

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение завода сельхозмашинстроения

Обучающийся

А.В.Крейбель

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И.Платов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Аннотация

Выпускная квалификационная работа на тему «Электроснабжение завода сельхозмашиностроения» выполнена на 78 листах пояснительной записки и 6 листах графической части. При выполнении работы было использовано 25 источников.

Проектируемый завод осуществляет выпуск и поставку запасных частей для сельскохозяйственной техники. Основу производственных мощностей завода составляют цеха сталелитейного и металлорежущего направлений. Имеются ряд вспомогательных цехов, таких как компрессорные, котельные и так далее. Целью работы является проектирование оптимальной по технико-экономическим показателям системы электроснабжения для данного предприятия.

На генеральном плане предприятия показано размещение цехов. На первом этапе проектирования был определён требуемый уровень надёжности электроснабжения. Далее был произведён расчет электрических нагрузок для цехов и по заводу в целом с учетом осветительной нагрузки. На основании этих расчетов построена картограмма нагрузок и приведена на генплане, определен условный центр эл. нагрузок. По рассчитанным нагрузкам выполнен расчет цеховых трансформаторных подстанций, определено количество и мощность трансформаторов. Разработана схема питания от ГПП. Трассы кабельных линий показаны на генплане и способы прокладки кабеля. Для питания завода применена радиально-магистральная схема электроснабжения с тремя распределительными пунктами, что позволяет при сохранении требуемого уровня надёжности электроснабжения сократить протяженность кабельных линий.

В выпускной квалификационной работе определена численность ремонтно-эксплуатационного персонала, выполнен технико-экономический расчёт капитальных затрат, и также определена себестоимость электроэнергии.

Содержание

Введение.....	4
1 Определение целей и задач проектирования системы электроснабжения.....	5
1.1 Общая характеристика завода.....	5
1.2 Анализ состояния существующей системы электроснабжения.....	8
1.3 Определение целей и задач проектирования.....	9
2 Обоснование предложений по электроснабжению завода.....	10
2.1 Выбор электрических схем.....	10
2.2 Расчет электрических нагрузок.....	11
2.3 Выбор кабелей и элементов распределительных устройств.....	32
2.4 Выбор трансформаторов.....	40
3 Обеспечение надежности и безопасности системы электроснабжения...	48
3.1 Расчет системы РЗиА.....	48
3.2 Расчет системы освещения.....	53
3.3 Расчет молниезащиты и заземления.....	57
3.4 Экономический анализ проекта.....	62
Заключение.....	74
Список используемых источников.....	75

Введение

Для достижения развития промышленности в нашей стране, нам нужно улучшать эффективность производства основанной на научно-техническом прогрессе.

В области электроснабжения это включает в себя улучшение уровня проектно-конструкторских разработок, использование надежного оборудования, уменьшение ненужных затрат электроэнергии.

Системы электроснабжения становятся все сложнее и требуют более экономичного и надежного функционирования, чтобы удовлетворять потребности потребителей электроэнергии. Из-за этого существует потребность в высококвалифицированных инженерах, которые могут решать сложные задачи, связанные с проектированием и эксплуатацией систем электроснабжения.

Прерывания в подаче электроэнергии могут нанести серьезный ущерб народному хозяйству и в некоторых случаях привести к авариям. Поэтому, при проектировании систем электроснабжения необходимо тщательно изучать условия производства, чтобы избежать излишнего расхода электрооборудования и материалов, и обеспечить непосредственно надежное и экономное электроснабжение, соответствующее требованиям данного производства.

Проектирование должно проводиться в соответствии с утверждёнными Правилами, Нормами и ГОСТами, что обеспечивает достаточную электробезопасность, пожаробезопасность и взрывобезопасность.

В работе выполнены расчеты по представленным ниже разделам:

- расчет электрических нагрузок,
- выбор числа и мощности трансформаторов,
- расчет токов короткого замыкания,
- релейная защита и автоматика.

1 Определение целей и задач проектирования системы электроснабжения

1.1 Общая характеристика завода

Завод производит различные детали для машин, которые необходимы для работы в сельском хозяйстве, используя метод литья металла и его перемещения по потоку. Завод имеет спланированную систему электроснабжения, которая подходит для промышленного производства. Основные цеха завода работают по двум сменам. Производство имеет массовый характер. Первоначальные данные для проектирования электроснабжения завода сельхозмашиностроения указаны в таблицах 1-2.

Таблица 1 – Первоначальные данные для проектирования

№ по плану	Наименование цехов	Количество приемников	Установленная мощность, кВт	
			одного приемника, P_n	суммарная, P_n
1	2	3	4	5
1	Ремонтно-механический цех	77	1,1-520,8	1610,5
2	Административно-бытовой корпус	30	3,8-10	204,8
3	Блок вспомогательных цехов	58	1-50	1007,9
4	Литейный цех	90	1-120	2348,3
5	Главный корпус	153	20-150	6956,5
6	Котельная	35	2-70	1825,9
7	Компрессорная №1	17	1-40	464,5
8	Компрессорная №2	17	1-40	464,5
9	Насосная №1	15	1-50	729,5
10	Насосная №2	40	5-70	1247,2

Таблица 2 – Электроприёмники ремонтно-механического цеха

Номер на плане	Наименование электроприёмника	Установленная мощность, кВт
1	2	3
2	Долбёжный станок	14,2
3	Токарно-винторезный станок	11,1
4	Радиально-сверлильный станок	8,8
5	Вертикально-фрезерный станок	13
6	Консольно-фрезерный станок	13
7	Токарно-револьверный станок	14,1
8	Кругло-шлифовальный станок	11,7
9	Дисковая пила	5,7
10	Обдирочно-шлифовальный станок	6,2
11	Насос	3
12	Трёхволковые вальцы	14
13, 83	Контаватель	5,5
15, 16, 45, 57, 72, 73, 74, 80	Укосина	1,1
17	Радиально-сверлильный станок	18,5
18	Сварочный двигатель-генератор	46,5
19, 23, 93	Обдирочно-шлифовальный станок	6,2
21, 22, 30, 31, 51, 52, 69, 70, 78, 84, 85, 86, 100	Сварочный трансформатор	25,6
24	Четырёхволковые вальцы	100,5
25	Газорезущая машина	3,3
26, 27	Семиволковые вальцы	153,7
27-1, 28	Газорезущая машина	2,2
37	Сварочный трансформатор	76,8
38	Радиально-сверлильный станок	7,7

Продолжение таблицы – 2

1	2	3
39	Пресс ножницы	14
43	Сварочный двигатель-генератор	31
44	Горизонтально-расточный станок	49,1
46 – 48, 56, 75, 76, 77, 81, 82	Сварочный двигатель-генератор	15,5
50	Радиально-сверлильный станок	18,1
54	Сварочный трансформатор	51,2
55, 66	Вертикально-сверлильный станок	4
58	Сверлильный станок	11,2
61	Трёхволковые вальцы	15,5
62	Ножницы кривые мостовые	5,1
63	Ножницы двудисковые	5
64	Гильотинные ножницы	2,2
65	Барабан галтавочный	7,5
67	Автоворота	2
68	Тепловая завеса	40
87	Вентиляция	154
89	Насос	5
90	Автоматические шторы	2,2
92	Плоскошлифовальный станок	15,8
94	Вертикально-сверлильный станок	4,6
95	Приточная камера	70
96	Тепловая завеса	60
97	Поперечно-строгальный станок	2,8

В вышеуказанных таблицах мы видим необходимые данные для проектирования электроснабжения завода сельхозмашиностроения.

1.2 Анализ состояния существующей системы электроснабжения

ПУЭ (Правила устройства электроустановок) определяют категории помещений по их взрывоопасности и предписывают требования к степени защиты электрооборудования, установленного в этих помещениях. Категории помещений по взрывоопасности определяются в зависимости от наличия в них горючих веществ и возможности их воспламенения. По ПУЭ электроприемники относятся к I, II и III категориям взрывоопасности. К I категории относятся: литейный цех, компрессорные, насосные и ГПП.

«Потребителями электроэнергии являются: электрические двигатели переменного тока (асинхронные), электросварочное оборудование, электротермические установка (печи сопротивления), нагреватели индукционного типа, имеющие преобразователь частот, электрические печи для плавки металлов (дуговые), электросвещение».

На заводских производствах основными потребителями высокого напряжения являются синхронные двигатели, обеспечивающие работу компрессорных и насосных станций.» [16].

Ремонтно-механический цех обеспечивает обслуживание основных производственных функций. В цехе, имеются станки различных уровней мощности (металлообрабатывающие), механическая вентиляция, работающая посредством двигателей, краны и все вышеперечисленное потребляет определенный объем энергии. Обстановка в цехе отвечает заданным нормам. Категория надежности электроснабжения цеха III.

В цехе равномерно расположены приемники электроэнергии, что позволяет использовать комплектные распределительные шинопроводы. Из-за наличия мостового крана в цехе, шинопроводы размещены на колоннах и закреплены на кронштейнах.

Распределение электрической энергии для групп потребителей (промышленная частота напряжение 380В) осуществляется силовыми распределительными шкафами и пунктами.

Силовые распределительные шкафы и пункты служат для того, чтобы принимать и распределять электрическую энергию между разными группами потребителей, которые могут иметь разное напряжение и частоту электрического тока. Кроме того, они защищают электроприемники от повреждений, которые могут быть вызваны коротким замыканием или перегрузкой. Силовые распределительные шкафы и пункты могут обеспечивать электроснабжение для станков, систем отопления, освещения и других целей. Они должны соответствовать определенным нормам и правилам, которые устанавливаются в ПУЭ, ГОСТах, ТУ и других документах.

1.3 Определение целей и задач проектирования

Целью выпускной квалификационной работы является: проектирование системы электроснабжения для предприятия сельскохозяйственного машиностроения, учитывающей его специфику и потребности

Задачи выпускной квалификационной работы:

- анализ состояния существующей системы электроснабжения;
- выбор электрических схем;
- расчет электрических нагрузок;
- выбор кабелей и элементов распределительных устройств;
- обеспечение надежности и безопасности системы электроснабжения;
- экономический анализ проекта.

Выводы по 1 разделу: система электроснабжения объекта нуждается в разработке нового проекта, для чего необходимо решить задачи, указанные в п. 1.3.

2 Обоснование предложений по электроснабжению завода

2.1 Выбор электрических схем

Потребителей электроэнергией обеспечивает система электроснабжения промышленных предприятий и трансформаторных подстанций.

В зависимости от характера нагрузки и расположения энергоприемников, можно выбрать разные способы распределения электроэнергии внутри промышленного объекта. Одним из наиболее распространенных является радиальная схема, при которой каждый энергоприемник подключается к трансформаторной подстанции отдельной линией. Это обеспечивает простоту и независимость работы каждого потребителя, но требует большого количества кабеля и не гарантирует высокую надежность электроснабжения. Другим вариантом является магистральная схема, при которой энергоприемники подключаются к общей линии, идущей от трансформаторной подстанции.

«Это позволяет сэкономить кабель и обеспечить более равномерную загрузку линии, но затрудняет обнаружение повреждений и создает риск отключения нескольких потребителей при аварии на линии.» [1].

Смешанная схема сочетает в себе элементы радиальной и магистральной схем и позволяет учитывать особенности конкретного объекта.

Для распределения электроэнергии 10 кВ и 0,4 кВ на территории завода используются кабели. Это означает, что провода защищены изоляцией и укладываются в землю или на земле, а не висят на опорах. Кабели лучше воздушных линий по надежности, потерям, влиянию на окружающую среду и внешнему виду. Но у кабелей есть и минусы: они дороже, слабее, труднее в обслуживании и легче повредить при земляных работах или огне.

Для выбора сечения кабеля нужно учитывать ток, напряжение, короткое замыкание и теплоустойчивость кабеля. В справочниках есть специальные

графики и таблицы, которые помогают подобрать сечение кабеля для разных видов кабельных линий и нагрузок.

Кабели подключаются к трансформаторным подстанциям (ТП) 10(6)/0,4 кВ, которые понижают напряжение и передают электроэнергию потребителям. ТП бывают разных типов: опорные, коробчатые, контейнерные или модульные. Тип ТП зависит от мощности, места, климата и цены.

Кабели и ТП должны иметь защиту от неисправностей, перегрузок, перенапряжений и опасности для людей и оборудования. Для этого используются выключатели, предохранители, разъединители, грозозащиты, реле и другие устройства.

В этом проекте все подстанции питаются от ЗРУ 10 кВ ГПП. Электроэнергия на предприятии распределяется по радиальной схеме, когда источник питания напрямую соединен с приемным пунктом.

Для того чтобы вероятность выхода из строя кабеля уменьшилась, а также уменьшить протяженность кабельных сетей принимается двухступенчатая радиальная схема для цеховых трансформаторных подстанций.

2.2 Расчет электрических нагрузок

Вычисление нагрузок по электричеству является важным этапом при проектировании и эксплуатации электрических систем. Целью этого расчета является выбор и проверка токоведущих частей (кабелей, проводов, выключателей, предохранителей и т.д.) и трансформаторов с целью обеспечения их безопасной работы и экономической целесообразности.

Расчет нагрузок позволяет определить максимальный ток, который будет протекать через каждую токоведущую часть, а также мощность и энергию, которые будут потребляться системой в целом. При этом учитываются факторы, такие как номинальные параметры оборудования, режимы его работы, особенности нагрузки и т.д.

«Разделяют два практических метода расчета электрических нагрузок. Метод упорядоченных диаграмм является графическим методом расчета, который заключается в построении диаграммы изменения нагрузки на элементе СЭС в течение времени. Для этого производятся измерения тока и напряжения на элементе СЭС в течение определенного времени и строится график зависимости нагрузки от времени. После этого на графике определяются максимальные значения нагрузки, которые и принимаются за расчетные.

Статистический метод основан на использовании статистических данных о нагрузке на элемент СЭС в течение длительного периода времени. Для этого производятся измерения тока и напряжения на элементе СЭС в течение определенного периода времени, например, нескольких месяцев или даже года. После этого проводится статистический анализ полученных данных, который позволяет определить среднюю нагрузку и ее максимальное значение за данный период времени.» [22].

Существуют разные методы, которые помогают узнать, какая нагрузка будет на элемент СЭС из-за нагрева. Это важно, чтобы не перегреть элемент и не испортить его. Чтобы узнать эту нагрузку, нужно взять самую большую среднюю нагрузку за три раза больше времени, чем нужно элементу СЭС, чтобы нагреться до определенной температуры T_o . Эту температуру T_o мы знаем из термических свойств элемента СЭС.

«При расчете электрических нагрузок необходимо учитывать каждый электроприемник и его потребление электроэнергии в каждом узле питания. Для этого проводится инвентаризация и составляется точный перечень всех электроприемников, их мощности, режимы работы и расположение на схеме электроснабжения. Эти данные позволяют произвести расчет нагрузки каждого из узлов питания в корпусах. Для расчета нагрузки нужны необработанные данные (исходные), которые предоставляют специалисты технического профиля (сантехники, технологи и др.). Эти данные заносятся

в таблицы-задания, которые служат основой для проектирования электротехнической части и справочных материалов.

K_u – это коэффициент использования электроприемника. Он показывает, как часто и как долго он работает. $tg \varphi$ – это коэффициент мощности электроприемника. Он показывает, как эффективно он использует электричество. Эти два параметра влияют на нагрузку на электросеть. Поэтому электроприемники нужно разделять по категориям в зависимости от их K_u и $tg \varphi$. В каждой категории должны быть электроприемники с одинаковой мощностью, то есть количеством электричества, которое они потребляют за единицу времени.

Для расчета средней мощности нужно выбирать самое большое значение K_u из тех, что даны в справочниках. Значение K_u зависит от того, насколько часто фактическая средняя мощность превышает расчетную для определенного типа ЭП. Это не должно случаться чаще, чем в 5% случаев.

Групповой коэффициент использования отражает, насколько экономно группа потребителей потребляет электроэнергию. Он определяется как отношение максимальной мощности, которую группа забирает в какой-то момент времени, к суммарной мощности всех потребителей в группе. Групповой коэффициент использования зависит от количества и свойств потребителей в группе, а также от времени суток и сезона. «Чем выше групповой коэффициент использования, тем более оптимально расходуется электроэнергия. Для данного узла питания нужно вычислить групповой коэффициент использования:

$$K_{u\Sigma} = \frac{\sum (K_{u\Sigma} \cdot P_n)}{\sum P_n}. \quad (1)$$

Для каждой группы ЭП с одинаковой мощностью вычисляются произведения N_ε и P_n и записываются построчно. В конце таблицы находят сумму всех этих произведений $N \cdot P_n$.

Определяется эффективное число электроприемников $N_э$ следующим образом:

Как правило, $N_э$ для итоговой строки определяется по выражению:

$$N_э = \frac{\left(\sum P_n\right)^2}{\sum nP_n^2}. \quad (2)$$

Найденное по указанному выражению значение $N_э$ округляется до ближайшего меньшего целого числа. При $N_э \leq 4$ рекомендуется пользоваться номограммой.

Расчетная активная мощность подключенных к узлу питания ЭП напряжением до 1 кВ определяется по выражению:

$$P_p = K_p \sum K_u \cdot P_n. \quad (3)$$

В случаях, когда расчетная мощность P_p окажется меньше номинальной наиболее мощного электроприемника следует принимать $P_p = P_{н. макс.}$

Расчетная реактивная мощность (графа 13) определяется следующим образом:

Для питающих сетей напряжением до 1 кВ в зависимости от $N_э$:

– при $N_э \leq 10 \cdot Q_p = 1,1 \sum K_u \cdot P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi$,

– при $N_э > 10 \cdot Q_p = \sum K_u \cdot P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi$.

Для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых трансформаторных подстанций, а также при определении реактивной мощности в целом по цеху, корпусу, предприятию:

$$Q_p = K_p \cdot \sum (K_u \cdot P_n) \cdot \operatorname{tg} \varphi = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (4)$$

К расчетной активной и реактивной мощности силовых ЭП напряжением до 1 кВ должны быть, при необходимости, добавлены осветительные нагрузки $P_{p.o}$ и $Q_{p.o}$.

Значения токовой расчетной нагрузки, по которой выбирается сечение линии по допустимому нагреву, определяется по выражению:

$$I_p = \frac{S_p}{(\sqrt{3}U_H)}, \quad (5)$$

где $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$ – полная расчетная мощность, кВА.

Расчет электрических нагрузок ЭП напряжением выше 1 кВ аналогично расчету нагрузок ЭП до 1 кВ с учетом следующих особенностей.

При получении от технологов коэффициентов, характеризующих реальную загрузку электродвигателей, в графу 5 заносится вместо K_u значение K_z , а в графу 7 – значение $K_z \cdot P_n$.

Расчетная нагрузка цеховых трансформаторных подстанций (с учетом осветительной нагрузки и потерь в трансформаторах) заносится в графы 7 и 8.

Определяется число присоединений 6–10 кВ на сборных шинах РУ ГПП (графа 2 итоговой строки). Резервные ЭП не учитываются.

Эффективное число электроприемников N_e не определяются и графы 9 и 10 не заполняются.

В зависимости от числа присоединений и группового коэффициента использования, занесенного в графу 5 итоговой строки, определяется значение коэффициента одновременности K_o . Значение K_o заносится в графу 11.

Расчетная мощность (графы 12-14) определяется по выражениям:

$$P_p = K_o \cdot \sum K_u \cdot P_n, \quad (6)$$

$$Q_p = K_o \cdot \sum K_u \cdot P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (7)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \text{ .} \gg [15]. \quad (8)$$

Потребители на высоком напряжении используют меньше мощности, чем они получают, потому что часть мощности уходит на уменьшение реактивной мощности и на изменение напряжения в трансформаторах.» [23].

В качестве компенсирующих устройств могут быть использованы различные реактивности – реакторы, конденсаторные батареи, синхронные электродвигатели, работающие в режиме перевозбуждения. Это необходимо для снижения потерь в проводах, возникающих вследствие увеличения силы тока, сопровождающего увеличение реактивной мощности.

В таблицах 3-4 приведены значения электрических нагрузок для ремонтно-механического цеха и завода.

Таблица 3 – Расчет электрических нагрузок в сети трехфазного тока до 1000 (В) ремонтно-механического цеха

Исходные данные				Расчетные величины					Расчетная мощность					
по заданию технологов			справочные данные		КиРн	КиQн	пРн2	Эффективное число ЭП Nэ	Коэффициент расчетной нагрузки Кр	Активная, кВт Pр	Реактивная, квар Qр	полная, кВА Sp	Расчетный ток, А Ip	
Наименование ЭП	кол-во ЭП, шт. n	Номинальная		коэффициент использования Ки										коэффициент реактивной мощности tg φ
		одного ЭП Pн	Общая Pн=пPн											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Напряжение 0,4 кВ														
Шкаф ПР -1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ЭП перемен. тока	6	10,50	63,00	0,25	1,17	15,75	18,43	661,50	–	1,13	17,80	20,82	27,39	39,54
ЭП постоянн. тока	2	9,50	19,00	0,60	1,02	11,40	11,63	180,50	–	1,13	12,88	13,14	18,40	26,56
Итого по шкафу ПР -1	–	–	82,00	–	–	–	–	–	10,00	–	30,68	33,96	45,77	66,06
ШПР -1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ЭП перемен. тока	28	25,00	700,00	0,25	1,17	175,00	204,75	17500,00	–	1,00	175,00	204,75	269,35	388,77
Итого по ШПР -1	–	–	–	–	–	–	–	–	92,00	–	175,00	204,75	269,35	388,77
Шкаф ПР -2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ЭП перемен. тока	1	11,00	11,70	0,30	1,17	3,51	4,11	121,00	–	1,08	3,79	4,44	5,83	8,42
ЭП постоянн. тока	4	20,00	80,00	0,65	0,75	52,00	39,00	1600,00	–	1,08	56,16	42,12	70,20	101,32
Итого по шкафу ПР -2	–	–	–	–	–	–	–	–	5,00	–	59,95	46,56	75,90	109,56
Шкаф ПР -3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ЭП перемен. тока	1	7,50	7,50	0,30	1,17	2,25	2,63	56,25	–	1,33	2,99	3,50	4,61	6,65
ЭП постоянн. тока	2	39,40	78,80	0,60	1,02	47,28	48,23	3104,72	–	1,33	62,88	64,14	89,82	129,65
Итого по шкафу ПР -3	–	–	–	–	–	–	–	–	2,00	–	65,87	67,64	94,42	136,28
Шкаф ПР -4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ЭП перемен. тока	2	4,50	9,00	0,30	2,17	2,70	5,86	40,50	–	1,60	4,32	9,37	10,32	14,90
ЭП постоянн. тока	2	40,60	81,20	0,55	0,32	44,66	14,29	3296,72	–	1,60	71,46	22,87	75,03	108,29
Итого по шкафу ПР -4	–	–	–	–	–	–	–	–	2,00	–	75,78	32,24	82,35	118,86
Шкаф ПР -5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ЭП перемен. тока	6	19,50	117,00	0,25	1,11	29,25	32,47	2281,50	–	1,54	45,05	50,00	67,30	97,14

Продолжение таблицы – 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Освещение	–	–	40,00	0,90	0,32	36,00	11,52	–	–	–	–	–	–	–
Итого по шкаф ПР -5	–	–	–	–	–	–	–	–	7,00	–	81,05	61,52	101,75	146,86
Шкаф ПР -6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ЭП перемен. тока	7	10,50	73,50	0,55	0,33	40,43	13,34	771,75	–	1,05	42,45	14,01	44,70	64,52
Итого по шкаф ПР -6	–	–	–	–	–	–	–	–	10,00	–	42,45	14,01	44,70	64,52
Шкаф ПР -7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ЭП перемен. тока	2	22,00	44,00	0,35	1,17	15,40	18,02	968,00	–	1,16	17,86	20,90	27,49	39,69
ЭП постоянн. тока	3	35,00	105,00	0,65	0,75	68,25	51,19	3675,00	–	1,16	79,17	59,38	98,96	142,84
Итого по шкаф ПР -7	–	–	–	–	–	–	–	–	5,00	–	97,03	80,28	125,94	181,77
ШПР -2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
ЭП перемен. тока	8	12,60	100,80	0,35	1,17	35,28	41,28	1270,08	–	1,00	35,28	41,28	54,30	78,38
Итого по ШПР -2	–	–	–	–	–	–	–	–	38,00	–	35,28	41,28	54,30	78,38
Итого по цеху	74	–	1530,50	–	–	579,16	516,73	35527,52	–	–	663,09	582,23	894,47	1291,06

Таблица 4 – Расчет электрических нагрузок завода в сети трехфазного тока до 1000 В

Исходные данные						Расчетные величины			Эффективное число ЭП №	Коэффициент расчетной нагрузки Кр	Расчетная мощность				Расчетный ток, А Iр
по заданию технологов			справочные данные			КиPн	КиQн	пPн2			Активная, кВт Pр	Реактивная, квар Qр	полная, кВА Sp		
Наименование ЭП	кол-во ЭП, шт. n	Номинальная одного ЭП Pн	Общая Pн=пPн	коэффициент использования Ки	коэффициент реактивной мощности tg φ										
1	2	3,00	4,00	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ЦП-1															
ШР-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1.Укосна	2	1,10	2,20	0,1	1,73	0,22	0,38	2,42	-	-	-	-	-	-	
2.Конватор	1	5,50	5,50	0,1	1,73	0,55	0,95	30,25	-	-	-	-	-	-	
3.Трёхволковые вальцы	1	14,00	14,00	0,14	1,73	1,96	3,39	196,00	-	-	-	-	-	-	
4.Радиально- сверлильный станок	1	19,10	19,10	0,14	1,73	2,67	4,63	364,81	-	-	-	-	-	-	
5.Сварочный двигатель - генератор	1	46,50	46,50	0,3	0,85	13,95	11,86	2162,25	-	-	-	-	-	-	
6.Обдирочно- шлифовальный станок	1	6,20	6,20	0,21	1,12	1,30	1,46	38,44	-	-	-	-	-	-	
Итого по ШР-1	7	1,1/46,5	93,50	0,22	1,10	20,66	22,66	2794,17	3	2,31	47,72	24,93	53,84	81,80	
ШР-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1.Сварочный трансформатор	2	25,60	51,20	0,2	1,27	10,24	13,00	1310,72	-	-	-	-	-	-	
2. Обдирочно- шлифовальный	1	6,20	6,20	0,21	1,12	1,30	1,46	38,44	-	-	-	-	-	-	
3.Четырёхволковы е вальцы	1	100,50	100,50	0,14	1,73	14,07	24,34	10100,25	-	-	-	-	-	-	
4. Газорезущая машина	1	3,30	3,30	0,14	1,73	0,46	0,80	10,89	-	-	-	-	-	-	
5.Напольный венцилятор	1	2,80	2,80	0,64	0,75	1,79	1,34	7,84	-	-	-	-	-	-	

Продолжение таблицы – 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
6. Семиволковые вальцы	1	154,00	154,00	0,14	1,73	21,56	37,30	23716,00	-	-	-	-	-	-
Итого по ПП-2	7	2,8/154	318,00	0,16	1,58	49,43	78,25	35184,14	2	4,33	214,01	86,07	230,67	350,47
ПП-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. Токарно-	1	14,10	14,10	0,14	1,73	1,97	3,42	198,81	-	-	-	-	-	-
2. Круглошлифовая	1	11,70	11,70	0,14	1,73	1,64	2,83	136,89	-	-	-	-	-	-
3. Сварочный трансформатор	1	76,80	76,80	0,2	1,28	15,36	19,66	5898,24	-	-	-	-	-	-
4. Радиально-сверлильный станок	1	7,70	7,70	0,14	1,73	1,08	1,86	59,29	-	-	-	-	-	-
5. Пресс-ножницы	1	14,00	14,00	0,14	1,73	1,96	3,39	196,00	-	-	-	-	-	-
6. Напольный вентилятор	4	2,80	11,20	0,64	0,75	7,17	5,38	31,36	-	-	-	-	-	-
7. Сварочный двигатель-генератор	1	31,00	31,00	0,3	0,8	9,30	7,44	961,00	-	-	-	-	-	-
8. Горизонтально-расточный станок	1	49,10	49,10	0,14	1,73	6,87	11,89	2410,81	-	-	-	-	-	-
9. Укосина	2	1,10	2,20	0,1	1,73	0,22	0,38	2,42	-	-	-	-	-	-
10. Сварочный двигатель-генератор	2	15,50	31,00	0,3	0,85	9,30	7,91	480,50	-	-	-	-	-	-
11. Радиально-сверлильный станок	1	18,10	18,10	0,14	1,73	2,53	4,38	327,61	-	-	-	-	-	-
12. Сварочный трансформатор	2	25,60	51,20	0,2	1,28	10,24	13,11	1310,72	-	-	-	-	-	-
13. Сварочный трансформатор	1	51,20	51,20	0,2	1,28	10,24	13,11	2621,44	-	-	-	-	-	-
14. Вертикально-сверлильный	1	4,00	4,00	0,14	1,73	0,56	0,97	16,00	-	-	-	-	-	-
15. Сверлильный станок	1	11,40	11,40	0,14	1,73	1,60	2,76	129,96	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы – 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16. Семиволковые вальцы	1	154,00	154,00	0,14	1,73	21,56	37,30	23716,00	-	-	-	-	-	-
17. Трёхволковые вальцы	1	15,50	15,50	0,14	1,73	2,17	3,75	240,25	-	-	-	-	-	-
18. Ножницы кривые мостовые	1	5,10	5,10	0,14	1,73	0,71	1,24	26,01	-	-	-	-	-	-
19. Ножницы двухдисковые	1	5,00	5,00	0,14	1,73	0,70	1,21	25,00	-	-	-	-	-	-
21. Галтавоочный барабан	1	7,50	7,50	0,14	1,73	1,05	1,82	56,25	-	-	-	-	-	-
Итого по ПП-3	29	1,1/154	574,00	0,19	1,35	106,54	144,34	38849,40	8	1,48	157,69	158,77	223,77	339,98
ПП-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. Укосина	2	1,10	2,20	0,14	1,73	0,31	0,53	2,42	-	-	-	-	-	-
2. Сварочный двигатель-генератор	2	15,50	31,00	0,3	0,85	9,30	7,91	480,50	-	-	-	-	-	-
3. Сварочный трансформатор	2	25,60	51,20	0,2	1,28	10,24	13,11	1310,72	-	-	-	-	-	-
4. Кантователь	1	5,50	5,50	0,1	1,73	0,55	0,95	30,25	-	-	-	-	-	-
5. Тепловая завеса	1	40,00	40,00	0,64	0,75	25,60	19,20	1600,00	-	-	-	-	-	-
6. Вентиляция	1	114,00	114,00	0,64	0,74	72,96	53,99	12996,00	-	-	-	-	-	-
7. Автоматические шторы	1	2,20	2,20	0,1	1,73	0,22	0,38	4,84	-	-	-	-	-	-
Итого по ПП-4	10	1,1/114	246,10	0,48	0,81	119,18	96,07	16424,73	3	1,34	159,70	105,67	191,50	290,95
РП-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1. Долбежный станок	1	14,20	14,20	0,14	1,73	1,99	3,44	201,64	-	-	-	-	-	-
2. Токарно-винторезный станок	1	11,10	11,10	0,14	1,73	1,55	2,69	123,21	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы – 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3.Радиально-сверлильный станок	1	6,80	6,80	0,14	1,73	0,95	1,65	46,24	-	-	-	-	-	-
4.Вертикально-фрезерный станок	1	13,00	13,00	0,14	1,73	1,82	3,15	169,00	-	-	-	-	-	-
5.Консольно-фрезерный станок	1	15,10	15,10	0,14	1,73	2,11	3,66	228,01	-	-	-	-	-	-
6.Насос	1	3,00	3,00	0,70	0,62	2,10	1,30	9,00	-	-	-	-	-	-
7.Дисковая пила	1	5,70	5,70	0,14	1,73	0,80	1,38	32,49	-	-	-	-	-	-
8.Обдирочно-шлифовальный станок	1	6,20	6,20	0,14	1,73	0,87	1,50	38,44	-	-	-	-	-	-
Итого по РП-1	8	3/15,1	75,10	0,16	1,54	12,19	18,76	848,03	6	1,96	23,90	20,64	31,58	47,98
РП-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.Вертикально-сверлильный станок	1	4,00	4,00	0,14	1,73	0,56	0,97	16,00	-	-	-	-	-	-
2.Автоворота	1	2,00	2,00	0,10	1,73	0,20	0,35	4,00	-	-	-	-	-	-
3.Сварочный трансформатор	1	25,60	25,60	0,20	1,28	5,12	6,55	655,36	-	-	-	-	-	-
Итого по РП-2	3	2/25,6	31,60	0,19	1,31	6,07	7,95	675,36	1	4,00	24,27	8,74	25,80	39,19
РП-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.Сварочный трансформатор	1	25,60	25,60	0,20	1,28	5,12	6,55	655,36	-	-	-	-	-	-
2.Газорезущая машина	1	2,20	2,20	0,14	1,73	0,31	0,53	4,84	-	-	-	-	-	-
3.Газорезущая машина	1	4,40	4,40	0,14	1,73	0,62	1,07	19,36	-	-	-	-	-	-
4.Напольный вентилятор	2	2,80	5,60	0,64	0,75	3,58	2,69	15,68	-	-	-	-	-	-
5.Тепловая завеса	1	60,00	60,00	0,64	0,75	38,40	28,80	3600,00	-	-	-	-	-	-
Итого по РП-3	6	2,2/60	97,80	0,61	0,92	59,98	55,46	4295,24	2	1,33	79,77	61,00	100,42	152,57

Продолжение таблицы – 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП-4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1.Пригонная камера	2	70,00	140,00	0,64	0,74	89,60	66,30	9800,00	–	–	–	–	–	–
2.Поперечно-строгальный станок	1	2,80	2,80	0,14	1,73	0,39	0,68	7,84	–	–	–	–	–	–
3.Плоскошлифовальный станок	1	15,80	15,80	0,14	1,73	2,21	3,83	249,64	–	–	–	–	–	–
4.Насос	1	5,00	5,00	0,70	0,62	3,50	2,17	25,00	–	–	–	–	–	–
5.Обдирочно-шлифовальный станок	1	6,20	6,20	0,14	1,73	0,87	1,50	38,44	–	–	–	–	–	–
6.Вертикально-сверлильный станок	1	4,60	4,60	0,14	1,73	0,64	1,11	21,16	–	–	–	–	–	–
Итого по РП-4	7	2,8/70	174,40	0,56	0,78	97,22	75,59	10142,08	2	1,60	155,55	83,15	176,38	267,98
Итого по ЦТП-1	77	1,1/520,8	1610,50	0,29	1,06	471,26	499,08	109213,15	23	1,00	471,26	499,08	686,41	1042,89

Для того чтобы оптимально выбрать местоположение ГПП и цеховых подстанций, нужно определиться с (ЦЭН), с учетом роста электрических нагрузок. На генплане предприятия наносятся электрические нагрузки с учетом их рассеяния:

Одна зона соответствует статическому состоянию системы электроснабжения, другая - развитию предприятия на планируемый срок без изменения генплана, третья - перспективному развитию с учетом роста электрической нагрузки и изменения геометрии генплана. Также могут быть определены зоны рассеяния ЦЭН для отдельных групп цехов.

«Определение координат центра электрических нагрузок для каждого часового интервала суток.

$$1 S_{X(j)} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{(i,j)} * X_{(i)}}{\sum_{i=1}^N P_{(i,j)}}, j = 1...M; \quad (9)$$

$$S_{Y(j)} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{(i,j)} * Y_{(i)}}{\sum_{i=1}^N P_{(i,j)}}, j = 1...M, \quad (10)$$

где $S_{x(j)}$ - абсцисса ЦЭН в j-ый час суток;

$S_{y(j)}$ - ордината ЦЭН в j-ый час суток;

N - число приемников;

$P_{(i,j)}$ - расчетная активная нагрузка i-го приемника в j-й час суток;

$X_{(i)}$ - абсцисса i-го приемника на схеме генплана предприятия в выбранной системе координат;

$Y_{(i)}$ - ордината i-го приемника на схеме генплана предприятия в выбранной системе координат;

M - количество временных интервалов (24 часа).» [23].

Расчет среднего значения положения центра электрических нагрузок.

$$Q_{(x)} = \frac{1}{M} * \sum S_{X(J)}; \quad (11)$$

$$Q_{(y)} = \frac{1}{M} * \sum S_{Y(J)}. \quad (12)$$

Расчет меры разброса положения ЦЭН относительно среднего значения:

$$G_{(x)} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum (Q_{(x)}^2 - S_{X(J)}),} \quad (13)$$

$$G_{(y)} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum (Q_{(y)}^2 - S_{Y(J)}),} \quad (14)$$

где $G_{(x)}$ - среднеквадратичное отклонение абсциссы ЦЭН;

$G_{(y)}$ - среднеквадратичное отклонение ординаты ЦЭН.

Определение угла поворота осей эллипса относительно выбранной системы координат:

$$A = \frac{1}{2} * \text{arctg} \frac{2 * K * G_{(y)}}{G_{(x)}^2 - G_{(y)}^2}, \quad (15)$$

где A - угол поворота осей эллипса.

Определение полуосей эллипса:

$$R_X = \sqrt{6 * (G_{(x)}^2 * \cos^2(A) + G_{(x)} * G_{(y)} * \sin(2A) + G_{(y)}^2 * \sin^2(A));} \quad (16)$$

$$R_Y = \sqrt{6 * (G_{(y)}^2 * \cos^2(A) + G_{(x)} * G_{(y)} * \sin(2A) + G_{(x)}^2 * \sin^2(A)).} \quad (17)$$

где R_x - величина полуоси эллипса по оси абсцисс (повернутой на угол A);

R_y - величина полуоси эллипса по оси ординат (повернутой на угол A).

Результаты определения условного центра электрических нагрузок собраны в таблицах 3 и 4.

Математическое ожидание ЦЭН: $QX = 446,35$; $QY = 404,04$.

Среднеквадратичное отклонение ЦЭН: $GX = 0,00$; $GY = 0,00$.

Полуоси эллипса рассеяния ЦЭН: $RX = 0,0006$; $RY = 0,0007$.

Угол поворота осей эллипса относительно выбранной системы координат: $AR = 0,16$ радиан; $AG = 9,06$ град.

Изначальные данные для определения УЦЭН сведены в таблицу 5. В таблице 6 указаны координаты центра нагрузок.

Таблица 5 – Изначальные данные для определения УЦЭН

Номер и название электроприёмника	Координаты электроприёмника		Интервал времени графика нагрузки	Мощность установленная, кВт
	X	Y		
1	2	3	4	5
1 Механический цех	240	674	1	257,78
			2	286,43
			3	572,85
			4	429,64
			5	572,85
			6	286,43
2 Административно-бытовой корпус	540	790	1	139,65
			2	155,17
			3	310,33

Продолжение таблицы – 5

1	2	3	4	5
2 Административно-бытовой корпус	540	790	4	232,75
			5	310,33
			6	155,17
3 Блок вспомогательных цехов	924	680	1	230,73
			2	256,37
			3	512,73
			4	384,55
			5	512,73
			6	256,37
4 Литейный цех	638	554	1	552,55
			2	613,94
			3	1227,88
			4	920,91
			5	1227,88
			6	613,94
5 Главный корпус	—	—	1	1493,49
			2	1659,43
			3	3318,86
			4	2489,15
			5	3318,86
			6	1659,43
6 Котельная	1096	658	1	512,33
			2	569,25
			3	1138,50
			4	853,88
			5	1138,50

Продолжение таблицы – 5

1	2	3	4	5
6 Котельная	1096	658	6	569,25
7 Компрессорная № 1	188	100	1	225,98
			2	251,09
			3	502,17
			4	376,63
			5	502,17
			6	251,09
8 Компрессорная № 2	426	86	1	226,78
			2	251,98
			3	503,95
			4	377,96
			5	503,95
			6	251,98
9 Насосная № 1	726	374	1	253,10
			2	281,22
			3	562,44
			4	421,83
			5	562,44
			6	281,22
10 Насосная № 2	522	276	1	395,15
			2	439,05
			3	878,10
			4	658,58
			5	878,10
			6	439,05

Таблица 6 – Координаты центра нагрузок

Интервал времени	Координаты центра	
	SX	SY
1	446,35	404,04
2	446,35	404,04
3	446,35	404,04
4	446,35	404,04
5	446,35	404,04
6	446,35	404,04

Информация о нагрузках на генеральном плане должна быть представлена в виде круговой диаграммы, где площадь – это расчетные нагрузки в соответствующем масштабе. Такой способ графического отображения называется картограмма.

«Формула расчета радиусов окружностей на картограмме.

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}}, \quad (18)$$

где m – масштаб мощности, измеряемый в кВт/м;

P_i –общая мощность, которую требуют все электроприборы в цехе.

$$P_i = P_{p.сил.} + P_{p.осв.} \quad (19)$$

В виде сектора визуализируется осветительная нагрузка. В этом случае площадь сектора – о это мощность освещения, угол которого вычисляется по приведенной ниже формуле.

$$\alpha = \frac{P_{p.cul} \cdot 360}{P_i} \gg [18]. \quad (20)$$

Результаты расчета картограммы нагрузок изложены в таблице 7.

Таблица 7 – Данные необходимые для создания графиков распределения электрической мощности по времени.

Наименование цеха	Расчетная силовая нагрузка, кВт	Расчетная осветительная нагрузка, кВт	Радиус, мм	Угол сектора осветительной нагрузки, град
1 Ремонтно-механический цех	572,85	101,59	32,77	54,23
2 Административно-бытов. корпус	310,33	41,33	23,66	42,31
3 Блок вспомогательных цехов	512,73	59,45	30,18	37,40
4 Литейный цех	1227,88	147,66	46,80	38,64
5 Главный корпус	3318,86	180,05	74,64	18,53
6 Котельная	1138,5	43,87	43,39	13,36
7 Компрессорная № 1	502,17	23,97	28,94	16,40
8 Компрессорная № 2	503,95	25,75	29,04	17,50
9 Насосная № 1	564,44	36,11	30,92	21,65
10 Насосная № 2	878,1	26,89	37,96	10,70

Таким образом мы получаем результаты расчета картограммы нагрузок. Для расчета картограммы нагрузок взят масштаб 100 м = 1 кВт. Это необходимо для выбора оптимального варианта расположения элементов системы электроснабжения.

2.3 Выбор кабелей и элементов распределительных устройств

Для того, чтобы правильно подобрать сечения кабельных линий, нужно учитывать множество параметров, например, расстояние между точками подключения, величину напряжения, вид изоляции, климатические условия, специфику нагрузки и допустимое снижение напряжения. Кабельные линии должны иметь такие сечения, которые способны вынести тепловые и механические нагрузки от тока и коротких замыканий, а также гарантировать качественную изоляцию и защиту от внешних факторов. Кроме того, сечения кабельных линий должны быть экономически выгодными, то есть минимизировать начальные и эксплуатационные расходы на кабельную линию, а также потери и риски сбоев в электроснабжении. Для расчета и выбора сечений кабельных линий можно использовать разные методы, такие как эмпирические формулы, номограммы, таблицы или программные средства. Выбор метода определяется степенью сложности и точности задачи.

Для кабельных жил минимальное стандартное сечение гарантирует отсутствие коронирования.

Для кабельных линий, которые имеют релейную защиту, нужно учесть воздействие тока короткого замыкания при выборе сечения. Кабели, которые имеют плавкие токоограничивающие предохранители, не требуют проверки на термическую стойкость к токам короткого замыкания, так как предохранители быстро отключают кабель и не допускают его перегрева от тепла.

Проведем выбор и марки сечения кабельной линии 10 кВ от ГПП до РП-1.

Ток нагрузки:

$$I_{РП-1} = \frac{S_{ТП}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (21)$$

$$I_{PII-1} = \frac{3090,3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 178,4 \text{ А},$$

Экономический выбор сечения проводов и кабелей проводится по таблице экономической плотности тока $j_{\text{эк}}$. Для кабеля с бумажной изоляцией с алюминиевыми жилами в районе Центральной Сибири при $T_{\text{max}} = 5702,39$ ч/год $-j_{\text{эк}} = 1,5 \text{ А/мм}^2$.

При расчете по экономической плотности тока сечение проводов выбирается по выражению:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I}{j_{\text{эк}}} \quad (22)$$

$$F_{\text{эк}} = \frac{178,4}{1,5} = 118,9 \text{ мм}^2,$$

где I – расчетный ток линии, А;

$j_{\text{эк}}$ – рекомендуемая экономическая плотность, А/мм².

Округляем в большую сторону до ближайшего стандартного сечения, то есть выбираем $F = 120 \text{ мм}^2$.

Таблица экономической плотности тока не дает наилучшего решения для выбора сечения проводов и кабелей, так как основана на некоторых допущениях.

Находим значение $\sqrt{\sigma}$:

$$\sqrt{\sigma} = \sqrt{\frac{E_n + p_{\Sigma}}{\tau \cdot C_{\Sigma}}} = \sqrt{\frac{0,15 + 0,063}{3723 \cdot 1,4 \cdot 10^{-2}}} = 0,06 = 6 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{\text{кВт}}{\text{руб}}}, \quad (23)$$

где $E_n = 0,15$ – нормативный коэффициент эффективности;

$p_{\Sigma} = 0,063$ о.е. – коэффициент отчислений на амортизацию;

$\tau = 3723$ ч/год – время максимальных потерь;

$$C_3 = 14 \cdot 10^{-2} \text{ руб}/(\text{кВт} \cdot \text{ч}) - \text{стоимость потерь энергии.}$$

Для тока 178,4 А находим сечение, равное 120 мм². Выбираем кабель марки ААШВУ сечением 120 мм².

Проверка условий:

$$I_{\text{длит.доп.}} = 240 \text{ А} \geq I_{\text{норм.раб.}} = 178,4 \text{ А.}$$

Аналогичный расчет выбора сечения остальных силовых кабелей сведен в таблицу 8.

Таблица 8 – Выбор марки и сечения силовых кабелей

Наименование	S_P , кВА	I_P , А	$F_{ЭК}$, мм ²	Сечение кабеля по совокупности условий	Марка кабеля	$I_{\text{длит.д.оп.}}$, А
1	2	3	4	5	6	7
ГПП-РП1	1920,61	110,886	3 × 70	3 × 120	ААШВУ	240
РП1-ТП1	748,19	43,1968	3 × 35	3 × 70	ААШВУ	165
РП1-ТП2	1172,42	67,6897	3 × 50	3 × 95	ААШВУ	205
ГПП-РП2	5698,80	329,02	3 × 120	3 × 120	ААШВУ	240
РП2-ТП7	1046,14	60,3989	3 × 50	3 × 95	ААШВУ	205
РП2-ТП8	1046,14	60,3989	3 × 50	3 × 95	ААШВУ	205
РП2-ТП9	1046,14	60,3989	3 × 50	3 × 95	ААШВУ	205
РП2-ТП10	1046,14	60,3989	3 × 50	3 × 95	ААШВУ	205
РП2-ТП5	1009,25	58,2691	3 × 50	3 × 95	ААШВУ	205
РП2-ТП11	748,19	43,1968	3 × 35	3 × 120	ААШВУ	240
ГПП-РП3	1721,69	99,4018	3 × 70	3 × 120	ААШВУ	240
РП3-ТП12	861,65	49,7474	3 × 50	3 × 95	ААШВУ	205
РП3-ТП13	860,04	49,6544	3 × 50	3 × 95	ААШВУ	205
ГПП-ТП3	1888,11	109,01	3 × 70	3 × 120	ААШВУ	240
ГПП-ТП4	529,70	30,5822	3 × 35	3 × 70	ААШВУ	165

Продолжение таблицы – 8

1	2	3	4	5	6	7
ГПП-ТП6	1422,72	82,1408	3 × 70	3 × 120	ААШВУ	240
РП-СД	945,60	54,5942	3 × 50	3 × 95	ААШВУ	165

Произведем расчет шинпровода ШРА–1. Экономически целесообразное сечение:

$$S_{ЭК} = \frac{I_{НОРМ.РАСЧ.}}{j_{ЭК}} = \frac{1030,6}{1,3} = 792,8 \text{ мм}^2,$$

Выбираем сечение ближайшее стандартное в сторону увеличения, то есть выбираем шину прямоугольного сечения с размерами 40×5 мм.

Проверка условия:

$$I_{ДЛИТ.ДОП.} = 540 \text{ А} \geq I_{НОРМ.РАСЧ.} = 226,8 \text{ А},$$

Аналогичный расчет остальных ШРА и ШМА сведем в таблице. 9.

Таблица 9 – Выбор ШРА и ШМА в ремонтно-механическом цехе

Наименование	I_P , А	$F_{ЭК}$, мм ²	Размеры, мм	$I_{ДЛИТ.ДОП.}$, А
1	2	3	4	5
ШМА – 1	1030,6	600	100×6	1425
ШМА – 2	1057,14	600	100×6	1425

«Произведем выбор выключателей на стороне 110 кВ. Выключатели типа ВГП-110-40-У1.

Проверка условий:

$$- U_{НОМ} = 126 \text{ кВ} > U_{СЕТИ} = 110 \text{ кВ},$$

$$- I_{НОМ} = 2500 \text{ А} > I_{НОМ.ТР.}$$

$$K_{\Pi} = \frac{S_{TP}}{\sqrt{3} \cdot U} \cdot K_{\Pi} \quad (24)$$

$$K_{\Pi} = \frac{10000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} \cdot 1,4 = 73,48 \text{ A,}$$

- $i_{\text{вкл}} = 102 \text{ кА} > i_{\text{уд к1}} = 25,01 \text{ кА,}$
- $i_{\text{дин}} = 102 \text{ кА} > i_{\text{уд к1}} = 25,01 \text{ кА,}$
- $I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}} = 40^2 \cdot 10^6 \cdot 3 = 4,8 \cdot 10^9 \text{ A}^2\text{с} > I_{\text{К1}}^2 \cdot t_{\text{T}} = 9,8^2 \cdot 10^6 \cdot 1,5 = 0,14 \cdot 10^9 \text{ A}^2\text{с,}$
- $i_{\text{ассим.норм.}} = 40 \cdot 10^3 \text{ A} > i_{\text{ассим.выкл.}} \cdot \tau = I_{\text{К1}} \cdot \tau = I_{\text{К1}} \cdot t_{\text{T}} + t_{\text{выкл}} = 9,8 \cdot 10^3 \cdot (1,5 + 0,08) = 15,48 \cdot 10^3 \text{ A,} \gg [17].$

Выбор оборудования сведем в таблицы 10-11.

Таблица 10 – Выбор оборудования на стороне 110 кВ

Тип оборудования	Условие выбора	Справочные данные	Расчетные величины
1	2	3	4
1 Выключатель ВГТ-110-40-У1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{ном.тр}} \cdot K_{\Pi}$ $i_{\text{вкл}} \geq i_{\text{уд к1}}$ $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд к1}}$ $I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}} \geq I_{\text{К1}}^2 \cdot t_{\text{T}}$ $i_{\text{ассим.норм.}} \geq i_{\text{ассим.выкл.}} \cdot \tau$	126 кВ 2500 А 102 кА 102 кА $4,8 \cdot 10^9 \text{ A}^2\text{с}$ $40 \cdot 10^3 \text{ A}$	110 кВ 73,48 А 25,01 кА 25,01 кА $0,14 \cdot 10^9 \text{ A}^2\text{с}$ $15,48 \cdot 10^3 \text{ A}$
2 Разъединитель РДЗ.2-110/1000НУХЛ1 РДЗ.1-110/1000НУХЛ1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{ном.расч}}$ $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд к1}}$ $I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}} \geq I_{\text{К1}}^2 \cdot t_{\text{рз}}$	110 кВ 1000 А 80 кА $0,92 \cdot 10^9 \text{ A}^2\text{с}$	110 кВ 73,48 А 25,01 кА $0,14 \cdot 10^9 \text{ A}^2\text{с}$
3 Трансформатор тока ТВТ-110-1-1000/5ХЛ2	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$ $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{ном.тр}}$ $K_{\text{дин}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}} \geq i_{\text{уд к1}}$ $(K_{\text{тер}} \cdot I_{\text{ном}})^2 \cdot t_{\text{T}} \geq I_{\text{К1}}^2 \cdot t_{\text{рз}}$	110 кВ 1000 А 33,94 кА $1,88 \cdot 10^9 \text{ A}^2\text{с}$	110 кВ 73,48 А 25,01 кА $0,14 \cdot 10^9 \text{ A}^2\text{с}$
4 Трансформатор напряжения НКФ-110-П	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$ $S_{\text{ном}} \geq S_2$	110 кВ 560 ВА	110 кВ 368 ВА
5 Заземлитель ЗОН-110М-1У1	$I_{\text{кз110}}^{(1)} = U_{\text{расч}} / \sqrt{3} \cdot 3 \cdot X_{\text{к1}}$ $i_{\text{уд}} = K_{\text{уд}} \cdot I_{\text{кз110}}^{(1)}$ $i_{\text{уд ном}} \geq K_{\text{уд}} \cdot I_{\text{кз110}}^{(1)}$ $I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}} \geq (I_{\text{кз110}}^{(1)})^2 \cdot t_{\text{рз}}$	16 кА $0,2 \cdot 10^9 \text{ A}^2\text{с}$	3268,82 А 8,34 кА 8,36 кА $0,02 \cdot 10^9 \text{ A}^2\text{с}$

Продолжение таблицы – 10

1	2	3	4
6 Ограничитель перенапряжений ОПН-110	$U_{ном} \geq U_{сети}$	110 кВ	110 кВ
ОПН-40	$U_{ном} \geq U_{сети}$	40 кВ	35 кВ

Шины в ОРУ-110 кВ из сталеалюминиевых проводов марки АС-70/1,8.

Проверка условия по длительно-допустимому току:

$$I_{длит. доп} = 84 \text{ А} > I_{норм. расч.} = 73,48 \text{ А.}$$

Таблица 11 – Выбор оборудования на стороне 10 кВ

Тип оборудования	Условие выбора	Справочные данные	Расчетные величины
1	2	3	4
1 Выключатель ВВТЭ-М-10-20/630 УХЛ2	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{ном. тр} \cdot K_{п}$ $i_{вкл} \geq i_{уд к2}$ $i_{дин} \geq i_{уд к2}$ $I^2_{т} \cdot t_{т} \geq I^2_{к2} \cdot t_{т}$ $i_{ассим. норм} \geq i_{ассим. выкл} \cdot \tau$	10 кВ 630 А 51 кА 51 кА $1,2 \cdot 10^9 \text{ А}^2\text{с}$ $20 \cdot 10^3 \text{ А}$	10 кВ 73,48 А 12,88 кА 12,88 кА $0,04 \cdot 10^9 \text{ А}^2\text{с}$ $8,13 \cdot 10^3 \text{ А}$
2 Выключатель ВВТЭ-М-10-20/1000У2	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{ном. тр} \cdot K_{п}$ $i_{вкл} \geq i_{уд к2}$ $i_{дин} \geq i_{уд к2}$ $I^2_{т} \cdot t_{т} \geq I^2_{к2} \cdot t_{т}$ $i_{ассим. норм} \geq i_{ассим. выкл} \cdot \tau$	10 кВ 1000 А 20 кА 20 кА $1,2 \cdot 10^9 \text{ А}^2\text{с}$ $20 \cdot 10^3 \text{ А}$	10 кВ 808,3 А 12,88 кА 12,88 кА $0,04 \cdot 10^9 \text{ А}^2\text{с}$ $8,06 \cdot 10^3 \text{ А}$
3 Трансформатор тока ТПОЛ – 10-У3	$U_{ном} \geq U_{сети}$ $I_{ном} \geq I_{ном. тр}$ $K_{дин} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ном} \geq i_{уд к2}$ $(K_{тер} \cdot I_{ном})^2 \cdot t_{т} \geq I^2_{к2} \cdot t_{трз}$	10 кВ 1500 А 53,03 кА $2,2 \cdot 10^9 \text{ А}^2\text{с}$	10 кВ 80 А 12,88 кА $0,04 \cdot 10^9 \text{ А}^2\text{с}$
4 Ограничитель перенапряжений ОПН-10	$U_{ном} \geq U_{сети}$	110 кВ	110 кВ

Катушки, которые измеряют, защищают и контролируют электрические параметры и состояние изоляции, получают электричество от трансформаторов напряжения. Они преобразуют высокое напряжение в более низкое, которое может использоваться этими устройствами для корректной работы.

Выбирается трехфазный пятистержневой трансформатор напряжения типа ЗОЛ-10 на первичном напряжении 10 кВ, при классе точности 0,5.

В таблице 12 приведены данные измерительных приборов, подключенных к трансформатору напряжения.

Таблица 12 – Измерительные приборы

Наименование приборов	Тип прибора	Потребляемая мощность	Число катушек	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	Число приборов	Потребляемая мощность суммарная	
							P, Вт	Q, ВАр
Вольтметр	ЭВ-2	9	1	1	—	4	36	—
Счетчик активной энергии	САЭУ	1,75	2	0,38	0,925	12	16	38,7
Счетчик реактивной энергии	СРЭУ	1,75	2	0,38		4	5,33	12,9
Итого	—	—	—	—	0,925	—	57,3	51,6

Чтобы обезопасить трансформаторы напряжения, используется предохранитель типа ПKN-10. Шины ЗРУ 10 кВ сталеалюминиевые коробчатого сечения.

Т.к. $I_{K2} = 5051,8$ А, следовательно на одну шину $I = 2525,9$ А.

Выбираем шины со следующими размерами: $a = 75$ мм; $b = 35$ мм; $c = 5,5$ мм; $r = 6$ мм; $h = 64$ мм.

Проверяем шины на способность выдерживать тепловые нагрузки при КЗ с минимальным допустимым сечением:

$$S_{MIN} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}, \quad (25)$$

где $B_k = I_{к2}^2 \cdot t_{пз} = 5051,8^2 \cdot 1,5 = 38,25 \cdot 10^6 \text{ A}^2\text{c}$;

$C = 90$ для алюминиевых шин.

$$S_{\min} = 68,72 \text{ мм}^2.$$

У выбранной шины сечение $694 \text{ мм}^2 > 68,72 \text{ мм}^2$.

Проверяем шины на электродинамическую стойкость.

Сила, приходящаяся на единицу длины:

$$f_{\text{MAX}} = 1,76 \cdot \frac{i_{\text{удк2}}^2}{a} \cdot 10^{-7} \quad (26)$$

$$f_{\text{MAX}} = 1,76 \cdot \frac{12,88^2 \cdot 10^6}{0,4} \cdot 10^{-7} = 72,99 \frac{\text{H}}{\text{м}},$$

где $a = 0,4 \text{ м}$ – расстояние между отдельными фазами.

Изгибающий момент:

$$M = \frac{f_{\text{MAX}} \cdot l^2}{10} \quad (27)$$

$$M = \frac{72,99 \cdot 2^2}{10} = 29,2 \text{ Н},$$

где $l = 2 \text{ м}$ – расстояние между отдельными изоляторами одной фазы.

Напряжение, возникающее в материале шины:

$$\sigma_{\text{РАСЧ}} = \frac{M}{W} = \frac{M}{0,167 \cdot (a^3 - h^3)} \quad (28)$$

$$\sigma_{\text{РАСЧ}} = \frac{29,2}{0,167 \cdot (75^3 - 64^3) \cdot 10^{-9}} = 1,1 \text{ МПа},$$

где W – момент сопротивления одной шины.

Для алюминиевого сплава АДО $\sigma_{\text{доп}} = 41,8 \text{ МПа} > \sigma_{\text{расч}} = 1,1 \text{ МПа}$.

Выбираем проходные изолятор П-10/400-750 со следующими размерами: $H = 70$ мм, $H' = H + \frac{b}{2} = 87,5$ мм,

Условие прочности изоляторов определяется из выражения:

$$F_{\text{расч}} = 0,6 \cdot F_{\text{разр}} \cdot H/H' = 0,6 \cdot 750 \cdot 70/87,5 = 360 \text{ кгс},$$

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot F_{\text{разр}} = 0,6 \cdot 750 = 450 \text{ кгс},$$

$$F_{\text{доп}} = 450 \text{ кгс} > F_{\text{расч}} = 360 \text{ кгс},$$

Выбираем опорные изоляторы ОФ-10-750 со следующими размерами: $H = 120$ мм, $H' = H + \frac{a}{2} = 157,5$ мм,

Условие прочности изоляторов определяется из выражения:

$$F_{\text{расч}} = 0,6 \cdot F_{\text{разр}} \cdot H/H' = 0,6 \cdot 750 \cdot 120/157,5 = 342,9 \text{ кгс},$$

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \cdot F_{\text{разр}} = 0,6 \cdot 750 = 450 \text{ кгс},$$

$$F_{\text{доп}} = 450 \text{ кгс} > F_{\text{расч}} = 342,9 \text{ кгс}.$$

2.4 Выбор трансформаторов

В качестве цеховых подстанций выбираем КТП. Данные для расчетов взяты из расчетных таблиц электрических нагрузок.

«Предварительный выбор количества и мощности цеховых трансформаторов осуществляется по удельной плотности нагрузки:

$$\sigma = S_p / F, \quad (29)$$

где S_p – расчетная нагрузка, кВА,

F – площадь в цеху, м².» [18].

Если $\sigma = 0,2 \text{ кВА} / \text{м}^2$ и выше выгоднее переходить от трансформаторов 1000 кВА к трансформаторам 1600 кВА, а при плотности загрузки $\sigma = 0,3 \text{ кВА} / \text{м}^2$ к трансформаторам 2500 кВА.

«Для того, чтобы определить, какой трансформатор нужен для цеха (здания, участка), можно использовать два способа, которые зависят от того, какие данные есть:

- посмотреть на график, который показывает, сколько электричества потребляется в цехе в разное время суток в обычных и необычных условиях,
- посчитать, сколько электричества нужно для тех же условий.» [19].

Есть некоторые правила, которые говорят, насколько сильно можно нагружать трансформаторы:

- если в цехе важно, чтобы электричество не пропадало, то для ТП с двумя трансформаторами нужно выбирать K_z между 0,65 и 0,7,

- если в цехе не так критично, чтобы электричество не пропадало, то для ТП с одним трансформатором можно выбирать K_z между 0,7 и 0,8, если есть возможность подключить другой трансформатор на низком напряжении,

- если в цехе не так критично, чтобы электричество не пропадало, и есть запасные трансформаторы на складе, или если в цехе электричество не очень нужно, то можно выбирать K_z между 0,9 и 0,95.

Для цеха лучше выбрать трансформаторы одинаковой или похожей мощности из стандартных вариантов. Тогда не нужно будет хранить много запасных трансформаторов и легче будет менять сломанные. Сколько и каких трансформаторов нужно для цеха, зависит от того, как это повлияет на затраты и доходы, и от того, сколько реактивной мощности они будут передавать в сеть с низким напряжением.

«Для того, чтобы уменьшить потери в сети 6-10 кВ, можно применить различные методы, например:

- обновить распределительные линии и трансформаторы на более современные и экономичные;

- монтировать устройства компенсации реактивной мощности для уменьшения падения напряжения и потерь реактивной мощности;
- располагать распределенные источники генерации, работающие от ветра и солнечной энергии, таким образом, чтобы уменьшить линейные потери и улучшить профиль напряжения;
- применять метод, основанный на эволюционном программировании, для нахождения оптимальной коммутационной конфигурации сети, которая минимизирует общие активные потери мощности;
- внедрять резонансное ограничение однофазного земляного тока короткого замыкания, возникающего при пробое изолятора, и использовать проводный канал связи для удаленной идентификации места неисправности;
- применять алгоритм, основанный на теории графов и линейном программировании, для оценки режима и потерь электроэнергии в открытых распределительных сетях с учетом неполноты информации.» [5].

«Суммарная расчетная мощность $Q_{нк}$ НБК составит:

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}, \quad (30)$$

где $Q_{нк1}$ и $Q_{нк2}$ – суммарные мощности НБК, определенные на двух указанных этапах расчета.

Реактивная мощность распределяется между трансформаторами в соответствии с их реактивными нагрузками.

Для обеспечения питания нагрузок, связанных по технологии, нужно не менее N_{min} цеховых трансформаторов с мощностью $S_{ном,т}$ каждый. Число N_{min} можно найти по формуле:

$$N_{MIN} = \frac{P_{CP,М}}{K_3 \cdot S_{НОМ,Т}} + \Delta N, \quad (31)$$

где $P_{cp.m}$ – средняя активная мощность технологически связанных нагрузок за наиболее загруженную смену;

K_3 – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформатора;

ΔN – добавка до ближайшего целого числа.

Экономически оптимальное число трансформаторов N_{opt} определяется удельными затратами Z^* на передачу реактивной мощности и отличается от N_{min} на величину m :

$$N_{opt} = N_{min} + m, \quad (32)$$

где m – дополнительно установленные трансформаторы.

$$Z^* = \frac{K_3(Z_{НК} - Z_{БК})}{Z_{ТП}} = K_3 \cdot Z_{ТП}^*, \quad (33)$$

где $Z_{НК}$, $Z_{БК}$, $Z_{ТП}$ – соответственно усредненные приведенные затраты на НК, батареи конденсаторов напряжением выше 1 кВ (БК) и цеховые ТП.

$$Z_{ТП}^* = \frac{Z_{НК} - Z_{БК}}{Z_{ТП}} \gg [23]. \quad (34)$$

«При отсутствии достоверных стоимостных показателей для практических расчетов допускается считать $Z_{ТП}^* = 0,5$ и тогда $N_{opt} = N_{min} + m$, принимая значения m в зависимости от N_{min} и ΔN .

Реактивная мощность, которая передается через трансформаторы в сеть напряжением до 1 кВ, определяют по формуле:

$$Q_{MAX.T} = \sqrt{(N_{OPT} \cdot K_3 \cdot S_{НОМ.T})^2 - P_{СР.M}^2}. \quad (35)$$

Суммарная мощность конденсаторных батарей на напряжение до 1 кВ составит:

$$Q_{нк1} = Q_{ср.м} - Q_{max.т}, \quad (36)$$

где $Q_{ср.м}$ – суммарная средняя реактивная мощность за наиболее загруженную смену на напряжение до 1 кВ.

Если в расчетах окажется, что $Q_{нк1} < 0$, то установка батарей конденсаторов при выборе оптимального числа трансформаторов не требуется.

Дополнительная мощность $Q_{нк2}$ НБК для данной группы трансформаторов определяется по формуле:

$$Q_{нк2} = Q_{ср.м} - Q_{нк1} - \gamma \cdot N_{опт} \cdot S_{ном.т}, \quad (37)$$

где γ – расчетный коэффициент, зависящий от расчетных параметров $K_{р1}$ и $K_{р2}$ и схемы питания цеховой ТП (для радиальной схемы γ определяют по; для магистральной схемы с двумя трансформаторами – по; для магистральной схемы с тремя и более трансформаторами $\gamma = K_{р1}/30$; для двухступенчатой схемы питания трансформаторов от РП 6-10 кВ, на которых отсутствуют источники реактивной мощности, $\gamma = K_{р1}/60$).

Значения $K_{р1}$ зависят от удельных приведенных затрат на НБК и ВБК и потерь активной мощности:

$$K_{р1} = \frac{Z_{НК} - Z_{ВК}}{C_{рп} \cdot 10^3}, \quad (38)$$

где $C_{рп}$ – расчетная стоимость потерь.

При отсутствии достоверных показателей $Z_{нк}$ и $Z_{вк}$ для практических расчетов $K_{р1}$ следует принимать по. Значение $K_{р2}$ определяют по формуле:

$$K_{р2} = \frac{l \cdot S_{НОМ.Л}}{s}, \quad (39)$$

где s – сечение питающей линии;

l – длина линии (при магистральной схеме с двумя трансформаторами – длина участка до первого трансформатора).

При отсутствии достоверных данных допускается значение K_{p2} принимать по.

Если в расчетах окажется, что $Q_{нк2} < 0$, то для данной группы трансформаторов реактивная мощность $Q_{нк2}$ принимается равной нулю.» [25].
Результаты приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Выбор цеховых трансформаторов

Название цеха	S_p , кВА	G , кВА/м ²	Категория надежности	K_3	Число и мощность тр-ров	–
1 Ремонтно-механический цех	795,83	0,10	2	0,75	1×1000	ЦТП 1
2 Админист. корпус	573,86	0,13	3	0,95	1×1000	ЦТП 2
3 Блок вспом. цехов	535,98	0,08	3	0,95	1×1000	ЦТП 3
4 Литейный цех	1413,25	0,13	1	0,65	3×1600	ЦТП 4
5 Главный корпус	4117,43	0,30	2	0,75	4×1600	ЦТП 5, 11,12, 13
6 Котельная	1895,06	0,40	1	0,65	2×1600	ЦТП 6
7 Компрессорная № 1	864,19	0,21	1	0,65	2×1000	ЦТП 7
8 Компрессорная № 2	866,10	0,20	1	0,65	2×1000	ЦТП 8
9 Насосная № 1	750,53	0,12	1	0,65	2×1000	ЦТП 9
10 Насосная № 2	1174,15	0,26	1	0,65	2×1600	ЦТП 10

Удаление определяется по формуле:

$$L \leq \frac{15000}{S_p}, \quad (40)$$

Для обеспечения надежного и эффективного распределения электроэнергии между цехами, установим на все проверяемые цеха распределительные устройства, которые будут получать питание от соседних цеховых трансформаторных подстанций. Выбор и распределение НБК указаны в таблице 14.

Таблица 14 - Выбор и распределение НБК

Группа трансформаторов	Номер трансформатора	Распределение по трансформаторам	Тип КУ
1	2	6	7
ТП 5,11,12,13	T5	1 x 200	УКБ-0,38-200У
ТП 11,12,13	T11	1 x 100	УКБ-0,38-100УЗ
	T12	1 x 100	УКБ-0,38-100УЗ
	T13	1 x 100	УКБ-0,38-100УЗ
ТП 3	T3	2 x 100	УКБ-0,38-100УЗ
ТП 1	T1	2 x 300	УКБ-0,38-300УЗ

Наиболее распространенные промышленные подстанции имеют два трансформатора. На подстанции можно выбрать один или два силовых трансформатора в зависимости от того, как важно и выгодно обеспечить электроснабжение. Однотрансформаторные подстанции подходят для объектов третьей категории, которые могут обойтись без постоянного питания и иметь запасной трансформатор на случай поломки. Двухтрансформаторные подстанции нужны для объектов первой и второй категории, которые не могут допустить сбоев в электроснабжении. На заводе большинство потребителей второй категории, поэтому на подстанции логичнее установить два силовых трансформатора.

Суммарная мощность нагрузки на ГПП составляет:

$$S_{max} = 15866,40 \text{ кВА},$$

Ориентировочная мощность главного трансформатора на ГПП:

$$S_{mp} = 15866,40 / 2 = 7933,2 \text{ кВА},$$

«При технико-экономических расчетах нужно выбирать мощность трансформатора из диапазона между 6300 кВА и 10000 кВА, так как это наиболее выгодно с экономической точки зрения.» [25].

Чтобы проверить может ли один трансформатор питать всю нагрузку, если другой трансформатор сломается. Для этого умножают номинальную мощность трансформатора $S_{ном} = 10000$ кВА на коэффициент перегрузки $K_{п} = 1,4$ и получают 14000 кВА. Это меньше, чем максимальная нагрузка 16064,63 кВА, поэтому один трансформатор не справится с ней.

Трансформатор с мощностью 10000 кВА не может обеспечить достаточным количеством электроэнергии всех потребителей, подключенных к подстанции. Это может привести к перегрузке трансформатора и снижению его надежности. Однако, если отключить некоторых потребителей III категории, которые имеют низкую важность для производственного процесса и могут быть временно обесточены, то можно снизить нагрузку на трансформатор и увеличить его ресурс. Таким образом, можно обойтись выбранными трансформаторами и не требуется установка дополнительных трансформаторов.

Выводы по 2 разделу: выполненные расчеты электрических нагрузок предприятия позволили выбрать элементы системы электроснабжения, в частности, трансформаторы, кабели и коммутационные аппараты, обеспечивающие надежность работы системы электроснабжения.

3 Обеспечение надежности и безопасности системы электроснабжения

3.1 Расчет системы РЗА

Релейная защита является основным видом электрической автоматики, без которой невозможна нормальная и надежная работа современных энергетических систем. Она осуществляет непрерывный контроль за состоянием и режимом работы всех элементов энергосистемы и реагирует на возникновение повреждений и ненормальных режимов.

«Релейная защита тесно связана с электроавтоматикой, которая служит для быстрого автоматического восстановления нормального режима и питания потребителей. Существуют разные способы защиты в системах электроснабжения. К основным относятся: АПВ, АВР, АЧР.» [8].

«Максимальная и газовая защита выполнены на токовых реле типа РТ-40, РТ-40/Р с использованием реле времени РВ-132, РВ-114, РВ-133. Токовые реле максимальной защиты включены на трансформаторы тока со стороны высокого напряжения (в плечо дифференциальной защиты), что позволяет ввести в зону действия максимальной защиты силовой трансформатор.

Дифференциальная токовая защита трансформатора (ДЗТ) – это способ обнаружения и устранения неисправностей в трансформаторе, который сравнивает токи на его входе и выходе. Если токи одинаковые, то все в порядке. Если токи разные, то есть проблема, которую нужно решить. ДЗТ реагирует быстро и точно, так как не зависит от других факторов, влияющих на работу трансформатора.

ДЗТ работает так: на обмотках токовых трансформаторов (ТТ), которые стоят на сторонах высокого и низкого напряжения трансформатора, подключаются реле дифференциальной защиты (РДЗ). РДЗ измеряет токи в своих цепях и дает команду на отключение трансформатора, если разность

токов больше заданного порога. Для учета разницы между коэффициентами трансформации ТТ и разницы фаз между ними используются специальные устройства – корректоры. Продольная дифференциальная защита – это вид ДЗТ, который используется для защиты линий или кабелей от коротких замыканий между фазами или на землю. Продольная ДЗТ подключается к ТТ на концах линии или кабеля и сравнивает суммарные токи в каждой фазе. Если эти токи не совпадают, то значит есть короткое замыкание на линии или кабеле, и защита дает команду на отключение питания.» [14].

Определяем ток небаланса по формуле:

$$I_{НБ.Р} = (K_a \cdot K_{одн} \cdot f + \Delta N_{РЕГ}) \cdot I_{К.МАХ}, \quad (41)$$

где K_a – коэффициент, учитывающий влияние апериодического тока КЗ, равен 1;

$K_{одн}$ – коэффициент однотипности работы трансформаторов тока, равен 1;

$f = 0,1$, погрешность трансформатора;

$I_{К.мах}$ – наибольший трехфазный ток при внешнем КЗ.

$$I_{НБ.Р} = (1 \cdot 1 \cdot 0,1 + 0,08) \cdot 5051,8 = 909,3 \text{ А},$$

Определяем ток срабатывания реле КА1-КА3, по условию отстройки от тока небаланса с коэффициентом надежности $K_H = 1,3$ без учета коэффициента возврата – K_H .

$$I_{С.Р} = \frac{K_H \cdot K_{СХ}}{K_T} \cdot I_{НБ.Р} \quad (42)$$

$$I_{С.Р} = \frac{1,3 \cdot \sqrt{3}}{40} \cdot 909,3 = 51,2 \text{ А},$$

Число витков основной обмотки трансформатора тока определяем по формуле:

$$W = \frac{F}{I_{C.P}}, \quad (43)$$

где $F = 100$ – магнитодвижущая сила срабатывания реле.

$$W_{1P} = \frac{100}{51,2} = 1,95,$$

Предварительно принимаем число витков первой уравнивающей обмотки $w_{1yp} = 2$ витка.

На вторичной стороне число витков равно:

$$W_{2P} = W_1 \cdot \frac{I_1}{I_2} = W_{PAB} + W_{VP.2} = 2 \cdot \frac{2,13}{1,83} = 2,32;$$

Принимаем предварительно: $w_{2yp} = 2$ витка.

Уточненный ток небаланса:

$$I'_{HB.P} = \frac{|W_{1P} - W_1|}{W_{1P}} \cdot I_{K.MAX} \quad (44)$$

$$I'_{HB.P} = \frac{|1,95 - 2|}{1,95} \cdot 5051,8 = 129,5 \text{ A},$$

Суммарный ток небаланса:

$$\Sigma I_{нб.} = I'_{нб.p} + I_{нб.p} = 129,5 + 909,3 = 1038,8 \text{ A},$$

Уточняем ток срабатывания реле:

$$I_{C.P} = \frac{K_H \cdot K_{CX}}{K_T} \cdot I_{HB} \quad (45)$$

$$I_{C.P} = \frac{1,3 \cdot \sqrt{3}}{40} \cdot 1038,8 = 58,5 \text{ A},$$

$$I_{C.P} = 58 \text{ A},$$

Определяем коэффициент чувствительности по формуле:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{K.MIN}}{I_{C.P}} \cdot K_T \geq 1,2 - 1,5. \quad (46)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{4393}{58} \cdot 40 = 1,88,$$

Т.к. $1,88 > 1,5$, то это удовлетворяет требованиям чувствительности.

Расчет тока самозапуска:

$$I_{C.3.BH} = \frac{U_{CP.BH}}{\sqrt{3} \cdot (X_{K2} + X_{TP})} \quad (47)$$

$$I_{C.3.BH} = \frac{115000}{\sqrt{3} \cdot (6,8 + 140,1)} = 451,98 \text{ А},$$

где $U_{CP.BH}$ – усредненное значение напряжения на высокой стороне;

X_{K2} – суммарное сопротивление в точке К2;

X_B – сопротивление трансформатора.

$$I_{C.3} = \frac{K_H \cdot K_{C.3}}{K_B} \cdot I_{C.3.BH} \quad (48)$$

$$I_{C.3} = \frac{1,3 \cdot 1,8}{0,85} \cdot 451,98 = 1244,3 \text{ А},$$

где $K_H = 1,3$ – коэффициент надежности отстройки;

$K_{C.3} = 1,8$ – коэффициент самозапуска;

$K_B = 0,85$ – коэффициент возврата.

Ток срабатывания реле защиты от перегрузки:

$$I_{C.P} = \frac{K_H \cdot K_{CX}}{K_T} \cdot I_{C.3}, \quad (49)$$

где $K_H = 1,3$ – коэффициент надежности отстройки,

$I_{C.3}$ – ток самозапуска.

$$I_{c.p} = \frac{1,3 \cdot \sqrt{3}}{40} \cdot 1244,3 = 70 \text{ А,}$$

Определяем коэффициент чувствительности по формуле:

$$K_q = \frac{I_{K.MIN}}{I_{c.p} \cdot K_T} \quad (50)$$

$$K_q = \frac{4393}{70 \cdot 40} = 1,57$$

$K_q = 1,57 > 1,5$ – что удовлетворяет требованиям чувствительности.

«Защиты от внешних многофазных КЗ выполнены в виде четырех комплектов МТЗ с комбинированным пуском напряжения. МТЗ, установленная на стороне высокого напряжения, содержит три реле тока – КА1–КА2, питающихся от трансформатора тока ТА2 и соединенных в звезду; такое выполнение принято в целях повышения чувствительности КЗ между двумя фазами на стороне низшего напряжения. Защита предназначена для резервирования отключений КЗ на шинах низшего напряжения, а также для резервирования основных защит трансформатора. МТЗ, устанавливаемые на ответвления к секциям шин низшего напряжения (реле – КА6, КА7, КА8 и КА 9) и питаемые соответственно от трансформаторов тока ТА7 и ТА8, предназначены для отключения КЗ на шинах низшего напряжения и для резервирования отключений КЗ на элементах, присоединенных к этим шинам.» [4].

Уставку реле времени МТЗ выбираем с учетом селективности:

- на шинах 10 кВ - 0,8 с,
- за выключателем - 1,3 с,
- за трансформатором - 1,9 с.

«Защита от перегрузки выполнена с помощью реле тока КА5, установленного со стороны высшего напряжения и реле времени КТЗ.» [4].

3.2 Расчет системы освещения

Когда проектируют установки по освещению очень важно правильно определить требуемый уровень освещенности в зависимости от характера работ, которые будут производиться в помещении. Для этого используется классификация работ, которая позволяет определить необходимый уровень освещенности.

«Освещение производственных помещений имеет большое значение для обеспечения комфортных и безопасных условий труда. В зависимости от того, как расположены светильники в производственном помещении, можно выделить два вида освещения: общее и комбинированное. Общее освещение означает, что светильники находятся в верхней части помещения и освещают все пространство равномерно и достаточно ярко. Местное освещение означает, что светильники нацелены на определенные точки - например, на рабочий стол, на станок, на верстак и т.д. Для этого могут использоваться разные типы светильников, такие как настольные лампы, напольные лампы, настенные лампы и т.д. Местное освещение позволяет повысить контрастность и четкость изображения объектов, а также снизить утомляемость глаз. Комбинированная система освещения сочетает в себе общее и местное освещение в одном помещении. Это дает возможность подобрать оптимальный уровень освещенности для каждого рабочего места в зависимости от его специфики и требований нормативов.» [18].

Искусственное освещение разделяют на виды:

- рабочее,
- аварийное,
- эвакуационное.

Охранное освещение предназначено для обеспечения минимального уровня освещенности в помещениях и на территории предприятия в период нерабочего времени. Оно не создает необходимой освещенности для работы, а лишь обеспечивает условия безопасности для дежурства охраны и быстрого

реагирования на возможные чрезвычайные ситуации. Обычно охранное освещение осуществляется с помощью аварийных светильников, работающих на батареях или генераторах, что позволяет обеспечить его независимость от централизованной системы электроснабжения.

«На современном этапе применяют не только люминесцентные и лампы накаливания, но и другие виды (металлогалогеновая, ртутно-кварцевая, натриевая, ксеноновая).

На выбор ламп для промышленных помещений влияет ряд факторов, это светоотдача, энергоэффективность, длительность службы, диапазон цветовой температуры, регулирование яркости.

Как правило, светильники общего назначения имеют напряжение 380/220 В переменного тока и заземленную нейтраль. Рабочее освещение должно проводиться по самостоятельным линиям.» [21].

В таблице 16 показан расчёт мощности осветительных приборов. В третьей графе указывается площадь цеха в m^2 , которая нуждается в освещении. $F_{ц}$ – это обозначение этой площади.

Также в таблице 16 указаны следующие параметры для каждого объекта: $E_{нор}$ – освещенность в люксах, необходимая для нормальной работы; $P_{уд}$ – удельная мощность осветительных приборов в Вт/ m^2 ; K_c - коэффициент спроса, который показывает, какая доля осветительных приборов может быть включена одновременно. Эти параметры находятся в 2, 4 и 5 колонках соответственно. В 6 и 7 колонках вычислены значения $P_{оу}$ и $P_{ро}$ - установленная и расчётная мощности осветительной сети. «Для их нахождения используются формулы:

$$P_{уо} = P_{уд} \cdot F_{ц}, \quad (51)$$

$$P_{ро} = K_c \cdot P_{оу}, \quad (52)$$

где $K_c = 1$ – для аварийного и наружного освещения, торговых помещений;

$K_C = 0,95$ – для производственных помещений, состоящих из отдельных крупных пролётов;

$K_C = 0,9$ – для административных зданий и предприятий общественного питания;

$K_C = 0,8$ – для зданий состоящих из большого числа отдельных помещений;

$K_C = 0,6$ – для складских помещений.» [23].

В последней строке таблицы показаны общие значения расчётной мощности осветительной сети для всех помещений на предприятии и их суммарная площадь. Для наружного освещения расчётная мощность вычисляется по формуле:

$$P_{НО} = K_C \cdot 0,3 \cdot P_{уд} (F_3 - F_{ц}), \quad (53)$$

где F_3 – площадь завода, m^2 .

Нормы освещенности цехов отображены в таблице 15.

Таблица 15 – Нормы освещенности

Нормы освещенности	$P_{уд.осв.}, Вт/м^2$
цеха с основным производством	13,8
цеха со вспомогательным производством	9,75
цеха со значительной зрительной нагрузкой	19,5
компрессорные, насосные, котельные	9,8
складские помещения	3,3
заводоуправление, столовые	10,0

Для того, чтобы осветить территорию вокруг комбината, используются следующие параметры: $P_{уд.осв}$ – удельная мощность осветительных приборов, равная 3 Вт/м²; K_c – коэффициент спроса, равный 1.

$$P_{р.осв.нар} = 0,3 \cdot (F_{зав} - F_{цехов}) \cdot P_{уд.осв.нар}, \quad (54)$$

$$P_{р.осв.нар} = 0,3 \cdot (318750 - 129860) \cdot 3 = 170 \text{ кВт.}$$

Таблица 16 – Расчет осветительной нагрузки

Наименование цехов	E_n , лк	F , м ²	$P_{уд}$, кВт/м ²	$P_{оу}$, кВт	K_c	$P_{ор}$, кВт	Q , кВар
1	2	3	4	5	6	7	8
1 Ремонтно-Механический цех	300,00	7749,00	13,8	106936,20	1,00	106,94	42,77
2 Админист. быт. корпус	200,00	4351,00	10,00	43510,00	0,95	41,33	16,53
3 Блок вспом. цехов	150,00	6418,00	9,75	62575,50	0,95	59,45	23,78
4 Литейный цех	300,00	11263,00	13,80	155429,40	0,95	147,66	59,06
5 Главный корпус	300,00	13734,00	13,8	189529,20	0,95	180,05	72,02
6 Котельная	150,00	4736,00	9,75	46176,00	0,95	43,87	17,55
7 Компрессорная № 1	200,00	4076,00	9,80	39944,80	0,60	23,97	9,59
8 Компрессорная № 2	200,00	4380,00	9,8	42924,00	0,60	25,75	10,30
9 Насосная №1	300,00	6172,00	9,75	60177,00	0,60	36,11	14,44
10 Насосная №2	300,00	4597,00	9,75	44820,75	0,60	26,89	10,76
Итого по цехам	—	67476,00	—	—	—	692,02	276,81
Уличное освещение	—	219000,00	3,00	—	1,00	136,37	54,55
Итого по заводу	—	353952,00	—	—	—	828,39	331,35

В таблице 16 представлены результаты расчета осветительной нагрузки, которая определяется как суммарная мощность всех источников света, используемых для освещения помещений и территории.

3.3 Расчет молниезащиты и заземления

Заземляющие устройства – это устройства, которые нужны для соблюдения ПУЭ. «ПУЭ – это правила, которые регулируют устройство электроустановок. Чтобы спроектировать заземляющее устройство, нужно посмотреть план, где расположено электрооборудование и конструкции. Нужно учесть количество подключенных к установке линий электропередачи, которые идут по воздуху, информацию о тросовых участках, количество, длину, тип, сечение и способ прокладки линий электропередачи, которые идут по кабелю, а также данные о естественных заземлителях.

Периметр контура заземления 200 м. Заземляющие устройства опор воздушной линии должны иметь сопротивление не более 10 Ом при токах 50 Гц летом при удельном сопротивлении земли $\rho = 1 \cdot 10$ Ом·см.

Сопротивление искусственного заземления составляет при $R_e = 10$ Ом, $R_3 = 0,5$ Ом:

$$R_u = R_e \cdot R_3 / (R_e - R_3), \quad (55)$$

где R_e – сопротивление естественного заземлителя;

R_3 – сопротивление заземлителя.

$$R_u = 0,53 \text{ Ом.}$$

В этой формуле считается, что искусственные и естественные заземлители подключены параллельно и общее сопротивление не больше нормы $R_3 = 0,5$ Ом.» [25].

На рисунке 1 показано сопротивление одного вертикального заземлителя с учетом расчетного удельного сопротивления.

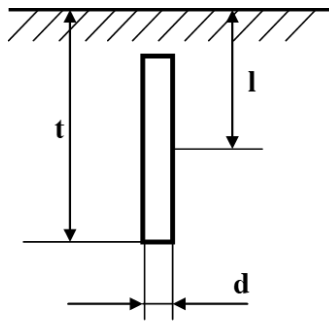


Рисунок 1 Схема одиночного вертикального заземлителя

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (56)$$

где $l = 5$ м, $t = 3,1$ м, $d = 0,012$ м, $\rho = 1 \cdot 10^2$ Ом·м.

$$R = 22,77 \text{ Ом.}$$

Для начала размещаем искусственные заземлители на плане, затем находим приблизительное число вертикальных заземлителей и расстояние между ними, а также коэффициент использования заземлителей:

$$N_{op} = R / K_u \cdot R_u, \quad (57)$$

где $K_u = 0,9$.

$$N_{op} = 48 \text{ шт.}$$

Определяем сопротивление соединительных полос (рисунок 2).
Сопротивление одной полосы: где $l = 200$ м; $b = 0,04$ м; $t = 0,8$ м;

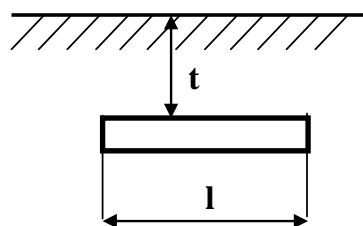


Рисунок 2 Схема соединительной полосы

$$R_n = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{b \cdot t}, \quad (58)$$

$$R_n = 1,17 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление соединительных полос с учетом коэффициента использования $K_u = 0,24$.

$$R'_n = R_n / K_u. \quad (59)$$

$$R'_n = 4,88 \text{ Ом.}$$

Определяем необходимое сопротивление вертикальных заземлителей (стержней):

$$R_{cm} = R_n \cdot R_u / (R_n - R_u) \quad (60)$$

$$R_{cm} = 0,59 \text{ Ом.}$$

С помощью коэффициента использования вертикальных стержней, находим окончательное число заземлителей:

$$N = R / K_u \cdot R_{cm} \quad (61)$$

$$N = 43 \text{ шт.}$$

Общая проводимость всех заземлителей:

$$G_3 = \frac{1}{R_u} + \frac{1}{R_{cm}} + \frac{1}{R_{полн}} = \frac{1}{0,53} + \frac{1}{0,59} + \frac{1}{4,88} \quad (62)$$

$$G_3 = 3,79 \text{ Ом}^{-1}$$

Эквивалентное сопротивление заземляющего контура:

$$R_3 = 1 / G_3 = 1 / 3,79 \quad (63)$$

$R_3 = 0,246 < 0,5$, что удовлетворяет требованиям ПУЭ.» [25].

Молниеотводы – это устройства, которые нужны для защиты электрооборудование ГПП от воздействий молний. Они не дают молниям попасть в электрооборудование, благодаря защитной зоне вокруг. Какая защитная зона будет у молниеотвода, зависит от того, какой он и какой у него размер. Один из видов молниеотводов – одиночный стержневой молниеотвод. Его высота не должна превышать 150 метров, а его защитная зона имеет вид конуса в вертикальном сечении и круга в горизонтальном сечении.

«Зона А:

$$- H_o = 0,85 \cdot H,$$

$$- R_o = (1,1 - 0,002 \cdot H) \cdot H,$$

$$- R_x = (1,1 - 0,002 \cdot H) \cdot (H - H_x / 0,85),$$

– Двойной стержневой молниеотвод $H < 150$ м.

Зона А:

$$- L \leq H, \text{ тогда } H_c = H_o,$$

$$- L > H, \text{ тогда } H_c = H_o - (0,17 + 0,0003 \cdot H) \cdot (L - H),$$

$$- 2 \cdot R_c = 2 \cdot R_o,$$

$$- L \leq H, \text{ тогда } 2 \cdot R_{cx} = 2 \cdot R_x,$$

$$- L > H, \text{ тогда } 2 \cdot R_{cx} = 2 \cdot R_o \cdot (H_c - H_x) / H_o,$$

Двойной стержневой молниеотвод (стержни разной высоты).

$H_1 \leq 150$ м , $H_2 \leq 150$ м – высота стержней.

Зона А:

$$- H_c = (H_1 + H_2) / 2,$$

$$- 2 \cdot R_{cx} = 2 \cdot R_c \cdot (H_c - H_x) / H_c,$$

$$- 2 \cdot R_c = R_{01} + R_{02}.$$

Одиночный тросовый молниеотвод. Высота $H \leq 150$ м.

Зона А:

$$- H_o = 0,85 \cdot H,$$

- $R_o = (1,35 - 0,0025 \cdot H) \cdot H,$
- $S_o = 2 \cdot R_o,$
- $R_x = (1,35 - 0,0025 \cdot H) \cdot (H - H_x / 0,85),$
- $S_x = 2 \cdot R_x.$

Двойной тросовый молниеотвод. Высота $H_1 = H_2 \leq 150$ м.

Зона А:

- $L' = A + 2 \cdot R_o,$
- $S = L + 2 \cdot R_o,$
- $L_{x2} = A + 2 \cdot R_{cx},$
- $S_{x2} = L + 2 \cdot R_{x2},$
- $L \leq H, H_c = H_o,$
- $L > H, H_c = H_o - (0,14 + 0,0005 \cdot H) \cdot (L - H),$
- $L \leq H, R_{cx} = R_x,$
- $L > H, R_{ex} = R_o \cdot (H_e - H_x) / H_c,$
- $L > H, R'_x = 0,5 \cdot L \cdot (H_o - H_x) / (H_o - H_e).$

Для расчета необходимо ввести следующие исходные данные:

- тип молниеотвода,
- вид зоны защиты – А,
- необходимые данные для расчета.» [17].

Защищаемые зоны изображены на рисунке 3, результаты расчетов представлены ниже.

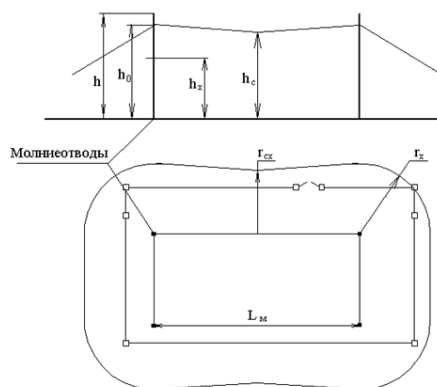


Рисунок 3 Зона молниезащиты ГПП

Результаты расчетов показывают, какие параметры необходимы для обеспечения грозозащиты подстанции при помощи молниеотводов. «Для расчета грозозащиты используются следующие параметры:

- $H_{x2} = 4,5$ м – высота зданий,
- $H = 22$ м – высота молниеотвода,
- $H_o = 18,7$ м – высота защиты у молниеотвода,
- $H_e = 17,29$ м – высота защиты в средней точке между молниеотводами,
- $R_o = 23,3$ м – радиус защиты на уровне земли,
- $R_{x2} = 17,64$ м – радиус защиты на уровне зданий,
- $R_{cx} = 17,18$ м – минимальное расстояние защиты на уровне зданий,
- $L = 35$ м – расстояние между молниеотводами.» [16].

3.4 Экономический анализ проекта

«Энергетическое хозяйство предприятия – это система, которая занимается всем, что связано с энергией на предприятии. Оно производит, преобразует, распределяет и использует разные виды энергии, а также обслуживает, ремонтирует и устанавливает энергетическое оборудование.

Для того, чтобы энергетическое хозяйство работало хорошо и приносило пользу производству, нужно делать следующее:

- уменьшать расходы на энергию,
- повышать качество работы энергетических установок,
- экономно использовать энергоресурсы.» [13].

В зависимости от того, как распределена работа внутри энергохозяйства, можно оценивать его производительность труда и затраты на производстве.

Для определения экономичности работы энергетического хозяйства применяется технико-экономический анализ. Он анализирует:

– капитальные затраты, связанные с постройкой и обновлением объектов электроснабжения, например, линий электропередачи, трансформаторных подстанций и распределительных устройств;

– эксплуатационные затраты, связанные с обеспечением надежности и безопасности объектов электроснабжения, включая амортизацию, ремонт, обслуживание и страхование;

– себестоимость потребленной энергии, то есть стоимость производства и передачи электроэнергии до конечных потребителей, с учетом потерь электроэнергии в элементах системы электроснабжения.

Вложения капитала определяются на основе стоимости элементов системы электрического снабжения предприятия с учетом расходов на монтаж и транспортировку.

Стоимость монтажа составляет 50%, а транспортировки - 20% от стоимости оборудования. Результаты отображены в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет вложений капитала

Элементы системы	Стоимость элементов, руб.				Стоимость всех элементов, руб.
	количество элементов	оборудования	монтажа	транспорта	
1	2	3	4	5	6
ОРУ 110 кВ	–	–	–	–	–
РДЗ-2-110/1000 НУХЛ1	4	38 600,00	19300,00	7720,00	262480,00
РДЗ-1-110/1000 НУХЛ1	2	34 700,00	17350,00	6940,00	117980,00
Выключатели ВГТ-110-40-У1	3	1150146,00	575073,00	230029,20	5865745,00
Трансформаторы тока ТВТ-110-1-1000/5ХЛ2	9	26 456,00	13228,00	5291,20	404776,80

Продолжение таблицы – 17

1	2	3	4	5	6
Ограничитель перенапряжения	2	11200,00	5600,00	2240,00	38080,00
ОПН-40					
ОПНИ -110	6	26600,00	13300,00	5320,00	271320,00
Заземлитель	2	49 100,00	24550,00	9820,00	166940,00
ЗОН-110М-1У1					
Трансформатор силовой	2	6 800 000,00	3400000,00	1360000,00	23120000,00
ТДН-10000/110					
Итого ОРУ 110 кВ		8338802,00	4169401,00	1667760,40	32307721,00
ЗРУ 10 кВ	–	–	–	–	–
Выключатель	16	91 839,00	45919,50	18367,80	2498021,00
ВВТЭ-М-10-20/630 УХЛ2					
ВВТЭ-М-10-20/1000У2	3	92 202,00	46101,00	18440,40	470230,20
Трансформатор тока	56	10 390,00	5195,00	2078,00	989128,00
ТПОЛ-10-У3					
Трансформатор напряжения ЗОЛ-10	6	20 5900,00	102950,00	41180,00	2100180,00
ТСН ТМ-63/10	2	60000,00	30000,00	12000,00	204000,00
Предохранитель ПКН-10	6	681,00	340,50	136,20	6946,20
ОПН-10	6	1760,00	880,00	352,00	17952,00
Итого ЗРУ 10 кВ	–	462772,00	231386,00	92554,40	6286457,00
КЛЭП	–	–	–	–	–
Кабельная линия ААШвУ 120х70 м	–	829,29	414,65	165,86	98686,00
Итого КЛЭП	–	829,29	414,65	165,86	98686,00
КТП	–	–	–	–	–
2КТП-1000	–	520000,00	260000,00	104000,00	884000,00

Продолжение таблицы 17

1	2	3	4	5	6
Итого КТП	–	520000,00	260000,00	104000,00	884000,00
Итого общая	–	9322403,2 9	4661201,6 5	1864480,66	39576864,00

«Издержки по эксплуатации за год определяются по формуле:

$$I_{\text{э}} = I_{\text{а}} + I_{\text{эп}} + C_{\text{э}}, \quad (64)$$

где $I_{\text{а}}$ – ежегодные амортизационные отчисления на капитальные затраты, тыс. руб.;

$I_{\text{эп}}$ – издержки на текущую эксплуатацию и ремонт сетей и электрооборудования, тыс. руб.;

$C_{\text{э}}$ – стоимость потерь электроэнергии в сетях и оборудовании.» [23].

Отчисления по амортизации за год:

$$I_{\text{а}} = p_{\text{а}} \cdot K, \quad (65)$$

где $p_{\text{а}}$ – норма ежегодных амортизационных отчислений, %.

Результаты расчета сведены в таблицу 18.

Таблица 18 – Результаты расчета амортизационных отчислений

Наименование элемента	К, руб.	$p_{\text{а}}$, %	$I_{\text{а}}$, руб.
1	2	3	4
ОРУ 110/10 кВ	32307721,00	9,4	3036925,77
ЗРУ 10 кВ	6286457,00	10,4	653791,53
Кабельные линии 10 кВ	98686,00	2,4	2368,46
КТП 10/0,4 кВ	884000,00	6,3	55692,00
$\Sigma I_{\text{а}}$, руб.	–	–	3748777,76

Издержки по текущей эксплуатации сетей и электрооборудования:

$$I_{\text{эп}} = p_{\text{э}} \cdot K, \quad (66)$$

где $p_{\text{э}}$ – норма отчислений на текущий ремонт и обслуживание, %.

Таблица 19 показывает результаты расчета затрат на поддержание в работоспособном состоянии сети и электрооборудования.

Таблица 19 – Затраты на поддержание в работоспособном состоянии сети и электрооборудования по расчетам

Наименование элемента	К, руб.	$p_{\text{э}}$, %	$I_{\text{эп}}$, руб.
1	2	3	4
ОРУ 110/10 кВ	32307721,00	3	12923088,56
ЗРУ 10 кВ	6286457,00	4	251458,29
Кабельные линии 10 кВ	98686,00	1,5	1480,29
КТП 10/0,4 кВ	884000,00	2	17680,00
$\sum I_{\text{эп}}$, тыс. руб.			13193707,14

Годовые эксплуатационные издержки:

$$I_{\text{э}} = I_{\text{а}} + I_{\text{эп}} + C_{\text{э}} = 3748777,76 + 13193707,14 + 921096,12 = 17863581 \text{ руб.}$$

Чтобы узнать, сколько времени нужно на ремонтные работы, используем нормативы системы планово-предупредительного ремонта для расчета численности. Для этого сделаем расчеты.

«Расчет годового времени на осмотры (T_0) и нерегламентированное техническое обслуживание (T_0) делаем по формулам, основанным на норме времени на текущий ремонт:

$$T_0 = n \cdot m_o \cdot k_{сл.о} \cdot t_{т.р} \quad (67)$$

$$T_0 = 12 \cdot n \cdot k_{сл.т.о} \cdot t_{т.р} \cdot k_{см}, \quad (68)$$

где n- количество единиц оборудования или сетей;

m_o - количество осмотров в году;

$k_{сл.о}$, $k_{сл.т.о}$ - коэффициенты сложности осмотров и технического обслуживания;

$t_{т.р}$ - нормы трудоемкости текущего ремонта;

$k_{см}$ - коэффициент сменности обслуживающего персонала.» [23].

Трудоемкость ремонтных работ сведены в таблицы 20-21.

Таблица 20– Трудоемкость ремонтных работ

Наименование элементов системы	кол-во	капитальный ремонт				текущий ремонт			
		цикл, лет	число рем в году	норма трудоемк	год трудоемк, чел/ч	межрем период, мес	число рем в году	норма трудоемк	год трудоемк, чел/ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Трансформатор силовой ТДН-10000/110	2	8	0,13	557,8	139,45	12	1,00	56	112,00
Выключатель ВГТ-110-40-У1	3	10	0,10	230,2	69,06	24	0,50	37,6	56,40
Разъединитель РДЗ-110/1000 НУХЛ1	6	2	0,50	30	90,00	12	1,00	8,4	50,40
Ограничитель перенапряжения ОПН-110	6	8	0,13	15	11,25	36	0,33	6	12,00

Продолжение таблицы – 20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ограничитель перенапряжения ОПН-40	2	8	0,13	15	3,75	36	0,33	6	4,00
Трансформатор тока ТВТ-110-1-1000/5 ХЛ2	9	8	0,13	6,3	7,09	36	0,33	2,8	8,40
Заземлитель ЗОН-110М-1У1	2	8	0,13	6,6	1,65	36	0,33	2,6	1,73
Трансформатор напряжения НКФ-110-П	6	8	0,13	8	6,00	36	0,33	3,7	7,40
ТСН ТМ-63/10	2	8	0,13	58,2	14,55	12	1,00	5,1	10,20
ВВТЭ-М-10-20/1000У2	3	10	0,10	1	0,30	24	0,50	12	18,00
ВВТЭ-М-10-20/630У2	16	10	0,10	1	1,60	24	0,50	6	48,00
Трансформатор тока ТПОЛ-10-У3	56	8	0,13	1	7,00	36	0,33	2,9	54,13
Трансформатор напряжения ЗОЛ-10	6	8	0,13	4,4	3,30	36	0,33	1,4	2,80
Предохранитель ПКН-10	6	8	0,13	6,3	4,73	12	1,00	1,2	7,20
ОПН-10	6	8	0,13	6,3	4,73	36	0,33	0,8	1,60
2КТП-1000	1	8	0,13	58,2	7,28	12	1,00	5,1	5,10
Каб. линии ААШВУ 120х70 м	3	5	0,20	1,3	0,78	36	0,33	1,1	1,10
Итого:	–	–	–	–	375,50	–	–	–	400,47

Таблица 21 – Трудоемкость ремонтных работ

Наименование элементов системы	сумм трудоемк рем работ	Осмотры			
		межосм период,	кол-во осмотров	коэф сложности	год трудоемк,
Трансф. ТДН-10000/110	251,45	1,5	8	0,1	89,6
Выкл. ВГТ-110-40-У1	125,46	5	2,4	0,1	27,072
Разъединитель РДЗ-110/1000 НУХЛ1	140,40	2	6	0,1	30,24
Ограничитель перенапряжения ОПН-110	23,25	1	12	0,1	43,2
Ограничитель перенапряжения ОПН-40	7,75	1	12	0,1	14,4
Трансформатор тока ТВТ-110-1-1000/5 ХЛ2	15,49	1	12	0,1	30,24
Заземлитель ЗОН-110М-1У1	3,38	1	12	0,1	6,24
ТН НКФ-110-II	13,40	1	12	0,1	26,64
ТСН ТМ-63/10	24,75	2	6	0,1	6,12
ВВТЭ-М-10-20/1000У2	18,30	1	12	0,1	43,2
ВВТЭ-М-10-20/630У2	49,60	1	12	0,1	115,2
ТТ ТПОЛ-10-У3	61,13	1	12	0,1	194,88
ТН ЗОЛ-10	6,10	1	12	0,1	10,08
Предохр. ПКН-10	11,93	1	12	0,1	0,96
ОПН-10	6,33	1	12	0,1	5,76
2КТП-1000	12,38	2	6	0,1	3,06
Кабельные линии	1,88	—	—	—	—
Итого:	772,97	—	—	—	645,932

«Принимаем $Ч_p = 2$ человека в качестве ремонтного персонала и $Ч_э = 2$ человека в качестве эксплуатационного.

Определяем основную заработную плату рабочих в соответствии с численностью ремонтных $Ч_p$ и эксплуатационных $Ч_э$ рабочих, годовым номинальным фондом рабочего времени одного рабочего T_H и тарифными ставками среднего разряда C_T .» [12].

Тарифный фонд заработной платы ремонтников и эксплуатационников:

$$\Phi_T^p = Ч_p \cdot T_H \cdot C_T^p; \quad (69)$$

$$\Phi_T^э = Ч_э \cdot T_H \cdot C_T^э, \quad (70)$$

где Φ_T - тарифный фонд заработной платы, руб;

C_T^p и $C_T^э$ - часовая тарифная ставка ремонтников и эксплуатационников ($C_T^э = 65$ руб/ч, $C_T^p = 70$ руб/ч).

$$\Phi_T^p = 2 \cdot 2107 \cdot 70 = 294980 \text{ руб.}$$

$$\Phi_T^э = 2 \cdot 2048 \cdot 65 = 266240 \text{ руб.}$$

К основной зарплате в фонд $\Phi_{осн}^э$ добавляются доплаты и премии за тарифную зарплату.

Премии эксплуатационного и ремонтного персонала соответственно:

$$\Phi_{np}^э = (0,25 + 0,25) \cdot \Phi_T^э,$$

$$\Phi_{np}^p = (0,4 + 0,25) \cdot \Phi_T^p,$$

$$\Phi_{np}^э = (0,25 + 0,25) \cdot 266240 = 133120 \text{ руб.},$$

$$\Phi_{np}^p = (0,4 + 0,25) \cdot 294980 = 191737 \text{ руб.}$$

Для расчета дневной зарплаты ($\Phi_d^э$) учитываем, что в выходные дни, сотрудники получают зарплату в два раза больше:

$$\Phi_{\text{д}} = 2 \cdot \Phi'_{\text{д}} \cdot \mathcal{C}'_{\text{э}} \cdot n, \quad (71)$$

где $\mathcal{C}'_{\text{э}}$ – численность эксплуатационного персонала, работающего в праздничные дни (составляет 50% от численности эксплуатационного персонала);

n – число праздничных дней в году;

$\Phi'_{\text{д}}$ – дневная тарифная ставка.

$$\Phi'_{\text{д}} = C_T^{\text{э}} \cdot 6,$$

$$\Phi'_{\text{д}} = 65 \cdot 6 = 390 \text{ руб.}$$

$$\Phi_{\text{д}} = 2 \cdot 390 \cdot (3 \cdot 0,5) \cdot 62 = 72540 \text{ руб.}$$

Доплаты к годовой зарплате составляют 11 % от основной зарплаты:

$$\Phi_{\text{дон}}^i = 0,11 \cdot \Phi_T^i,$$

$$\Phi_{\text{дон}}^{\text{э}} = 0,11 \cdot 266240 = 29286,4 \text{ руб.}$$

$$\Phi_{\text{дон}}^p = 0,11 \cdot 294980 = 32447,8 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы:

$$\Phi_{\text{осн}}^i = \Phi_T^i + \Phi_{\text{пр}}^i + \Phi_{\text{д}}^i + \Phi_{\text{дон}}^i. \quad (72)$$

$$\Phi_{\text{осн}}^{\text{э}} = 266240 + 133120 + 72540 + 29286,4 = 501186,4 \text{ руб.}$$

$$\Phi_{\text{осн}}^p = 294980 + 191737 + 0 + 32447,8 = 519164,8 \text{ руб.}$$

С учетом районного коэффициента и Северной надбавки $k=1,2$:

$$\Phi_{\text{осн}} = (\Phi_{\text{осн}}^{\text{э}} + \Phi_{\text{осн}}^p) \cdot k = (501186,4 + 519164,8) \cdot 1,2 = 1224421,44 \text{ руб.}$$

Из общего годового фонда зарплаты 30% уходят во внебюджетный фонд:

$$\Phi_{\text{отч}} = 0,30 \cdot \left(\sum_{i=\text{э}}^p \Phi_{\text{осн}}^i \right) \quad (73)$$

$$\Phi_{отч} = 0,3 \cdot 1224421,44 = 367326,4 \text{ руб.}$$

Чтобы найти среднюю зарплату для определенной группы персонала, нужно поделить годовой фонд зарплаты этой группы на число сотрудников в ней:

$$z_{cp}^i = \frac{\Phi_{осн}^i}{12 \cdot Ч_i} \quad (74)$$

$$z_{cp}^p = \frac{501186,4}{12 \cdot 2} = 20882,7 \text{ руб.}; z_{cp}^p = \frac{519164,8}{12 \cdot 2} = 21631,8 \text{ руб.}$$

25% от основной заработной платы рабочих составляет стоимость материалов, которыми ремонтируют электрооборудование:

$$\Phi_{см} = 0,25 \cdot \Phi_{осн\Sigma} = 0,25 \cdot 1734597,04 = 433649,26 \text{ руб.}$$

20% от годового фонда основной заработной платы рабочих составляют прочие расходы:

$$\Phi_{проч} = 0,2 \cdot \left(\sum_{i=3}^p \Phi_{осн}^i \right) \quad (75)$$

$$\Phi_{проч} = 0,2 \cdot 1734597,04 = 346919,41 \text{ руб.}$$

$$\Phi_{обсл} = \Phi_{см} + \Phi_{проч}$$

$$\Phi_{обсл} = 433649,26 + 346919,41 = 780568,67 \text{ руб.}$$

Стоимость потребленной электроэнергии:

$$z_{ЭЭ} = P_{\max} \cdot a + W_{год} \cdot b, \quad (76)$$

Здесь, a – это тариф за участие в пиковой нагрузке энергосети (480,24 руб/кВт·мес.), b – это тариф за потребление электричества (2,45 руб/кВт·ч) (для северных районов);

P_{\max} – заявленный максимум мощности ($P_{\max} = 15866,40$ кВт);

$W_{\text{год}}$ – годовое потребление электроэнергии.

Годовое потребление электроэнергии:

$$W_{\text{год}} = P_{\max} \cdot T_{\max} = 90475337,34 \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (77)$$

где T_{\max} – максимум нагрузки равный 5702,32 часа.

Стоимость потребленной электроэнергии:

$$Z_{\text{э}} = 15866,40 \cdot 12 \cdot 480,24 + 1734597,04 \cdot 2,45 = 95685921,98 \text{ руб.}$$

Общие производственные расходы:

$$Z_{\text{общ}} = I_{\text{э}} + \Phi_{\text{осн}\Sigma} + \Phi_{\text{отч}} + \Phi_{\text{мат}} + \Phi_{\text{проч}} + Z_{\text{э}} \quad (78)$$
$$Z_{\text{общ}} = 301585944,9 \text{ руб.}$$

Смета годовых затрат на эксплуатацию и обслуживание энергохозяйства завода отображена в таблице 23.

Таблица 23 – Смета годовых затрат на эксплуатацию и обслуживание энергохозяйства завода

Элементы	Затраты	
	г. руб.	%
1	2	3
1. Годовые эксплуатационные издержки	17863,6	0,017
2. Годовой фонд з/п	1224421,44	1,758
3. Отчисления по ФОТ во ВБФ	367326,4	0,457
4. Стоимость материалов на ремонт	780568,67	0,791
5. Стоимость затрат на электроэнергию	95685921,98	96,976
Итого:	98076102,1	100

Выводы по 3 разделу: разработанный проект позволит создать эффективную, безопасную и экономичную систему электроснабжения объекта.

Заключение

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения для предприятия сельскохозяйственного машиностроения, учитывающей его специфику и потребности.

В работе были определены цели и задачи проектирования, обоснованы предложения по выбору электрических схем, расчету электрических нагрузок, выбору кабелей, элементов распределительных устройств и трансформаторов. Также были выполнены расчеты по обеспечению надежности и безопасности системы электроснабжения, включая расчет системы релейной защиты и автоматики, системы освещения, молниезащиты и заземления. Кроме того, был проведен экономический анализ проекта, показавший его эффективность и целесообразность. Проект выполнен с соблюдением нормативных требований и с применением современных технологий в области электроснабжения.

Данная выпускная квалификационная работа имеет не только теоретическое значение, но и практическую значимость, так как может быть применена при создании или модернизации электроснабжения аналогичных промышленных объектов. Кроме того, может быть полезна в образовательных целях, так как содержит актуальную и достоверную информацию по различным аспектам электроснабжения.

Таким образом, выпускная квалификационная работа демонстрирует практическое решение для обеспечения надежного и эффективного электроснабжения промышленных предприятий сельскохозяйственного машиностроения. Поставленные цели и задачи в ходе работы достигнуты.

Материалы работы могут быть использованы в качестве учебного пособия по определенным темам.

Список используемых источников

1. Арбузов Р. С., Овсянников А. Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередач. Н.: Наука, 2009. 136 с.
2. Александров Г. Н. Передача электрической энергии. СПб.: Издательство Политехн. университета 2009. 412 с.
3. Алиев И. И. Электротехнический справочник. Том 3. М.: РадиоСофт, 2009. 560 с.
4. Булычев А. В., Наволочный А. А. Релейная защита в распределительных электрических сетях : пособие для практических расчетов. М.: Энас, 2011. 208 с.
5. Бурман А. П. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем. М.: ЭнергоБук, 2012. 340 с.
6. Глаз А. И. Справочник молодого электротехника М.: Профтехиздат, 2003. 464 с.
7. Гамазин С. И. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию. М.: МЭИ, 2010. 745 с.
8. Глушкин И. З., Иофьев Б. И. Противоаварийная автоматика в энергосистемах. Том 1. М.: Знак, 2009. 273 с.
9. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация: утв. Приказом № 2551 от 18.11.1974. М., 1974.
10. ГОСТ 12.1-005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны : утв. Приказом № 3388 от 29.09.1988. М., 1988.
11. ГОСТ 12.1-003-83. Шум. Общие требования безопасности : утв. Приказом № 2473 от 06.06.1983. М., 1983.
12. ГОСТ 14254-80. Изделия электротехнические. Оболочки. Степень защиты. Обозначения. Методы испытаний : утв. Приказом № 1500 от 01.01.1981. М., 1981.
13. Долин М. А. Электробезопасность, теория и практика: учебное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 280 с.

14. Дорохин Е. Г. Основы эксплуатации релейной защиты и автоматики. М.: Феникс, 2012. 430 с.
15. Железко Ю. С. Потери электроэнергии, реактивная мощность, качество электроэнергии. М.: ЭНАС, 2016. 456 с.
16. Киреева Э. А. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике: пособие для практических расчетов. М.: КноРус, 2013. 864 с.
17. Красник В. В. Правила устройства электроустановок в вопросах и ответах : пособие для изучения и подготовки к проверки знаний. Спб. : НЦ ЭНАС, 2005. 320 с.
18. Кудрин Б. И. Электроснабжение и электрооборудование промышленных предприятий: учебное пособие для вузов. М.: КноРус, 2011. 368 с.
19. Маников В. Д. Основы проектирования систем электроснабжения. СПб.: НОУ ДПО УМИТЦ «Электро Сервис», 2010. 664 с.
20. Правила устройства электроустановок : утв. Приказом № 204 от 08.07.2002. М., 2002.
21. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение : утв. Приказом № 18-78 от 02.08.1995. М., 1995.
22. Файбисович Д. Л. Справочник по проектированию электрических сетей. М.: ЭНАС, 2012. 376 с.
23. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1987. 368 с
24. Чесноков В. Ф. Посты ПВЗУ-Е для ВЧ каналов ВЛ 110-750кВ и оптоволоконных линий связи. М.: КноРус, 2012. 187 с.
25. Шнейдер Г. Я. Электрическая изоляция трансформаторов высокого напряжения. М.: Знак, 2009. 160 с.