47	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	60,86	27,56	66,81	101,51
--	----------------------	---	--------	----	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-------	-------	--------------------------	--------------------------	-------	-------	-------	--------

Продолжение табл. 9.2.1

№ п/п	Наименование узлов питания и групп электроприёмников	Количество ЭП	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100%		m=Рн.макс / Рн.мин.	Коэффициент использования Ки	cosφ / tgφ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число Электроприёмников пэф	Коэффициент максимума Км	Расчётная нагрузка			Расчётный ток Iр, А
			Одного ЭП (наименьшего, наибольшего) Рн, КВт	Общая Рн, КВт				Рсм=Ки·Рн КВт	Qсм=Рсм·tgφсм КВар			Рр=Км·Рсм, КВт	Qр=Qсм при п>10 Qр=1,1·Qсм при п<10	Sp=√(Pp² + Qp²) КВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Шкаф распределительный ШР-5 (ШР11-73509)</b>															
	<u>Группа Б</u>														
	Вытяжной вентилятор	4	1,1 – 7,5	11,29	□	0,65	0,8/0,75	7,34	5,5						
	Приточный вентилятор	2	3 - 15	18	□	0,65	0,8/0,75	11,7	8,78						
	Нагреватели с жалюзи	2	0,2 – 0,3	0,5	□	0,7	0,95/0,33	0,35	0,12						
	Итого по группе Б	8	0,2 - 15	29,79	□	□	□	19,39	14,4	□	1	19,39	14,4		
	<b>Итого по ШР-5</b>	8	0,2 - 15	29,79	□	□	□	19,39	14,4	□	□	19,39	14,4	24,15	36,69
<b>Шкаф распределительный ШР-6 (ШР11-73509)</b>															
	<u>Группа Б</u>														
	Вытяжной вентилятор	4	0,75 - 4	7,13	□	0,65	0,8/0,75	4,63	3,48						
	Приточный вентилятор	1	18,5	18,5	□	0,65	0,8/0,75	12,03	9,02						
	Нагреватели с жалюзи	1	0,3	0,3	□	0,7	0,95/0,33	0,21	0,069						
	Итого по группе Б	6	0,3 – 18,5	25,93	□	□	□	16,87	12,57	□	1	16,87	12,57		
	<b>Итого по ШР-6</b>	6	0,3 – 18,5	25,93	□	□	□	16,87	12,57	□	□	16,87	12,57	21,04	31,97

Продолжение табл. 9.2.1

№ п/п	Наименование узлов питания и групп электроприёмников	Количество ЭП	Установленная мощность, приведенная к ПВ=100%		m=Рн.макс / Рн.мин.	Коэффициент использования Ки	cosφ / tgφ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число Электроприёмников пэф	Коэффициент максимума Км	Расчётная нагрузка			Расчётный ток Iр, А
			Одного ЭП (наменьшего, наибольшего) Рн, КВт	Общая Рн, КВт				Рсм=Ки·Рн КВт	Qсм=Рсм·tgφсм КВар			Рр=Км·Рсм, КВт	Qр=Qсм при п>10 Qр=1,1·Qсм при п<10	Sp=√(Рр²+Qр²) КВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Шкаф распределительный ШР-7 (ШР11-73509)</b>															
	<u>Группа Б</u>														
	Вытяжной вентилятор	2	1,19– 11	12,19	□	0,65	0,8/0,75	7,92	5,94						
	Приточный вентилятор	2	7,5 -18,5	26	□	0,65	0,8/0,75	16,9	12,68						
	Нагреватели с жалюзи	1	0,3	0,3	□	0,7	0,95/0,33	0,21	0,069						
	Насос рекуперативный	1	1,1	1,1	□	0,65	0,8/0,75	0,72	0,54						
	<b>Итого по группе Б</b>	6	0,3 – 18,5	39,59	□	□	□	25,75	19,23	□	1	25,75	19,23		
	<b>Итого по ШР-7</b>	6	0,3 – 18,5	39,59	□	□	□	25,75	19,23	□	□	25,75	19,23	32,14	48,83
<b>Шкаф распределительный ШР-8 (ШР11-73701)</b>															
	<u>Группа Б</u>														
	Вытяжной вентилятор	4	0,55 – 5,5	8,34	□	0,65	0,8/0,75	5,42	4,07						
	Нагреватели с жалюзи	1	0,3	0,3	□	0,7	0,95/0,33	0,21	0,069						
	<b>Итого по группе Б</b>	5	0,55 – 5,5	8,64	□	□	□	5,63	4,14	□	1	5,63	4,14		
	<b>Итого по ШР-8</b>	5	0,55 – 5,5	8,64	□	□	□	5,63	4,14	□	□	5,63	4,14	6,99	10,62

### 9.3 Выбор сечений питающей сети по длительно допустимой токовой нагрузке из условия нагрева и проверка их по потере напряжения, выбор силовой распределительной сети и аппаратов защиты и управления цеха

$$\text{Условие выбора проводников: } I_p = I_{\text{дл}} \leq I_{\text{доп}}; \quad (9.3.1)$$

$$I_{\text{ном}} = I_p = I_{\text{дл}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (9.3.2)$$

Пример расчёта для линии ВРУ1-ШР1:

$$I_{\text{ном}} = I_p = I_{\text{дл}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{63,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 97,1(\text{А});$$

Используя справочную литературу [15] выбираем кабель марки АНРГ(4×50), у которого  $I_{\text{доп}} = 110 > 97,1(\text{А})$ .

Выбранное сечение необходимо проверить по допустимой потере напряжения  $\Delta U_p\% = \Delta U_o \cdot I_p \cdot l$ , (9.3.3)

где  $\Delta U_o$  – потеря напряжения в 3-х фазных сетях, %/А·км, принимаем по справочной литературе [3];

$I_p$  – расчётный ток;

$l$  – длина проводника.

$$\Delta U_p\% = 0,273 \cdot 97,1 \cdot 0,055 = 1,45\% < 5\% ;$$

Пример расчёта для линии ВРУ1-ШР2:

$$I_{\text{ном}} = I_p = I_{\text{дл}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{113,64}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 172,66(\text{А});$$

Используя справочную литературу [15] выбираем кабель марки АНРГ(4×120), у которого  $I_{\text{доп}} = 200 > 172,66(\text{А})$ .

Выбранное сечение необходимо проверить по допустимой потере напряжения  $\Delta U_p\% = \Delta U_o \cdot I_p \cdot l$ ,

где  $\Delta U_o$  – потеря напряжения в 3-х фазных сетях, %/А·км, принимаем по справочной литературе [3];

$I_p$  – расчётный ток;

$l$  – длина проводника.

$$\Delta U_p\% = 0,123 \cdot 172,66 \cdot 0,023 = 0,49\% < 5\%$$

Дальнейшие расчеты проводятся аналогично.

Представим выбранные сечения кабелей в виде таблицы 9.3.1.

Пример расчёта для ответвления к транспортёру:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{4,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 8,9 \text{ (А)};$$

Используя справочную литературу [15] выбираем провод марки АПВ–3(1×2), у которого  $I_{дон} = 18 > 8,9 \text{ (А)}$ .

Дальнейшие расчеты проводятся аналогично. Представим выбранные сечения проводов в виде таблицы 9.3.2.

Также произведём распределение электроприёмников по пунктам питания.

Таблица 9.3.1 - Выбор сечений линий питающей сети цеха

№ П/П	№ участка (линии) на плане цеха	Назначение участка (линии) питающей сети	Расчетная нагрузка $S_p$ , кВА	Расчетный ток $I_p$ , А	Длина линии $l$ , км	Способ прокладки	Коэффициент прокладки, $K$	Марка кабеля	Сечение, выбранное из условия допустимого нагрева $S_n$ , мм <sup>2</sup>	Допустимый длительный ток $I_{доп}$ , А	Сечение, выбранное по условиям допустимой потери напряжения $S_{\Delta U}$ , мм <sup>2</sup>	$\cos\varphi$	Потери напряжения на 1 акм, $\Delta U_0$ , %	Расчетные потери напряжения $\Delta U_p$ , %	Принятое сечение и марка участка питающей сети
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Л-1	ВРУ1-ШР1	63,9	97,1	0,055	на стене на скобах	1	АНРГ	(4×50)	110	(4×50)	0,9	0,273	1,45	АНРГ(4×50)
2	Л-2	ВРУ1-ШР2	113,64	172,66	0,023	на стене на скобах	1	АНРГ	(4×120)	200	(4×120)	0,9	0,123	0,49	АНРГ(4×120)
3	Л-3	ВРУ1-ШР3	31,4	47,7	0,030	на стене на скобах	1	АНРГ	(4×16)	60	(4×16)	0,8	0,735	1,05	АНРГ(4×16)
4	Л-4	ВРУ1-ШР4	66,81	101,51	0,061	на стене на скобах	1	АНРГ	(4×50)	110	(4×50)	0,9	0,273	1,69	АНРГ(4×50)
5	Л-5	ВРУ2-ШР5	24,15	36,69	0,051	на стене на скобах	1	АНРГ	(4×10)	42	(4×10)	0,8	1,17	2,19	АНРГ(4×10)
6	Л-6	ВРУ2-ШР6	21,04	31,97	0,012	на стене на скобах	1	АНРГ	(4×6)	32	(4×6)	0,8	1,92	0,74	АНРГ(4×6)
7	Л-7	ВРУ2-ШР7	32,14	48,83	0,073	на стене на скобах	1	АНРГ	(4×16)	60	(4×16)	0,8	0,735	2,62	АНРГ(4×16)
8	Л-8	ВРУ2-ШР8	6,99	10,62	0,102	на стене на скобах	1	АНРГ	(4×2,5)	19	(4×2,5)	0,8	4,58	4,96	АНРГ(4×2,5)
9	Л-9	РУ-ВРУ1	275,8	419	0,01	на конструкции	0,9	АНРГ	(3×150)	250	(3×150)	0,8	0,0970	0,20	АНРГ-2(3×150)
10	Л-10	РУ-ВРУ2	84,32	128,11	0,015	на конструкции	1	АНРГ	(3×70)	140	(3×70)	0,8	0,185	0,36	АНРГ(3×70)

Таблица 9.3.2 - Выбор распределительной сети и аппаратов защиты

Приёмник				Ответвление к ЭП			Предохранитель	
№ по плану цеха	Наименование электроприёмника	P <sub>н</sub> , кВт	I <sub>p</sub> , А	Марка и сечение проводника, мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	Длина, м	Тип предохранителя	$\frac{I_{н.пр}}{I_{вс}}$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Транспортёр	4,5	8,9	АПВ-3(1x2)	в трубе	27	НПН2-60	60/20
2	Упаковка	12	23,8	АПВ-3(1x4)	в трубе	20	НПН2-60	60/60
3	Этикетирование	11	21,8	АПВ-3(1x3)	в трубе	3	НПН2-60	60/50
4	Стиральная машина/ машина для сушки одежды	31,5	62,6	АПВ-3(1x25)	в трубе	28	ПН2-250	250/150
5	Контроль герметичности	15	29,8	АПВ-3(1x5)	в трубе	2	ПН2-100	100/80
6	Автоклав	25	49,7	АПВ-3(1x16)	в трубе	13	НПН2-60	60/6
7	Сушка	4	7,9	АПВ-3(1x2)	в трубе	9	НПН2-60	60/10
8	Контроль частиц	3	5,96	АПВ-3(1x2)	в трубе	17	НПН2-60	60/6
9	Блистерная и картонная машина	27	53,6	АПВ-3(1x16)	в трубе	16	ПН2-250	250/120
10	Автоклав	25	49,7	АПВ-3(1x16)	в трубе	24	НПН2-60	60/6
11	Подогреватель	4	7,9	АПВ-3(1x2)	в трубе	4	НПН2-60	60/10
12	Наполнение ампул	15	29,8	АПВ-3(1x5)	в трубе	3	ПН2-100	100/80
13	Мойка ампул	46,5	92,4	АПВ-3(1x35)	в трубе	7	ПН2-250	250/250
14	Этикетирование	3	5,96	АПВ-3(1x2)	в трубе	11	НПН2-60	60/15
15	Контроль герметичности	17,5	34,8	АПВ-3(1x8)	в трубе	16	ПН2-100	100/80
16	Контроль частиц	6	11,9	АПВ-3(1x2)	в трубе	27	НПН2-60	60/30
17	Автоклав	8	15,9	АПВ-3(1x2)	в трубе	18	НПН2-60	60/6
18	Сушка	4	7,9	АПВ-3(1x2)	в трубе	11	НПН2-60	60/10
19	Сушка	4	7,9	АПВ-3(1x2)	в трубе	18	НПН2-60	60/10
20	Автоклав	25	49,7	АПВ-3(1x16)	в трубе	20	НПН2-60	60/6
21	Подогреватель	8	15,9	АПВ-3(1x2)	в трубе	7	НПН2-60	60/20
22	Кабина для взвешивания	2,5	4,97	АПВ-3(1x2)	в трубе	6	НПН2-60	60/6
23	Кабина для взвешивания	2,5	4,97	АПВ-3(1x2)	в трубе	10	НПН2-60	60/6
24	Наполнение ампул	15	29,8	АПВ-3(1x5)	в трубе	21	ПН2-100	100/80
25	Стерилизация ампул	39	77,5	АПВ-3(1x25)	в трубе	24	ПН2-250	250/200
26	Мойка ампул	19,5	38,73	АПВ-3(1x8)	в трубе	28	ПН2-100	100/100
27	Кабина для взвешивания	2,5	4,97	АПВ-3(1x2)	в трубе	3	НПН2-60	60/6
28	Вытяжной вентилятор	1,5	2,98	АПВ-3(1x2)	в трубе	23	НПН2-60	60/10
29	Вытяжной вентилятор	1,1	2,18	АПВ-3(1x2)	в трубе	18	НПН2-60	60/6
30	Вытяжной вентилятор	1,19	2,4	АПВ-3(1x2)	в трубе	11	НПН2-60	60/6
31	Приточный вентилятор	15	29,8	АПВ-3(1x5)	в трубе	13	ПН2-100	100/80
32	Приточный	3	5,96	АПВ-3(1x2)	в трубе	21	НПН2-60	60/15

	ВЕНТИЛЯТОР							
--	------------	--	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы 9.3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
33	Нагреватели с жалюзьями	0,2	0,397	АПВ-3(1x2)	в трубе	23	НПН2-60	60/6
34	Нагреватели с жалюзьями	0,3	0,397	АПВ-3(1x2)	в трубе	33	НПН2-60	60/6
35	Вытяжной вентилятор	7,5	14,9	АПВ-3(1x2)	в трубе	29	НПН2-60	60/40
36	Вытяжной вентилятор	0,75	1,5	АПВ-3(1x2)	в трубе	31	НПН2-60	60/6
37	Вытяжной вентилятор	4	7,9	АПВ-3(1x2)	в трубе	14	НПН2-60	60/20
38	Нагреватели с жалюзьями	0,3	0,397	АПВ-3(1x2)	в трубе	10	НПН2-60	60/6
39	Вытяжной вентилятор	1,19	2,4	АПВ-3(1x2)	в трубе	4	НПН2-60	60/6
40	Приточный вентилятор	18,5	35,7	АПВ-3(1x8)	в трубе	13	ПН2-100	100/80
41	Вытяжной вентилятор	1,19	2,4	АПВ-3(1x2)	в трубе	19	НПН2-60	60/6
42	Вытяжной вентилятор	11	21,8	АПВ-3(1x3)	в трубе	27	НПН2-60	60/50
43	Насос рекуперативный	1,1	2,18	АПВ-3(1x2)	в трубе	17	НПН2-60	60/6
44	Нагреватели с жалюзьями	0,3	0,397	АПВ-3(1x2)	в трубе	18	НПН2-60	60/6
45	Приточный вентилятор	7,5	14,9	АПВ-3(1x2)	в трубе	17	НПН2-60	60/40
46	Приточный вентилятор	18,5	35,7	АПВ-3(1x8)	в трубе	28	ПН2-100	100/80
47	Нагреватели с жалюзьями	0,3	0,397	АПВ-3(1x2)	в трубе	18	НПН2-60	60/6
48	Вытяжной вентилятор	5,5	10,9	АПВ-3(1x2)	в трубе	9	НПН2-60	60/25
49	Вытяжной вентилятор	1,19	2,4	АПВ-3(1x2)	в трубе	13	НПН2-60	60/6
50	Вытяжной вентилятор	1,19	2,4	АПВ-3(1x2)	в трубе	5	НПН2-60	60/6
51	Вытяжной вентилятор	0,55	1,09	АПВ-3(1x2)	в трубе	6	НПН2-60	60/6
52	Вытяжной вентилятор	1,1	2,18	АПВ-3(1x2)	в трубе	10	НПН2-60	60/6

## 10 Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000В, проверка срабатывания защиты от однофазных КЗ

Схема сети ниже 1000 В показана на рис.12.

Расчёт токов КЗ в сети до 1000 В обладает следующими особенностями:

- напряжение на шинах подстанции считается неизменным при КЗ в сети до 1000 В;
- при расчёте учитываются все активные и реактивные сопротивления до точки КЗ всех элементов сети: силовой трансформатор, сопротивление токовой катушки автоматического выключателя и переходное сопротивление контактов, сопротивление первичной обмотки трансформаторов тока, сопротивление проводов и кабелей;
- расчёт ведётся в именованных единицах, напряжение берётся на 5% выше номинального напряжения сети. Принимаем  $U = 400$  В, действующая величина тока короткого замыкания  $I_k = U / \sqrt{3}Z_{\Sigma}$ .

Расчет токов КЗ производим до участка цеховой сети до ЭП № 13.

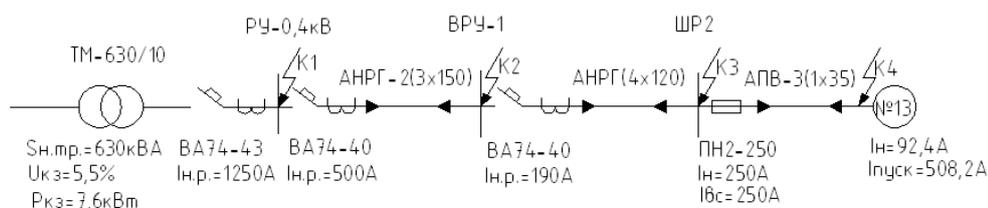


Рисунок 12 - Однолинейная схема сети ниже 1000 В

Расчёт токов для точки К1:

Определяем полное суммарное сопротивление до точки К1.

Сопротивления QF1 и ТА1 не учитываем, т.к.  $I_{ном.ап} = 1000$  А.

Активное сопротивление трансформатора:

$$R_m = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U^2}{S_{н.тр.}^2} = \frac{7,6 \cdot 400^2}{630^2} = 3,06 \text{ (МОм)} \quad (10.1)$$

Активная составляющая напряжения КЗ:

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{н.тр.}} = \frac{7,6 \cdot 100\%}{630} = 1,2\% \quad (10.2)$$

Реактивная составляющая напряжения КЗ:

$$U_p = \sqrt{(U_k)^2 - (U_a)^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,2^2} = 5,37\% \quad (10.3)$$

Активное сопротивление трансформатора:

$$X_m = \frac{U_p\%}{100} \cdot \frac{U^2}{S_{н.тр.}} = \frac{5,37}{100} \cdot \frac{400^2}{630} = 13,64 \text{ (мОм)} \quad (10.4)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{R_m^2 + X_m^2} = \sqrt{3,06^2 + 13,64^2} = 14 \text{ (мОм)}; \quad (10.5)$$

$$I_{k1} = \frac{U}{\sqrt{3}Z_{\Sigma k1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 14} = 16,5 \text{ (кА)}; \quad (10.6)$$

Согласно [1] принимаем  $K_{уд1} = 1,48$ ;

$$i_{y1} = I_{k1} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{уд1} = 16,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,48 = 34,5 \text{ (кА)}. \quad (10.7)$$

Расчёт токов для точки К2:

Принимаем для автоматического выключателя, согласно [2] следующие величины:

$R_k = 0,12$  (мОм) – активное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя;

$X_k = 0,094$  (мОм) – реактивное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя;

$R_{пер} = 0,25$  (мОм) – переходное сопротивление контактов.

Для трансформатора тока, согласно [2] при коэффициенте трансформации  $K_T = 400/5$  принимаем следующие величины:

$R_{mm} = 0,11$  (мОм) – активное сопротивление первичной обмотки трансформатора тока;

$X_{mm} = 0,17$  (мОм) – реактивное сопротивление первичной обмотки трансформатора тока.

Для кабеля АНРГ-2(3×150) рассчитаем активное и реактивное сопротивления:

$$R_{каб} = r_o \cdot l = 2 \cdot (0,22 \cdot 10) = 4,4 (\text{МОм}); \quad (10.8)$$

$$X_{каб} = x_o \cdot l = 2 \cdot (0,06 \cdot 10) = 1,2 (\text{МОм}); \quad (10.9)$$

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma K2} &= \sqrt{(R_m + R_k + R_{пер} + R_{mm} + R_{каб})^2 + (X_m + X_k + X_{mm} + X_{каб})^2} = \\ &= \sqrt{(3,06 + 0,12 + 0,25 + 0,11 + 4,4)^2 + (13,64 + 0,094 + 0,17 + 1,2)^2} = \\ &= 17,06 (\text{МОм}); \end{aligned} \quad (10.10)$$

$$I_{K2} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{\Sigma K2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 17,06} = 13,54 (\text{кА}); \quad (10.11)$$

Согласно [1] принимаем  $K_{y\partial 2} = 1,3$ ;

$$i_{y2} = I_{K2} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 2} = 13,54 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,3 = 24,9 (\text{кА}). \quad (10.12)$$

#### Расчёт токов для точки КЗ:

Принимаем для автоматического выключателя, согласно [2] следующие величины:

$R_k = 0,36$  (МОм) – активное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя;

$X_k = 0,28$  (МОм) – реактивное сопротивление токовой катушки автоматического выключателя;

$R_{пер} = 0,6$  (МОм) – переходное сопротивление контактов.

Для трансформатора тока, согласно [2] при коэффициенте трансформации  $K_T = 200/5$  принимаем следующие величины:

$R_k = 0,42$  (МОм) – активное сопротивление первичной обмотки трансформатора тока;

$X_{mm} = 0,67$  (МОм) – реактивное сопротивление первичной обмотки трансформатора тока.

Для кабеля АНРГ(4×120) рассчитаем активное и реактивное сопротивления:

$$R_{каб} = r_o \cdot l = 0,28 \cdot 23 = 6,44 (\text{МОм}); \quad (10.13)$$

$$X_{каб} = x_o \cdot l = 0,06 \cdot 23 = 1,38 (\text{МОм}); \quad (10.14)$$

$$\begin{aligned} Z'_{\Sigma K3} &= \sqrt{(R_{\kappa} + R_{неп} + R_{mm} + R_{каб})^2 + (X_{\kappa} + X_{mm} + X_{каб})^2} = \\ &= \sqrt{(0,36 + 0,6 + 0,42 + 6,44)^2 + (0,28 + 0,67 + 1,38)^2} = \\ &= 8,16 (\text{МОм}); \end{aligned} \quad (10.15)$$

$$Z_{\Sigma K3} = Z_{\Sigma K2} + Z'_{\Sigma K3} = 17,06 + 8,16 = 25,22 (\text{МОм}); \quad (10.16)$$

$$I_{K3} = \frac{U}{\sqrt{3}Z_{\Sigma K2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 25,22} = 9,16 (\text{кА}); \quad (10.17)$$

Согласно [1] принимаем  $K_{y\partial 3} = 1,12$ ;

$$i_{y3} = I_{K3} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 3} = 9,16 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,12 = 14,5 (\text{кА}). \quad (10.18)$$

Расчёт токов для точки К4:

Для провода АПВ– 3(1×35) рассчитаем активное и реактивное сопротивления:

$$R_{пров} = r_o \cdot l = 0,95 \cdot 7 = 6,65 (\text{МОм}); \quad (10.19)$$

$$X_{пров} = x_o \cdot l = 0,06 \cdot 7 = 0,42 (\text{МОм}); \quad (10.20)$$

$$Z'_{K4} = \sqrt{(R_{пров})^2 + (X_{пров})^2} = \sqrt{6,65^2 + 0,42^2} = 6,67 (\text{МОм}); \quad (10.21)$$

$$Z_{\Sigma K4} = Z_{\Sigma K3} + Z'_{\Sigma K4} = 25,22 + 6,67 = 31,9 (\text{МОм}); \quad (10.22)$$

$$I_{K4} = \frac{U}{\sqrt{3}Z_{\Sigma K4}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 31,9} = 7,2 (\text{кА}); \quad (10.23)$$

Согласно [1] принимаем  $K_{y\partial 4} = 1,12$

$$i_{y4} = I_{K4} \cdot \sqrt{2} \cdot K_{y\partial 4} = 7,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,12 = 11,4 (\text{кА}). \quad (10.24)$$

Представим для наглядности расчет в виде таблицы 10.1.

Таблица 10.1 - Значения токов КЗ

Расчётные точки		К1	К2	К3	К4
Токи КЗ	$I_{\kappa_n}$	16,5	13,54	9,16	7,2
	$i_y$	34,5	24,9	14,5	11,4

Проверка сети 0,38 кВ по условиям срабатывания защиты при однофазных коротких замыканиях

Рассчитаем ток однофазного короткого замыкания, для расчета  $I_K^{(1)}$  ПУЭ рекомендует упрощенное выражение

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{Z_T/3 + Z_n}; \quad (10.25)$$

где  $U_\phi$  – фазное напряжение сети;

$Z_T/3$  – сопротивление трансформатора току однофазного замыкания на корпус равно 0,065 Ом;

$$Z_n = \sqrt{(R_\phi + R_n + R_d + R_{TT} + R_A)^2 + (X' + X'' + X_C + X_{TT} + X_A)^2}, \quad (10.26)$$

где  $R_\phi, R_n$  – суммарные активные сопротивления фазных и нулевых проводов всех участков рассчитываемой цепочки (ТП-ЭП-ТП);

$R_d$  – сопротивление дуги в точке замыкания принимается равным 0,03 Ом;

$R_{TT}, X_{TT}$  – активное и индуктивное сопротивления трансформатора тока равны соответственно 0,00015 Ом и 0,00021 Ом;

$R_A, X_A$  – активное и индуктивное сопротивление автоматических выключателей равны соответственно 0,00048 Ом и 0,00099 Ом;

$X_C$  – сопротивление питающей системы, принимается равным 0,0032 Ом;

$X'$  – внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль принимается приближенно равным 0,6 Ом/км;

$X''$  – внутреннее индуктивное сопротивление проводов зануления.

Учитывается только для проводов выполненных из стали;

$$Z_n = \sqrt{(0,099 + 0,006 + 0,03 + 0,00015 + 0,00048)^2 + (0,6 + 0,0032 + 0,00021 + 0,00099)^2} = 0,62, \text{ Ом};$$

$$I_K^{(1)} = \frac{380}{0,065 + 0,62} = 554,7, \text{ А.}$$

Это означает что срабатывание защитного аппарата - предохранителя с номинальным током плавкой вставки 250(A), произойдет при однофазном замыкании, также и при замыкании на корпус, т. е. защитное зануление мойки ампул выполнено в соответствии с требованиями ПУЭ.

## 11 Построение эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее мощного электроприёмника для режимов максимальной, минимальной и послеаварийной нагрузок

Основные расчётные выражения:

$$\Delta U_{ij} = \frac{P_{ij}R_{ij} + Q_{ij}X_{ij}}{10U_i^2}; \quad (11.1)$$

$$\Delta U_m = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} (U_a \sin \varphi_2 - U_p \cos \varphi_2), \quad (11.2)$$

где  $\Delta U_{ij}$  – отклонение напряжения на соответствующем участке сети %;

$P_{ij}$  – поток активной мощности, передаваемый по соответствующему участку сети, кВт;

$Q_{ij}$  – поток реактивной мощности, передаваемый по соответствующему участку сети, кВар;

$R_{ij} = r_{0ij} \cdot l_{ij}$  – активное сопротивление линии соответствующего участка сети, мОм,

здесь  $r_{0ij}$  – удельное активное сопротивление линии соответствующего участка сети, Ом/км, принимаемое, согласно справочной литературе [3],

$l_{ij}$  – длина линии соответствующего участка сети, км;

$U_i$  – напряжение в начале соответствующего участка сети, кВ;

$\Delta U_m$  – отклонение напряжения на цеховом трансформаторе %;

Фактический коэффициент загрузки цехового трансформатора:

$$\beta_m = \frac{\sqrt{P_{ij}^2 + Q_{ij}^2}}{S_{н.тр.}}, \quad (11.3)$$

здесь  $P_{ij}^2 + Q_{ij}^2$  – поток мощности, передаваемый через цеховой трансформатор, кВА,

$S_{н.тр.}$  – номинальная мощность цехового трансформатора, кВА;

Активная составляющая напряжения короткого замыкания цехового трансформатора, %:

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{н.тр.}} \quad (11.4)$$

здесь  $\Delta P_{кз}$  – потери активной мощности при КЗ, кВт, принимаем согласно [10];

Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания цехового трансформатора, %:

$$U_p = \sqrt{(U_k)^2 - (U_a)^2} \quad (11.5)$$

здесь  $U_k$  – напряжение короткого замыкания, %, принимаем согласно справочной литературе [10];

Коэффициент мощности для вторичной нагрузки цехового трансформатора:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}, \quad (11.6)$$

$P$  – поток активной мощности, передаваемой через цеховой трансформатор, кВт,

Потери активной мощности в цеховом трансформаторе, кВт:

$$\Delta P_m = 0,02S \quad (11.7)$$

Потери реактивной мощности в цеховом трансформаторе, кВар:

$$\Delta Q_m = 0,1S \quad (11.8)$$

Соответствующий  $\cos \varphi$  синус для вторичной нагрузки цехового трансформатора:

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S} \quad (11.9)$$

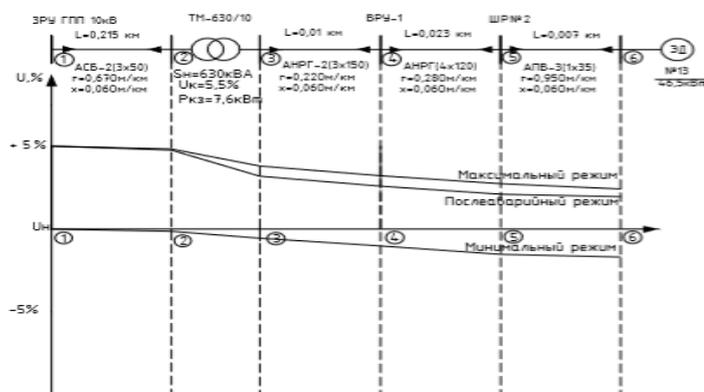


Рисунок 13 – Эпюра отклонений напряжения

## МАКСИМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ

1) Для расчёта максимального режима определим активные и реактивные мощности корпуса №4, которые питает ТП-1:

$$P_1 = 1281,9 \text{ (кВт)}$$

$$Q_1 = 386,08 \text{ (кВАр)}$$

Определим активное и реактивное сопротивление ВЛ от ГПП до ТМ-630/10 (участок 1-2):

$$R_1 = r_0 \cdot l = 0,67 \cdot 0,215 = 0,144 \text{ (Ом)}$$

$$X_1 = x_0 \cdot l = 0,06 \cdot 0,215 = 0,0129 \text{ (Ом)}, \text{ где}$$

$r_0, x_0$  – погонные активные и реактивные сопротивления.

$$\Delta U_{12} = \frac{1281,9 \cdot 0,144 + 386,08 \cdot 0,0129}{10 \cdot 10,5^2} = 0,17\%$$

Переведём в вольты  $\Delta U_{12} = 18,05 \text{ (В)}$

$$U_1 = 10500 - 18,05 = 10481,95 \text{ (В)}.$$

2) Определим мощности для участка 2-3:

$$P_2 = 1281,9 / 3 = 427,3 \text{ (кВт)}$$

$$Q_2 = 386,08 / 3 = 128,69 \text{ (кВАр)}$$

$$U_a \% = \frac{7,6 \cdot 100\%}{3 \cdot 630} = 0,402\%$$

$$U_p = \sqrt{5,5^2 - 0,402^2} = 5,485\%$$

$$\beta_m = \frac{\sqrt{427,3^2 + 128,69^2}}{630} = 0,708$$

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 446,26 = 8,93 \text{ (кВт)}$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot 446,26 = 44,626 \text{ (кВАр)}$$

$$P_3 = 427,3 - 8,93 = 418,37 \text{ (кВт)}$$

$$Q_3 = 128,69 - 44,626 = 84,064 \text{ (кВАр)}$$

$$S_u = \sqrt{418,37^2 + 84,064^2} = 426,73 \text{ (кВА)}$$

$$\cos\varphi_3 = \frac{418,37}{426,73} = 0,98; \sin\varphi_3 = \frac{84,064}{426,73} = 0,197$$

$$\Delta U_{23} = 0,708 \cdot (0,402 \cdot 0,98 + 5,485 \cdot 0,197) + \frac{0,708^2}{200} \cdot (0,402 \cdot 0,197 - 5,485 \cdot 0,98) = 1,031\%$$

Переведём в вольты  $\Delta U_{23} = 108,26$  (В);

$$\Delta U_3 = 10494,015 - 108,26 = 10385,76$$
 (В)

$$10494,015(\text{В}) - 400(\text{В})$$

$$10385,76(\text{В}) - X \quad X=395,87(\text{В})\text{-падение}$$

напряжения на трансформаторе выраженное в вольтах.

3) Мощность участка 3-4 определяется активной и реактивной мощностью цеха:

$$P_4 = 389,74 \text{ (кВт)}$$

$$Q_4 = 108,3 \text{ (кВАр)}$$

Активное и реактивное сопротивления определяются аналогично п.1:

$$R_4 = 0,0022 \text{ (Ом)}$$

$$X_4 = 0,0006 \text{ (Ом)}$$

$$\Delta U_{34} = \frac{389,74 \cdot 0,0022 + 108,3 \cdot 0,0006}{10 \cdot 0,396^2} = 0,588\%$$

Переведём в вольты  $\Delta U_{34} = 2,33$  (В)

$$U_4 = 395,87 - 2,33 = 393,54 \text{ (В)}.$$

4) Мощность участка 4-5 определяется активной и реактивной мощностью ШР-2:

$$P_5 = 104,58 \text{ (кВт)}$$

$$Q_5 = 44,46 \text{ (кВАр)}$$

Активное и реактивное сопротивления определяются аналогично п.1:

$$R_5 = 0,0064 \text{ (Ом)}$$

$$X_5 = 0,0014 \text{ (Ом)}$$

$$\Delta U_{45} = \frac{104,58 \cdot 0,0064 + 44,46 \cdot 0,0014}{10 \cdot 0,39^2} = 0,48\%$$

Переведём в вольты  $\Delta U_{45} = 1,89$  (В)

$$U_5 = 393,54 - 1,89 = 391,65$$
 (В).

5) Мощность участка 5-6 определяется активной и реактивной мощностью ЭП№13:

$$P_6 = 32,6$$
 (кВт)

$$Q_6 = 15,6$$
 (кВАр)

Активное и реактивное сопротивления определяются аналогично п.1:

$$R_6 = 0,0067$$
 (Ом)

$$X_6 = 0,00042$$
 (Ом)

$$\Delta U_{56} = \frac{32,6 \cdot 0,0067 + 15,6 \cdot 0,00042}{10 \cdot 0,39^2} = 0,148\%$$

Переведём в вольты  $\Delta U_{56} = 0,58$  (В)

$$U_6 = 391,65 - 0,58 = 391,07$$
 (В).

### МИНИМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ

Напряжение на шинах 10 кВ принимаем равным  $U_{ном} = 10$  кВ.

Определим из суточных графиков нагрузок коэффициенты, характеризующие различие активной и соответственно реактивной мощности в максимальном и минимальном режимах  $k_p = 0,75; k_Q = 0,22$

1) Для расчёта минимального режима определим активные и реактивные мощности корпуса №4, которые питает ТП-1 и умножим их на  $k_p = 0,75; k_Q = 0,22$  соответственно.

$$P_1 = 1281,9 \cdot 0,75 = 961,43$$
 (кВт)

$$Q_1 = 386,08 \cdot 0,22 = 84,94$$
 (кВАр)

Определим активное и реактивное сопротивление ВЛ от ГПП до ТМ-630/10(участок 1-2):

$$R_1 = r_0 \cdot l = 0,67 \cdot 0,215 = 0,144 (\text{Ом})$$

$$X_1 = x_0 \cdot l = 0,06 \cdot 0,215 = 0,0129 (\text{Ом}), \text{ где}$$

$r_0, x_0$  – погонные активные и реактивные сопротивления.

$$\Delta U_{12} = \frac{961,43 \cdot 0,144 + 84,94 \cdot 0,0129}{10 \cdot 10^2} = 0,1395\%$$

Переведём в вольты  $\Delta U_{12} = 13,95 (\text{В})$

$$U_1 = 10000 - 13,95 = 9986,05 (\text{В}).$$

2) Определим мощности для участка 2-3 с учётом  $k_p = 0,75; k_Q = 0,22$ :

$$P_2 = 961,43 / 3 = 320,48 (\text{кВт})$$

$$Q_2 = 84,94 / 3 = 28,3 (\text{кВАр})$$

$$U_a \% = \frac{7,6 \cdot 100\%}{3 \cdot 630} = 0,402\%$$

$$U_p = \sqrt{5,5^2 - 0,402^2} = 5,485\%$$

$$\beta_m = \frac{\sqrt{320,48^2 + 28,3^2}}{630} = 0,51$$

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 321,7 = 6,43 (\text{кВт})$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot 321,7 = 3,22 (\text{кВАр})$$

$$P_3 = 320,48 - 6,43 = 314,05 (\text{кВт})$$

$$Q_3 = 28,3 - 3,22 = 25,08 (\text{кВАр})$$

$$S_n = \sqrt{314,05^2 + 25,08^2} = 315,05 (\text{кВА})$$

$$\cos \varphi_3 = \frac{314,05}{315,05} = 0,997; \sin \varphi_3 = \frac{25,08}{315,05} = 0,08$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{23} &= 0,51 \cdot (0,402 \cdot 0,997 + 5,485 \cdot 0,08) + \frac{0,51^2}{200} \cdot (0,402 \cdot 0,08 - 5,485 \cdot 0,997) = \\ &= 0,421\% \end{aligned}$$

Переведём в вольты  $\Delta U_{23} = 42,04 (\text{В}); \Delta U_3 = 9986,05 - 42,04 = 9944,01 (\text{В})$

$$9986,05 (\text{В}) - 380 (\text{В})$$

$$9944,01 (\text{В}) - X \quad X = 378,4 (\text{В}) \text{ - падение}$$

напряжения на трансформаторе выраженное в вольтах.

3) Мощность участка 3-4 определяется активной и реактивной мощностью цеха:

$$P_4 = 389,74 \cdot 0,75 = 292,31 \text{ (кВт)}$$

$$Q_4 = 108,3 \cdot 0,22 = 23,83 \text{ (кВАр)}$$

Активное и реактивное сопротивления определяются аналогично п.1:

$$R_4 = 0,0022 \text{ (Ом)}$$

$$X_4 = 0,0006 \text{ (Ом)}$$

$$\Delta U_{34} = \frac{292,31 \cdot 0,0022 + 23,83 \cdot 0,0006}{10 \cdot 0,38^2} = 0,455\%$$

Переведём в вольты  $\Delta U_{34} = 1,72 \text{ (В)}$

$$U_4 = 378,4 - 1,72 = 376,68 \text{ (В)}.$$

4) Мощность участка 4-5 определяется активной и реактивной мощностью ШР-2:

$$P_5 = 104,58 \text{ (кВт)}$$

$$Q_5 = 44,46 \text{ (кВАр)}$$

Активное и реактивное сопротивления определяются аналогично п.1:

$$R_5 = 0,0064 \text{ (Ом)}$$

$$X_5 = 0,0014 \text{ (Ом)}$$

$$\Delta U_{45} = \frac{104,58 \cdot 0,0064 + 44,46 \cdot 0,0014}{10 \cdot 0,38^2} = 0,51\%$$

Переведём в вольты  $\Delta U_{45} = 1,91 \text{ (В)}$

$$U_5 = 376,68 - 1,91 = 374,77 \text{ (В)}.$$

5) Мощность участка 5-6 определяется активной и реактивной мощностью ЭП№13:

$$P_6 = 32,6 \text{ (кВт)}$$

$$Q_6 = 15,6 \text{ (кВАр)}$$

Активное и реактивное сопротивления определяются аналогично п.1:

$$R_6 = 0,0067 \text{ (Ом)}$$

$$X_6 = 0,00042 (\text{Ом})$$

$$\Delta U_{56} = \frac{32,6 \cdot 0,0067 + 15,6 \cdot 0,00042}{10 \cdot 0,37^2} = 0,164\%$$

Переведём в вольты  $\Delta U_{56} = 0,606 (\text{В})$

$$U_6 = 374,77 - 0,606 = 374,16 (\text{В}).$$

### ПОСЛЕАВАРИЙНЫЙ РЕЖИМ

1) В качестве аварийного режима рассмотрим выход из строя одного трансформатора в цеховой подстанции.

Для расчёта послеаварийного режима определим активные и реактивные мощности корпуса №4, которые питает ТП-1:

$$P_1 = 1281,9 \cdot 1,4 = 1794,66 (\text{кВт})$$

$$Q_1 = 386,08 \cdot 1,4 = 540,5 (\text{кВАр})$$

$$R_1 = 0,144 (\text{Ом})$$

$$X_1 = 0,0129 (\text{Ом})$$

$$\Delta U_{12} = \frac{1794,66 \cdot 0,144 + 540,5 \cdot 0,0129}{10 \cdot 10,5^2} = 0,24\%$$

Переведём в вольты  $\Delta U_{12} = 25,2 (\text{В})$

$$U_1 = 10500 - 25,2 = 10474,8 (\text{В}).$$

2) Определим мощности для участка 2-3:

$$P_2 = 427,3 \cdot 1,4 = 598,2 (\text{кВт})$$

$$Q_2 = 128,69 \cdot 1,4 = 180,17 (\text{кВАр})$$

$$U_a \% = \frac{7,6 \cdot 100\%}{2 \cdot 630} = 0,603\%$$

$$U_p = \sqrt{5,5^2 - 0,603^2} = 5,47\%$$

$$\beta_m = \frac{\sqrt{598,2^2 + 180,17^2}}{630} = 0,99$$

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot 624,7 = 12,49 (\text{кВт})$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot 624,7 = 62,47 (\text{кВАр})$$

$$P_3 = 598,2 - 12,49 = 585,7(\text{кВт})$$

$$Q_3 = 180,17 - 68,47 = 111,7(\text{кВАр})$$

$$S_H = \sqrt{585,7^2 + 111,7^2} = 596,26(\text{кВА})$$

$$\cos\varphi_3 = \frac{585,7}{596,26} = 0,982; \sin\varphi_3 = \frac{111,7}{596,26} = 0,187$$

$$\Delta U_{23} = 0,99 \cdot (0,603 \cdot 0,982 + 5,47 \cdot 0,187) + \frac{0,99^2}{200} \cdot (0,603 \cdot 0,187 - 5,47 \cdot 0,982) = 1,57\%$$

Переведём в вольты  $\Delta U_{23} = 164,45(\text{В}); \Delta U_3 = 10474,8 - 164,45 = 10310,35(\text{В})$

$$10474,8(\text{В}) - 400(\text{В})$$

$$10310,35(\text{В}) - X \quad X=393,72(\text{В})$$

3) Мощность участка 3-4 определяется активной и реактивной мощностью цеха:

$$P_4 = 389,74(\text{кВт})$$

$$Q_4 = 108,3(\text{кВАр})$$

$$R_4 = 0,0022(\text{Ом})$$

$$X_4 = 0,0006(\text{Ом})$$

$$\Delta U_{34} = \frac{389,74 \cdot 0,0022 + 108,3 \cdot 0,0006}{10 \cdot 0,39^2} = 0,607\%$$

Переведём в вольты  $\Delta U_{34} = 2,39(\text{В})$

$$U_4 = 393,72 - 2,39 = 391,33(\text{В}).$$

4) Мощность участка 4-5 определяется активной и реактивной мощностью ШР-2:

$$P_5 = 104,58(\text{кВт})$$

$$Q_5 = 44,46(\text{кВАр})$$

$$R_5 = 0,0064(\text{Ом})$$

$$X_5 = 0,0014(\text{Ом})$$

$$\Delta U_{45} = \frac{104,58 \cdot 0,0064 + 44,46 \cdot 0,0014}{10 \cdot 0,39^2} = 0,48\%$$

Переведём в вольты  $\Delta U_{45} = 1,88(\text{В})$

$$U_5 = 391,33 - 1,88 = 389,45 (\text{В}).$$

5) Мощность участка 5-6 определяется активной и реактивной мощностью ЭП№13:

$$P_6 = 32,6(\text{кВт})$$

$$Q_6 = 15,6(\text{кВАр})$$

$$R_6 = 0,0067 (\text{Ом})$$

$$X_6 = 0,00042 (\text{Ом})$$

$$\Delta U_{56} = \frac{32,6 \cdot 0,0067 + 15,6 \cdot 0,00042}{10 \cdot 0,39^2} = 0,148\%$$

Переведём в вольты  $\Delta U_{45} = 0,576(\text{В})$

$$U_6 = 389,45 - 0,576 = 388,87 (\text{В}).$$

## 12 Построение карты селективности действия защитных аппаратов

Карта селективности действия аппаратов защиты строится в логарифмической системе координат и служит для проверки правильности выбора аппаратов защиты. На карту селективности наносятся:

- номинальный и пусковой токи электроприёмника;
- расчётный и пиковый ток силового распределительного шкафа;
- расчётный и пиковый ток подстанции;
- защитные характеристики защитных аппаратов (автоматических выключателей и предохранителя);
- значения токов КЗ в сети 0,4 кВ.

Защитные характеристики автоматических выключателей, которые необходимо использовать для построения карты селективности действия аппаратов защиты приведены в справочной литературе [3]; плавких предохранителей в справочной литературе [2].

Данные для построения карты селективности:

Номинальный ток электроприёмника,  $I_{\text{эл}\#13} = 92,4 \text{ А}$ ;

Расчётный ток ШР-2,  $I_p = 172,7 \text{ А}$ ;

Расчётный ток ТП-1,  $I_p = 957,2 \text{ А}$ ;

Пиковый ток ТП-1,  $I_{\text{п}} = 1400,7 \text{ А}$ ;

Защитная характеристика предохранителя ПН2 – 250;

Ток к.з. в точке 1,  $I_{\text{к1}} = 16,5 \text{ кА}$ ;

Ток к.з. в точке 2,  $I_{\text{к2}} = 13,54 \text{ кА}$ ;

Ток к.з. в точке 3,  $I_{\text{к3}} = 9,16 \text{ кА}$ ;

Ток к.з. в точке 4,  $I_{\text{к4}} = 7,2 \text{ кА}$ ;

Защитная характеристика выключателя ВА74-43,  $I_{\text{н.р.}} = 1250(\text{А})$ , уставка 2,5;

Защитная характеристика выключателя ВА74-40,  $I_{н.р.} = 500(A)$ , уставка

4,5;

Защитная характеристика выключателя ВА74-40,  $I_{н.р.} = 260(A)$ , уставка

8.

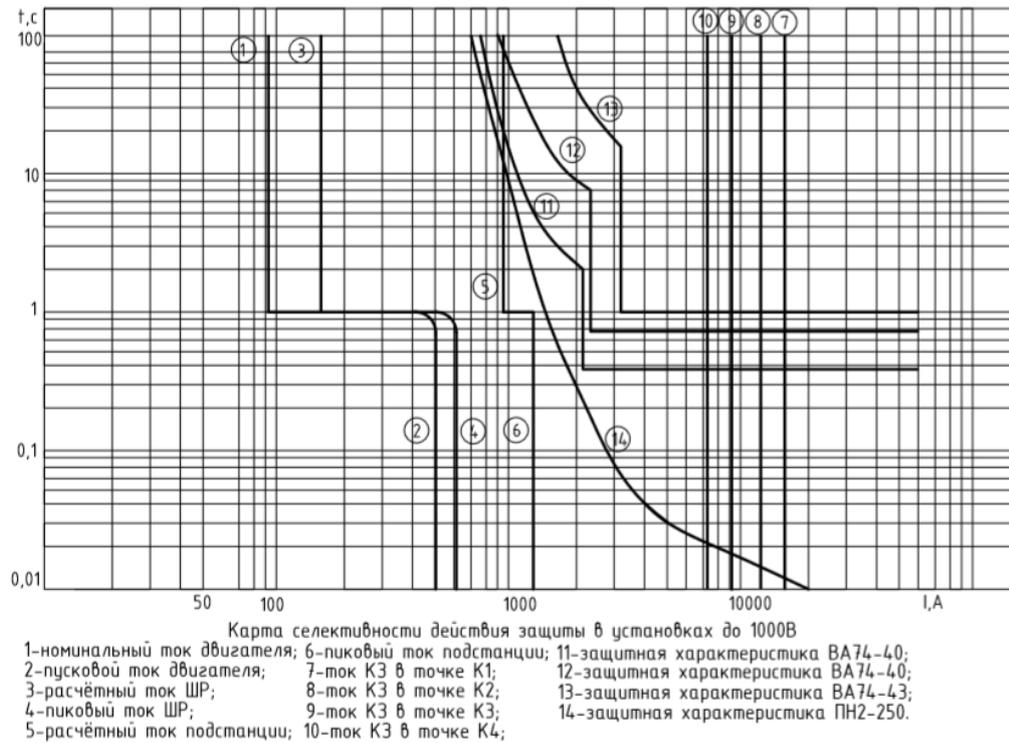


Рисунок 14 – Карта селективности

### 13 Схема учета электроэнергии на 0,4 кВ

Вопросы рационального, экономного расходования электроэнергии занимают важнейшую роль на промышленном предприятии. Одним из главных условий решения этих вопросов является организация доступной и качественной системы учета электроэнергии.

Учёт расхода электроэнергии на промышленных предприятиях проводят в следующих целях:

1. Расчёт за электроэнергию с электроснабжающей организацией;
2. Контроль расхода активной электроэнергии в отдельных цехах, на энергоёмких агрегатах, технологических линиях и других объектах;
3. Определение количества реактивной мощности, полученной потребителем от электроснабжающей организации или переданной ей ,в случаях, когда по этим данным производят расчёты или контроль соблюдения заданного режима работы компенсирующих устройств предприятия;
4. Составление электробалансов по предприятию в целом, а также по наиболее энергоёмким агрегатам, цехам и группам потребителей ,что даёт возможность на их основе производить анализ эффективности использования электроэнергии в производственном процессе, выявлять непроизводительные расходы и потери электроэнергии, разрабатывать и осуществлять мероприятия по их снижению и устранению;
5. Расчёт с потребителями (субабонентами), получающими электроэнергию через подстанции предприятия.

Учёт полученной потребителем электроэнергии для денежного расчёта за нее называют расчётным учётом электроэнергии. Счетчики, предназначенные для расчётного учёта, называют расчётными счетчиками, их устанавливают как правило на границе балансовой принадлежности электросети электроснабжающей организации и потребителя.

В системе общего учёта расхода электроэнергии на промышленном предприятии важное место занимает технический учёт, то есть контроль

расхода электроэнергии по цехам, энергоёмким агрегатам и линиям. Счетчики, устанавливаемые для технического учёта, называются счётчиками технического учёта. Технический учёт позволяет осуществлять контроль за соблюдением режимов электропотребления и является основой для составления электробалансов на промышленном предприятии. Наличие такого учёта позволяет определить удельный расход электроэнергии на различные виды выпускаемой продукции.

Расчётные счётчики находятся на балансе и в эксплуатации энергоснабжающей организации, а технические - на балансе и в эксплуатации промышленных предприятий и их суботонентов.

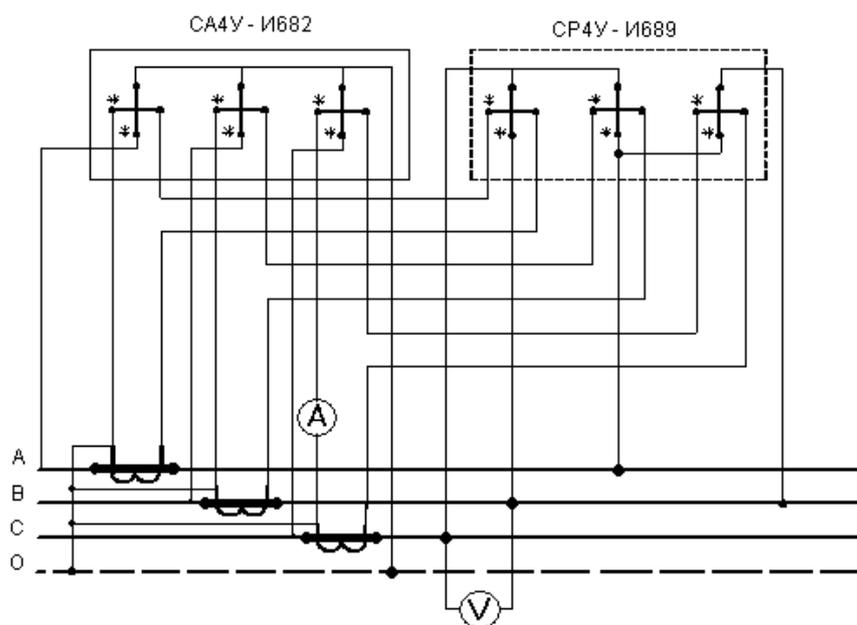


Рисунок 15 - Схема учета электроэнергии

Токовые обмотки соединяются последовательно и включаются во вторичные обмотки трансформатора тока каждой из фаз.

Для активного счетчика концы всех обмоток соединяются и подключаются к нулевому проводу, а начало подключают к соответствующей фазе.

Для реактивного счетчика, обмотка напряжения включается на любые из двух фаз, кроме той, к которой подключена обмотка трансформатора тока.

## 14 Расчет надёжности системы электроснабжения завода

### Исходные данные:

Принципиальная схема электроснабжения предприятия представлена ниже, на рис.16.

Таблица 14.1 - Параметры элементов СЭС

Элемент	$\lambda_0, [1/\text{год}]$	$L, [\text{км}]$	$t_{\text{в}}, [\text{час}]$	$q$	$\lambda_{\text{п}}, [1/\text{год}]$	$t_{\text{п}}, [\text{час}]$
B1	0,02		15	0,0000342	3,5	32
B2	0,02		15	0,0000342	3,5	32
B3	0,02		10	0,0000228	1	10
B4	0,02		10	0,0000228	1	10
B5	0,02		10	0,0000228	1	10
B6	0,02		10	0,0000228	1	10
B7	0,02		10	0,0000228	1	10
B8	0,02		10	0,0000228	1	10
B9	0,02		10	0,0000228	1	10
B10	0,02		10	0,0000228	1	10
П1	0,01		2	0,0000023	1	2
O1	0,015		14	0,0000240	0,2	8
O2	0,015		14	0,0000240	0,2	8
T1	0,016		280	0,0005114	0,33	110
T2	0,016		280	0,0005114	0,33	110
T3	0,01		80	0,0000913	0,3	30
T4	0,01		80	0,0000913	0,3	30
КЛ1	0,08	0,215	10	0,0000196	0,5	6
КЛ2	0,08	0,215	10	0,0000196	0,5	6
КЛ3	0,07	0,01	11	0,0000008	0,5	5
КЛ4	0,06	0,023	12	0,0000018	0,5	4
Пр1	0,06	0,01	12	0,0000008	0,5	4
Пр2	0,06	0,007	12	0,0000005	0,5	4

Параметры отделителя и короткозамыкателя представлены одним элементом O1,O2.

Таблица 14.2 - Параметры отключаемого элемента.

Элемент	$\lambda_{\text{п}}, [1/\text{год}]$	$t_{\text{п}}, [\text{час}]$	$q_{\text{п}}$
T1	0,33	110	0,012557

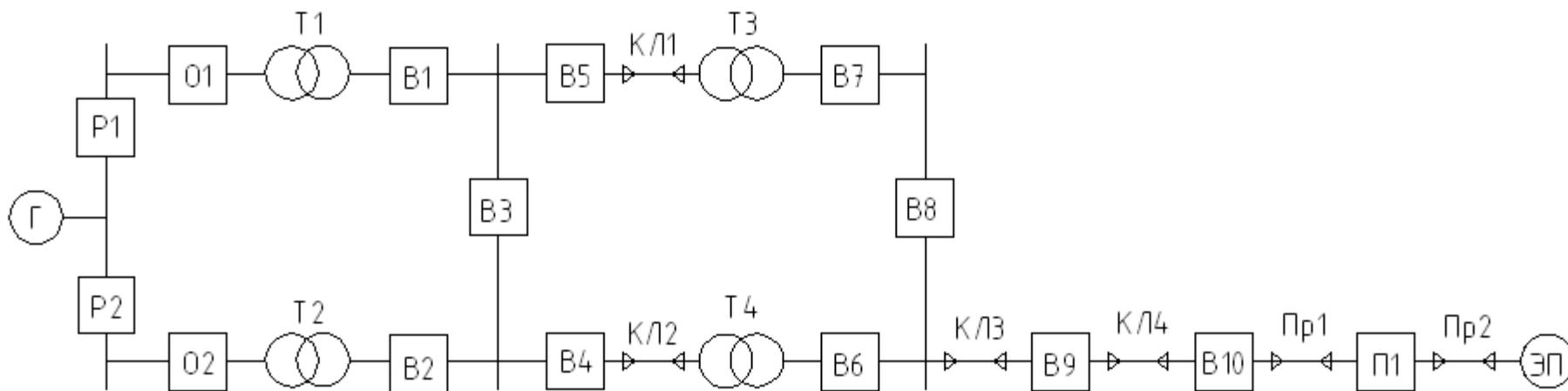


Рисунок 16 - Принципиальная схема электроснабжения предприятия.

Для СЭС определяем:

1. параметр потока отказа системы электроснабжения с учётом преднамеренных отключений;
2. среднюю вероятность отказа с учётом преднамеренных отключений;
3. среднее время безотказной работы;
4. среднее время восстановления;
5. недоотпуск электроэнергии потребителю за год;

Порядок расчёта:

1. принципиальная электрическая схема заменяется на расчётную по надёжности;
2. для всех элементов расчётной схемы определяются параметры потоков отказов и вероятность отказового состояния;
3. последовательно включённые элементы на расчётной схеме заменяются эквивалентными с соответствующим определением параметра потока отказа и вероятности отказового состояния;
4. расчётная схема по надёжности сводится к простой схеме с параллельно - последовательным соединением элементов;
5. определяются все интересующие параметры надёжности системы для узла нагрузки, относительно которого решается задача.

Расчёт произведём для схемы, представленной на рис.16 с преднамеренным отключением трансформатора Т1. Для удобства расчётов заменим принципиальную схему на рис.16 на элементную с соответствующими надёжностными параметрами, которая представлена на рис.17. Все этапы преобразования этой схемы представлены ниже.

Допущения:

При расчёте будем считать разъединители Р1, Р2 и выключатели В3 и В8 абсолютно надёжными (коэффициент надёжности равен 1). Поэтому с точки зрения надёжности вместе установки Р1, Р2, В3 и В8 ставим закоротку.

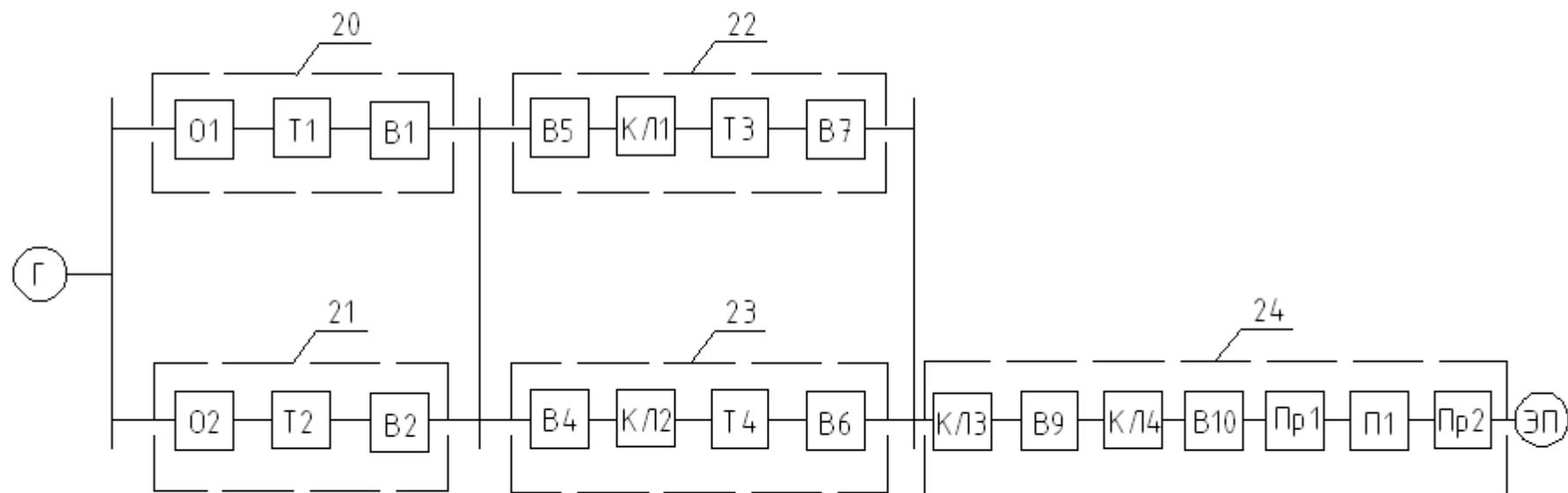


Рисунок 17 - Элементная схема после преобразования схемы на рис.16



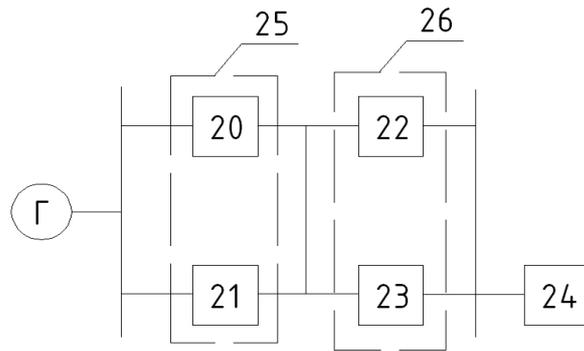


Рисунок 18 - Эквивалентная схема после преобразования схемы на рис.17

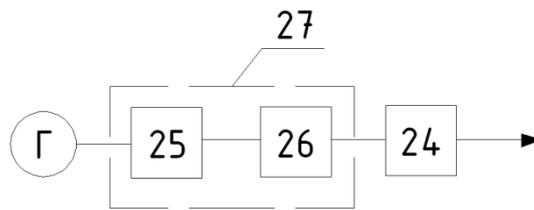


Рисунок 19 - Эквивалентная схема после преобразования схемы на рис.18.

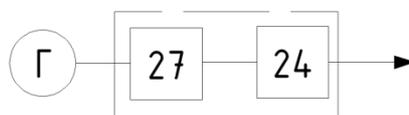


Рисунок 20 - Эквивалентная схема после преобразования схемы на рис.19.

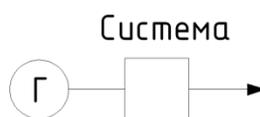


Рисунок 21 - Эквивалентная схема после преобразования схемы на рис.20

Заменим последовательно соединённые элементы O1, T1, B1 на элемент №20 с эквивалентными параметрами:

$$q_{20} = q_{v1} + q_{o1} + q_{t1} = 0,0005696$$

$$\lambda_{20} = \lambda_{B1} + \lambda_{O1} + \lambda_{T1} = 0,051$$

Заменим последовательно соединённые элементы O2, T2, B2 на элемент №21 с эквивалентными параметрами:

$$q_{21} = q_{B2} + q_{O2} + q_{T2} = 0,0005696$$

$$\lambda_{21} = \lambda_{B2} + \lambda_{O2} + \lambda_{T2} = 0,051$$

Заменим последовательно соединённые элементы B5, КЛ1, B7 и T3 на элемент №22 с эквивалентными параметрами:

$$q_{22} = q_{B5} + q_{КЛ1} + q_{B7} + q_{T3} = 0,0001565$$

$$\lambda_{22} = \lambda_{B5} + \lambda_{КЛ1} + \lambda_{B7} + \lambda_{T3} = 0,13$$

Заменим последовательно соединённые элементы B4, КЛ2, B6 и T4 на элемент №23 с эквивалентными параметрами:

$$q_{23} = q_{B4} + q_{КЛ2} + q_{B6} + q_{T4} = 0,0001565$$

$$\lambda_{23} = \lambda_{B4} + \lambda_{КЛ2} + \lambda_{B6} + \lambda_{T4} = 0,13$$

Заменим последовательно соединённые элементы B9, B10, КЛ3, КЛ4, Пр1, Пр2, П1 на элемент №24 с эквивалентными параметрами:

$$q_{24} = q_{B9} + q_{B10} + q_{КЛ3} + q_{КЛ4} + q_{Пр1} + q_{Пр2} + q_{П1} = 0,0000518$$

$$\lambda_{24} = \lambda_{B9} + \lambda_{B10} + \lambda_{КЛ3} + \lambda_{КЛ4} + \lambda_{Пр1} + \lambda_{Пр2} + \lambda_{П1} = 0,3$$

Заменим параллельно соединённые элементы №20 и №21 на элемент №25 с эквивалентными параметрами:

$$q_{25} = q_{20} * q_{21} = 3E-07$$

$$\lambda_{25} = \lambda_{20} * q_{21} + q_{20} * \lambda_{21} = 5,81E-05$$

Заменим параллельно соединённые элементы №22 и №23 на элемент №26 с эквивалентными параметрами:

$$q_{26} = q_{22} * q_{23} = 2,45E-08$$

$$\lambda_{26} = \lambda_{22} * q_{23} + q_{22} * \lambda_{23} = 4,06E-05$$

Заменим последовательно соединённые элементы №25, №26 на элемент №27 с эквивалентными параметрами:

$$q_{27} = q_{25} + q_{26} = 5,45E-07$$

$$\lambda_{27} = \lambda_{25} + \lambda_{26} = 9,87E-05$$

Заменяем последовательно соединённые элементы №27 и №24 эквивалентным элементом, характеризующим систему в целом:

$$q_c = q_{21}(q_{20} + q_{n20} \cdot K_{n20}) + q_{20}(q_{21} + q_{n21} \cdot K_{n21}) + q_{22}(q_{23} + q_{n23} \cdot K_{n23}) + q_{23}(q_{22} + q_{n22} \cdot K_{n22}) + (q_{24} + q_n) =$$

$$= 0,0005696(0,0005696 + 0,017123 \cdot 0,999173) + 0,0005696(0,0005696 + 0,017123 \cdot 0,999173) +$$

$$+ 0,0001565(0,0001565 + 0,003425 \cdot 0,855682) + 0,0001565(0,0001565 + 0,003425 \cdot 0,855682) +$$

$$+ (0,0000518 + 0,001142) = 0,00121491$$

$$\lambda_c = \lambda_{21}(q_{20} + q_{n20}) + q_{21}(\lambda_{20} + \lambda_{n20}) + \lambda_{20}(q_{21} + q_{n21}) + q_{20}(\lambda_{21} + \lambda_{n21}) + \lambda_{22}(q_{23} + q_{n23}) + q_{22}(\lambda_{23} + \lambda_{n23}) +$$

$$+ \lambda_{23}(q_{22} + q_{n22}) + q_{23}(\lambda_{22} + \lambda_{n22}) + \lambda_{24} = 0,051(0,0005696 + 0,017123) + 0,0005696(0,051 + 3,5) +$$

$$= 0,051(0,0005696 + 0,017123) + 0,0005696(0,051 + 3,5) + 0,13(0,0001565 + 0,003425) +$$

$$+ 0,0001565(0,13 + 1) + 0,13(0,0001565 + 0,003425) + 0,0001565(0,13 + 1) + 0,3 = 0,30713$$

Эквивалентное время восстановления оставшейся части схемы после преднамеренного отключения элемента Т1:

$$q_B = q_{21} + q_{24} + q_{26} = 0,000621$$

$$\lambda_B = \lambda_{21} + \lambda_{24} + \lambda_{26} = 0,351$$

После расчёта выше приведённых формул результаты подсчитываются и выводятся:

- эквивалентное время восстановления оставшейся части схемы после преднамеренного отключения элемента Т1:

$$t_{BЭ} = q_B \cdot 8760 / \lambda_B = 0,000621 \cdot 8760 / 0,351 = 15,498, \text{ час}; \quad (14.1)$$

- коэффициент понижения надёжности системы в связи с преднамеренным отключением элемента Т1:

$$K_{П} = 1 - e^{-t_{П}/t_{BЭ}} = 1 - e^{-110/15,498} = 0,999173; \quad (14.2)$$

- среднее время восстановления системы:  $t_{BС} = \frac{\sum \lambda_{0i} \cdot t_{Bи}}{\lambda_{0i}}$

$$= 17,73 / 0,702 = 25,26, \text{ час}; \quad (14.3)$$

- среднее время безотказной работы системы:

$$t_c = \frac{1}{\sum \lambda_{0i}} = 1 / 0,702 = 1,425, \text{ год}; \quad (14.4)$$

## Вывод:

Современные системы электроснабжения являются частью электроэнергетических систем, которые отличаются от других технических систем не только большими размерами, но и сложным характером взаимосвязей между отдельными элементами и внешней средой, а также между объектами производства и потребителями электроэнергии.

Надёжность функционирования такой системы электроснабжения характеризуется безотказностью работы составляющих её элементов.

В данной работе применяется вероятностный метод расчёта надёжности по средним значениям характеристик элементов схемы. Любая схема электроснабжения имеет функциональные, ответственные узлы, отключение которых вызывают аварийную ситуацию и в некоторых случаях полное отключение потребителей от питающей системы электроснабжения.

В данном спецвопросе диплома мы определили параметры, характеризующие надёжность электроснабжения завода. С их помощью электротехнический персонал предприятия имеет возможность прогнозировать и предотвращать недопустимые ситуации в системе электроснабжения завода.

## **15 Социальная ответственность**

### **Введение**

Охрана труда представляет собой систему законодательных актов, социально-экономических, организационных, технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда. В нашей стране государство направляет средства на проведение мероприятий по охране здоровья трудящихся и, в частности, на обеспечение техники безопасности и производственной санитарии. Мероприятия, связанные с созданием безопасных условий труда, осуществляются в плановом порядке.

В данном разделе дипломной работы рассмотрены следующие вопросы охраны труда: проанализированы условия труда с точки зрения наличия возможности появления вредных факторов и их воздействие на работающих, рассмотрены мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии, а также мероприятия по противопожарной профилактике на рабочем месте электромонтера ФГУП НПО «Вирион».

### **15.1 Анализ опасных и вредных факторов**

На предприятии рабочие часто сталкиваются с воздействием физически опасных и вредных производственных факторов. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»

Факторы, возникающие в результате технологического процесса на рабочем месте:

1. Опасные факторы:
  - механические травмы;
  - поражения электрическим током;
  - пожар;
  - взрыв.
2. Вредные факторы:

- климатическое состояние воздушной среды;
- низкая освещенность;
- шум;
- вибрации;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- статическое электричество;
- тепловое излучение.

Необходимо определить неблагоприятные производственные факторы, произвести их количественную оценку и ее сопоставление с нормативными требованиями для анализа опасных и вредных факторов и способам улучшений условий труда.

## 15.2 Виброакустические вредные факторы

Гигиеническое нормирование вибраций регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием, ГОСТ 12.1.012 – 2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования», Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.556 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».

Вибрация определяется следующими основными параметрами:

- частота  $f$ , Гц;
- амплитуда колебаний  $d$ , мм.

Таблица 15.2.1 - Гигиенические нормы вибрации

Вид вибрации	Допустимый уровень вибростойкости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц			
	2	4	8	50
Технологическая	108	99	93	92

Методы защиты от вибрации:

- снижение вибрации в источнике ее возникновения: замена динамических технологических процессов статическими, тщательный выбор

режима работы оборудования, тщательная балансировка вращающихся механизмов;

- уменьшение параметров вибрации по пути ее распространения от источника: вибродемпфирование, виброгашение, виброизоляция, жесткое присоединение агрегата к фундаменту большой массы, средства индивидуальной защиты (специальные рукавицы, перчатки, прокладки, виброзащитная обувь).

Шум наносит большой ущерб, вредно действует на организм человека и снижает производительность труда. Утомление рабочих из-за сильного шума увеличивает число ошибок при работе, способствует возникновению травм.

Сильный шум вредно отражается на здоровье и работоспособности людей. Продолжительность действия сильного шума вызывает общее утомление, может привести к ухудшению слуха, а иногда и к глухоте. Сильный шум в условиях производства может способствовать возникновению травматизма, т.к. на фоне этого шума не слышно сигналов транспорта, автопогрузчиков и других механизмов. Таким образом, шум вызывает нежелательную реакцию всего организма человека.

При нормировании шума используют два метода: нормирование по предельному спектру шума, нормирование уровня звука в дБ. Таким образом, шум на рабочих местах не должен превышать допустимых уровней, значение которых приведены в ГОСТ ISO 9612-2016 «Измерение шума на рабочем месте». Поэтому для рабочих мест данного цеха допустимый уровень звукового давления в активной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц есть 80 дБА, а допустимый уровень звука 85 дБА. При данном производственном процессе уровень шумов от предусмотренного оборудования лежит в допустимых границах .

Одним из основных методов уменьшения шума на производственных объектах является снижение шума в основных его источниках - в электрических машинах, вентиляторах и т. д.

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

Строительные нормы и правила СНиП 11-12-17 предусматривают защиту от шума строительными-акустическими методами, при этом для снижения уровня шума предусматриваются следующие меры:

- установка в помещениях звукопоглощающих конструкций и экранов;
- звукоизоляция ограждающих конструкций;
- уплотнение по периметру притворов окон, дверей, ворот;
- звукоизоляция мест пересечения ограждающих конструкций с инженерными конструкциями;
- устройство звукоизолированных кабин наблюдения и дистанционного управления технологическим процессом;
- укрытия в кожухи источников шума.

В качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении звука.

### **15.3 Электромагнитные поля от работы электрического оборудования**

Опасность воздействия электромагнитных полей усугубляется тем, что они не обнаруживаются органами чувств. Ослабление мощности электромагнитного поля на рабочем месте можно достигнуть путем увеличения расстояния между источником излучения и рабочим местом; уменьшением мощности излучаемого генератора; а также установкой отражающего и поглощающего экранов между источником и рабочим местом; применением индивидуальных средств защиты.

Согласно ГОСТ 12.11006-86 "Электромагнитные поля. Общие требования безопасности" предельно допустимая напряженность электромагнитного поля на рабочих местах 500 В/м.

Для защиты рабочих от электромагнитных излучений применяют заземлительные экраны в виде камер или шкафов, в которые помещают излучающую аппаратуру; кожухи; ширмы; защитные козырьки, устанавливаемые на пути излучения.

Средства защиты (экраны, кожухи и т.д.) сделаны из радиопоглощающих материалов в виде тонких резиновых ковриков, гибких и жестких листов поролона или волокнистой древесины.

Средства индивидуальной защиты: специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани, защитные очки, специальные каски и шлемы.

#### **15.4 Электробезопасность**

Гигиеническое нормирование ГОСТ 12.1.038 – 82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов» устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека при нормальном режиме работы электроустановок производственного и бытового назначения постоянного и переменного тока частотой 50 и 400 Гц, Правила устройства электроустановок ПУЭ и Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации ПОТ Р М – 016 – 2001; РД 153 – 34.0 – 03.150 – 00.

Основные факторы, определяющие опасность поражения электрическим током:

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

При длительном воздействии допустимый безопасный ток принят в 1 мА.

Таблица 15.4.1 - Зависимость длительности протекания тока через тело человека от его величины

Длительность воздействия, с	...30	30	1	0,7	0,5	0,2
Допустимый безопасный ток, мА	1	6	50	70	100	250

Основными мерами защиты от поражения током являются

- обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением от случайного прикосновения;
- электрическое разделение сети;
- устранение опасности поражения при появлении напряжения на корпусах, кожухах и других частях электрического оборудования, что достигается применением малых напряжений, использованием двойной изоляции, выравниванием потенциала, защитным заземлением, занулением, защитным отключением и др.;
- применение специальных защитных средств переносных приборов и приспособлений;
- организация безопасной эксплуатации электроустановок;
- применение индивидуальных средств защиты: изолирующие электрозащитные средства, ограждающие средства защиты, предназначенные для временного ограждения токоведущих частей, для временного заземления, предохранительные средства защиты предназначенные для индивидуальной защиты от световых, тепловых и механических повреждений.

Исправность средств защиты должна проверяться осмотром перед каждым применением, а также периодически через 6-12 месяцев.

К основным техническим средствам защиты от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся:

- электрическая изоляция токоведущих частей;
- ограждение;
- сигнализация и блокировка;
- использование малых напряжений;
- электрическое разделение сети;
- зануление;
- выравнивание потенциалов;
- защитное отключение;
- средства индивидуальной защиты и защитные средства: штанги

изолирующие, диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики, изолирующие подставки, слесарно-монтажный инструмент с изолированными рукоятками, переносные заземления, предупредительные плакаты, предохранительные пояса.

Согласно ПУЭ, сопротивление изоляции в электроустановках напряжением до 1000 В должно быть не менее 0,5 МОм.

#### *Статическое электричество*

Допустимые уровни напряженности электростатических полей установлены ГОСТ 12.1.045 – 84 «ССБТ. Электростатические поля.

Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».

Основные параметры :

- напряженность электростатического поля  $E$ , кВ/м.

Предельно допустимый уровень напряженности электростатического поля устанавливается равным 60 кВ/м в течении одного часа пребывания персоналом в электрическом поле.

Защита от электростатического электричества осуществляется:

- уменьшение генерации электрических зарядов;
- устранение уже образовавшихся зарядов (защитное заземление);

- нейтрализаторы статического электричества;
- увлажнение воздуха;
- средства индивидуальной защиты: обувь на кожаной подошве или подошве из электропроводной резины.

### **15.5 Освещенность**

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.

Нормирование освещенности производится в соответствии со СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

Освещение в производственных условиях определяется следующими основными параметрами:

- световой поток  $\Phi$ , Лм;
- сила света  $I$ , Кд;
- освещенность  $E$ , Лк;
- яркость  $L$ , Кд/м<sup>2</sup>.

Основные требования к рабочему освещению:

- освещенность на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительных работ;
- необходимо обеспечить достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и в пределах окружающего пространства;
- на рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени;
- в поле зрения должна отсутствовать прямая и отраженная бликоность - повышенная яркость светящихся поверхностей;
- величина освещенности должна быть постоянной во времени;

- следует выбирать необходимый спектральный состав света;
- следует выбирать оптимальную направленность светового потока;
- все элементы осветительных установок должны быть достаточно долговечны, электробезопасны, а также не должны быть причиной возникновения пожара или взрыва;

- установка должна быть удобной и простой в эксплуатации, отвечать требованиям эстетики.

В цехе предусмотрено четыре системы освещения:

- общее;
- аварийное;
- эвакуационное;
- ремонтное.

Предусмотрено, что аварийное освещение представляет  $\approx 30\%$  общего.

Освещение помещений предусматривается применением светильников с люминесцентными лампами 4x40 Вт в защите IP 54. С нижней стороны светильники закрыты опаловым перспексом в плоскости с подвесным потолком, и таким образом обеспечено полное уплотнение.

Согласно назначению помещения предусмотрены следующие уровни освещенности в помещениях:

- коридоры/коммуникации – 300 люкс
- канцелярии – 500 люкс
- производственные помещения – 500 – 600 люкс.

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. В этом случае обеспечивают уровень освещенности 2 люкса в течение 1,5 часа.

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.

### 15.5.1 Расчет освещения цеха на рабочем месте

В помещении, где производится контроль и упаковка вакцин (3 этаж, помещение А.52) производства НПО «Вирион» имеет размеры:  $A=16$  м,  $B=10$  м,  $H=4,8$  м,  $S=160\text{ м}^2$  Высота рабочей поверхности над уровнем пола  $h_{рп}=0,8$  м. Требуется рассчитать общее равномерное освещение при использовании в осветительной установке светильников типа ЛСП 01 (двухламповых) и составить схему размещения светильников в помещении.

**Решение.** Определяем для помещения лаборатории электронных устройств согласно СНиП 23-05-95 норму освещенности  $E = 300$  лк.

Коэффициент запаса  $Kз=1,5$ .

Расстояние от светильника до потолка  $h_{св}=0,5$  м.

Высоту подвеса светильника над рабочей поверхностью  $h = H - (h_{св} + h_{рп}) = 4,8 - (0,8 + 0,5) = 3,5$  м.

Из светотехнических характеристик светильника ЛСП 01 выбираем наиболее выгодное отношение  $\lambda_{нв} = L/h = 1,7$

Определяем расстояние между соседними рядами светильников:

$$L = \lambda_{нв} h = 1,7 * 3,5 = 5,95 \text{ м.}$$

Определяем число рядов светильников:

$$nB = B/L = 10/5,95 = 1,68, \text{ то есть число рядов светильников } 2.$$

Выбираем коэффициенты:  $\rho_{п} = 70\%$ ,  $\rho_{ст} = 50\%$ ,  $\rho_{рп} = 10\%$

Индекс помещения:

$$i = AB / (h(A+B)) = 160 / (3,5 * 26) = 1,75$$

Следовательно, коэффициент использования светового потока  $\eta = 0,49$

$$\Phi_{р} = E Kз Sz / nB \eta = 300 * 1,5 * 16 * 10 * 1,1 / (2 * 0,49) = 80816 \text{ лм.}$$

Можно выбрать лампы ЛХБ 150 со световым потоком  $\Phi_{л} = 8000$  лм

Необходимое число светильников в ряду:

$n_A = \Phi_p / \Phi_l = 80816 / 8000 = 10,102$ , то есть 10 светильников в ряду при использовании лампы ЛХБ 150; при этом длина ряда:  $1,536 * 10 = 15,36$  м.

Если рассмотреть альтернативу – 2 лампы ЛХБ 80-4, то потребуется также 10 светильников; длина ряда:  $1,536 * 10 = 15,36$  м.

Относительно длины помещения 16 м, оба варианта удовлетворяют условиям.

Целесообразным будет вариант с использованием 2х ламп ЛХБ 80-4 со световым потоком  $\Phi_l = 4220$  лм, который предполагает наилучшую освещенность. При этом светильники следует устанавливать в ряду без разрывов.

Расчетная освещенность:

$$E_p = 2E * ((\Phi_l * n_A) / \Phi_p) = 313,3 \text{ лк}$$

Относительная погрешность:

$$\delta_{отн} = ((E_p - E) * E) * 100\% = ((313,3 - 300) / 300) * 100\% = 4,43\%$$

Отклонение расчетной освещенности от нормируемой не превышает допустимые пределы.

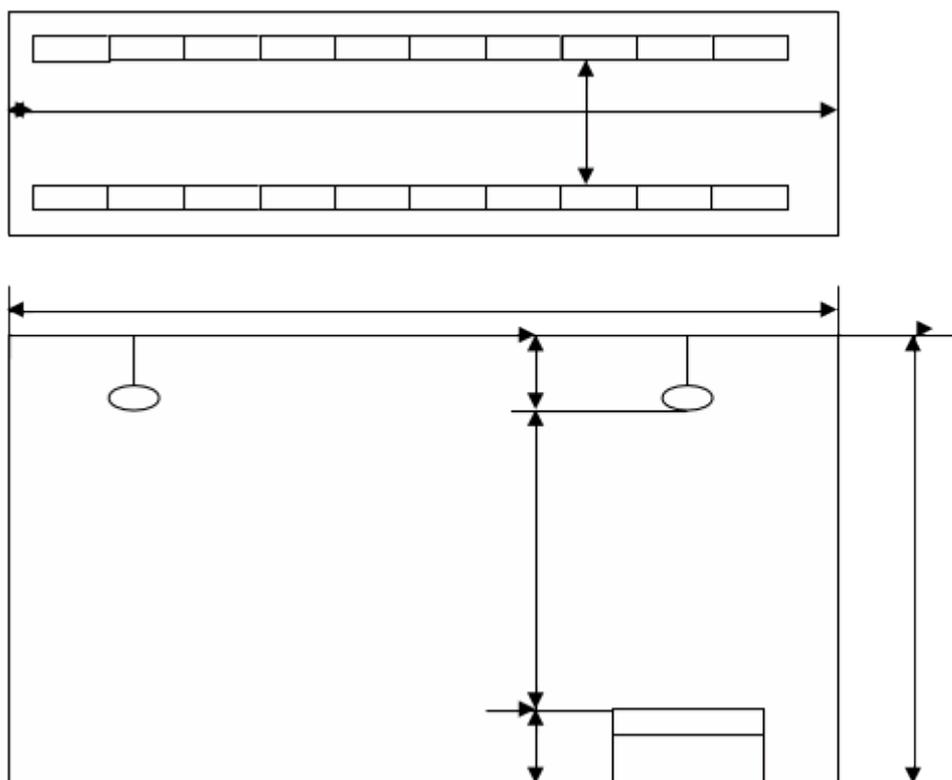


Рисунок 22.-Размещения светильников в помещении: в плане и в разрезе.

## 15.6 Техника безопасности

Техника безопасности - это система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих воздействие на работающих опасных производственных факторов.

Электроустановкой называется совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования, предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи распределения электроэнергии.

Электроустановки по условиям электробезопасности разделяются по ПУЭ на установки выше 1000 В и установки ниже 1000 В (по действующему значению напряжения).

ФГУП НПО «Вирион» относится к электроприёмникам второй категории, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой массовый недоотпуск промышленной продукции.

Электроприёмники второй категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания, и допускается перерыв в электроснабжении на время нужное для ремонта основного оборудования или для включения резервного питания дежурным персоналом.

При проектировании электроснабжения предусматривалось выполнение всех требований правил безопасности и техники эксплуатации электроустановок промышленных предприятий.

Подстанции производства необходимо обеспечить следующими защитными средствами:

1. Для работы с электроустановками выше 1000 В

*основные защитные средства:*

изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения для фазировки, 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.).

Изолирующие части основных средств защиты должны быть выполнены из электроизоляционных материалов с устойчивыми диэлектрическими свойствами (из фарфора, бумажно-бакелитовых труб, эбонита, гетинакса, пластических и стекло-эпоксидных материалов и т.д.).

Материалы, поглощающие влагу (бумажно-бакелитовые трубы, дерево и т.д.), должны быть покрыты влагостойким лаком и иметь гладкую поверхность без трещин, расслоений и царапин.

*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.

## 2. Для работы с электроустановками ниже 1000 В

*основные защитные средства:*

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

*дополнительные защитные средства:*

диэлектрические галоши,  
диэлектрические ковры,  
переносные заземления,

изолирующие подставки и накладки,  
оградительные устройства,  
плакаты и знаки безопасности.

Защитные средства должны сохраняться в порядке и находиться на специально отведенных для этого местах. Основные и дополнительные средства должны испытываться и иметь штамп, указывающий напряжение установки, для которой допустимо применять данные средства, а также срок следующего испытания.

Переносимые защитные заземления должны быть пронумерованы, и на каждое заземление необходимо иметь свой плакат, который вывешивается при установке заземления. Это исключит ошибочную подачу напряжения на "закороченный" фидер.

Каждая подстанция должна иметь комплект предупредительных плакатов.

На рабочем месте дежурного персонала должен находиться полный комплект рабочих инструкций и инструкций по технике безопасности:

1. Должностная инструкция дежурного данного района обслуживания.
2. Инструкция по производству оперативных переключений на подстанции данного района.
3. Инструкция действий оперативного персонала в случае аварии.
4. Инструкция по отысканию однофазных замыканий на землю в данном районе подстанций.
5. Инструкция дежурного персонала по технике безопасности.
6. Оперативный журнал.
7. Журнал производства работ.
8. Журнал телефонограмм.
9. Журнал закороток.

Кроме того, на подстанциях должен быть список лиц административно – технического персонала утвержденный главным энергетиком предприятия, имеющих право единоличного осмотра подстанций. У дежурного персонала,

обслуживающего ПС, раз в год должна производиться проверка знаний по ТБ и ПТЭ ЭПП, что должно отмечаться в журнале проверки знаний и на руки дежурному должно выдаваться удостоверение установленного образца.

К самостоятельному дежурству должны допускаться лица сдавшие экзамены по рабочему месту и имеющие квалификационную группу не ниже 4 разряда.

Распределительные устройства ПС должны быть выполнены согласно ПУЭ 4-2.

Подстанции должны быть укомплектованы также противопожарным инвентарем. В РУ и в камерах трансформаторов должны быть установлены ящики с песком, а также угольно-кислотные огнетушители. Двери камер трансформаторов должны быть трудносгораемыми (обшиты текстолитом).

### **15.7 Производственная санитария**

В обеспечении условий высоко производственного труда научно-технического персонала немаловажную роль играет микроклимат, т.е. факторы производственной среды, влияющие на физическое и эмоциональное состояние человеческого организма.

Нормы производственного микроклимата установлены системой стандартов безопасности труда ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и СанПиН 2.2.4.584 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- Температура воздуха  $t$ ,
- Относительной влажностью  $Y, \%$
- Скоростью движения ветра  $U$ , м/с.
- Предельно допустимая концентрация веществ ПДК;
- Интенсивность теплового излучения  $I$ , Вт/м<sup>2</sup>.

Под оптимальными микроклиматическими параметрами следует понимать такие, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционирования и теплового состояния организма, создают ощущение теплового комфорта и являются предпосылкой высокого уровня работоспособности. Для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Таблица 15.6.1 - Оптимальные нормы параметров микроклимата в рабочей зоне производственного помещения

Период года	Категория работ	Температура воздуха, t°С	Относительная влажность φ, %	Скорость движения воздуха v, м/с, не более
Холодный и переходный	Средней тяжести Пб	18-19	60-40	0,2
Теплый	Средней тяжести Пб	19-24	60-40	0,2

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования не должна превышать 100 Вт/м<sup>2</sup> при облучении не более 25% поверхности тела.

Мероприятия по созданию условий для нормальной терморегуляции организма:

механизация и автоматизация технологических процессов;

защита от источников теплового излучения с помощью теплозащитных экранов;

устройство систем вентиляции;

кондиционирование воздуха и отопление.

Мероприятия по борьбе с загрязненностью воздуха вредными газами, парами и аэрозолями:

удаление из производства или ограничение использования вредных веществ;

рационализация технологического процесса, устраняющая образование газов, паров и аэрозолей;

максимальная герметизация оборудования;

механизация и автоматизация производственных процессов;

увлажнение обрабатываемых материалов;

устройство различных систем вентиляции от мест выделения газов, паров или аэрозолей;

снабжение рабочих средствами индивидуальной защиты.

### **15.8 Воздухообмен**

В целях обеспечения необходимых санитарно-гигиенических норм воздушной среды в рабочих помещениях на предприятиях устанавливаются вентиляционные устройства, т.е. организованный и регулируемый обмен, обеспечивающий удаление из помещений воздуха, загрязненного вредными газами, парами, пылью.

Система вентиляции предусмотрена для вентиляции производственных помещений третьего этажа, приточный воздух подготавливается в климатической камере, производительность которой 24.500 м<sup>3</sup>/час, и которая работает со 100% приточным воздухом. Данная камера размещена на первом этаже. В составе камеры размещаются:

- входная секция
- основной фильтр
- секция парового нагревателя воздуха
- секция парового увлажнителя воздуха
- секция вентилятора приточного воздуха
- фильтра финишной очистки
- выходная секция.

Камера работает только с приточным воздухом, забор которого предусмотрен из отдельного кладеного бокса на первом этаже. Воздух, фильтруют на фильтре, затем зимой нагревают в паровом нагревателе воздуха и

увлажняют паром для увлажнения. Таким образом, приготовленный воздух, вентилятором через фильтр финишной очистки фильтруют и распределяют каналами из оцинкованного листа, размещенными в подвесном потолке к вихревым анемостатам и к алюминиевым решеткам, с помощью которых подают воздух в помещения.

Зимой воздух нагревают до температуры 22°C.

Каналы – воздуховоды для подачи и отвода воздуха изолируют тепловой и паровой изоляцией.

Из производственных помещений на первом и втором этажах предусмотрена вытяжка воздуха с помощью алюминиевых решеток и воздуховодами от оцинкованного листа, вентиляторной секцией, которая расположена на четвертом этаже и имеет мощность 6.050 м<sup>3</sup>/ч, воздух выбрасывают в атмосферу.

Из туалетов в северо-восточном крыле корпуса расположенных на первом и втором этажах предусмотрена вытяжка воздуха с помощью алюминиевых решеток и воздуховодами от оцинкованного листа, осевым вентилятором мощностью 700 м<sup>3</sup>/ч, воздух выбрасывают в атмосферу.

Из теплового пункта расположенного на первом этаже предусмотрена вытяжка воздуха с помощью осевого вентилятора мощность которого 200 м<sup>3</sup>/ч, воздух также выбрасывают в атмосферу.

Из помещения вакуумных насосов , помещения электропитания , помещения приготовления умягченной воды и холодильной станции , расположенных на первом этаже предусмотрена вытяжка воздуха с помощью алюминиевых решеток и воздуховодов от оцинкованного листа и вентиляторной секцией мощность которой 3.500 м<sup>3</sup>/ч, размещенной в помещении холодильного пункта, воздух выбрасывают в атмосферу.

Из туалетов в юго-западном крыле корпуса расположенных на первом и втором этажах предусмотрена вытяжка воздуха с помощью алюминиевых решеток и воздуховодами от оцинкованного листа, осевым вентилятором мощностью 2.150 м<sup>3</sup>/ч, воздух выбрасывают в атмосферу.

Из помещения каплеуловительные машины, расположенного на втором этаже предусмотрена вытяжка воздуха местным отсосом с помощью алюминиевых решеток и воздуховодами от оцинкованного листа, вентиляторной секцией, которая размещена на четвертом этаже и имеет мощность 5.650 м<sup>3</sup>/ч, воздух выбрасывают в атмосферу.

Из канцелярий и гардеробов в юго-западном крыле корпуса расположенных на третьем этаже предусмотрена вытяжка воздуха местным отсосом с помощью существующих зонтов и воздуховодами от оцинкованного листа, вентиляторной секцией, которая находится на четвертом этаже и имеет мощность 6.000 м<sup>3</sup>/ч, воздух выбрасывают в атмосферу.

Из склада в северо-восточном крыле корпуса расположенного на третьем этаже предусмотрена вытяжка воздуха с помощью алюминиевых решеток и воздуховодами от оцинкованного листа, осевым вентилятором мощностью 1.550 м<sup>3</sup>/ч, воздух выбрасывают в атмосферу.

### **15.8.1 Вентиляция технического помещения**

Вентиляция технического помещения расположенного на четвертом этаже осуществляется подачей рециркуляционного воздуха от систем кондиционирования в изменчивом количестве от 12.000 до 51.950 м<sup>3</sup>/час. Лишнее количество воздуха из технического помещения и чердачного пространства четвертого этажа вытягивают с помощью 5-ти осевых вентиляторов, которые смонтированы на стену между техническим и чердачным пространством четвертого этажа. Регуляция работы осевых вентиляторов выполняется так, что поддерживается подпор воздуха составляющий 5 Па. Подпор воздуха измеряет датчик давления, который дает сигнал общему регулятору числа оборотов для всех пяти осевых вентиляторов.

Механическая вентиляция обеспечивает очистку выбрасываемого наружу воздуха, что очень важно для воздушной среды, окружающей

предприятие. Условие выполнения, которого обеспечивает необходимые санитарно - гигиенические нормы воздушной среды:

$$\text{Концентрация } \text{мг/м}^3 < \text{ПДК } \text{мг/м}^3$$

### **15.9 Экология и охрана окружающей среды**

Влияние электрических сетей на окружающую среду определяется воздействием электрического поля, использованием земельных ресурсов, нарушением природных ландшафтов.

Электрическое поле ВЛ - это вредный, биологически активный фактор, воздействующий на человека и окружающую природную среду. Это влияние в основном ощущается на ВЛ напряжением 500-1150 кВ и 1500 кВ постоянного тока. В связи с этим напряженность электрического поля под проводами ВЛ сверхвысокого напряжения и нормируется, и контролируется в пределах охранной зоны у поверхности земли, обычно 1-15 кВ/м на высоте 18 м от земли.

Предельно допустимые уровни напряженности электрического поля:

1. Внутри жилых зданий 0,5 кВ/м, на территории жилой застройки 1кВ/м, в населенной местности, вне зоны жилой застройки, а также на территории огородов и садов 5 кВ/м, на участках пересечения ВЛ с автомобильными дорогами 10 кВ/м, в населенной местности (незастроенные местности, часто посещаемые людьми, доступные для транспорта и сельхоз угодья) 15 кВ/м.

2. При напряженности электрического поля выше 1 кВ/м должны быть приняты меры по исключению воздействия на человека ощутимых электрических разрядов и токов стекания.

3. Предельно допустимые значения напряженности нормируются для электрического поля, не искаженного присутствием человека. Напряженность электрического поля определяется на высоте 18 м от уровня земли, а для помещений от уровня пола.

4. Контроль за соблюдением предельно-допустимых уровней напряженности электрического поля следует производить:

- при приемке в эксплуатацию новых зданий, сооружений и зон организованного пребывания людей вблизи ВЛ;
- после проведения мероприятий по снижению уровней электрического поля ВЛ.

В целях экологической оптимизации трасс линий электропередач целесообразно в качестве природоохранной меры производить соответствующие биологические изыскания, картографирование местности по биологическим признакам, дифференцировать тарифы на вырубку лесов в размерах стимулирующих корректировку трассы, запрещать использование гусеничной тяги с большим давлением на грунт и т.п.

Для подстанций, находящихся вблизи населенных пунктов, нормируется шумовое воздействие на человека. Особенно неблагоприятны низкочастотные составляющие (около 50-150 Гц) шумовых характеристик трансформаторного оборудования. Превышение нормируемого значения уровня шумов (30 дБ на уровне открытой форточки в жилой застройке) устраняется мероприятиями по снижению уровня шумов (удаление подстанций от жилой территории, шумопоглощающие устройства, размещение трансформаторов в закрытых помещениях или камерах и т.п.)

Воздействие напряженности электрического поля на окружающую среду в не территории подстанции невелико.

Для персонала подстанции внутри ее территории напряженность электрического поля по нормам должна быть не более 15 м<sup>2</sup> на маршрутах обходов для просмотра оборудования, и не более 5 м<sup>2</sup> на рабочих местах у оборудования, где возможно длительное воздействие на персонал при профилактических ремонтных работах. В зонах, где эти значения превышены, производится экранирование площадок у рабочих мест и трасс на маршрутах обходов.

Для исключения влияния на окружающую среду возможных сбросах трансформаторного масла при авариях с маслонаполненным оборудованием, на подстанциях предусматриваются маслоприемники, аварийные маслостоки и закрытые маслосборники, в которые также могут поступать воды из маслоприемников содержащие следы масла. Вместе с тем необходимо отметить, что по своему устройству и режимам работы ВЛ и подстанций напряжением 500 кВ и выше не могут привести к катастрофическим авариям, связанным с массовым поражением людей Повреждения и аварии на подстанции  $U \geq 500$  кВ , как правило, не распространяются за пределы их внешней ограды. Некоторую опасность могут представлять только пожары на подстанциях, связанные с авариями трансформаторов большой мощности.

Мероприятия по охране природы регламентируются ГОСТ 17.0.001-86 (Основные положения), ГОСТ 17.2.1.01-86 (Атмосфера) и ГОСТ 17.11.02-86 (Гидросфера).

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

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- НЕРА фильтры, которые обеспечивает вытяжному воздуху то же качество, что и на входе.

Достаточная высота дымовых труб обеспечивает рассеивание выбросов на больших площадях, тем самым концентрации вредных газов в воздухе становится незначительными.

В самом процессе производства не образуются сточные воды. Сточные воды появляются в результате мойки оборудования и текущей уборки (речь идет о высокой степени разбавления), и специальными сливами отводятся в технологическую канализационную сеть. Предварительная обработка этой

воды перед выливанием в общие сети достигается отведением в бассейн для нейтрализации.

Твердые отходы, к которым относятся первичная упаковка сырья, б/у фильтры, и т.д. сжигаются в собственных устройствах. Если правила допускают, эти отходы выносятся на свалки. Твердые отходы, которые представляет вторичная упаковка, можно сортировать и отправлять на переработку на картонажно-бумажные фабрики.

Также для поддержания экологического равновесия в природе, на заводе проводятся мероприятия по озеленению территории предприятия близ прилежащих районов.

### **15.10 Чрезвычайные ситуации**

Энергетика является одним из самых ответственных звеньев народного хозяйства в условиях внезапного нападения, представляет важнейшую отрасль в сохранении нормальной работы, от которой зависит быстрая ликвидация последствий и восстановление функционирования всего производства.

К чрезвычайным ситуациям относятся военные действия, аварии, катастрофы, пожары, стихийные бедствия. Стихийные бедствия - явления природы, возникающие, как правило, внезапно. Они носят чрезвычайный характер и приводят к нарушению нормальной жизни, иногда гибели людей и уничтожению материальных ценностей. К стихийным бедствиям обычно относят:

- землетрясения
- наводнения
- селевые потоки
- оползни
- снежные заносы и др.

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. Они предназначены как для проведения спасательных работ в военное время, так и для ликвидации последствий стихийных бедствий и крупных аварий.

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

Важным условием быстрой ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций является соблюдение общественного порядка. Персонал, находящийся на территории предприятия должен проявлять высокую дисциплину, организованность, спокойствие, не поддаваться панике.

#### **15.10.1 Устойчивость работы объектов энергетики в чрезвычайных ситуациях**

Сущность устойчивости работы объектов народного хозяйства в чрезвычайных ситуациях заключается в разработке и заблаговременном проведении комплекса организационных и инженерно-технических мероприятий, направленных на максимальное снижение возможных потерь и разрушений в чрезвычайных ситуациях

Под устойчивостью работы объекта понимается способность объекта выпускать установленные виды продукции в объемах и номенклатуре, предусмотренных планами в условиях чрезвычайной ситуации.

#### **15.11 Пожарная безопасность**

Основной причиной пожаров на предприятиях является нарушение технологического режима. Это связано с большим разнообразием и сложностью технологических процессов. Основы противопожарной защиты определяются стандартами Федерального закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности, и ГОСТ

12.1.010-86 "Взрывоопасность. Общие требования". Этими стандартами возможная частота пожаров и взрывов допускается такой, чтобы вероятность их возникновения в течение года не превышала  $10^{-6}$  на человека.

Ответственность за соблюдение необходимого противопожарного режима и своевременное выполнение противопожарных мероприятий возлагается на руководителя предприятия и начальника цеха.

На предприятии на основе типовых правил пожарной безопасности для промышленных предприятий разрабатываются объектовые и цеховые противопожарные инструкции. В этих инструкциях определены основные требования пожарной безопасности для данного цеха или участка производства.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, режимные и эксплуатационные.

Организация мероприятий предусматривает правильную эксплуатацию машин и внутривозового трансформатора, правильное содержание зданий, территории, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, пожаро-технических комиссий, издание приказа по вопросам усиления пожарной безопасности и т.д.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при установке электроаппаратов, проводов, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования. Мероприятия режимного характера - это запрещение курения в не установленных местах, производства сварочных и других огневых работ в пожароопасных помещениях.

Эксплуатационными мероприятиями являются современные профилактические осмотры, ремонты и испытания технологического оборудования

В пожарную профилактику при проектировании и строительстве промышленных предприятий входят такие мероприятия как:

- зонирование территории (группирование в отдельные комплексы

объектов,

родственных по функциональному назначению и признаку пожарной опасности с учётом рельефа местности);

- устройство противопожарных разрывов и преград;
- предусмотрение пути эвакуации людей на случай пожара;
- удаление из помещения дыма при пожаре;
- повышение огнестойкости зданий и сооружений путём облицовки

или

оштукатуриванием металлических конструкций.

Для тушения пожара широко применяются различные химические средства, выбрасываемые в очаг пожара с помощью огнетушителей. В настоящее время наибольшее применение имеют ручные жидкопенные огнетушители типа ОП-1 и густопенные типов ОП-3 и ОП-56. Для этих огнетушителей применяется заряд, состоящий из кислотной и щелочной части. Применяются также и другие типы огнетушителей. Например, углекислотные огнетушители типов ОУ-2А, ОУ-5, ОУ-8 и др. предназначенные для тушения возгораний различных материалов и установок до 1000 В. Химический огнетушитель ОХП - 10 применяют для тушения загорания твёрдых материалов и горючих жидкостей на площади до 1 м<sup>2</sup>. Огнетушитель типа ОУБ-7 (углекислотно-бром-этиловый), он позволят тушить установки до 1000 В под напряжением.

При проектировании зданий необходимо предусмотреть безопасную эвакуацию людей на случай возникновения пожара. При возникновении пожара люди должны покинуть здание в течении и минимального времени, которое определяется кратчайшим расстоянием от места их нахождения до выхода наружу. В соответствии со СНиП 11-2-80, число эвакуационных выходов из помещения должно составлять не менее двух.

## 15.12 Особенность электроэнергетики

1. Одновременность выработки, передачи и потребления электроэнергии, и контроль за этими процессами.

2. Значительная территориальная разобщенность объектов и удаленность друг от друга и от центров управления

3. Необходимость обеспечения постоянного и четкого взаимодействия объектов друг с другом. Многообразие систем и устройств, обеспечивающих технологии производства, управления, регулирования и контроля.

4. Быстрое протекание процессов, связанных с отказом элементов или объектов энергетики и потерь электроснабжения. Поэтому электроэнергетика должна обладать высокой надежностью, оперативной управляемостью, живучестью, безопасностью. Под устойчивостью работы понимается способность объекта вырабатывать и передавать электроэнергию в объемах установленных планами, а при получении слабых и средних разрушений восстанавливать производство в кратчайшие сроки.

Устойчивость работы предприятия зависят от следующих факторов:

- Надежности защиты работающих от оружия массового поражения и от других средств нападения в чрезвычайной ситуации.
- Надежной работой объектов энергетики в составе энергосистемы и в аварийных режимах.
- Способности инженерно-технического комплекса предприятия в определенной степени противостоять воздействию ударной волны, светового излучения, радиоактивному заражению, электромагнитному импульсу.
- Защищенности объектов энергетики от воздействия вторичных факторов поражений и стихийных бедствий.
- Надежности системы снабжения объектов энергетики для

производства энергии.

- Надежности системы управления производством и гражданская оборона.
- Наличие в энергосистеме резервов установленной мощности и передвижных источников энергии.
- Готовность объектов энергетики к ведению спасательных работ и первоочередных восстановительных работ в очагах поражения.

Повышение устойчивости функционирования объектов в чрезвычайной ситуации заключается в заблаговременной разработке и осуществлении комплекса инженерно-технических мероприятий, организационных, экономических и прочих, направленных на:

- 1.Предотвращение производственных аварий.
- 2.Снижение возможных потерь и разрушений от современных средств поражения, от вторичных факторов и стихийных бедствий.
- 3.Создание условий для восстановления разрушенного производства в минимальные сроки.
- 4.Обеспечение жизнедеятельности населения.

Требования по обеспечению устойчивости объектов энергетики в чрезвычайных ситуациях сводятся к выполнению следующих мероприятий:

- обеспечение защиты рабочих, служащих и членов их семей и их жизнедеятельности.
- рациональное размещение основных производственных фондов объекта.
- подготовка к работе объекта в чрезвычайной ситуации и выполнению работ по восстановлению объекта.
- Подготовка системы управления объекта для решения задач в чрезвычайных ситуациях.

### **15.13 Единовременные и ежемесячные выплаты**

Размер единовременной страховой выплаты определяется в соответствии со степенью утраты застрахованным профессиональной трудоспособности исходя из максимальной суммы, установленной федеральным законом о бюджете Фонда социального страхования Российской Федерации на очередной финансовый год.

Ежемесячные страховые выплаты подлежат выплате застрахованному работнику на протяжении всего периода стойкой утраты им профессиональной трудоспособности.

Если при расследовании страхового случая комиссией по расследованию страхового случая установлено, что грубая неосторожность застрахованного содействовала возникновению или увеличению вреда, причиненного его здоровью, размер ежемесячных страховых выплат уменьшается соответственно степени вины застрахованного, но не более чем на 25 процентов. Степень вины застрахованного устанавливается комиссией по расследованию страхового случая в процентах и указывается в акте о несчастном случае на производстве или в акте о профессиональном заболевании. При определении степени вины застрахованного рассматривается заключение профсоюзного комитета.

## Литература

1. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под. ред. Г.М. Кнорринга. Л., «Энергия», 1976г.
2. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие/ Том. политехн. ун-т. – Томск, 2002. – 100 с.
3. Плахов А.М. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 156 с.
4. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов/ С.В.Белов, А.В.Ильницкая, А.Ф.Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В.Белова. 2-е изд., испр. и доп. - М.:Высш.шк., 1999. – 448 с.: ил.

## **16 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Цель данного раздела - рассмотрение технического проекта с точки зрения его целесообразности и эффективности. Для достижения цели решаются следующие задачи:

- Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- Планирование бюджета НИ;
- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности НИ.

Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Целевой рынок - сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. Сегмент рынка - это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками. В зависимости от категории потребителей необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования.

В данном случае при рассмотрении вопросов системы электроснабжения промышленного предприятия решается вопрос о применении того или иного типа высоковольтного выключателя. В соответствии с поставленной задачей сегментирование представлено в виде таблицы.

Таблица 16.1 - Карта сегментирования услуг электроэнергетики в сфере электроснабжения

Размер предприятия	Место для установления оборудования	
	Вне помещения	В помещении
Мелкие	ВВ(а), ВВ, ВЭ	ВМ,ВМП,
Средние	ВМП, ВВ, ВЭ	ВВ(а), ВВ
Крупные	ВМ, ВМП, ВЭ	ВВ

где ВМ - выключатель масляный; ВМП - выключатель маломасляный (подвесного типа) (№1); ВВ - выключатель воздушный; ВЭ - выключатель электромагнитный (№2); ВВ(а) - выключатель вакуумный (№3).

Экономическая оценка рассматриваемых вариантов заключается в определении капитальных вложений и ежегодных издержек. Вариант с меньшими затратами не всегда является окончательным. Для правильного выбора варианта необходимо охарактеризовать степень экономичности одного варианта по отношению к другому, при этом нельзя не учитывать такие важные факторы, как надежность электроснабжения, качество электроэнергии и электробезопасность.

### **16.1 Анализ конкурентных технических решений**

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

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования;
- бюджет разработки и т.д.

Одним из способов данного анализа является составление оценочной карты, приведенной в таблице.

Таблица 16.1.1 - Оценочная карта конкурентных технических решений

Критерии оценки	$B_i$	Баллы			Конкурентоспособность		
		№1	№2	№3	$K_{ki}$		
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Надёжность	0,23	3	4	4	0,69	0,92	0,92
2. Простота обслуживания	0,09	4	2	3	0,36	0,18	0,186
3. Пожаробезопасность	0,2	1	5	4	0,4	1	0,8
4. Срок службы	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
5. Масса	0,05	1	3	3	0,1	0,15	0,15
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,7	4	3	2	2,8	2,1	1,4
2. Ежегодные затраты на поддержание	0,12	1	3	4	0,12	0,36	0,48
3. Конкурентоспособность	0,09	2	4	4	0,27	0,36	0,36
4. Предполагаемый срок окупаемости	0,05	2	3	3	0,1	0,15	0,15
Итого	1	21	31	32	4,8	5,62	4,48

Анализ конкурентных технических решений:

$$K = \sum V_i \cdot B_i \quad (18.1)$$

где:  $k$  - конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V$  - вес показателя (в долях единицы);

$B$  - балл  $i$ -го показателя.

Пример:

$$K_{кх} = \sum V_i \cdot B_i = 0,23 \cdot 3 + 0,09 \cdot 4 + 0,2 \cdot 1 + 0,1 \cdot 3 + 0,05 \cdot 1 + 0,7 \cdot 4 + 0,12 \cdot 1 + 0,09 \cdot 2 + 0,05 \cdot 2 = 4,8.$$

Согласно оценочной карте наиболее конкурентоспособной является выключатель под номером 2.

Уязвимость данного варианта относительно конкурентов обусловлена сложностью конструкции дугогасительной камеры с системой магнитного дутья, ограниченным верхним пределом номинального напряжения (15—20 кВ), ограниченной пригодностью для наружной установки.

## 16.2 SWOT анализ

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

применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрице SWOT с дополнением знаков для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» - сильное соответствие; «-» - слабое соответствие, «0» - при сомнениях в соответствии).

Проведем SWOT-анализ для 1 варианта.

Составление матрицы SWOT:

Таблица 16.2.1 - Матрица SWOT 1 вариант

	<b>Сильные стороны проекта:</b> С1: Простота конструкции С2: Ремонтпригодность С3: Надежность С4: Высокая коммутационная износостойкость С5: Пожаро- и взрывобезопасность С6: Отсутствие шума С7: Малые эксплуатационные расходы С8: Малые размеры	<b>Слабые стороны проекта:</b> Сл1: Сравнительно номинальные токи и токи отключения Сл2: Возможность коммутационных перенапряжений отключения малых индуктивных токов Сл3: Небольшой ресурс дугогасительного устройства по отключению токов короткого замыкания
<b>Возможности проекта</b> В1: Современная разработка вакуумного выключателя с возможностью синхронной коммутации решает проблему коммутационных перенапряжений В2: Разработка выключателей из материалов, устойчивых к различным изменениям окружающей среды	В1С3С4  В2С3С5	В2Сл2
<b>Угрозы проекта</b> У1: Современная разработка вакуумного выключателя с возможностью синхронной коммутации и использование усовершенствованных материалов приведет к ещё большему удорожанию выключателя У2: Усовершенствование вышеуказанными методами выключателя	У1С7  У2С1С8	У2Сл1

Таблица 16.2.2 - Интерактивная матрица сильных сторон и возможностей

		Сильные стороны проекта							
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	B1	-	0	+	+	0	0	-	-
	B2	0	0	+	0	+	0	-	0

Таблица 16.2.3 - Интерактивная матрица слабых сторон и возможностей

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

Таблица 16.2.4 -Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и угроз проекта

		Сильные стороны проекта							
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	У1	0	0	-	0	0	0	+	0
	У2	+	0	0	0	0	0	0	+

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

Проведем SWOT анализ для 2 варианта.

Таблица 16.2.5 - Матрица SWOT 2 вариант

	<b>Сильные стороны проекта:</b> С1: Полная взрыво- и пожаробезопасность С2: Низкий уровень коммутационных перенапряжений С3: Малый износ дугогасительных контактов С4: Относительно высокая отключающая способность С5: Не требуют масла или другой гасящей среды С6: Экологическая чистота	<b>Слабые стороны проекта:</b> Сл1: Сложность конструкции дугогасительной камеры с системой магнитного дутья Сл2: Высокая проводимость стенок дугогасительной камеры Сл3: Ограниченный верхний предел номинального напряжения Сл4: Ограниченная пригодность для наружной установки
<b>Возможности проекта</b> В1: Установка изоляционных дугостойких экранов позволит уменьшить проводимость стенок	V1C3C4	V1Сл1
<b>Угрозы проекта</b> У1: Установка изоляционных дугостойких экранов приведет к ещё большему удорожанию электромагнитного выключателя У2: Усовершенствование выше указанным методом приведет к увеличению габаритов и веса	У2С4	У2Сл4

Таблица 16.2.6 - Интерактивная матрица сильных сторон и возможностей

		Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6
		V1	0	0	+	+	0

Таблица 16.2.7 - Интерактивная матрица слабых и сильных сторон и возможностей

		Слабые стороны проекта			
Возможность и проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
		V1	+	-	0

		Сильные стороны проекта					
Угрозы		C1	C2	C3	C4	C5	C6
		У1	0	0	-	-	0
	У2	0	0	0	+	0	0

Таблица 16.2.8 - Интерактивная матрица слабых сторон и угроз

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

Подводя итоги SWOT анализа необходимо отметить, что возможности разрабатываемого проекта, такие как использование усовершенствованных материалов, изоляционных дугостойких экранов, а также разработка устройства синхронной коммутации ещё больше усилят сильные стороны разработки, такие как долговечность, надежность, коммутационную износостойкость.

Также реализация этих возможностей позволит сделать научно-техническую разработку более конкурентоспособной за счёт уменьшения слабых сторон проекта, а именно: коммутационных перенапряжений при отключении малых индуктивных токов и ресурса дугогасительного устройства по отключению токов короткого замыкания, высокой проводимости стенок дугогасительной камеры, сильного шумового эффекта при отключении токов КЗ. Однако стоит опасаться угроз проекта, обусловленные применением более усовершенствованных материалов, устройства синхронной коммутации и изоляционных экранов, которые, вероятно, увеличат стоимость разработки. Поэтому при возможном усилении слабых сторон проекта необходимо найти баланс соотношения между ценой, качеством и надёжностью НТИ, чтобы проект был конкурентоспособным на рынке электроэнергетики

### **16.3 Планирование научно-исследовательской работы.**

#### **Структура работы в рамках научного исследования**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;

- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице.

Таблица 16.3.1 - Перечень этапов работ и распределение исполнителей

№ п/п	Содержание работ	Должность исполнителя
1	Составление технического задания	Руководитель
2	Изучение литературы	Инженер
3	Расчет электрических нагрузок	Инженер
4	Расчет таков короткого замыкания	Инженер
5	Выбор электрооборудования	Инженер
6	Подготовка графического материала	Инженер
7	Составление пояснительной записки	Инженер
8	Проверка проекта	Руководитель
9	Исправление проекта	Инженер
10	Повторная проверка проекта	Руководитель
11	Сдача выпускной квалификационной работы	Инженер , Руководитель

Минимальное и максимальное время выполнения работ получено на основе экспортных оценок.

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в штат которой входят научный руководитель (далее руководитель) и дипломник. Составлен перечень работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

#### **16.4 - Определение трудоемкости выполнения работ**

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников выполнения проекта.

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = 3t_{mini} + 2t_{maxi}/5 \quad (18.2)$$

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

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

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

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

$$T_{pi} = t_{ожі} / Ч_i \quad (18.3)$$

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

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

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

Результаты расчетов сводим в таблицу.

Таблица 16.4.1 – Трудоемкость выполнения работ

№ п/п	Вид работ	Должность исполнителя	$t_{min5}$	$t_{max}$ , чел. -дн	$I_{ож}$ , чел. -дн	Ч, чел	$T_p$ , дн
1	Составление ТЗ	Руководитель	2	5	3,2	1	4
2	Изучение литературы	Инженер	7	9	7,8	1	8
3	Расчет электрических нагрузок	Инженер	16	20	17,6	1	18
4	Расчет токов КЗ	Инженер	14	19	16	1	16
5	Выбор ЭО	Инженер	13	20	15,8	1	16
6	Подготовка графического	Инженер	18	22	19,6	1	20
7	Составление ПЗ	Инженер	12	14	12,8	1	13
8	Проверка проекта	Руководитель	5	7	5,8	1	6
9	Исправление проекта	Инженер	9	11	9,8	1	10
10	Повторная проверка проекта	Руководитель	3	6	4,2	1	5
11	Сдача ВКР	Инженер	3	4	3,4	1	4
		Руководитель	1	2	1,4	1	2
Итого:							120

На основании таблицы построим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта.

Согласно календарному плану-графику работами, имеющими наибольшую длительность выполнения, являются: подготовка графического материала (20 дней), расчет электрических нагрузок (18 дней), расчет токов КЗ (16 дней), выбор электрооборудования (16 дней).

Таблица 16.4.2 - Диаграмма Гранта

№ п/п	Вид работ	Исполнители	Тр, дн	Продолжительность выполнения работ												
				Фев.		Март			Апрель			Май			Июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление ТЗ	Руководитель	4	■												
2	Изучение Литературы	Инженер	8		■	■										
3	Расчет электрических нагрузок	Инженер	18		■	■	■									
4	Расчет токов КЗ	Инженер	16				■	■	■							
5	Выбор ЭО	Инженер	16						■	■						
6	Подготовка графического материала	Инженер	20							■	■	■				
7	Оставление ПЗ	Инженер	13									■	■	■		
8	Проверка проекта	Руководитель	6											■	■	
9	Исправление проекта	Инженер	10												■	
10	Повторная проверка проекта	Руководитель	5													■
11	Сдача ВСТ	Инженер	4													■
		Руководитель	2													■

Ц - цена приобретения единицы /-го вида потребляемых материальных ресурсов;

Материальные затраты на разработку проекта приведены в таблице

Таблица 16.4.3 -Материальные затраты

Наименование	Количество, шт	Цена, руб.	Затраты на материалы, ( $Z_m$ ), руб.
Бумага	1	250	250
Карандаш	1	20	20
Ластик	1	20	20
Ручка	2	100	200
Папка	1	100	100
Калькулятор	1	750	750
Линейка	1	50	50
Услуги печати	200	2	400
Итого:			1790

### 16.5 Полная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, участвующих в выполнении работ. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системе окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется так:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (18.4)$$

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

$Z_{доп}$  - дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) исполнителя рассчитывается:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (18.5)$$

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

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

$T_p$  - продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = Z_{тс} + Z_{доп} + Z_{р.к.}/F_d \quad (18.6)$$

где  $Z_{тс}$  - заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$Z_{допл}$  - доплаты и надбавки, руб.;

$Z_{р.к.}$  - районная доплата, руб.;

$F$  - количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе, 22 при 5-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице.

Таблица 18.5.1 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$Z_{допл}$ , руб.	$Z_{р.к.}$ , руб.	$Z_{м}$ , руб.	$Z_{дш}$ , руб.	Тр. раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	33163	2700	10759	46622	1793	17	30484
Инженер	2344	350	808	3502	135	103	13900
Итого $Z_{осн}$ , руб.							44384

Дополнительная заработная плата составляет 12 - 15% от основной.

Расчет полной заработной платы приведен в таблице.

Таблица 18.5.2 - Расчет полной заработной платы

Исполнители	$k$	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{доп}$ , руб.	$Z_{зп}$ , руб.
Руководитель	0,15	30484	4516	35000
Инженер	0,12	13900	1600	15500
Итого $Z_{осн}$ , руб.		44384	6116	50500

## 16.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством РФ нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется так:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп}) \quad (18.7)$$

где  $k_{внеб}$  - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{внеб} = 0.302 * (44384 + 6116) = 15,3 \text{ тыс.руб.}$$

## 16.7 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущей статье расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принята в размере 10%.

$$Z_{\text{накл}} = 80000 \cdot 0,1 = 8000 \text{ тыс. руб}$$

## 16.8 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице.

Таблица 16.8.1 - Схема технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Доля, %
1.Материалы	1,8	2,25
2.Заработная плата	50,5	65,75
3.Отчисления во внебюджетные фонды	15,3	22,12
4.Накладные расходы	8	10
5.Итого	80	100

Таким образом, общие затраты на реализацию технического проекта составят 80 тысяч рублей, из которых более половины (65,75%) составят затраты по полной заработной плате исполнителей, треть - отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы.

## 16.9 Определение ресурсоэффективности проекта

Оценку характеристик проекта проведем на основе критериев, соответствующих требованиям к системе электроснабжения промышленных предприятий:

Безопасность - уровень безопасности условий труда при проектировании и эксплуатации проекта;

Удобство в эксплуатации - спроектированная система удобна для пользования потребителями;

Помехоустойчивость - способность системы передачи информации противостоять искажающему действию помех;

Энергосбережение - эффективное использование и экономное расходование энергетических ресурсов;

Надежность - обеспечивается требуемая категория надежности электроснабжения;

Материалоемкость - высокая эффективность использования материальных ресурсов в производстве.

Сравнительная оценка характеристик технического проекта приведена в таблице.

Таблица 16.9.1 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Безопасность	0,25	5
2. Удобство в эксплуатации	0,10	4
3. Помехоустойчивость	0,15	4
4. Энергосбережение	0,15	4
5. Надежность	0,25	5
6. Материалоемкость	0,10	4
Итого:	1,00	

Рассчитаем интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 = 4,5.$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта.

В результате выполнения поставленных задач по данному разделу, можно сделать следующие выводы:

- В результате доведения SWOT анализа были выявлены сильные и слабые стороны проекта, доведена оценка надежности и возможностей проекта. Сильные стороны обеспечивают высокую эффективность и безопасность проекта. Кроме того, низкие вероятности угроз обеспечивают высокую надежность для реализации проекта.

- При планировании технико-конструкторских работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая грамотно спланировать рабочее время исполнителей.

- Составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на проектирование ТП.

- Оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат, что говорит об эффективности реализации технического проекта.

Обобщив выводы, можно заключить, что реализация данного технического проекта, позволяет увеличить эффективность машиностроительного завода: социальную, путем обеспечения требований безопасности и надежности; ресурсосберегающую, путем внедрения универсального и энергоэффективного оборудования, требующего меньших затрат при эксплуатации.

## заклучение

## Список используемой литературы

1. Мельников А.С. Электроснабжение промышленных предприятий // Учебное пособие. – Томск: ТПУ, 1999. – 118 с.
2. Барченко Т.Н., Закиров Р.И. Электроснабжение промышленных предприятий // Учебное пособие к курсовому проекту. – Томск: ТПУ, 1998. – 96 с.
3. А.И. Гаврилин, С.Г. Обухов, А.И. Озга. Электроснабжение промышленных предприятий // Методические указания к выполнению выпускной работы бакалавра для студентов направления 551700 – «Электроэнергетика» – Томск: изд. ТПУ, 2001. – 94 с.
4. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. – М.: Высш. шк., 1990.-366 с.
5. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций – М.: Энергоатомиздат, 1987. - 646с.
6. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. – М.: Энергоатомиздат, 1988. - 463с.
7. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учеб. Пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.: ил.
8. Мельников М.А. Релейная защита и автоматика элементов систем электроснабжения промышленных предприятий. Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 142 с.
9. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебник для вузов. М., «Энергия», 1973. – 584 с.; ил.
10. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового проектирования: Учеб пособие для вузов. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил.
11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности электроустановок потребителей. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 424 с.: ил.

12. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.: ил.
13. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. Учебник для техникумов. 3-е изд., перераб. и доп. – М. Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.: ил.
14. Соколов Б.А., Соколова Н.Б. Монтаж электрических установок. – 3-е изд., перераб. и доп. – М., Энергоатомиздат, 1991. – 592 с.: ил.
15. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Т.1. Электроснабжение / Под общ. ред. А.А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 568 с.: ил.
16. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Т.2. Электрооборудование / Под общ. ред. А.А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 592 с.: ил.
17. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Под общ. ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. В 2-х кн. Кн.1. Проектно – расчетные сведения. М., «Энергия», 1973. – 520 с., ил.
18. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 427 с., ил.
19. Электротехнический справочник: В 3 т. Т.1. Общие вопросы. Электротехнические материалы / Под общ. ред. Профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 7-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 488 с.: ил.
20. Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 2. Электротехнические изделия и устройства / Под общ. ред. Профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. И.Н. Орлов) – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 518 с.: ил.