

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

Институт Электронного обучения
Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электропривод электрооборудования

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электроснабжения машиностроительного завода АСАКА-Андижан
<u>УДК 621.31.031:621.002(575.1)</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Самидуллаев Зокиржон Алимкул Угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭПЭО	Кладиев С.Н.	К.Т.Н. доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Фигурко А.А.	К.Э.Н. доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экологии и БЖД	Король И.С.	К,Х Н. доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭПЭО	Дементьев Ю.Н.	К.Т.Н. доцент		

Томск – 2017 г.

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

Институт Электронного обучения

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электропривод электрооборудования

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата кон-троля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
13.04.2017	<i>Выбор схемы электроснабжения цеха. Расчет нагрузок цеха.</i>	12
17.04.2017	<i>Определение расчетных электрических нагрузок по цехам и по заводу в целом. Построение картограммы и определение условного центра электрических нагрузок, зоны рассеяния условного центра электрических нагрузок.</i>	12
06.05.2017	<i>Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности.</i>	20
13.05.2017	<i>Выбор и проверка внутризаводских линий. Расчет потерь в КТП и внутризаводских линиях. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП. Выбор и проверка питающих линий ГПП.</i>	7
20.05.2017	<i>Расчет токов КЗ выше 1 кВ. Проверка внутризаводских линий по токам КЗ.</i>	7
24.05.2017	<i>Выбор и проверка высоковольтного оборудования</i>	7
29.05.2017	<i>Выбор распределительных пунктов в сети ниже 1000В. Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В. Выбор аппаратов защиты и построение карты селективности действия защитных аппаратов. Построение эпюр отклонения напряжения от ГПП до наиболее мощного и удаленного ЭП.</i>	20
31.04.2017	<i>Оформление результатов работы и выводов по работе</i>	4
1.06.2017	<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	4
2.06.2017	<i>Социальная ответственность</i>	4

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭПЭО	Кладиев С.Н..	К.Т.Н. доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭПЭО	Дементьев Ю.Н.	К.Т.Н. доцент		

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

Институт Электронного обучения
 Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
 Кафедра Электропривод электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:

зав. кафедры ЭПЭО

_____ Дементьев Ю.Н.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы В

форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
3–5Г2Б1	Самидуллаев Зокиржон Алимкул Угли

Тема работы:

Электроснабжения машиностроительного завода АСАКА-Андижан	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ №3418/с от 16.05.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <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><i>Объект исследования: цех твердой изоляции машиностроительного завода. В качестве исходных данных представлены:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - генеральный план завода; - план цеха твердой изоляции; - сведения об электрических нагрузках машиностроительного завода; - сведения об электрических нагрузках цеха твердой изоляции.
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - постановка задачи проектирования; - проектирование системы электроснабжения рассматриваемого предприятия; - расчет электрических нагрузок завода и заданного цеха, выбор оборудования, проверка соответствия в разных режимах работы. - обсуждение результатов выполненной работы; - разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; - разработка раздела «Социальная ответственность»; - заключение.
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - однолинейная схема цеха твердой изоляции;

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Фигурко А.А.
«Социальная ответственность»	Король И.С.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Не предусмотрено	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭПЭО	Кладиев С.Н.	К.Т.Н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Самидуллаев З.А.		

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

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
 «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕ-
 РЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Б1	Самидуллаев Зокиржон Алимкул угли

Институт	ЭНИН	Кафедра	ТПТ
Уровень образова- ния	бакалавр	ЭПЭО	Электроэнергетика и электротехника

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

<i>1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, и человеческих.</i>	<i>Стоимость материальных затрат, оплаты труда, прочие затраты.</i>
<i>2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.</i>	<i>Отчисления на социальные нужды () и амортизационные отчисления.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

- 1. Расчёт затрат на проектирование систем отопления и вентиляции.*
- 2. Определение прибыли и договорной цены проекта отопления и вентиляции.*
- 3. Техничко-экономический расчёт системы отопления.*

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

- 1. Расходы на этапе проектирования на материальные затраты.*
- 2. Расходы на этапе проектирования на заработную плату.*
- 3. Смета затрат.*
- 4. Смета наличных капитальных затрат.*
- 5. Результаты расчёта приведённых затрат.*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	Фигурко А. А.	К.Э.Н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Самидуллаев З.А.		

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

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
 «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г2Б1	Самидуллаев Зокиржон Алимкул угли

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭПЭО
Уровень образование	Бакалавр	Направления специальности	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Система электроснабжения машиностроительного завода АСАКА-Андижан</i> - сварочным оборудованием, станками и транспортными приспособления. - проектирование электрических нагрузок - расчет внутри цеха 0,4 кВ и заводское 10кВ - электропитания цеха твердой изоляции
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; • действие фактора на организм человека; • приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); • предлагаемые средства защиты; • (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • механические опасности (источники, средства защиты); • термические опасности (источники, средства защиты); • электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); • пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>1. <i>Выявленные вредных факторов в электроснабжение машиностроительного завода</i> Шум СанПиН Р Уз № 0325-16. - допустимые уровни шума шума до– 60 дБ - глушители аэродинамического шума. наушники, беруши, противошумные каски, специальная одежда Пыль ГОСТ 12.1.005-88 и СанПиН № 0203-4.2.используется обще обменная, механическая precisely-вытяжная вентиляция. <i>в атмосферу используются пыле отделители</i> Освещение - с O'z DSt 35.107:2011. <i>естественным и искусственные дуговые ртутные лампы (ДРЛ).</i> 1.2. <i>Выявленные опасных факторов в электроснабжение машиностроительного завода</i> токарные станки- соблюдения внутреннего трудового распорядка ОТ и ТБ, оградить доступность к рабочей зоне. термическое поражение при контакте с частями электроустановок (печь, установка высокочастотная ТВЧ -соблюдения внутреннего трудового распорядка ОТ и ТБ Электробезопасность - ГОСТ 27570.0. 4.3. Оградить токоведущих частей на недоступную высоту , изоляция токоведущих частей, исправность защитного заземления на токарных станках на данном рабочем помещении Пожарная безопасность - Республи- <i>ки Узбекистан от 30 сентября 2009 года №ЗРУ-226. №ЗРУ-226 категории «Г»</i></p>
---	--

	<ul style="list-style-type: none"> - план эвакуации людей - пожарная сигнализация - ответственный, регулирующий действия рабочего персонала в случае возгорания и указывающий места пожарной техники.
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> • защита селитебной зоны • анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); • анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); • анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); • разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p><i>Воздействие на окружающую среду; в нашей работе вредных выбросов в атмосферу нет, предприятия не наносят вред окружающей среде и опасности общества</i></p> <p><i>Для соблюдения экологической безопасности Удаление отходов необходимо предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д.).</i></p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> • перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; • выбор наиболее типичной ЧС; • разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; • разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p><i>Возможные ЧС на объекте: пожар, взрыв. Наиболее типичной ЧС является пожар</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - проведение инструкции по пожарной безопасности в предприятие - цеха предприятия должны быть оборудованы первичными средствами пожаротушения, - оборудованы противопожарной сигнализацией, - план эвакуации работников при пожаре, - назначении ответственного лица в ЧС.
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; • организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p><i>Допуск к работе имеют лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование в установленном порядке и не имеющие противопоказаний к выполнению данного вида работ, обученные безопасным методам и приемам работы, применению средств индивидуальной защиты, правилам и приемам оказания первой медицинской помощи пострадавшим и прошедшие проверку знаний в установленном порядке. Первичное обучение рабочих безопасным методам и приемам труда обучаются руководителями и специалистами обучения проводиться в организациях (учебных центрах), имеющих соответствующую лицензию. Федеральная служба по труду и занятости. В ее структуру входят Управление надзора и контроля за соблюдением законодательства о труде, территориальные органы по государственному надзору и контролю за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, государственные инспекции труда Узбекистана.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - общие правовые нормы согласно ТК УЗБ ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король Ирина Степановна	К,Х,Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г2Б1	Самидуллаев З.А.		

Оглавление

РЕФЕРАТ	9
ВВЕДЕНИЕ	10
1. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ	12
2. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА	17
2.1 Определение расчетной электрической нагрузки цеха твердой изоляции	17
2.2 Определение расчётной нагрузки предприятия в целом	24
2.3 Картограмма и определение центра электрических нагрузок.....	28
2.4 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций	30
2.5 Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ цеховых ТП и уточнение их нагрузки.....	35
2.6 Выбор рационального напряжения внешнего электроснабжения	37
2.7 Система внутривзаводского электроснабжения	40
2.8 Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В	45
2.9 Выбор и проверка электрических аппаратов и токоведущих частей в сети выше 1000 В.....	52
2.10 Расчет питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения и построение эпюры отклонений напряжения.	56
2.11 Расчёт токов короткого замыкания в сети до 1000 В.....	61
2.12 Построение карты селективности действия аппаратов защиты для участка цеховой сети.	64
ЗАКЛЮЧЕНИЯ	67
список литератур	69

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа с., 9 рис., 17 табл., 24 источника, 4 приложения.

Ключевые слова: расчет нагрузок; картограмма нагрузок; выбор трансформатора; компенсация реактивной мощности; проверка оборудования подбор электрооборудования; однолинейная схема; ресурсоэффективность; социальная ответственности.

Объект исследования –система электроснабжения машиностроительного завода АСАКА-Андижан.

Цель работы: разработать систему электроснабжения машиностроительного завода АСАКА-Андижан с подробным рассмотрением схемы электропитания цеха твердой изоляции.

В процессе разработки системы электроснабжения произведен расчет электрических нагрузок цеха твердой изоляции с подбором оборудования и его проверка на различных режимах работы, а также элементы системы электроснабжения машиностроительного завода.

В результате была разработана модель электроснабжения промышленного предприятия, представлена ее техническая целесообразность и безопасность для окружающей среды.

Основное конструктивное, технологические и технико-эксплуатационные характеристики машиностроительного завода: шестнадцать 16 цехов, из них 1 тринадцать цехов относятся ко второй категории по степени надежности электроснабжения; напряжение питающей линии сто десять 110кВ; рабочие напряжения внутризаводской сети – 10кВ; внутрицеховое – 0,4 кВ; схема внутризаводской сети – радиальная.

ВВЕДЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается электроснабжение Андижанского машиностроительного завода АСАКА с подробным рассмотрением цеха твердой изоляции. Целью выпускной работы является проверка усвоения дисциплин, предусмотренных учебным планом, и развивать способности самостоятельно решать все практические вопросы проектирования в системы электроснабжения промышленного предприятия.

Завод предполагает наличие нагрузки второй категории по степени надежности электроснабжения. Процесс выполнения дипломной работы предусматривает следующие этапы:

Во-первых, расчет нагрузок цеха твердой изоляции методом упорядоченных диаграмм. Целью этого этапа является закрепление навыков использования упомянутого метода расчета.

Во-вторых, определение расчетной нагрузки предприятия в целом по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов с учетом расчетной нагрузки освещений цехов и территории предприятия, потеря мощности в трансформаторах цеховых подстанций, ГПП и линии. Расчет производится отдельно для высоковольтных и низковольтных нагрузок по методу коэффициента спроса.

Во-третьих, построение картограммы электрических нагрузок с целью определения оптимального места расположения ГПП на территории завода.

Во-четвертых, расчет схемы внутривзаводского электроснабжения. В данном этапе производится выбор числа и мощности цеховых трансформаторных подстанций, схемы их электроснабжения.

Во-пятых, выбор напряжения питающей сети завода, сечения проводов и выбор мощности ГПП трансформаторов.

Во-шестых, для проверки правильности выбора сечений проводников расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000В

На последнем этапе производится расчет электроснабжения цеха твердой изоляции АСАКА, который в себя включает:

- Распределение расчетных нагрузок и ЭП по пунктам питания;
- выбор сечений питающей сети;
- проверка их по потере напряжения и длительно допустимой токовой нагрузке;
- выбор аппаратов защиты и силовой распределительной сети;
- построение эпюр отклонений напряжения от ГПП до наиболее мощного и удаленного ЭП, для построения карты селективности действия защитных аппаратов;
- расчет токов короткого замыкания в сети выше и ниже 1000В.

В главе Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность» оценка технического проекта при помощи SWOT-анализа эксплуатации спроектированной системы электроснабжения механического завода АСАКА. Также будут рассмотрены организационно-технические вопросы, связанные с определением координации всех видов работ исполнителей.

Глава «Социальная ответственность» предусматривает оценка условий труда, анализа вредных и опасных факторов, пожарной безопасности охрана окружающей среды.

1. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Объект исследования – машиностроительный завод АСАКА-Андижанс подробным рассмотрением цеха твёрдой изоляции

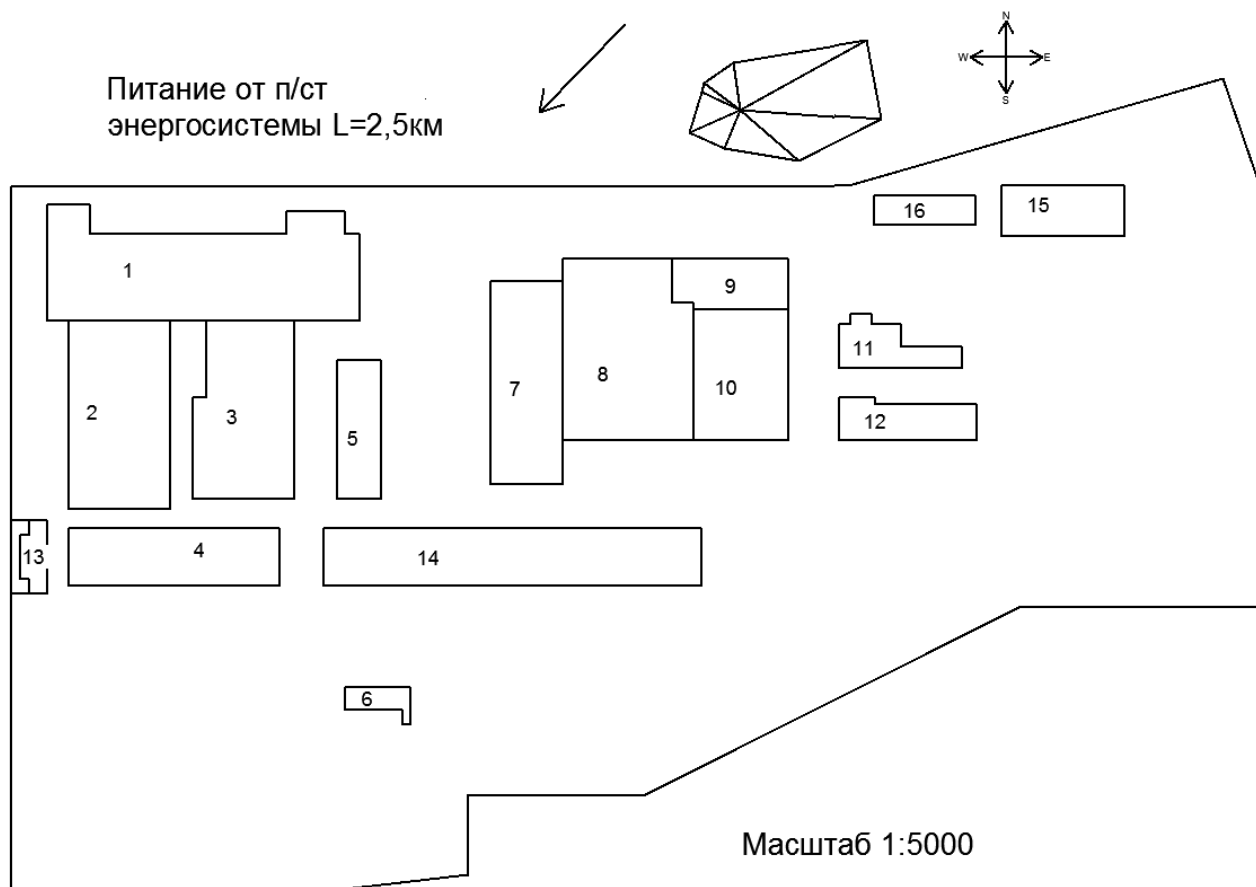


Рисунок 1.1 – Генплан Андижанского машиностроительного завода АСАКА[1]

Таблица 1.1 – Сведения об электрических нагрузках Андижанского машиностроительного завода АСАКА.

№ На генплане	Наименование цеха	Установленная мощность, кВт
1	Гидрокорпус	2600
2	Корпус трансформаторный	2800
3	Корпус крупных машин	2450
4	Корпус по изготовлению преобразовательной техники	900
5	Корпус изоляции	750
6	Котельная	1440
7	Корпус высоковольтного оборудования	880
8	Корпус котельно-сварочный	3500
9	Цех металлопокрытий	2100
10	Корпус механический	1400
11	Корпус деревообрабатывающий	700
12	Цех твердой изоляции	550,63
13	Инженерный	1400
14	Корпус цех точного литья	520
15	Корпус А	520
16	Корпус по изготовлению трансформаторного оборудования	1400
Длина питающей линии (км) – 2,5		

Таблица 1.2 – Характеристика производственных помещений

№	Наименование цеха	Р, кВт	Характеристика среды	Категория ЭП
1	Гидрокорпус	2600	нормальная	II
2	Корпус трансформаторный	2800		
3	Корпус крупных машин	2450		
4	Корпус по изготовлению преобразовательной техники	900		
5	Корпус изоляции	750		
6	Котельная	1440	жаркая, пыльная	
7	Корпус высоковольтного оборудования	880	нормальная	
8	Корпус котельно-сварочный	3500	жаркая, пыльная	
9	Цех металлопокрытий	2100	нормальная	
10	Корпус механический	1400		
11	Корпус деревообрабатывающий	700	жаркая, пыльная	
12	Цех твердой изоляции	550	нормальная	
13	Инженерный	1400		
14	Корпус цех точного литья	520		
15	Корпус А	520		
16	Корпус по изготовлению трансформаторного оборудования	1400		
Длина питающей линии (км) – 2,5				

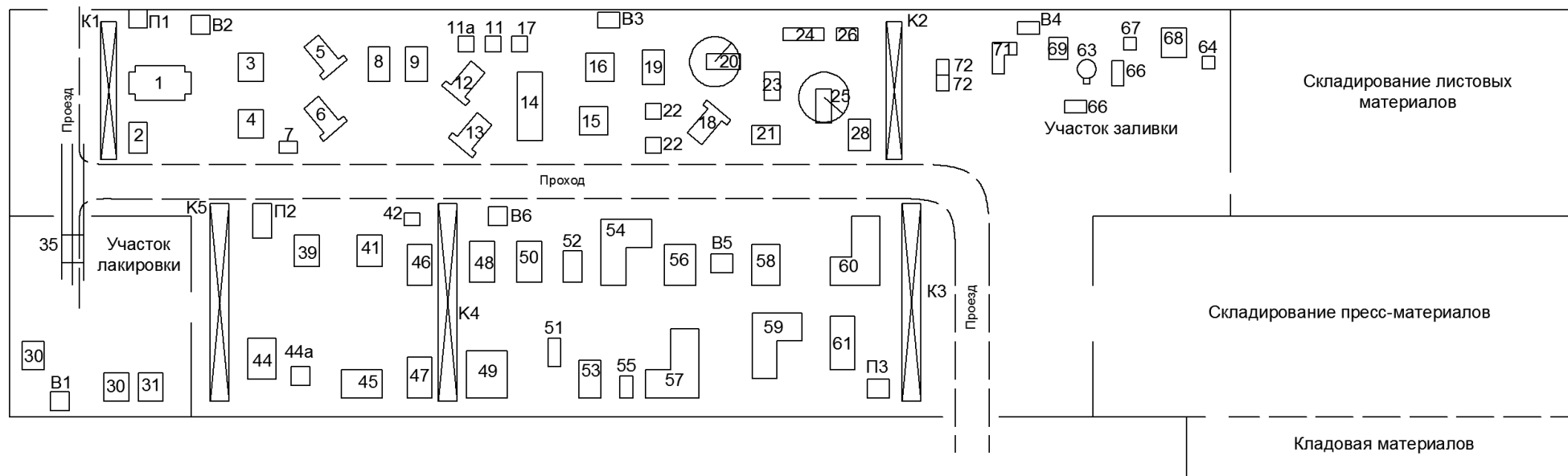


Рисунок 1.2 – План цеха твердой изоляции

Таблица 1.3 – Сведения об электрических нагрузках цеха твердой изоляции

№	Наименование станков и оборудование цеха	Мощность, кВт
1	Станок для резки специальный	5,5
2	Пила дисковая	5,5
К1	Кран-балка	9
3	Пила дисковая с водяным охлаждение	4
4	Пила дисковая	4
5	Горизонтально -фрезерный	9,1
6	Вертикально- сверлильный	8,8
7	Вертикально- сверлильный	3,5
8	Вертикально- сверлильный	4,6
9	Вертикально- сверлильный	4,6
11а	Заточный станок	0,5
11	Станок с абразивным кругом	0,5
12	Вертикально-фрезерный	13
13	Горизонтально-фрезерный	9,6
14	Пила дисковая	23,5
15	Токарно-винторезный	4,2
16	Токарно-винторезный	2,5
22	Вертикально- сверлильный	2,5
22а	Вертикально- сверлильный	2,5
19	Токарно-винторезный	13
20	Радиально- сверлильный	7,5
21	Реверсивный на столе	1,1
23	Пила лобзиковая	1,5
24	Барабан галтовочный	1,5
25	Радиально- сверлильный	2,5
26	Настольно- сверлильный	0,4
К2	Кран-балка	9
28	Стеллаж элеваторный	2,2
18	Горизонтально-сверлильный	9,6
35	Управление электрической тележной	1
39	Станок с нагр. плитой	2
41	Пресс кривошипный	4,5
42	Точильно-шлифовальный	0,5
44	Ножницы гильотин.	5,6
К3	Кран-балка	9
К4	Кран-балка	14
К5	Кран-балка	14
54	Пресс гидравлический	26

Продолжение таблицы 1.3

№	Наименование цеха	Мощность, кВт
56	Пресс-гидравлический	8
58	Пресс-гидравлический	15,5
60	Пресс-гидравлический	16
61	Пресс-гидравлический	35
59	Пресс-гидравлический	15
57	Пресс-гидравлический	15
55	Пресс-гидравлический	31,5
46	Пресс-гидравлический	8
48	Пресс-гидравлический	8
50	Пресс-гидравлический	8
52	Пресс-гидравлический	31,5
53	Пресс-гидравлический	25,5
51	Пресс-гидравлический	15,5
49	Пресс-гидравлический	27
47	Пресс-гидравлический	8
30	Электропеч	50
31	Электропеч	50
45	Электропеч	43
45а	Индуктор	50
63	Компаунда приготовления установка	1,6
67	Вакуумный насос	3,0
64	Компрессор	24
68	Электропеч	24
66	Станок центробежный	9
69	Машина литьевая	17
71	Капрона плавления установка	35
72	Термостат	12
В1-В6	Вытяжной вентилятор	6,2
П1-П3	Приточный вентилятор	15

2. РАСЧЕТЫ И АНАЛИТИКА

2.1 Определение расчетной электрической нагрузки цеха твердой изоляции

Расчет силовых нагрузок цеха будем определять «методом коэффициента расчетной мощности» в последующей порядке.

Для расчета электрических нагрузок будем использовать Таблицу 2.

$$P_{\text{см}} = K_{\text{и}} \cdot P_{\text{НОМ}}, \text{ кВт}; \quad (2.1.1)$$

где $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования активной мощности; $P_{\text{НОМ}}$ – суммарная номинальный активный мощность рабочих электроприемников;

Средняя реактивная нагрузка за наиболее загруженную замену для каждой группы Электроприемников находится по формуле :

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi, \text{ кВар}; \quad (2.1.2)$$

где $\text{tg}\varphi$ - берем по соответствующему значению коэффициента мощности.

Средневзвешенный коэффициент использования можно найти по этой формуле:

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{\sum P_{\text{см}}}{\sum P_{\text{НОМ}}}; \quad (2.1.3)$$

где $\sum P_{\text{см}}$ - суммарная средняя активная нагрузка наиболее загруженную за одну смену, $\sum P_{\text{НОМ}}$ – суммарная установленная группы мощность электроприёмников цеха.

Коэффициент максимума активной мощности определяется по зависимости кривого от средневзвешенного коэффициента применения $K_{\text{и.ср}}$ и эффективного числа электроприёмников n_3 для предоставленной групп:

$$n_3 = \frac{\left[\sum_1^n P_{\text{НОМ}} \right]^2}{\sum_1^n P_{\text{НОМ}}^2} \quad (2.1.4)$$

Расчетная активная P_M и реактивная максимальные Q_M мощности группы:

$$P_p = K_p \cdot P_{cm}, \text{ кВт} \quad (2.1.5)$$

$$Q_p = Q_{cm} \text{ при } n_s > 10$$

$$Q_p = 1.1 Q_{cm} \text{ при } n_s \leq 10 \quad (2.1.6)$$

Все расчетные нагрузки осветительных приспособлении цеха определяем по коэффициенту спроса и по установленному мощности:

$$P_{p.o.} = P_{н.о.} \cdot K_{c.o.}, \quad (2.1.7)$$

где, $K_{c.o.}$ - коэффициент спроса; $P_{н.о.}$ - нормальный мощность, находим как:

$$P_{н.о.} = P_{уд.о.} \cdot F, \quad (2.1.8)$$

где $P_{уд.о.}$ – удельная плотность осветительной нагрузки, Вт/м² [1.П 3.2.];

F – общая площадь цеха, м² (определяется согласно генплану).

Полный расчёт нагрузки цеха (с расчетом освещения) определяется:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o.})^2 + Q_p^2} \quad (2.1.9)$$

Расчётный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (2.1.10)$$

Таблица 2.1 – Справочные данные для ЭП РМЦ

№ плане	наименование Электра приемника	Установленная мощность ЭП, кВт	Ки	cos(φ)
1	Станок специальный для резки	5,5	0,13	0,5
2	Пила дисковая	5,5		
К1	Кран-балка	9		
3	Пила дисковая с водяным охлаждение	4		
4	Пила дисковая	4		
5	Горизонтально-фрезерный	9,1		
6	Вертикально- сверлильный	8,8		
7	Вертикально- сверлильный	3,5		
8	Вертикально- сверлильный	4,6		
9	Вертикально- сверлильный	4,6		
11а	Станок Заточный	0,5		
11	Станок с кругом абразивным	0,5		
12	Вертикально-фрезерный	13		
13	Горизонтально-фрезерный	9,6		
14	Пила дисковая	23,5		
15	Токарно-винторезный	4,2		
16	Токарно-винторезный	2,5		
22	Вертикально- сверлильный	2,5		
22а	Вертикально- сверлильный	2,5		
19	Токарно-винторезный	13		
20	Радиально-сверлильный	7,5		
21	Станокреверсивный на столе	1,1		
23	Пила лобзиковая	1,5		
24	Барaban галтовочный	1,5		
25	Станок радиально- сверлильный	2,5		
26	Станок настольно- сверлильный	0,4		
К2	Кран-балка	9		
28	Стеллаж элеваторный	2,2		
18	Станок горизонтально- сверлильный	9,6		
35	Управление электрической тележной	1		
39	Станок с наг. плитой	2		
41	Кривошипный пресс	4,5		
42	Станок точильно-шлифовальный	0,5		
44	Гильотинные ножницы	5,6		
К3	Кран-балка	9		
К4	Кран-балка	14		
К5	Кран-балка	14		

Продолжение таблицы 2.1

№ плане	наименование Электра приемника	Установленная мощность ЭП, кВт	Ки	cos(φ)
54	Пресс-гидравлический	26	0,13	0,5
56	Пресс-гидравлический	8		
58	Пресс-гидравлический	15,5		
60	Пресс-гидравлический	16		
61	Пресс-гидравлический	35		
59	Пресс-гидравлический	15		
57	Пресс-гидравлический	15		
55	Пресс-гидравлический	31,5		
46	Пресс-гидравлический	8		
48	Пресс-гидравлический	8		
50	Пресс-гидравлический	8		
52	Пресс-гидравлический	31,5		
53	Пресс-гидравлический	25,5		
51	Пресс-гидравлический	15,5		
49	Пресс-гидравлический	27		
47	Пресс-гидравлический	8	0,8	0,95
30	Электродпеч	50		
31	Электродпеч	50		
45	Электродпеч	43	0,7	0,8
45a	Индуктор	50		
63	Компаунда приготовления установка	1,6	0,75	0,8
67	Вакуумный насос	3,0	0,7	0,8
64	Компрессор	24		0,85
68	Электродпеч	24	0,75	0,95
66	Станок центробежный	9	0,75	0,85
69	Машина литьевая	17	0,6	0,6
71	Капрона плавления установка	35	0,75	0,85
72	Термостат	12	0,6	0,6
В1-В6	Вытяжной вентилятор	6,2	0,75	0,85
П1-П3	Приточный вентилятор	15		

Данные табл.2.1 приняты согласно [1]

Пример расчетов: станков

ПР2:

1. горизонтально-фрезерный.

$$P_H = 1 \cdot 9,1 = 9,1 \text{ (кВт)}$$

$$P_{\text{см}} = \kappa_{\text{и}} \cdot P_H = 0,13 \cdot 9,1 = 1,18 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 1,18 \cdot 1,73 = 2,05 \text{ (кВАр)}$$

2. вертикально-сверлильный.

$$P_H = 2 \cdot 4,6 = 9,2 \text{ (кВт)}$$

$$P_{\text{см}} = \kappa_{\text{и}} \cdot P_H = 0,13 \cdot 9,2 = 1,2 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 1,2 \cdot 1,73 = 2,07 \text{ (кВАр)}$$

3. с абразивным кругом.

$$P_H = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ (кВт)}$$

$$P_{\text{см}} = \kappa_{\text{и}} \cdot P_H = 0,13 \cdot 0,5 = 0,07 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 0,07 \cdot 1,73 = 0,11 \text{ (кВАр)}$$

4. Станок заточный.

$$P_H = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ (кВт)}$$

$$P_{\text{см}} = \kappa_{\text{и}} \cdot P_H = 0,13 \cdot 0,5 = 0,07 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 0,07 \cdot 1,73 = 0,11 \text{ (кВАр)}$$

5. вертикально-фрезерный.

$$P_H = 1 \cdot 13 = 13 \text{ (кВт)}$$

$$P_{\text{см}} = \kappa_{\text{и}} \cdot P_H = 0,13 \cdot 13 = 1,69 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 1,69 \cdot 1,73 = 2,93 \text{ (кВАр)}$$

б. горизонтально -фрезерный.

$$P_H = 2 \cdot 9,6 = 19,2 \text{ (кВт)}$$

$$P_{\text{см}} = \kappa_{\text{и}} \cdot P_H = 0,13 \cdot 19,2 = 2,5 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 19,2 \cdot 1,73 = 4,32 \text{ (кВАр)}$$

Итого по ПР2 общая нагрузка будет складываться из суммы всех мощностей электроприемников.

Для всего ПР2:

$$\sum P_H = 51,5 \text{ (кВт)}$$

$$\sum P_{\text{см}} = 51,5 \cdot 0,13 = 6,70 \text{ (кВт)}$$

$$\sum Q_{\text{см}} = 6,7 \cdot 1,73 = 11,6 \text{ (кВАр)}$$

$$\kappa_{\text{и}} = \frac{\sum P_{\text{см}}}{\sum P_H} = 0,13$$

При $n \geq 4$, $\kappa_{\text{и}} < 0,2$ и $m > 3$ эффективное число ЭП $n_{\text{э}}$ определяется с использованием относительных единиц, таблиц или графиков.

1. Выбираются наиболее крупные ЭП, $P_{\text{ном}}$ которых равна или больше половины $P_{\text{ном макс}}$. ($P_{\text{ном}} = P_{\text{ном макс}}$ или $P_{\text{ном}} > \frac{1}{2} P_{\text{ном макс}}$).

$$P_{\text{ном макс}} = 13 \text{ кВт};$$

$\frac{1}{2} P_{\text{ном макс}} = 6,5 \text{ кВт}$. Видно, что в ПР 2 4 ЭП у которых $P_{\text{ном}} > 6,5 \text{ кВт}$.

2. Определим число n_1 и суммарную номинальную мощность $P_{\text{н1}}$ наибольших ЭП группы: $n_1 = 4$, $P_{\text{н1}} = 41,3 \text{ кВт}$.

3. Определяют число n и суммарную номинальную мощность P_n всех ЭП группы: $n = 8$, $P_n = 51,5$

4. Находят значения n^* и P^* :

$$n^* = \frac{n_l}{n} = \frac{4}{8} = 0,5 \quad P^* = \frac{P_{ном1}}{P_{ном}} = \frac{41,3}{51,5} = 0,8$$

5. По полученным n^* и P^* по таблице [6. Т 1.4.] определяется $n_{эф}^*$ относительное значение эффективного числа ЭП. Берут ближайшее меньшее значение.

$$\text{Принимаем } n_{эф}^* = 0,7$$

Из выражения $n_{эф}^* = \frac{n_{эф}}{n} \rightarrow n_{эф} = n_{эф}^* \cdot n = 0,7 \cdot 8 = 5,6$, принимаем $n_{эф} = 6$.

$$K_M = 2,84 \text{ [6. Т 1.8.]}$$

$$P_p = K_M \cdot \sum P_{см} = 2,84 \cdot 6,7 = 19,01 \text{ (кВт)}$$

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum Q_{см} = 1,1 \cdot 11,6 = 12,76 \text{ (кВАр)}$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{19,01^2 + 12,76^2} = 22,9 \text{ (кВА)}$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{22,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 34,79 \text{ (А)}.$$

Сэтими расчетами была найдено общая мощность цеха твердой изоляции, а также найден расчетный ток нагрузки. Поэтими данными расчетам выбираем правильное сечений линий, коммутационных и защитных аппаратов.

2.2 Определение расчётной нагрузки предприятия в целом

Расчётная нагрузка (активная и реактивная) силовых приёмников цеха определяются по формулам:

$$P_p = K_c \cdot P_n; \quad (2.2.1)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi, \quad (2.2.2)$$

где P_n – суммарная установленная мощность приёмников цеха;

K_c – коэффициент спроса, принимаемый по справочным данным; [3]

$\operatorname{tg} \phi$ – принимается по соответствующему значению коэффициента мощности;

Пример расчетов для цеха твердой изоляции:

Расчётные активная и реактивная нагрузки силовых приёмников цеха:

$$P_p = K_c \times P_n = 0,4 \cdot 830,6 = 322,24 \text{ кВт};$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \phi = 322,24 \cdot 1,73 = 557,47 \text{ кВАр}.$$

Номинальная мощность осветительной нагрузки цеха:

$$P_{\text{н.о.}} = P_{\text{уд.ос.}} \cdot F_{\text{ц}} = 0,0045 \cdot 2500 = 11,25 \text{ кВт}.$$

Расчетная нагрузка от освещения:

$$P_{\text{р.о.}} = P_{\text{н.о.}} \cdot K_{\text{с.о.}} = 11,25 \cdot 1 = 11,25 \text{ кВт}.$$

Полная расчетная нагрузка цеха:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{\text{р.о.}})^2 + (Q_p)^2} = \sqrt{(322,24 + 11,25)^2 + (557,47)^2} = 601,3 \text{ кВА}.$$

Таблица 2.2 – Определения полных нагрузок в целом предприятия

№	На-ние цеха	Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка									Силовая+ осветительная		
		$P_{н.}$, кВт	R_c	$\cos \phi$	$\operatorname{tg} \phi$	P_p , кВт	Q_p , кВАр	$F_{ц.}$, м ²	Тип ламп	$P_{уд.ос.}$, кВт/м ²	$P_{н.о.}$, кВт	K_c , °	$\cos \phi$	$\operatorname{tg} \phi$	$P_{р.о.}$, кВт	$Q_{р.о.}$, кВАр	ΣP , кВт	ΣQ , кВАр	ΣS , кВА
1	Гидрокорпус	2600	0,5	0,6	1,33	1300	1733,3	14100	ДРЛ	0,00375	52,9	0,95	0,35	2,67	50,2	134,4	1350,2	1867,8	2304,7
2	Трансформаторный корпус	<u>2800</u>	0,4	0,6	1,33	1120	72,5	12350	ДРЛ	0,00375	46,3	0,95	0,35	2,67	43,9	117,8	1163,9	190,3	1179,4
3	Корпус крупных машин	2450	0,5	0,8	0,75	1225	918,8	7900	ДРЛ	0,00375	29,6	0,95	0,35	2,67	28,1	75,3	1253,1	994,1	1599,5
4	Корпус по изготовлению преобразовательной техники	900	0,2	0,8	0,75	180	135	5800	ДРЛ	0,0045	26,1	0,95	0,35	2,67	24,8	66,4	204,8	201,4	287,2
5	Изоляционный корпус	750	0,5	0,6	1,33	375	500	2850	ДРЛ	0,00375	10,67	0,95	0,95	0,32	10,2	3,3	385,2	503,3	633,8

Продолжение таблицы 2.2

№	На-ние цеха	Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка									Силовая+ осветительная		
		$P_{н\tau}$, кВт	R_c	$\cos \phi$	$tg \phi$	P_p , кВт	Q_p , кВАр	$F_{ц}$, м ²	Тип ламп	$P_{уд.ос}$, кВт/м ²	$P_{н.ос}$, кВт	K_c	$\cos \phi$	$tg \phi$	$P_{р.о.}$, кВт	$Q_{р.о.}$, кВАр	ΣP , кВт	ΣQ , кВАр	ΣS , кВА
6	Котельная	1440	0,5	0,75	0,88	720	634,9	725	ДРЛ	0,00325	2,36	1	0,35	2,67	2,4	6,3	722,4	641,3	965,9
7	Корпус высоковольтного оборудования	880	0,35	0,7	1,02	308	314,2	7000	ДРЛ	0,00375	26,25	0,95	0,35	2,67	24,9	66,7	332,9	380,9	505,9473
8	Котельно-сварочный корпус	3500	0,5	0,7	1,02	1750	1785,4	10800	ДРЛ	0,00325	35,1	1	0,35	2,67	35,1	93,9	1785,1	1879,3	2591,9
9	Цех металлопокрытий	2100	0,4	0,6	1,33	840	1120	2725	ДРЛ	0,00375	10,22	1	0,35	2,67	10,2	27,3	850,2	1147,3	1428
10	Механический корпус	1400	0,3	0,7	1,02	420	428,5	6300	ДРЛ	0,00375	23,63	0,95	0,35	2,67	22,4	60,1	442,4	488,6	659,1

Окончание таблицы 2.2

№	На-ние цеха	Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка									Силовая+ осветительная		
		Р _н , кВт	R _c	cos φ	tg φ	Р _р , кВт	Q _р , кВАр	F _ц , м ²	Тип ламп	Р _{уд.ос} , кВт/м ²	Р _{н.о} , кВт	К _{с.о}	cos φ	tgφ	Р _{р.о} , кВт	Q _{р.о} , кВАр	ΣР, кВт	ΣQ, кВАр	ΣS, кВА
11	Деревообрабатывающий корпус	700	0,4	0,9	0,485	280	135,6	1650	ДРЛ	0,004	6,6	0,95	0,35	2,67	6,27	16,8	286,3	152,4	324,3
12	Цех твердой изоляции	830,6	0,4	-	1,73	332,24	292,6	2500	ДРЛ	0,0045	11,25	1	0,35	2,67	11,25	30,1	343,5	322,7	471,3
13	Инженерный корпус	1400	0,5	0,75	0,88	700	617,3	1250	ЛЭД	0,0036	4,5	0,8	0,35	2,67	3,6	9,6	703,6	626,9	942,4
14	Цех точного литья	520	0,5	0,75	0,88	260	229,3	10400	ДРЛ	0,0035	36,4	0,85	0,35	2,67	30,94	82,8	290,9	312,1	426,7
15	Корпус А	520	0,9	0,75	0,88	468	412,7	2975	ЛЭД	0,004	11,9	0,8	0,35	2,67	9,52	25,5	477,5	438,2	648,1
	Итого	24190,6															10878,18	11855,119	16182,3

2.3 Картограмма и определение центра электрических нагрузок

Картограмма нагрузок показывает что указание на генплане предприятия и площади, ограниченные кругами, определённом масштабе соответствуют расчётным нагрузкам цехов.

Радиусы окружностей для всех цехов находим по формуле:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi \cdot m}}, \quad (2.3.1)$$

P_{pi} – это расчётная активная мощность i – этого цеха с применением освещения, кВА;

m – масштаб чтобы определить площадь круга, кВА/мм² (постоянное для всех цехов предприятия).

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

Осветительную нагрузку принимаем в виде сектора круга, показывающего нагрузку до 1000 В. Угол сектора (α) определяем из соотношения полных расчётных (P_{pi}) осветительных нагрузок (P_{po}) цехов:

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{po}}{S_{pi}} \quad (2.3.2)$$

На генплан завода среднего машиностроения произвольно поставим оси координат и найдем значения x_i и y_i для всех цехов. Координаты центра электрических нагрузок предприятия x_o и y_o находим по формулам [1]:

$$x_o = \frac{\sum P_{pi} \cdot x_i}{\sum P_{pi}}, \quad (2.3.3),$$

$$y_o = \frac{\sum P_{pi} \cdot y_i}{\sum P_{pi}} \quad (2.3.4)$$

Таблица 2.3 – Данные для построения картограммы расчётных нагрузок.

№ цеха	$P_{p.i}, \text{кВА}$	$P_{p.o.i}, \text{кВт}$	$r_{i, \text{см}}$	$\alpha, \text{град}$	$X_{i, \text{м}}$	$Y_{i, \text{м}}$	$P_{p.i} \cdot X_i$	$P_{p.i} \cdot Y_i$
	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1350,23	50,23	0,85	13,39	430	130	580599,4	175530,1
2	1163,99	43,99	0,79	13,6	325	70	378299	81479,78
3	1253,14	28,14	0,82	8,08	335	150	419803,2	187971,6
4	204,79	24,8	0,33	43,58	230	110	47102,85	22527,45
5	385,15	10,15	0,45	9,49	305	210	117471,7	80882,16
6	722,36	2,36	0,62	1,17	125	265	90294,53	191424,4
7	332,94	24,94	0,42	26,96	350	355	116528,1	118192,8
8	1785,1	35,1	0,97	7,08	375	425	669412,5	758667,5
9	850,22	10,22	0,67	4,32	410	490	348589,7	416607,2
10	442,44	22,44	0,48	18,26	375	500	165916,4	221221,9
11	286,27	6,27	0,39	7,88	380	625	108782,6	178918,8
12	343,49	11,25	0,43	11,79	325	595	111634,3	204376,6
13	703,6	3,6	0,61	1,84	225	20	158310	14072
14	290,94	30,94	0,39	38,28	230	345	66916,2	100374,3
15	477,52	9,52	0,50	7,18	455	700	217271,6	334264
16	285,99	5,99	0,39	7,53	455	625	130123,2	178740,6
Итого	24190,6						2271046	3265251

Пример расчета цеха твердой изоляции:

Окружной радиус:

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_p}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{343,49}{3,14 \cdot 600}} = 0,47 \text{ мм.}$$

Угол сектора осветительной нагрузки:

$$\alpha_1 = \frac{360^\circ \cdot P_{p.o}}{P_{p1}} = \frac{360^\circ \cdot 11,25}{343,49} = 11,79 \text{ град.}$$

Координаты центра электрических нагрузок предприятия:

$$x_0 = \frac{\sum P_{p.i} \cdot x_i}{\sum P_{p.i}} = \frac{1350,23 \cdot 430 + 1163,99 \cdot 325 + \dots + 285,99 \cdot 455}{1350,23 + 1163,99 + \dots + 285,99} = 342,62 \text{ м,}$$

$$y_0 = \frac{\sum P_{p.i} \cdot y_i}{\sum P_{p.i}} = \frac{1350,23 \cdot 130 + 1163,99 \cdot 70 + \dots + 285,99 \cdot 625}{1350,23 + 1163,99 + \dots + 285,99} = 300,16 \text{ м.}$$

Построение зоны рассеяния ЦЭН

Полуоси эллипса:

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x}; R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y};$$

$$\text{Где } h_x = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2}}; h_y = \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2}}.$$

σ_x, σ_y дисперсии случайных координат.

Для цеха твердой изоляции:

$$\begin{aligned}\sigma_x^2 &= \sum_{i=1}^n P_{xi} \cdot (x_i - x_{0a})^2 = \sum \left(\frac{P_i}{\sum P} \cdot (x_i - x_{0a})^2 \right) = \\ &= \sum \left(\frac{343,49}{\sum 1350,23 + 1163,99 + \dots + 285,99} \cdot (135,047 - 430)^2 \dots \right) = 50245; \\ \sigma_y^2 &= \sum \left(\frac{P_y}{\sum P} \cdot (y_i - y_{0a})^2 \right) = \sum \left(\frac{343,49}{\sum 1350,23 + 1163,99 + \dots + 285,99} \cdot (164,31 - 59,022)^2 \dots \right) = 75006,\end{aligned}$$

Где P_{xi}, P_{yi} - эмпирическая вероятность появления x_i и y_i в о.е.

$$h_x = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2}} = 0,0032 \quad h_y = \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2}} = 0,0026;$$

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,0032} = 548,97; \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,0026} = 670,73;$$

Картограмма и центр электрических нагрузок показана в (Приложение А).

2.4 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций

По удельной плотности нагрузки

$$\sigma = \frac{S_p}{F_u} = \frac{16182,3}{90725} = 0,178 \text{ кВА} / \text{м}^2,$$

Где S_p - суммарная мощность предприятия; F_u - суммарная площадь цехов

Для этой плотности нагрузки

рекомендуется использовать особенно трансформаторы мощностью 1600кВА.

Минимальное возможное число трансформаторов находим по этой формуле:

$$N_0 = \frac{\sum P_p^H + \sum P_{p.o}}{\beta_m \cdot S_{н.тр.}}, \quad (2.4.1)$$

где β_m – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме (согласно [3, с. 38] принимаем $\beta_m = 0,7$);

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

$(\sum P_p^H + \sum P_{p.o})$ – суммарная активная расчетная низковольтная нагрузка цехов, кВт.

Получен

$$N_0 = \frac{\sum P_p^H + \sum P_{p.o}}{\beta_m \cdot S_{н.тр.}} = \frac{10878}{0,7 \cdot 1600} = 9,7. \quad (2.4.2)$$

Полученную расчетную величину округляем до ближнего большего целого значения $N = 10$ шт.

Приходящаяся на один цеховой трансформатор активная нагрузка,:

$$P_1 = \frac{\sum P_p^H + \sum P_{p.o}}{N} = \frac{10878}{10} = 1087,8 \text{ кВт}. \quad (2.4.3)$$

Число трансформаторов N_i которое, будем устанавливать в том или ином цехе

$$N_i = \frac{P_p + P_{p.o}}{P_1} \quad (4.6)$$

Данное предоставленное техническое решение не принимается загрузки трансформатора и требованиям по снабжению цехов. Чтобы улучшить распределения электроэнергии и уменьшение количества низковольтных линий принимаем трансформаторы 2-х номиналов: 1600, и 630 кВА, при этом придерживаясь требуемого коэффициента загрузки: для

потребителей II-й категории $\beta = 0,7 - 0,8$. В предварительном применении трансформаторов расчёт коэффициента загрузки производим по активной мощности.

Таблица 2.4 – Число трансформаторов в цехе

№	Выбор числа трансформаторов	ΣP , кВт	$N_{гр}$
1	Гидрокорпус	1350,231	1,24
2	Корпус трансформаторный	1163,997	1,07
3	Корпус крупных машин	1253,144	1,15
4	Корпус по изготовлению преобразовательной техники	204,795	0,19
5	Корпус изоляционный	385,1531	0,35
6	Котельная	722,3563	0,66
7	Корпус высоковольтного оборудования	332,9375	0,31
8	Котельно-сварочный корпус	1785,1	1,64
9	Цех металлопокрытий	850,2188	0,78
10	Корпус механический	442,4438	0,41
11	Корпус деревообрабатывающий	286,27	0,26
12	Цех твердой изоляции	343,49	0,32
13	Корпус инженерный	703,6	0,65
14	Цех точного литья	290,94	0,27
15	Корпус А	477,52	0,44
16	Корпус по изготовлению трансформаторного оборудования	285,985	0,26

Данное предоставленное техническое решение не принимается загрузки трансформаторов требованиям по снабжению цехов и загрузки трансформаторов. Чтобы улучшить распределения электроэнергии и уменьшение количества низковольтных линий принимаем трансформаторы 2-х номиналов: 1600, и 630кВА, при этом придерживаясь требуемого коэффициента загрузки: для потребителей II-й категории $\beta = 0,7 - 0,8$. В предварительном выборе трансформаторов расчёт коэффициента загрузки производим по активной мощности. Результаты выбора трансформаторов приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Число трансформаторов в цехе

Наименование	$S_{тр}$, количество	Расположение	Потребители	Σp	ΣQ
ТП1	1x1600	Цех1	1	1080,19	1494,22
ТП2	1x1600	Цех2	2	1105,80	180,77
ТП3	1x1600	Цех3	3	1065,17	844,96
ТП5	1x630	Цех5	5	429,40	552,19
ТП7	1x630	Цех7	7, 5,4	435,34	481,65
ТП8	2x1600	Цех8	8, 1, 3	1071,06	1127,58
ТП9	1x1600	Цех9	9, 2	1117,98	1429,24
ТП10	2x630	Цех10	10, 14, 4	353,96	390,84
ТП12	1x630	Цех12	12,5	494,85	414,14
ТП15	2x630	Цех15	15, 11, 14	429,77	394,40
ТП16	1x630	Цех16	16, 11	390,99	361,92
ТП13	1x1600	Цех13	13, 2	1114,56	1086,02
ТП6	1x1600	Цех6	6, 3	1273,89	1184,25

Техническое решение выбора количества трансформаторов изображено в приложении (Приложение Б).

Выбор трансформаторов цеховых ТПП расставлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Выбор цеховых трансформаторов ТПП

№	Тип трансформатора ТП	S _{ном} , кВА	Напряжение обмоток		Потери КЗ		U _{кз} %	I _{хх} , %	Количество	Потери мощности		
			ВН	НН	ХХ	КЗ				ΔP _{тр}	ΔQ _{тр}	ΔS _{тр}
ТП1	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3	1	17,13	88,40	90,04
ТП2	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3		12,13	63,96	65,10
ТП3	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3		11,93	63,00	64,12
ТП5	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2		8,10	39,26	40,08
ТП7	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2		5,68	29,38	29,92
ТП8	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3	2	12,10	63,83	64,97
ТП9	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3	1	14,06	73,39	74,73
ТП10	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2	2	6,05	30,92	31,51
ТП12	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2	1	6,99	34,75	35,45
ТП14	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2		6,98	34,69	35,38
ТП15	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2	2	5,63	29,21	29,75
ТП16	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2	1	5,80	29,87	30,42
ТП13	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3		14,13	73,75	75,09
ТП6	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	2,25	16,5	6,5	1,3		17,63	90,85	92,55

2.5 Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4кВ цеховыхТП и уточнение их нагрузки

Чтобы снизить потерь на трансформаторах линиях используем вариант компенсации реактивной мощности на напряжении 0,4кВ непосредственно рядом с электроприёмников. КБ присоединяем к сборным шинамННКТП и РУ.

$$N_0 = N + m = 10 \quad (2.5.1)$$

Реактивная мощность, которую можно пропускать через трансформаторы КТП в сеть напряжением до 1600 В при заданном коэффициенте загрузки, находится соотношением

$$Q_1 = \sqrt{(N_{\text{опт}} \cdot \beta \cdot S_{\text{н.т}})^2 - P_p^2} \quad (2.5.2)$$

где $N_{\text{опт}}$ – оптимальное число трансформаторов на ТП; $m_{1600}=1$, $m_{630}=1$

$\beta = 0,7$ – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме;

$S_{\text{н.т}}$ – номинальная мощность трансформаторов, установленных на ТП;

P_p – расчетная активная нагрузка ТП в шинах 0,4 кВ.

Для ТП –1,ТМ-1600/10

$$Q_1 = \sqrt{(1 \cdot 0,7 \cdot 1600)^2 - 1080,2^2} = 295,97 \text{ кВАр}; \quad (2.5.3)$$

Выбираем мощность КУ близкую к расчетной реактивной мощности. С условием, что:

$$Q_p - Q_{\text{БК}} \leq Q_1 \text{ [1]} \quad (2.5.4)$$

Таблица 2.7 – Компенсация реактивной мощности

На-ние	S _{гр.}	Распол-ие	Пот-ли	Σ P	Σ Q	Q _{max}	Q _{бкн1}	N _{бк}	факт. НБК	Q-цехов	МАРКА КБ
ТП1	1600	Цех1	1	1080,19	1494,22	295,97	1198,25	2	603	376,43	УКМ58-04-603-67У3
ТП2	1600	Цех2	2	989,40	161,74	524,87	-363,13	-	-	217,09	0
ТП3	1600	Цех3	3	877,20	695,85	696,36	-0,51	-	-	759,75	0
ТП7	630	Цех7	7, 5, 4	332,94	380,97	289,19	91,79	1	100	310,14	УКМ58-04-100-33,3У3
ТП8.1иТП8,2	1600	Цех8	8, 1, 3	1090,23	1176,13	256,51	919,62	3	300	349,20	УКМ58-04-300-33,3У3
ТП9	1600	Цех9	9, 2	995,72	1171,14	512,78	658,35	2	335	564,65	УКМ58-04-335-67У3
ТП10.1и ТП10.2	630	Цех10	10, 14, 4	345,44	368,37	274,14	94,23	1	100	297,67	УКМ58-04-100-33,3У3
ТП12	630	Цех12	12, 5	323,09	322,71	300,16	22,55	1	300	44,47	УКМ58-04-300-33,3У3
ТП5	630	Цех5	5	385,15	503,34	214,80	288,54	1	268	265,72	УКМ58-04-268-67У3
ТП15.1иТП15.2	630	Цех15	15, 11 , 14	433,98	389,85	78,39	311,46	1	300	119,60	УКМ58-04-300-33,3У3
ТП16	630	Цех16	16, 11	429,12	363,82	101,67	262,15	1	150	246,49	УКМ58-04-150-30У3
ТП13	1600	Цех13	13, 2	849,10	650,76	730,36	-79,60	-	-	710,90	0
ТП6	1600	Цех6	6, 3	972,99	840,	554,71	285,39	1	268	636,70	УКМ58-04-268-67У3

2.6 Выбор рационального напряжения внешнего электроснабжения

Электроснабжение завода питается от подстанции энергосистемы подвум ВЛЭП напряжением 110кВ.

При присутствии одного источника питания для резервирования выбирается схема внешнего этого электроснабжения по двум радиальным линиям (ГПП с связи двумя трансформаторами).

ГПП размещается на территории завода в соответствии с расчетным центром электрических нагрузок. На ГПП установлены для двухобмоточных трансформатора ГДН–16000/110. РУ10(кВ) ГПП принимаем закрытым. На стороне 10(кВ) принимаем обходную систему шин секционированную вакуумным выключателем с устройством АВР.

Обоснование для этого решения представлено ниже.

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{2,5} + \frac{2500}{10857,8}}} \approx 70,7 [1] \quad (2.6.1)$$

Мощность трансформаторов на ГПП находим по формуле:

$$S_{н.тр.} = \frac{S_{р.ГПП}}{2 \cdot \beta_r}, \quad (2.6.2)$$

Где $S_{р.ГПП}$ – общая расчетная мощность завода со стороны высоконапряжения трансформаторов ГПП;

$\beta_r = 0,7$ – коэффициент загрузки трансформаторов ГПП, [1];

2 – число трансформаторов на ГПП.

Получили:

$$S_{н.тр.} = \frac{15359,5}{2 \cdot 0,7} = 10971 \text{ [кВА]}. \quad (2.6.3)$$

Получившие значение $S_{н.тр}$ округляем до ближнего большего стандартного значения и в соответствии с [5, табл. П.2.28] используем установку на ГПП двух трансформаторов типа ТДН–16000/110.

Учитывая то что у этого, в нормальном режиме коэффициент загрузки трансформаторов ГПП принимается равным 0,7, в послеаварийном режиме все из трансформаторов с расчётом допустимой перегрузки (до 40%) обеспечивает полностью необходимую мощность завода, так как

$$S_{р.ГПП} < 1,4 \cdot S_{н.тр}, [1]. \quad (2.6.4)$$

$$15359,5 [\text{кВА}] < 16000 [\text{кВА}]$$

Питающие линии производим проводом АС. Выбор сечения провода выполняются по экономической плотности тока.

$$I_p = \frac{S_{р.ГПП}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}; [1]. \quad (2.6.5)$$

$$I_p = \frac{15359,5 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} = 40,35 \text{ [A]}$$

В режиме ремонтном или послеаварийном:

$$I_{п.а.} = \frac{S_{р.ГПП}}{\sqrt{3} \cdot U_n}; \quad (2.6.6)$$

$$I_{п.а.} = \frac{15359,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} = 80,7 \text{ [A]}$$

Если число смен, равным 2, и продолжительности смены по часам, равной 8, используем годовое число часов использования максимума нагрузки $T_M = 4200$ часов. [3, табл. 2.1]

При $T_m=4200$ часов для алюминиевых голых проводов используем экономическую плотность тока равной $j_{эк}=1,1$ [А/мм²]. [3, табл.3.12]

Экономически целесообразное сечение проводов равно:

$$F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}}; \quad (2.6.7)$$

$$F_{эк} = \frac{40,35}{1,1} = 36,7 \text{ [мм}^2\text{]}$$

Полученное сечение округляем до ближайшего стандартного сечения и принимаем в качестве ВЛЭП провода марки АС–50/8. Допустимый длительный ток для использованного сечения равен $I_{доп}=210$ [А]. [6, табл.3.1]

Выбранное сечение провода должно проверяться до допустимой токовой нагрузке по нагреву $I_{доп}$:

$$1,3 \cdot I_{доп} \geq I_{п.а}, \quad (2.6.8)$$

где $I_{доп}$ – допустимый ток, [А], для выбранного сечения. 273 [А] $\geq 66,7$ [А] – условие выполняется.

Кроме этого, выбранное сечение провода проверяется:

а) по условиям коронирования проводов

В нашем случае ВЛ110 кВ $F = 50$ [мм²], однако условиям короны минимальное сечение проводников на данное напряжение должно быть не менее 70 мм², поэтому принимаем $F = 70$ [мм²].

б) по условиям механической прочности:

$$F_{расч} \geq F_{min.мех} = 25 \text{ [мм}^2\text{]}, [3.] \quad (2.6.9)$$

70 [мм²] ≥ 25 [мм²] – условие выполняется;

в) по допустимой потере напряжения:

$$l_{\text{доп}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}\%} \cdot k_3 \geq 1 \quad [1]. \quad (2.6.10)$$

где $l_{\Delta U 1\%}$ – длина линии при полной нагрузке на 1 % потери напряжения, км;

$\Delta U_{\text{доп}\%}$ – допустимая потеря напряжения, %;

$$\Delta U_{\text{доп}\%} = 5 \%, \quad \Delta U_{\text{доп.ав}\%} = 10 \%;$$

$k_3 = \frac{I_{\text{доп}}}{I_p}$ – коэффициент обратный коэффициенту загрузки линии;

$l_{\text{доп}}$ – допустимая длина линии, км; l – фактическая длина линии, км.

По табл. П.2.7 [3] принимаем $l_{\Delta U 1\%} = 2,19$ [км].

Тогда:

$$l_{\text{доп}} = 2,19 \cdot 5 \cdot \frac{210}{33,4} = 68,84 \text{ [км]}$$

Фактическая длина линии $l = 2,5$ [км]

$68,84 \text{ [км]} > 2,5 \text{ [км]}$, проверка сечения провода по допустимой потере напряжения выполняется.

Таким образом, электроснабжение механического завода осуществляется от подстанции энергосистемы по двум ВЛЭП напряжением 110кВ, выполненным проводом АС–70/11 на металлических двухцепных опорах.

ГПП расположена в зоне рассеяния ЦЭН. На ГПП установлены два трансформатора типа ТДН–16000/110. На стороне 10кВ выбрано одинарная система шин, секционированная вакуумным выключателем с устройством АВР.

2.7 Система внутризаводского электроснабжения

Распределительная сеть выше 1000В по территории механического завода выполняется кабельными линиями. Прокладка кабелей осуществляется в кабельных траншеях.

Выбор сечений кабелей производим по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение F , мм², определяем из выражения:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (2.7.1)$$

где I_p – расчётный ток на один кабель, А; $j_{\text{эк}}$ – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм².

Для высоковольтных кабелей из сшитого полиэтилена при $T_m = 4200$ часов принимаем $j_{\text{эк}} = 1,2$ А/мм² [3, табл. П.2.14].

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

Выбранное сечение проверяется по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме и с учетом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме. Для загруженных и длинных линий проведем проверку выбранного сечения по допустимой потере напряжения.

Выбор кабеля для линии Л-1 (ГПП–ТП1):

Рассматриваются две параллельные линии, идущие с разных секций ГПП до ТП-1.

Расчётный ток на один кабель:

$$I_p = \frac{n \cdot S_{\text{н.тр.}} + \Delta S_{\text{тр.}}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} \quad [1]. \quad (2.7.2)$$

$$I_{p11} = \frac{1 \cdot 1600 \cdot 10^3 + 90,3 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 48,8 \text{ [A]}$$

Экономически целесообразное сечение: $F_{\text{ЭК}} = \frac{I_p}{j_{\text{ЭК}}}$

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{48,8}{1,2} = 40,7 \text{ [мм}^2\text{]}$$

Принимаем ближайшее стандартное сечение $F=50\text{[мм}^2\text{]}$: $I_{\text{доп}}=175\text{[А]}$ [1,П.6.4].

Учитывая поправочный коэффициент для 3х кабелей , проложенных по одной траншее $k_{\text{прокл}} = 0,87$ при расстоянии 200 мм в свету[1, П.6.6.]

принимаем температуру в земле 15^0 $K_T=1$, получаем

$$I'_{\text{доп}} = k_{\text{прокл}} \cdot I_{\text{доп}} = 0,87 \cdot 175 = 152,25 \text{ [А]}.$$

Проверка выбранного сечения:

$$\text{- в нормальном режиме: } I_p \leq I'_{\text{доп}} \quad (2.7.3)$$

$$48,8 \text{ [А]} < 152,25 \text{ [А]};$$

$$97,6 \text{ [А]} < 200,55 \text{ [А]}.$$

Таким образом, выбранное сечение проходит проверку по нормальному и послеаварийному режимам. В качестве линии Л-1 принимаем кабель марки АПвП–3(1х50).

Таблица 2.8 – Выбор сечений кабельных линий распределительной сети 10 кВ

№, линии	Назначение линии	Nл	Расчетная нагрузка на 1 кабель		Fэк	Принятое сечение	Длина линии	r0	x0	способ прокладки	Kпр	Марка и сечение кабеля
			норм.р.	п/а								
Л-1	ГПП-ТП1	1	48,8	97,6	40,7	50	0,15	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП–3(1x50)
Л-2	ГПП-ТП2	2	48,1	96,1	39,8	50	0,45	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП–3(1x50)
Л-3	ГПП-ТП3	3	48,0	96,1	40,1	50	0,065	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП–3(1x50)
Л-5	ГПП-ТП4	4	19,3	38,7	15,9	50	0,15	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП–3(1x50)
Л-7	ГПП-ТП7	5	19,1	38,1	40,3	50	0,15	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП–3(1x50)
Л-8	ГПП-ТП8	6	48,1	96,1	80,1	95	0,2	0,195	0,329	в траншее	0,87	АПвП–3(1x50)
Л-9	ГПП-ТП9	7	48,3	96,7	15,9	50	0,25	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП–3(1x50)
Л-10	ГПП-ТП10	8	19,1	38,2	31,4	50	0,325	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП–3(1x50)
Л-12	ГПП-ТП12	9	19,2	38,4	15,9	50	0,075	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП–3(1x50)
Л-14	ГПП-ТП4	10	19,2	38,4	15,9	50	0,45	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП–3(1x50)
Л-15	ГПП-ТП15	11	19,0	38,1	31,9	50	0,425	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП–3(1x50)
Л-16	ГПП-ТП16	12	19,1	38,1	40,0	50	0,325	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП–3(1x50)
Л-13	ГПП-ТПУ13	13	48,4	96,7	40,1	50	0,275	0,21	0,625	в траншее	0,87	АПвП–3(1x50)

№,лини и	Назначение линии	N	В норм.	Марка и сечение	I доп	Кпрокл	Iдоп·Кпр	1,3·Iдоп	Длина	r0	x0
л-1	ТП6 - РУ3	2	76,24	АпВп - 4(1х50)	175	0,87	140,679	218,75	0,225	0,64	0,07
л-2	ТП8.1 -РУ1	2	82,15	АпВп - 4(1х50)	175	0,87	140,679	218,75	0,175	0,64	0,07
л-3	ТП8.1 - РУ3	2	38,12	АпВп - 4(1х25)	115	0,87	92,4462	143,75	0,35	1,28	0,07
л-4	ТП9 - РУ2	2	44,26	АпВп - 4(1х35)	140	0,87	112,5432	175	0,5	0,92	0,07
л-5	ТП7 - РУ4	2	3,11	АпВп - 4(1х4)	38	0,87	30,54744	47,5	0,3	7,9	0,07
л-6	ТП7 - РУ5	2	5,85	АпВп - 4(1х4)	38	0,87	30,54744	47,5	0,125	7,9	0,07
л-7	ТП10.1 - РУ4	2	62,3	АпВп - 4(1х50)	175	0,87	140,679	218,75	0,375	0,64	0,07
л-8	ТП10.2 - РУ14	2	13,27	АпВп - 4(1х16)	90	0,87	72,3492	112,5	0,15	1,98	0,07
л-9	ТП13 - РУ2	2	44,26	АпВп - 4(1х35)	140	0,87	112,5432	175	0,05	0,92	0,07
л-10	ТП12 -РУ5	2	1,17	АпВп - 4(1х4)	38	0,87	30,54744	47,5	0,425	7,9	0,07
л-11	ТП15.1 - РУ11	2	43,54	АпВп - 4(1х35)	140	0,87	112,5432	175	0,125	0,92	0,07
л-12	ТП15.2 - РУ14	2	75,23	АпВп - 4(1х50)	175	0,87	140,679	218,75	0,45	0,64	0,07
л-13	ТП16 - РУ11	2	43,54	АпВп - 4(1х35)	140	0,87	112,5432	175	0	0,92	0,07
л-14	ТП9 - РУ6	2	219,76	АпВп- 4(1х150)	335	0,87	269,2998	418,75	0,525	0,21	0,07
л-15	ТП12 - РУ7	2	101,28	АпВп - 4(1х70)	210	0,87	168,8148	262,5	0,225	0,46	0,07
л-16	ТП10 - РУ12	2	98,29	АпВп - 4(1х70)	210	0,87	168,8148	262,5	0,075	0,46	0,07
л-17	ТП1 - РУ13	2	88,51	АпВп - 4(1х70)	210	0,87	168,8148	262,5	0,4	0,46	0,07
л-18	ТП15 - РУ16	2	145,27	АпВп - 4(1х95)	255	0,87	204,9894	318,75	0,05	0,34	0,07
л-19	ТП12 - РУ9	2	258,66	АпВп- 4(1х185)	385	0,87	309,4938	481,25	0,125	0,17	0,07

2.8 Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000В

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

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

Рассчитаем токов КЗ для участка распределительной сети 10кВ ГПП – ТП1. Для этого участка составим расчётную схему и схему замещения, представленные внизу.

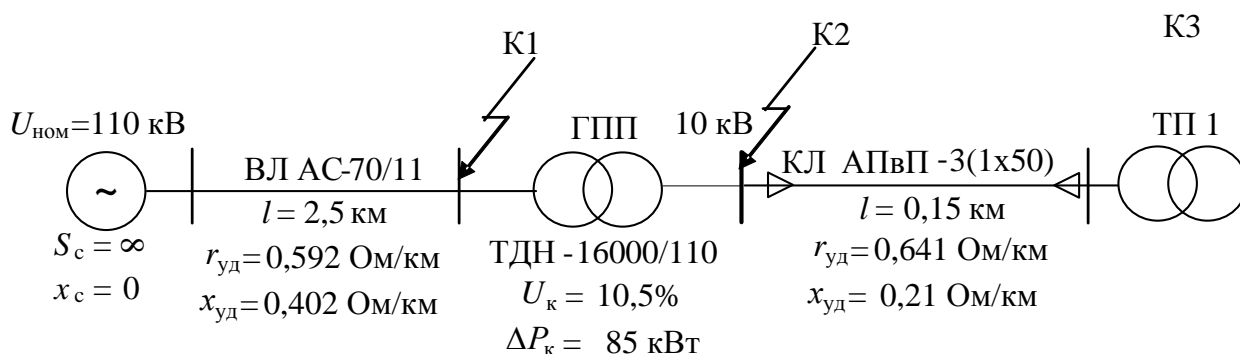


Рисунок 2.1 – Схемасети однолинейная расча

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

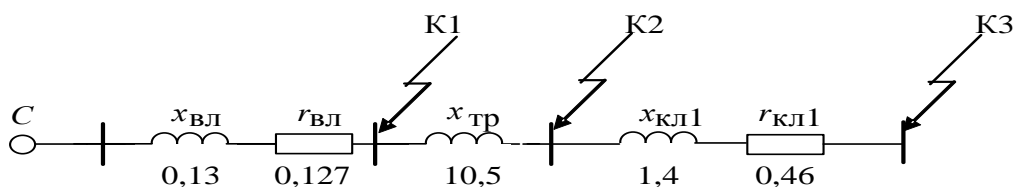


Рисунок 2. 2 – Упрощенная однолинейная схема замещения.

Расчёт токов КЗ ведётся в относительных единицах. Для этого все расчётные данные приводят к базисному напряжению и базисной мощности. Величина базисного напряжения U_6 превышает номинальное на 5%. За базисную мощность S_6 принимают любое число кратное 10.

Используя стандартный ряд базисных напряжений, примем $U_{61}=115$ [кВ], $U_{62}=10,5$ [кВ]. [1, стр.147].

За базисную мощность, вставляем $S_6=1600$ [МВА]. [3, стр.147]

Примем, что мощность источника электроэнергии (энергосистемы) $S_c = \infty$ и соответственно индуктивное сопротивление $X_c=0$

Примем базисные токи:

$$I_{*61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}} \quad (2.8.1)$$

$$I_{*61} = \frac{1600 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 10^3} = 8,03 \text{ [кА];}$$

$$I_{*62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{62}} \quad (2.8.2)$$

$$I_{*62} = \frac{1600 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 10^3} = 87,9 \text{ [кА];}$$

Для трансформаторов, генераторов, высоковольтных линий постоянно учитываются индуктивные сопротивления.

Базисные сопротивления в относительных единицах определяются по следующим формулам:

для воздушной линии:

$$X_{*ВЛ} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{61}^2} \quad (2.8.3)$$

где $x_0=0,432$ Ом/км независимо от сечения ВЛЭП.

$$X_{*ВЛ} = 0,432 \cdot 2,5 \cdot \frac{1600}{115^2} = 0,13 \text{ [о.е.]};$$

$$R_{*ВЛ} = r_0 \cdot 1 \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{61}}^2}, \quad (2.8.4)$$

где $r_0=0,422$ Ом/км независимо от сечения ВЛЭП.

$$R_{*ВЛ} = 0,422 \cdot 2,5 \cdot \frac{1600}{115^2} = 0,127 \text{ [о.е.]}$$

для трансформатора:

$$X_{*тр} = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{н.тр}}, \quad (2.8.5)$$

Где U напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

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

$$X_{*тр} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1600}{16} = 10,5 \text{ [о.е.]};$$

на кабельной линии:

$$X_{*кл1} = X_0 \cdot 1 \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{62}}^2}, \text{ где } x_0 \text{ – индуктивное сопротивление линии на один}$$

км длины, Ом/км, $x_0=0,21$ Ом/км для сечения жилы–50мм². [7, табл.8.2.13]

– длина линии, км.

$$X_{*кл1} = 0,21 \cdot 0,15 \cdot \frac{1600}{10,5^2} = 0,46 \text{ [о.е.]};$$

$$R_{*кл1} = R_0 \cdot 1 \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{62}}^2} \text{ где } r_0 \text{ – активное сопротивление линии на один км}$$

длины, Ом/км, $r_0=0,641$ Ом/км для сечения жилы –50мм². [7, табл.8.2.15.]

l – длина линии, км.

$$R_{*кЛ1} = 0,641 \cdot 0,15 \cdot \frac{1600}{10,5^2} = 1,4 \text{ [о.е.]};$$

Расчетаем токов КЗ для точки К1: Сопротивление короткого замыкания: так как $r_{\Sigma} > x_{\Sigma}/3$ не выполняется $0,46 \text{ [о.е.]} < 1,4 \text{ [о.е.]}$, то целесообразно учитывать активное сопротивление воздушной линии.

$$z_{*\Sigma К1} = \sqrt{X_{*ВЛ}^2 + R_{*ВЛ}^2} \quad (2.8.6)$$

$$z_{*\Sigma К1} = \sqrt{0,13^2 + 0,13^2} = 0,18 \text{ [о.е.]};$$

Действующее значение установившегося тока КЗ:

$$I_{К1} = \frac{I_{\sigma 1}}{z_{*\Sigma К1}}, \quad (2.8.7)$$

$$I_{К1} = \frac{8,03 \cdot 10^3}{0,18} = 37,56 \text{ [кА]};$$

Ударный ток:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{К1}, \quad (2.8.8)$$

где $k_{уд}$ – ударный коэффициент $k_{уд} = 1,05$ – система, связанная с шинами, где рассматривается КЗ, воздушными линиями, напряжением 110кВ [1.рис 7.1].

$$i_{удК1} = \sqrt{2 \cdot 1,6 \cdot 37,56} = 55,3 \text{ кА}$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_{К1} = \frac{S_{\sigma}}{z_{*\Sigma К1}} \quad (2.8.9)$$

$$S_{K1} = \frac{1600}{0,18} = 8888 \text{ [MBA]}.$$

Проведем расчет токов КЗ на точку К2:

Сопротивление короткого замыкания:

$$z_{*\Sigma K2} = \sqrt{1,52^2 + 11,09^2} = 11,19 \text{ [о.е.]} \quad (8.10)$$

Действующее значение установившегося тока КЗ:

$$I_{K2} = \frac{I_{62}}{z_{*\Sigma K2}}, \quad (2.8.10)$$

$$I_{K2} = \frac{87,97 \cdot 10^3}{11,19} = 8,28 \text{ [кА]};$$

Ударный ток:

$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{K2}$, где $k_{уд}$ – ударный коэффициент, в цепи не считая активного сопротивления $k_{уд} = 1.95$

$$i_{уд K2} = \sqrt{2} \cdot 1,95 \cdot 8,28 = 22,59 \text{ [кА]},$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_{K2} = \frac{S_6}{z_{*\Sigma K2}},$$

$$S_{K2} = \frac{1600}{11,19} = 134,45 \text{ [MBA]}.$$

Проведем расчет токов КЗ для точки К3:

Сопротивление короткого замыкания:

так как $r_{\Sigma} < x_{\Sigma}/3$, то учитывать активное сопротивление воздушной линии не будем.

$$z_{*\Sigma \text{ КЗ}} = X_{*\text{вл}} + X_{*\text{тр}} + X_{*\text{кл1}} \quad (2.8.11)$$

$$z_{*\Sigma \text{ КЗ}} = 0,13 + 10,5 + 0,46 = 11,16 \text{ [о.е.]};$$

Действующее значение установившегося тока КЗ:

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{87,98 \cdot 10^3}{11,19} = 7,86 \text{ [кА]};$$

Ударный ток:

$$i_{\text{уд КЗ}} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 7,86 = 17,61 \text{ [кА]},$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_{\text{КЗ}} = \frac{1600}{11,19} = 142,98 \text{ [МВА]}$$

Результаты сведем в таблицу 7.1:

Таблица 2.9 – Расчет токов КЗ в сети выше 1000 В для участка Система – ГПП – ТП1.

Расчетные точки	Z	$I_{\text{КЗ}}, \text{кА}$	$I_{\text{у}}, \text{ка}$	S
К-1	0,18	37,56	64,65	8888
К-2	11,19	8,28	22,59	134,45
К-3	11,16	7,86	17,61	142,98

Используя рассчитанные значения токов короткого замыкания, в начале линии проверим принятые ранее сечения кабелей на термическую стойкость при КЗ. Термически стойкое сечение:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T}, [1]. \quad (2.8.12)$$

где $B_K = I_K^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a)$ – тепловой импульс тока КЗ, $[A^2 \cdot c]$;

T_a – постоянная затухания аperiodической составляющей тока КЗ, будем считать равной 0,02 [с];

$$t_{\text{отк}} = t_3 + t_B \text{ – время отключения КЗ, [с];}$$

t_3 – время работы основной защиты, 0,03 [с]. [9]

t_B – точное время отключения выключателя; учитывая, что в ЗРУ ГПП установлены вакуумные выключатели ВЭ10-40-1600УЗ, то $t_B = 0,08$ [с];

C_T – коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и

материала проводника, принимаем равным $65 [A \cdot c^{\frac{1}{2}} / \text{мм}^2]$. [1]

Проверяем линию ГПП– ТП-1:

$$I_{K3} = 8,28 \text{ [кА]}$$

$$(t_{\text{отк}} + T_a) = 0,03 + 0,08 = 0,11 \text{ [с]},$$

$$B_K = 8,28^2 \cdot 0,11 = 9,73 \cdot 10^6 \text{ [A}^2 \cdot \text{c]}$$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{9,73 \cdot 10^6}}{65} = 47,9 \text{ [мм}^2\text{]}$$

Полученное значение минимального сечения показывает, что выбранный кабель, для данного участка распределительной сети АПвП – 3(1х50) проходит проверку на термическую стойкость при КЗ в начале линии

2.9 Выбор и проверка электрических аппаратов и токоведущих частей в сети выше 1000В

Выбор высоковольтного выключателя

выбираем ВЭ10-40-1600/У3

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ}, I_{ном} = 1600 \text{ А}, I_{ном,откл} = 40 \text{ кА}, i_{уд} = 100 \text{ кА}$$

Проверяем выключатель по следующим условиям:

1) Номинальное напряжение: $U_{уст} \leq U_{ном}$ ($10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ}$) (2.9.1)

2) Номинальный ток: $I_{норм} \leq I_{ном}$ ($1231 \text{ А} \leq 1600 \text{ А}$) (2.9.2)

3) Отключающая способность:

$$I_{n,\tau} \leq I_{отк, ном} \quad (37,56 \text{ кА} = 40 \text{ кА}) \quad (2.9.3)$$

$$i_{a,\tau} \leq i_{a,ном} \quad (2,488 \text{ кА} \leq 8,485 \text{ кА}) \quad (2.9.4)$$

$$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_n I_{отк, ном} / 100 = \sqrt{2} \cdot 60 \cdot 10 / 100 = 8,485 \text{ кА} \quad (2.9.5)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 4,783 \cdot e^{\frac{-0,05}{0,05}} = 2,488 \text{ кА},$$

$$\text{где } T_a = 0,05 \text{ с};$$

$$\tau = t_{p.з.} + t_{с.в.} = 0,05 \text{ с}$$

4) Электродинамическая стойкость:

$$I_{n0} \leq I_{дин} \quad (64,65 \text{ кА} \leq 100 \text{ кА})$$

5) Термическая стойкость:

$$I_{КЗ} = 8,28 \text{ [кА]}$$

$$(t_{отк} + T_a) = 0,01 + 0,08 = 0,09 [с],$$

$$B_k = 8,28^2 \cdot 0,09 = 6,17 \cdot 10^6 [A^2 \cdot c]$$

$$F_{min} = \frac{\sqrt{6,17 \cdot 10^6}}{65} = 38,2 [мм^2]$$

подбираем трансформаторов тока.

Выбираем ТОЛ 10[5]

$$U_{ном} = 10кВ, I_{ном}^1 = 1500А, I_{ном}^2 = 15А$$

Проверяем трансформатор тока по следующим пунктам:

1) Номинальное напряжение:

$$U_{уст} \leq U_{ном} \quad (10кВ \leq 10кВ)$$

2) Номинальный ток:

$$I_{норм} \leq I_{ном} \quad (1231А \leq 1500А)$$

3) Электродинамическая стойкость:

$$i_y \leq i_{дин} \quad (64,65кА \leq 100кА),$$

4) Термическая стойкость:

$$B_k \leq I_{терм}^2 \cdot t_{терм} \quad (6,17кА^2 \cdot c \leq 150кА^2 \cdot c)$$

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 50^2 \cdot 3 = 7500кА^2 \cdot c [1].$$

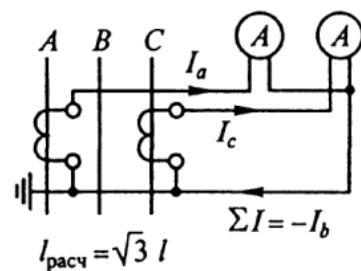


Таблица 2.10 – Установленные на ГПП счетчики.

Прибор	Типы	Нагрузка, ВА, фазы		
		А	В	С
Амперметр показывающий	Э – 365	0,5	-	-
Ваттметр	Д – 335	0,5	-	0,5
Счетчик активной и реактивной энергии	СЕ302-S33	5	-	5
Итого		6	-	5,5

Общее сопротивление приборов определяется по расчету:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6}{5^2} = 0,24 \text{ Ом}$$

Сопротивление контактов $r_k = 0,1 \text{ Ом}$ при общем числе приборов более трех;

$$z_{2\text{ном}} = 0,8 \text{ Ом.}$$

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{пр}} = z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_k = 0,8 - 0,24 - 0,1 = 0,46 \text{ Ом};$$

Длина проводов $l_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot 5 = 8,66$ - расчетная длина соединительных проводов при включении трансформаторов тока и приборов в неполную звезду, $l = 5 \text{ м}$ – длина соединительных проводов от трансформатора тока до приборов (в один конец), [2, стр. 375].

$$\text{Определяем сечение проводов: } q = \frac{\rho \cdot l}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 8,66}{0,46} = 0,533 \text{ мм}^2 \text{ мм}^2;$$

$\rho = 0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ – удельное сопротивление материала проводника – алюминий. По условию прочности принимаем контрольный кабель АКРВГ с сечением жил – 4 мм^2 .

Напряжения трансформатора (TV) ;Выбираем ЗНОЛ.09[5].

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}, U_{\text{ном}}^1 = 10000 / \sqrt{3} \text{ В}, U_{\text{ном}}^{2\text{осн.стоп.}} = 100 / \sqrt{3} \text{ В}, U_{\text{ном}}^{2\text{доп.стоп.}} = 100 \text{ В}$$

Проверяем напряжения трансформатора по следующим порядке:

1) Номинальное напряжение: $U_{уст} \leq U_{ном}$ ($10кВ = 10кВ$)

Таблица 2.11 – Характеристики приборов

Прибор	Тип	Р одной обмотки ВА	Число обмоток	cos φ	sin φ	Число приборов	Общая потребляемая мощность		
							Р, Вт	Q, ВАр	
Вольтметр (сборные шины)	Э-335	2	1	1	0	1	2	-	
Вартметр Счетчик активной энергии Счетчик реактивной энергии	Ввод 10 кВ от трансформатора	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	-
		И-674	3 Вт	2	0,38	0,93	1	6	14,5
		И-673	3 Вт	2	0,38	0,94	1	6	14,5
Счетчик активной и реактивной энергии	Кабельные линии 10кВ	S33	6 Вт	2	0,38	0,93	1	36	87
Итого							53	116	

$$P = S \cdot n_{обм} \cdot n_{приб} = 6 \cdot 2 \cdot 3 = 36 \text{ Вт}$$

$$Q = P \cdot \text{tg} \varphi = 36 \cdot 2,43 = 87 \text{ ВАр}$$

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{36^2 + 87^2} = 145,52 \text{ ВА}$$

Три трансформатора напряжения, соединенных в звезду, имеют мощность $75 \cdot 3 = 225 \text{ ВА}$, что больше $S_{2\Sigma}$. Таким образом, трансформаторы напряжения будут работать нормально в выбранном классе точности 0,5.

2.10 Расчет питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения и построение эпюры отклонений напряжения.

Выполняем для цепочки линий от шин ГПП до зажимов наиболее мощного электроприемника (Электродпечь).

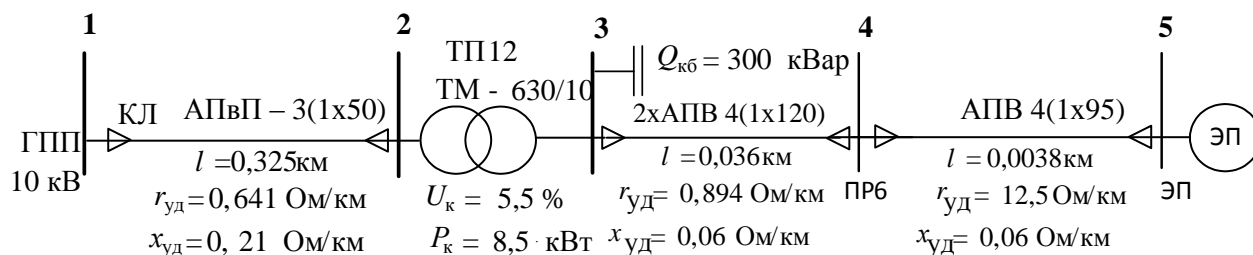


Рисунок 2.3– Участок сети для расчета потерь напряжения и построения эпюры отклонений напряжения.

Расчет потерь напряжений в различных элементах выбранной цепочки производим по нижеприведенным формулам.

Для трансформатора:

$$\Delta U_T \% = \beta_T (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_T^2}{200} (U_a \cdot \sin \varphi_2 - U_p \cdot \cos \varphi_2),$$

где $\beta_T = \frac{S_{\text{фактич}}}{S_{\text{н.тр.}}}$ – фактический коэффициент загрузки цехового

трансформатора;

$S_{\text{фактич}}$ – фактическая нагрузка одного трансформатора, [кВА];

$S_{\text{н.тр.}}$ – номинальная мощность цехового трансформатора, [кВА];

$U_a = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 100\%}{S_{н.тр.}}$ – активная составляющая напряжения короткого замыкания цехового трансформатора, %;

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

$U_p = \sqrt{(U_k)^2 - (U_a)^2}$ – реактивная составляющая напряжения короткого замыкания цехового трансформатора, %;

U_k – напряжение короткого замыкания, %;

$\cos\varphi_2$ и $\sin\varphi_2$ – коэффициент мощности вторичной нагрузки трансформатора и соответствующий ему $\sin\varphi_2$.

Для линии:

$$\Delta U\% = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{10 \cdot U_1^2},$$

где P и Q – соответственно величины активной и реактивной мощностей, передаваемых по расчетному участку в рассматриваемом режиме, [кВт] и [кВар];

R и X – активное и индуктивное сопротивления данного участка сети, [Ом];

U_1 – напряжение на данном участке сети (в начале участка), [кВ].

Расчет для максимального режима нагрузок:

Участок ГПП – ТП12 (АПВП 3(1x50)):

$$\Delta U_{гпп-тп} \% = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U_n^2} = \frac{323,09 \cdot 0,641 \cdot 0,325 + 322,71 \cdot 0,21 \cdot 0,325}{10 \cdot 10,5^2} = 0,082\%$$

где r_{012} , x_{012} – погонное активное и реактивное сопротивления линии. [7, табл. 8.2.13, 8.2.15], значения P, Q, R, X взяты из предыдущих этапов расчета.

$$\Delta U_{III-III} = 0,082 \cdot \frac{10500}{100} = 5,17 [\text{В}];$$

$$U_2 = 10500 - 5,16 = 10494 [\text{кВ}];$$

Участок ТП12:

$$\Delta U_T \% = \beta_T (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_T^2}{200} (U_a \cdot \sin \varphi_2 - U_p \cdot \cos \varphi_2),$$

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

$$U_a = \frac{8,5 \cdot 100\%}{630} = 1,349 \%;$$

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

$$U_p = \sqrt{8,5^2 - 1,349^2} = 5,332 \%;$$

$$\beta_T = \frac{S_{фактич}}{S_{н.тр.}} = \frac{\sqrt{(P_{p12})^2 + (Q_{p12})^2}}{S_{н.тр.}}$$

$$\beta_T = \frac{\sqrt{323,1^2 + 322,7^2}}{630} = 0,72;$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{323,08}{\sqrt{323,08^2 + 322,7^2}} = 0,695$$

$$\sin \varphi_2 = 0,692.$$

Тогда

$$\Delta U_T \% = 0,724 \cdot (1,34 \cdot 0,695 + 5,33 \cdot 0,692) + \frac{0,724^2}{200} (1,34 \cdot 0,692 - 5,33 \cdot 0,695) = 3,38\%;$$

$$\Delta U_T = 3,38 \cdot \frac{10,494}{100} = 0,369 [\text{кВ}];$$

$$U_3' = 10,494 - 0,369 = 10,14 \text{ [кВ]};$$

Участок ТП12-РП1:

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U^2},$$

$$\Delta U_{ТП12-РП1} = \frac{25,57 \cdot 0,117 \cdot 0,046 + 93,42 \cdot 0,06 \cdot 0,046}{10 \cdot 0,369^2} = 0,664 \%$$

$$\Delta U_{ТП12-РП1} = 1,493 \cdot \frac{0,369}{100} = 0,00235 \text{ [кВ]};$$

$$U_4 = 0,369 - 0,0024 = 0,367 \text{ [кВ]};$$

Участок РП1-ЭП1 станок специальный для резки:

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U^2},$$

$$\Delta U_{РП1-ЭП1} = \frac{0,715 \cdot 12,5 \cdot 0,0039 + 1,238 \cdot 0,06 \cdot 0,003}{10 \cdot 0,369^2} = 0,062 \%$$

$$\Delta U_{РП1-ЭП1} = 0,62 \cdot \frac{0,369}{100} = 0,22 \text{ [кВ]};$$

$$U_5 = 0,369 - 0,22 = 0,347 \text{ [кВ]};$$

Отклонения напряжения:

$$\delta U_1 = 5\%;$$

$$\delta U_2 = \delta U_1 - \Delta U_{ТП12-ТП11} \% = 5 - 0,082 = 4,918\%;$$

$$\delta U_3 = \delta U_2 - \Delta U_{ТП11} \% = 4,918 - 3,37 = 1,548\%;$$

$$\delta U_4 = \delta U_3 - \Delta U_{ТП11-РП1} \% = 1,548 - 0,664 = 0,884\%;$$

$$\delta U_6 = \delta U_5 - \Delta U_{РП1-ЭП1} \% = 0,884 - 0,062 = 0,822\%;$$

Согласно [6], для силовых сетей отклонения напряжения от номинального должны составлять не более $\pm 5\%$. В данном случае условие выполняется.

Расчет для минимального режима нагрузок:

Для определения потоков мощностей минимального режима необходимо воспользоваться характерным суточным графиком электрических. В нашем случае примем $P_{\min} = 0,85 \cdot P_{\max}$ минимальная реактивная мощность $Q_{\min} = 0,3 \cdot Q_{\max}$. После этого расчет повторяется по принципу расчета максимального режима, но при уменьшенной передаваемой мощности.

Таблица 2.12 – Результаты расчета сети по потере

Обозначение участка	ГПП-ТП12	ТП12	ТП12-ПР6	РП1-ЭП1
Марка кабеля (сечение, мм ²)	АПвП 3(1x50)	ТМ – 630/10	2хАПВ 4(1x200)	АПВ 4(1x95)
Длина, км	0,325	-	0,036	0,0038
Активное, Ом/км	0,641	1,34	0,894	12,5
Реактивное, Ом/км	0,21	5,33	0,06	0,06
Потери % напряжения макс / мин режим	0,082 / 0,057	3,376 / 1,39	0,664 / 0,249	0,062 / 0,52

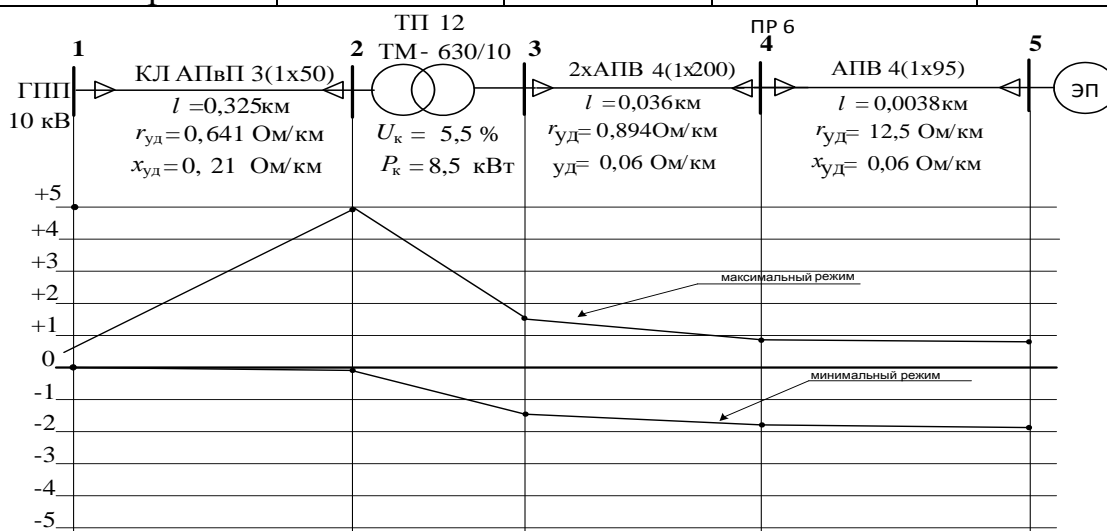


Рисунок 2.4– Эпюры отклонений напряжения.

2.11 Расчёт токов короткого замыкания в сети до 1000 В

Расчет токов КЗ проводим для участка цеховой сети от ТП-12 до наиболее мощного электроприемника цеха (шлифовальный станок). Полученные данные наносим на карту селективности действия аппаратов защиты.

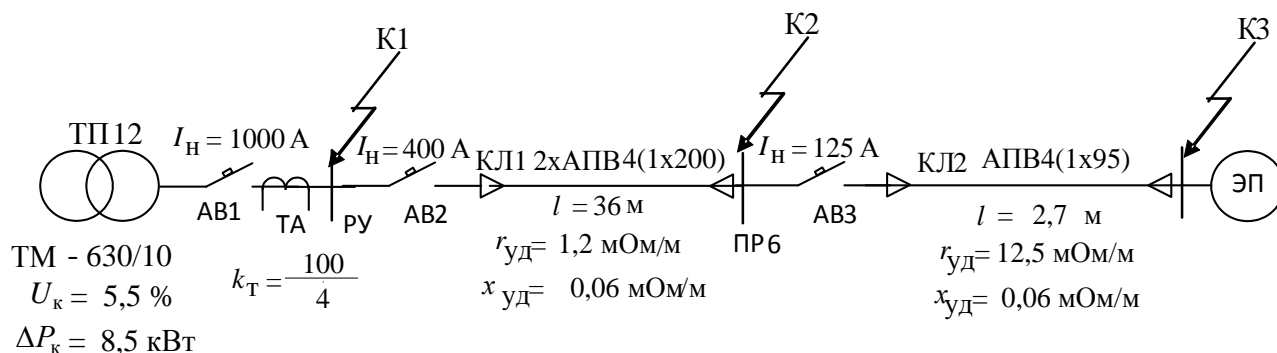


Рисунок 2.5 – Участок сети до 1000 В для расчета токов КЗ

Расчёт токов КЗ в сети до 1000 [В] имеет следующие особенности:

1) принимаем мощность системы $S_c = \infty$, что правомерно при $S_c \geq 50S_{н.тр.}$, т.е. напряжение на шинах подстанции считается неизменным при КЗ в сети до 1000 [В];

2) при расчёте учитываются активные и реактивные сопротивления до точки КЗ всех элементов сети: силового трансформатора, сопротивление токовой катушки автоматического выключателя и переходное сопротивление контактов, сопротивление первичной обмотки трансформаторов тока, сопротивление проводов и кабелей;

3) расчёт ведётся в именованных единицах, напряжение принимается на 5% выше номинального напряжения сети. Принимаем $U_c = 400 \text{ [В]}$. [1]

Расчёт токов КЗ для точки К1:

1. Сопротивления автоматического выключателя АВ1:

$$R_{A1} = 0,15 \text{ мОм}; \quad X_{A1} = 0,17 \text{ мОм}; \quad R_{Апер1} = 0,4 \text{ мОм}$$

2. Сопротивления автоматического выключателя АВ2:

$$R_{A2} = 6,2 \text{ мОм}; \quad X_{A2} = 4,3 \text{ мОм}; \quad R_{\text{Апер}2} = 1,4 \text{ мОм} .$$

Сопротивления автоматического выключателя АВ3:

1. $R_{A3} = 15 \text{ мОм}; \quad X_{A3} = 13 \text{ мОм}; \quad R_{\text{Апер}3} = 4,9 \text{ мОм}$

Для нахождения сопротивлений для АВ воспользовались методом линейной интерполяции.

4. Сопротивления первичной обмотки трансформатора тока ТА

$$R_{\text{ТТ}}=3,1 \text{ мОм}; \quad X_{\text{ТТ}}= 13,6 \text{ мОм};$$

5. Сопротивления кабельных линий

$$R_{\text{КЛ1}} = 8,9 \text{ мОм} \quad X_{\text{КЛ1}} = 0,6 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{КЛ2}} = 5,21 \text{ мОм} \quad X_{\text{КЛ2}} = 0,06 \text{ мОм}$$

6. Активные переходные сопротивления неподвижных контактных соединений:

$$R_{\text{кКЛ1}} = 0,043 \text{ мОм} \quad R_{\text{кКЛ2}} = 0,085 \text{ мОм}$$

Приводим сопротивления системы высшего напряжения к напряжению 0,38 кВ.

$$x_{\Sigma 10\text{В}} = x_{\text{вл}} + x_{\text{трГПП}} + x_{\text{кл}} = 4,6 + 13,1 + 0,85 = 17,785 \text{ мОм}.$$

$$r_{\Sigma 10\text{В}} = r_{\text{вл}} + r_{\text{кл}} = 4,4 + 1,2 = 6,2 \text{ мОм}.$$

$$x_{\Sigma 10\text{Н}} = x_{\Sigma 10\text{В}} \cdot \left(\frac{U_{\text{НОМ.НН}}}{U_{\text{НОМ.ВН}}} \right)^2 = 17,785 \cdot \left(\frac{0,38}{10} \right)^2 = 0,02 \text{ мОм};$$

$$r_{\Sigma 10\text{Н}} = r_{\Sigma 10\text{В}} \cdot \left(\frac{U_{\text{НОМ.НН}}}{U_{\text{НОМ.ВН}}} \right)^2 = 6,2 \cdot \left(\frac{0,38}{10} \right)^2 = 0,015 \text{ мОм}.$$

Определяем сопротивление цехового трансформатора

$$r_{\text{T}} = \frac{\Delta P_{\text{к}} \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.Т}}^2} = \frac{5,5 \cdot 380^2}{630^2} = 2,01 \text{ мОм};$$

$$x_{\text{T}} = \frac{U_{\text{р}} \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{100 \cdot S_{\text{НОМ.Т}}} = \frac{8,3 \cdot 400^2}{100 \cdot 250} = 3,02 \text{ мОм};$$

$$\text{где } U_p = \sqrt{U_{к3}^2 - U_a^2} = \sqrt{8,3^2 - 0,87^2} = 8,25 \%;$$

$$U_a = \frac{\Delta P_k \cdot 100}{S_{\text{ном.т}}} = \frac{5,5 \cdot 100}{630} = 0,87\%.$$

Упростим схему замещения, определив эквивалентные сопротивления на участках схемы между точками КЗ

$$R_1 = R_{10н} + R_{тр} + R_{A1} + R_{ТТ} + R_{Апер1} = 0,15 + 2,01 + 0,15 + 11,3 + 3,1 = 17,3 \text{ мОм.}$$

$$X_1 = X_{10н} + X_{тр} + X_{ТТ} + X_{A1} = 0,02 + 3,02 + 13,6 + 0,15 = 16,79 \text{ мОм}$$

$$R_2 = R_{A2} + R_{Апер2} + R_{кКЛ1} + R_{КЛ1} + R_1 = 6,2 + 1,4 + 0,04 + 8,9 + 0,043 = 7,62 \text{ мОм}$$

$$X_2 = X_{A2} + X_{КЛ1} + X_1 = 0,17 + 0,6 + 16,79 = 17,56 \text{ мОм}$$

$$R_3 = R_{A3} + R_{Апер3} + R_{кКЛ2} + R_{КЛ2} + R_2 = 5,5 + 1,3 + 0,08 + 3,9 + 47 = 57,78 \text{ мОм}$$

$$X_3 = X_{A3} + X_{КЛ2} + X_2 = 15 + 0,06 + 17,56 = 32,62 \text{ мОм}$$

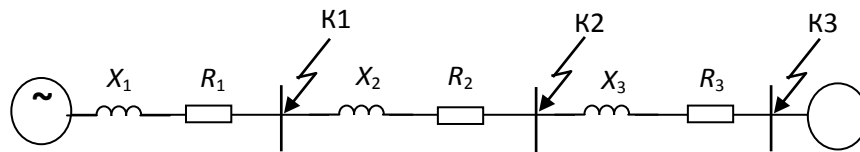


Рисунок 2.6 – Упрощенная схема замещения цеховой сети

Ток КЗ в точке К1 равен:

$$I_{к1} = \frac{U_{\text{сети}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma 1}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_1^2 + X_1^2}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 28,8} = 7,6 \text{ кА};$$

$$\text{Ударный ток в точке К1: } i_{y1} = k_{y1} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к1} = 1,15 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,6 = 12,36 \text{ кА.}$$

$$\text{Значение } k_y \text{ определяем по кривой, для } \frac{x_{\Sigma 1}}{r_{\Sigma 1}} = \frac{16,79}{25,2} = 0,69; k_{y1} = 1.$$

Аналогично рассчитываем ток КЗ в других точках цеховой сети. При этом учитываем сопротивления шинпроводов, кабельных линий и переходные сопротивления контактов. Результаты расчетов сведены в таблицу.

Таблица 2.13 – Результаты расчета токов КЗ

Точка	X_{Σ} , мОм	R_{Σ} , мОм	I_k , кА	x_{Σ} / r_{Σ}	k_y	i_y , кА
К1	30,64	25,19	7,16	0,692	1,07	10,74
К2	47,34	41,73	4,64	0,535	1,05	4,64
К3	75,7	66,9	2,9	0,53	1	2,9

В электрических сетях ниже 1000 В кабели не подлежат проверке на термическую устойчивость.

2.12 Построение карты селективности действия аппаратов защиты для участка цеховой сети.

Карту селективности строим для участка цеховой сети от вводного автомата на подстанции ТП-12 до самого мощного электроприемника ЭП30 (Электродпечь).

Данные для построения карты селективности представлены в табл. 2.12.1.

Таблица 2.14 – Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты

	ЭП	ПР6	ТП-12	I _{кз} в соотв. точках, кА		
				1	2	3
I _p , А	-	279,95	958,3	7,16	4,64	2,9
I _{пик} , А	-	422,37	1770,8			
I _{ном} , А	86,9	-				
I _{пуск} , А	86,9	-				

Таблица 2.15 – Данные для построения карты селективности действия аппаратов защиты.

Наименование аппарата защиты	Номинальный ток расцепителя, А	Номинальный ток срабатывания установки в зоне КЗ, А
ВА52-39 (ТП12)	1000	2000
ВА-04-36 (ПР6)	320	640
ВА5135М3-125(ЭП30)	125	250

Защитные характеристики автоматических выключателей, которые необходимо использовать для построения карты селективности действия аппаратов защиты, приведены в [3, с. 87].

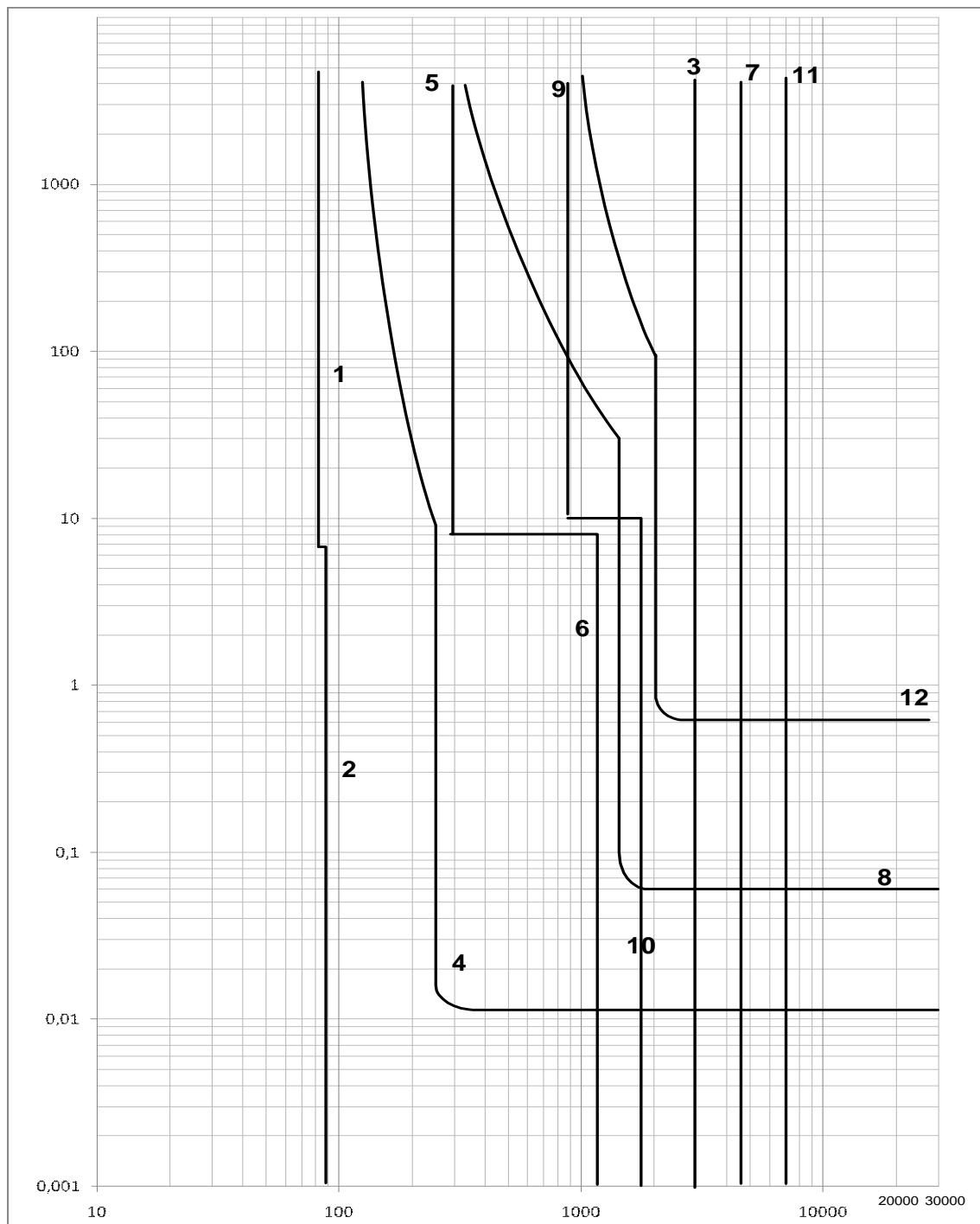


Рисунок 2.7 – Карта селективности действия аппаратов защиты

Обозначения на карте селективности:

- 1 – номинальный ток ЭП;
- 2 – пусковой ток ЭП;
- 3 – значение тока КЗ в точке К3;
- 4 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА5135М3-125,
 $I_{КЗ} = 250\text{А}$;
- 5 – расчетный ток ПР-6;
- 6 – пиковый ток ПР-6;
- 7 – значение тока КЗ в точке К2;
- 8 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА13-31,
 $I_{КЗ} = 640\text{ А}$;
- 9 – расчетный ток ТП-12;
- 10 – пиковый ток ТП-12;
- 11 – значение тока КЗ в точке К1;
- 12 – защитная характеристика автоматического выключателя ВА52-39, $I_{КЗ} = 2000\text{ А}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассчитана сеть электроснабжения машиностроительного завода с детальной проработкой цеха твердой изоляции.

В результате расчета электрических нагрузок цеха твердой изоляции методом упорядоченных диаграмм были получены следующие результаты: расчетный ток составил $I_p = 836,7$ А, полная расчетная мощность равна $S_p = 550,63$ кВА. Также были определены полные расчетные мощности остальных цехов предприятия методом K_c и полная расчетная мощность завода с учетом высоковольтной нагрузки и освещения территории.

По результатам расчета нагрузки по цехам завода построена картограмма нагрузок, определен центр электрических нагрузок. Место установки ГПП было выбрано вблизи центра электрических нагрузок в зоне рассеяния.

Определено число и мощность цеховых силовых трансформаторов марки ТМ мощностью 630 - 1600 (каждых по 8 штук) и произведено их распределение по цехам завода с учетом категории надежности. Питание цеховых трансформаторов осуществляется двухцепными кабельным линиям напряжением 10 кВ марки АПвП сечениями от 50 до 90 мм².

Для рассматриваемой ТП был выбран трансформатор марки ТМ-630/10. Для питания трансформаторов от РУ-10 кВ были выбраны кабели марки АПвП 3х50. Эти сети были проверены на действие токов КЗ.

Электроснабжение завода осуществляется от энергосистемы. Питание предприятия выполнено двухцепной воздушной линией напряжением 110кВ. Линия выполнена проводом АС-70. На ГПП, с целью обеспечения надежности электроснабжения потребителей второй категории, резервно запитан от ТП10. Выбор трансформаторов осуществлялся с учетом компенсации реактивной мощности на предприятии путем установки КБ.

Питание к электроприемникам выполнено кабелями марок АПВ сечением от 2 до 95 мм². В качестве защитной аппаратуры в сетях 0,4 кВ были приняты автоматические выключатели серии ВА.

Так как кроме нормального режима в сетях данного предприятия могут присутствовать и аномальные, в том числе КЗ, поэтому токи КЗ были просчитаны в нескольких точках как в сетях выше 1000 В, так и в низковольтных сетях.

По результатам расчетов были построены эпюры отклонений напряжения для максимального, минимального и послеаварийного режимов. Анализ эпюр показал, что во всех режимах отклонение напряжения не превышает максимально допустимого $\pm 5\%$.

По результатам расчета токов КЗ в сети 0,4 кВ построена карта селективности действия защитных аппаратов.

Список литературы

1. Л.П. Сумарокова, Электроснабжение промышленных предприятий. Учеб. Пособие. - Томск: ТПУ, 2012. – 288 с.
2. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электро-снабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб. пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2005. – 168 с
3. Правила устройства электроустановок [Текст]: Все действующие раз-делы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Сиб. Унив. Изд-во, 2009. – 853 с.,
4. Справочник по проектированию электроснабжения /Под редакцией Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990 (Электроустановки промышленных предприятий / Под общ.ред. Ю.Н. Тищенко и др
5. Справочник по проектированию электрических сетей/Под ред. Д.Л. Файбисовича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 352 с.: ил.
6. Барченко Т.Н., Закиров Р.И. Электроснабжение промышленных пред-приятий. – Томск: ТПУ, 1988. – 95с.
7. Мельников М. А. Внутривзаводское электроснабжение: Учеб. пособие. – Томск:Изд. ТПУ, 2004. – 180 с.
8. А.В. Кабышев Электроснабжение объектов Ч.1 Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования. Учеб.пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2007. – 185 с.
9. Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 646 с.

10. А.И. Гаврилин, С.Г. Обухов, А.И. Озга. Электроснабжение промышленных предприятий. Методические указания к выполнению выпускной работы бакалавра. – Томск: ТПУ, 2001 – 93 с.
11. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. – Томск: ТПУ, 2014. – 37с.
12. Томпсон А.А., Стрикленд Дж.А. Стратегический менеджмент: концепции и ситуации для анализа, 12-е издание: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2006 – 928 с
13. Бородин Ю.В., Извеков В.Н., Ларионова Е.В., Плахов А.М. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность».- Томск: ТПУ, 2014. – 9 с.
14. Извеков В.Н, Гусельников М.Э., Крепша Н.В., Панин В.Ф. Методические указания по разработке раздела «Производственная и экологическая безопасность».- Томск: ТПУ, 2006. – 42 с
15. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
16. Федеральный закон РФ от 22.07.2008г. №123 ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
17. Р2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
18. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
19. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.:Госкомсанэпиднадзор, 2003.

20. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. М.: Минздрав России, 1997.
21. СНиП 2.04.05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
22. СНиП 11-2-80. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.
23. СНиП II-90-81. Производственные здания промышленных предприятий.
24. СП 52.13330.2011 «Актуализированный СНиП» 23-05-95.