

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 Проектирование системы электроснабжения АО «БирРЗ»

Обучающийся

В.Б. Степанов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, А.Н. Черненко

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

Тольятти 2023

Аннотация

В выпускной квалификационной работе решаются вопросы по разработке технических мероприятий, направленных на реконструкцию системы электроснабжения производства автомобильных шин.

По методу расчётного коэффициента определены электрические нагрузки на всех уровнях системы внутреннего электроснабжения предприятия, найдены расчётные электрические нагрузки для каждого из производственных цехов и вспомогательных корпусов, определены итоговые значения нагрузки, приходящиеся на каждый из двух питающих предприятие распределительный пункт.

Произведён расчёт нагрузок от системы внутреннего искусственного электрического освещения в производственных корпусах по методу коэффициента использования светового потока, определено необходимое количество светильников для обеспечения технических и санитарно-гигиенических требований к уровню освещённости на рабочих местах.

Определены параметры системы внутреннего электроснабжения производственных корпусов, выбраны марка и сечение проводников, как к индивидуальным электроприемникам, так и в групповых сетях. Выбранные проводники проверены на устойчивость к термическому воздействию токов коротких замыканий.

Произведен анализ применяемых схем и выбрана оптимальная для распределения электрической энергии по цехам предприятия, для внутрицехового электроснабжения выбрана схема блока трансформатор-магистраль при которой вместо РУ 0,4 кВ используется магистральный шинопровод к которому подключаются распределительные шинопроводы от которых получают питание отдельные электроприемники цеха предприятия.

Для цеховых трансформаторных подстанций определён тип устанавливаемых на них силовых трансформаторов, выбрано их количество в соответствии с требованиями к надежности электроснабжения потребителей и

определена единичная номинальная мощность для каждого из трансформаторов КТП.

Произведено сравнение типовых схем внутриводского электроснабжения, определены их достоинства и недостатки и выбрана схема, оптимально подходящая для данного предприятия.

Определены значения токов короткого замыкания в расчётных точках, полученные значения использовались для проверки выбранных коммутационных аппаратов и проводников.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки объёмом 64 страницы, включает в себя 2 графических рисунка и 18 таблиц с результатами расчётов. Графическая часть работы выполнена отдельно на листах формата А1 и содержит электрические схемы и планы производственных корпусов с нанесённым электрооборудованием и сетями электроснабжения.

Содержание

Введение.....	5
1 Краткая характеристика предприятия по выпуску автомобильных шин.....	6
2 Расчет перспективных максимальных электрических нагрузок от силовых электроприемников как внутри цехов, так и в целом по предприятию	8
3 Выбор схемы внутреннего электроснабжения производственного корпуса	20
4 Расчет электрических нагрузок системы искусственного освещения	28
5 Выбор количества, типа и номинальной мощности цеховых трансформаторов на КТП предприятия	34
6 Анализ и выбор схемы для распределения электроэнергии по территории завода.....	39
7 Определение значений токов коротких замыканий в расчётных точках.....	41
8 Выбор электрических аппаратов для установки в высоковольтных распределительных пунктах предприятия.....	53
8.1 Выбор высоковольтных выключателей и разъединителей	53
8.2 Выбор трансформаторов тока и напряжения	58
Заключение	61
Список используемых источников.....	62

Введение

«Системой электроснабжения промышленного предприятия (СЭС ПП) называются взаимосвязанные электроустановки, необходимые для снабжения потребителей электроэнергией» [1].

Система электроснабжения любого промышленного предприятия может быть разделена на отдельные подсистемы. К первой подсистеме относятся сети внешнего электроснабжения предприятия, то есть те, которые отделены от внутренних сетей границей раздела балансовой принадлежности и принадлежат к электроснабжающей организации. Это могут быть сети от подстанции электроэнергетической системы, выполненные на напряжения от 10 до 220 кВ. Выбор класса напряжения зависит от мощности рассматриваемого предприятия. Чем выше мощность предприятия, тем выше класс напряжения. Кроме того, система внешнего электроснабжения может передавать электроэнергию не от подстанции, а от электростанции энергосистемы. Второй подсистемой является система внутризаводского распределения электрической энергии. Как правило она строится по ступенчатому принципу, выполняется кабельными линиями на напряжение 6-10 кВ и обеспечивает передачу электрической энергии от главной понизительной подстанции предприятия до высоковольтных распределительных пунктов, либо если они не используются, то до цеховых трансформаторных подстанций. Третьей подсистемой является система внутрицехового электроснабжения, к которой относятся сети напряжением 0,4 кВ, выполненные кабельными линиями или шинопроводами, и распределяющая электрическую энергию от цеховой трансформаторной подстанции до конечных потребителей с возможным использованием различных схемных решений [1-4].

Цель ВКР - создание надежной системы электроснабжения производства автомобильных шин АО «БирРЗ» при обеспечении минимума затрат на создание системы и поддержание ее функционирования.

1 Краткая характеристика предприятия по выпуску автомобильных шин

На заводе установлено производственное оборудование мировых лидеров в шинной отрасли, таких как VMI, Fischer, Kobelco, Comerio, линия контроля качества готовой продукции от мирового лидера в данной области – компании Siemens. Выпускаемая продукция сертифицирована по стандартам ISO, SGS и EC. Завод расположен на территории 30 га и рассчитан на 1 200 рабочих мест. Имеется склад готовой продукции, рассчитанный на 100 тысяч автомобильных и 20 тысяч сельскохозяйственных шин, а также 10 тысяч погонных метров конвейерной ленты.

Новое предприятие будет сотрудничать с ПАО «Татнефть». В частности, будет проведено обучение 20 работников на производственных площадках «Татнефти», тогда как высококвалифицированных специалистов компания направит на производство для оказания содействия по оперативному устранению возникающих сбоев и проблем при эксплуатации оборудования, а также обучения работников непосредственно на производстве с оценкой их знания после прохождения учебы. Кроме того, сотрудничество будет направлено на освоение новых типоразмеров шин, а также выход на рынки Казахстана, Кыргызстана и Таджикистана с учетом начала выпуска зимних покрышек.

Предприятие намерено сотрудничать и с другими компаниями, в том числе из Южной Кореи и Европы. В планах разработка и освоение новых типоразмеров автомобильных шин на основании изучения спроса рынка и проработка вопроса совместной деятельности, в том числе передачи в доверительное управление, вхождения в долю для организации расширения мощностей и номенклатуры производимой продукции [2].

Большая часть электроприемников производства имеет вторую категорию по надежности электроснабжения и должны обеспечиваться питанием не менее чем от двух независимых источников энергии.

Технологическое оборудование производства работает в продолжительном режиме работы и выполнено на номинальное напряжение 380 В, для питания сетей искусственного освещения, переносного электроинструмента и бытовых электроприемников используется номинальное напряжение 220 В.

Выводы по разделу: дана краткая характеристика предприятия по выпуску автомобильных шин, приведена площадь, занимаемая предприятием, количество созданных на нём рабочих мест, определены основные поставщики технологического и производственного оборудования, приведены планы по сотрудничеству предприятия с ведущими российскими и зарубежными компаниями. Дана характеристика установленных на предприятии электроприемников и их категории по надежности электроснабжения, приводятся основные данные о выбранном напряжении для внутрицеховой системы электроснабжения.

2 Расчет перспективных максимальных электрических нагрузок от силовых электроприемников как внутри цехов, так и в целом по предприятию

«Первым и основным этапом проектирования системы ЭСПП является определение ожидаемых (расчетных) значений электрических нагрузок. Они не являются простой суммой установленных (номинальных) мощностей ЭП. Это обусловлено неполной загрузкой некоторых ЭП, неодновременностью их работы, вероятностным случайным характером включения и отключения ЭП и т.п.» [5, 6].

Проведем расчет электрических нагрузок для участка по обработке металлического корда шин грузовых автомобилей. К основным электроприемникам (ЭП) данного цеха относятся:

- полностью автоматические установки для раскроя металлокорда в количестве 2 шт с номинальной активной мощностью каждой $P_n = 50$ кВт;
- электромеханические трехвалковые вальцы MetalMaster ESR 1315 в количестве 6 шт с номинальной активной мощностью каждого $P_n = 136$ кВт;
- линии по раскрою металла - 4 шт с номинальной активной мощностью каждого $P_n = 30$ кВт;
- полуавтоматы для обработки металлокорда в количестве 4 шт с номинальной активной мощностью каждого $P_n = 30$ кВт;
- вальцы с подогревом в количестве 2 шт с номинальной активной мощностью каждого $P_n = 165$ кВт;
- поточные линии по нанесению резинового покрытия на металлокорд в количестве 2 шт с номинальной активной мощностью каждого $P_n = 215$ кВт.

Из справочников находим коэффициенты максимума и мощности по указанным выше электроприемникам.

Расчет ожидаемых нагрузок производим по методике, приведенной в [7-9].

«Активная расчетная нагрузка группы электроприемников» [7]:

$$P_p = K_p \cdot \sum_{i=1}^n \kappa_{ui} \cdot P_{номi}; \quad (1)$$

где κ_{ui} - коэффициент использования;

K_p - коэффициент расчетный;

$P_{номi}$ - номинальная мощность группы однотипных электроприемников.

Эффективное число электроприёмников $n_э$ находится путем деления квадрата суммы мощностей отдельных ЭП на сумму квадратов мощностей отдельных ЭП:

$$n_э = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{номi} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{номi}^2}; \quad (2)$$

«На шинах низкого напряжения ТП допускается использование упрощенной формулы» [7]:

$$n_э = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{номi}}{P_{н.наиб}}; \quad (3)$$

где $P_{н.наиб}$ - мощность одного самого мощного электроприемника.

Находим групповой коэффициент использования для строчки итога по формуле:

$$K_u = \frac{\sum_{i=1}^n K_{ui} \cdot P_{Hi}}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}}; \quad (4)$$

«При числе эффективных электроприемников больше 10 расчетная реактивная нагрузка определяется по формуле» [2]:

$$Q_p = \sum_{i=1}^n \kappa_{ui} \cdot p_{номi} \cdot tg\phi_i; \quad (5)$$

где $tg\phi_i$ - коэффициент мощности для каждой из групп однотипных электроприемников.

Полную расчетную нагрузку находим как корень из суммы квадратов активной и реактивной мощностей:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (6)$$

Зная расчетную полную мощность и значение номинального напряжения сможем найти значение расчетного тока:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (7)$$

где $U_{ном}$ - действующее значение линейного номинального напряжения сети.

По выражению 4 определяем групповой коэффициент использования:

$$K_{II} = \frac{2 \cdot 0.65 \cdot 165 + 6 \cdot 0.65 \cdot 136 + 2 \cdot 0.55 \cdot 215 + 4 \cdot 0.7 \cdot 29 + 2 \cdot 0.65 \cdot 50 + 4 \cdot 0.7 \cdot 30}{2 \cdot 166 + 6 \cdot 136 + 2 \cdot 215 + 4 \cdot 29 + 2 \cdot 50 + 4 \cdot 30} = 0,64.$$

По выражению 3 находим эффективное число электроприёмников:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot (2 \cdot 160 + 2 \cdot 6 + 6 \cdot 132 + 6 \cdot 4.4 + 2 \cdot 160 + 2 \cdot 55.5 + 4 \cdot 29.7 + 2 \cdot 50.2 + 4 \cdot 30.2)}{160} = 24$$

По выражению 1 определяем активную расчетную нагрузку:

$$P_{pA1} = 0.9 \cdot \left(\begin{array}{l} 2 \cdot 160 \cdot 0.65 + 2 \cdot 6 \cdot 0.65 + 6 \cdot 132 \cdot 0.65 + \\ 6 \cdot 4.4 \cdot 0.65 + 2 \cdot 160 \cdot 0.55 + 2 \cdot 55 \cdot 0.55 + \\ 4 \cdot 30 \cdot 0.7 + 2 \cdot 50 \cdot 0.65 + 4 \cdot 30 \cdot 0.7 \end{array} \right) = 1096 \text{ кВт};$$

По выражению 5 находим значение расчётной реактивной нагрузки:

$$Q_{pA1} = 0.9 \cdot \left(\begin{array}{l} 2 \cdot 160 \cdot 0.65 \cdot 0.75 + 2 \cdot 6 \cdot 0.65 \cdot 0.75 + 6 \cdot 132 \cdot 0.65 \cdot 0.75 + \\ 6 \cdot 4.4 \cdot 0.65 \cdot 0.75 + 2 \cdot 160 \cdot 0.55 \cdot 0.75 + 2 \cdot 55 \cdot 0.55 \cdot 0.75 + \\ 4 \cdot 30 \cdot 0.7 \cdot 0.75 + 2 \cdot 50 \cdot 0.65 \cdot 0.75 + 4 \cdot 30 \cdot 0.7 \cdot 0.75 \end{array} \right) = 822 \text{ квар};$$

По выражению 6 находим значение полной расчётной нагрузки:

$$S_{pA1} = \sqrt{1096^2 + 822^2} = 1370 \text{ кВА}.$$

По выражению 7 находим значение расчётного тока:

$$I_{pA1} = \frac{1370}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 2082 \text{ A.}$$

Находим величину нагрузки системы искусственного освещения по следующим формулам.

$$P_{осв} = K_c \cdot F \cdot P_{yд} \cdot 10^{-3}. \quad (8)$$

где K_c - коэффициент спроса;

F - площадь помещения;

$P_{yд}$ - удельная нагрузка системы искусственного освещения.

«Удельная активная нагрузка от освещения может быть найдена по формуле» [7]:

$$P_{yд} = (p_{ym} \cdot K_z \cdot E_n) / (K_{zm} \cdot \eta \cdot 100). \quad (9)$$

где K_z - коэффициент запаса;

E_n - нормируемая горизонтальная освещенность;

η - коэффициент использования светового потока.

«Расчетная реактивная нагрузка системы освещения» [7]:

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \operatorname{tg} \phi_o. \quad (10)$$

«Суммарные значения расчетной активной и реактивной нагрузок» [7]:

$$P_{pn} = P_c + P_{осв}; \quad (11)$$

$$Q_{pn} = Q_c + Q_{осв}. \quad (12)$$

Величина расчётной полной нагрузки системы освещения определяется:

$$S_p = \sqrt{P_{рн}^2 + Q_{рн}^2}. \quad (13)$$

В таблице 1 приводятся размеры цехов, их площадь, величина нормируемой освещенности и ее расчетное значение.

Таблица 1 - Размеры цехов, их площадь, величина нормируемой освещенности и ее расчетное значение

Цеха предприятия	<i>A, м</i>	<i>B, м</i>	<i>F, м²</i>	<i>P_{ум}, Вт / м²</i>	<i>E_{норм}, лк</i>	<i>E_{факт}, лк</i>
каландровый	200	110	22000	3.4	100	300
подготовительный	250	150	37500	3.4	100	300
сборочный	356	104	37024	3.4	100	300
автокамерный	120	100	12000	3.4	100	250
паровоздуховная станция	120	80	9600	3.4	100	150
склад	200	80	16000	3.4	100	200
компрессорная станция	150	80	12000	3.4	100	150
вулканизации	250	120	30000	3.4	100	300

Информация о номинальных мощностях групп электроприемников, максимальной мощности одного из электроприемников группы, а также справочные данные по необходимым для расчетов коэффициентам указана в таблице 2.

Таблица 2 - Информация о номинальных мощностях групп электроприемников, максимальной мощности одного из электроприемников группы, а также справочные данные по необходимым для расчетов коэффициентам

Цеха предприятия	Группы ЭП	<i>P_{уст}, кВт</i>	<i>P_{н.мах}, кВт</i>	<i>P_{нΣ}, кВт</i>	<i>K_и</i>	<i>cosφ</i>
подготовительный	воздуходувки	3040	200	600	0,55	0,65
	экструдеры			570	0,65	0,70
	валыцы			740	0,65	0,65

Продолжение таблицы 2

Цеха предприятия	Группы ЭП	$P_{уст},$ кВт	$P_{н.мах},$ кВт	$P_{н\Sigma},$ кВт	K_u	$\cos\varphi$
подготовительный	шприцмашины	3040	200	450	0,60	0,75
	вспомогательное оборудование			150	0,30	0,50
	подъемно-транспортные средства			250	0,25	0,45
	аспирация			300	0,70	0,80
вулканизации	многопозиционные вулканизаторы	2720	125	200	0,30	0,65
	форматоры-вулканизаторы			2000	0,36	0,63
	линия проверки качества			50	0,40	0,60
	вентиляторы			100	0,65	0,65
	подъемно-транспортные средства			120	0,25	0,45
	компрессоры			100	0,70	0,80
автокамерный	валцы	327	132	132	0,65	0,65
	вспомогательное оборудование			10	0,30	0,50
	шприцмашины			70	0,45	0,75
	вентиляторы			50	0,60	0,65
	ПТС			30	0,25	0,45
	стрейнеры			20	0,30	0,70
склад	подъемно-транспортные средства	220	30	120	0,25	0,45
	вентиляторы			100	0,40	0,60

Продолжение таблицы 2

Цеха предприятия	Группы ЭП	$P_{уст},$ кВт	$P_{н.мах},$ кВт	$P_{н\Sigma},$ кВт	K_u	$\cos\varphi$
сборочный	коландры	4870	280	800	0,45	0,65
	вспомогательное оборудование			50	0,30	0,50
	экструдеры			500	0,65	0,50
	вентиляторы			110	0,60	0,60
	шприцмашины			840	0,55	0,75
	подъемно-транспортные средства			200	0,25	0,45
	сборочные станки			1600	0,65	0,70
	резательные машины			320	0,60	0,65
компрессорная станция	вентиляторы	830	75	250	0,69	0,75
	компрессоры			580	0,65	0,65
паровоздуховая станция	компрессоры	1640	160	320	0,60	0,60
	насосы высокого давления			620	0,55	0,80
	насосы низкого давления			450	0,87	0,80
	циркуляционные насосы			250	0,43	0,70

Определим значения нагрузок в итоговой строке для сборочного цеха.

По выражению 4 находим групповой коэффициент использования:

$$K_u = \frac{(0,45 \cdot 800 + 0,65 \cdot 500 + 0,55 \cdot 840 + 0,6 \cdot 320 + 0,65 \cdot 1600 + 0,25 \cdot 200 + 0,6 \cdot 110 + 0,3 \cdot 50)}{800 + 500 + 840 + 320 + 1600 + 200 + 110 + 50} = 0,57.$$

По выражению 3 находим эффективное число электроприёмников:

$$n_э = \frac{2(800 + 500 + 840 + 320 + 1600 + 200 + 110 + 50)}{280} = 31$$

По выражению 1 находим активную расчетную нагрузку:

$$P_p = 0.84 \cdot \left(\begin{array}{l} 0.45 \cdot 800 + 0.65 \cdot 500 + 0.55 \cdot 840 + 0.6 \cdot 320 + \\ 0.65 \cdot 1600 + 0.25 \cdot 200 + 0.6 \cdot 110 + 0.3 \cdot 50 \end{array} \right) = 2108 \text{ кВт.}$$

По выражению 5 находим расчётную реактивную нагрузку:

$$Q_p = 0.84 \cdot \left(\begin{array}{l} 0.45 \cdot 800 \cdot 1.17 + 0.65 \cdot 500 \cdot 1.73 + 0.55 \cdot 840 \cdot 0.88 + \\ + 0.6 \cdot 320 \cdot 1.17 + 0.65 \cdot 1600 \cdot 1.02 + 0.25 \cdot 200 \cdot 1.98 + \\ + 0.6 \cdot 110 \cdot 1.33 + 0.3 \cdot 50 \cdot 1.73 \end{array} \right) = 2427 \text{ кВар.}$$

«По выражению 8 найдем расчётную активную нагрузку системы освещения» [7]:

$$P_{осв} = 37024 \cdot \frac{3.4 \cdot 1.4 \cdot 300}{1.5 \cdot 0.75 \cdot 100} \cdot 0.95 \cdot 10^{-3} = 446 \text{ кВт.}$$

«По выражению 10 находим расчетную реактивную нагрузку системы освещения» [7]:

$$Q_{осв} = 446.46 \cdot 1.33 = 595 \text{ квар.}$$

«По выражениям 11, 12 находим суммарные расчетные активные и реактивные нагрузки» [7]:

$$P_{рн} = 2108 + 446 = 2554 \text{ кВт;}$$

$$Q_{рн} = 2427 + 595 = 3022 \text{ квар.}$$

«По выражению 13 находим полную расчетную нагрузку» [7]:

$$S_p = \sqrt{2554^2 + 3022^2} = 3958 \text{ кВА}$$

Итоговые данные по прочим цехам промышленного предприятия выполняем по формулам 1 – 13, полученные данные сводим в таблицу 3.

В первую очередь находим итоговые данные по нагрузке для высоковольтного распределительного пункта №1.

По выражению 4 находим групповой коэффициент использования:

$$K_u = \frac{(3060 \cdot 0.58 + 1050 \cdot 0.59 + 1640 \cdot 0.63)}{3060 + 1050 + 1640} = 0.59.$$

«Найдем значение суммарной расчетной активной нагрузки» [7]:

$$P_p = K_0 \cdot \sum_{i=1}^m K_{ui} \cdot P_{ном i} + P_\partial + P_{осв} + \Delta P_m; \quad (15)$$

где K_0 - коэффициент одновременности включения электрических нагрузок;

P_∂ - значение дополнительной нагрузки, получающей питание от распределительных пунктов предприятия;

$P_{осв}$ - активная нагрузка системы внутреннего искусственного освещения;

ΔP_m - величина потерь активной мощности в силовых трансформаторах цеховых подстанций.

$$P_p = 1 \cdot 33421 + 5780 + 901 + 23 = 10124 \text{ кВт.}$$

Таблица 3 – Итоговые данные по прочим цехам промышленного предприятия

Цеха предприятия	$\sum P_{ni}$, кВт	$\sum P_{ni} \cdot$ $\cdot K_{ui}$, кВт	$\sum P_{ni} \cdot$ $\cdot K_{ui} \cdot$ $\cdot tg \varphi_i$, квар	K_{igr}	$nэ$	P_p , кВт	Q_p , квар	$P_{осв}$, кВт	$Q_{осв}$, квар	$P_{рн}$, кВт	$Q_{рн}$, квар	S_p , кВА
подготовительный	3060	1769	1924	0.58	30	1468	1597	452	603	1920	2200	2920
компрессорная станция	830	550	593	0.66	22	495	534	72	96	567	630	2030
автокамерный	312	167	194	0.54	4	167	194	111	147	278	342	440
паровоздуховная станция	1640	1032	915	0.63	20	929	824	58	77	987	901	1336
каландровый	1830	2306	1729	0.63	22	2075	1556	265	354	2341	1910	3021
склад	220	70	113	0.32	14	60	96	129	172	188	267	327
сборочный	4420	2510	2890	0.57	31	2108	2428	446	595	2555	3023	3958
вулканизации	2570	965	1172	0.38	41	724	879	362	482	1086	1362	1741

«Найдем значение суммарной расчетной реактивной нагрузки» [7]:

$$Q_p = K_0 \cdot \sum_{i=1}^m K_{ui} \cdot P_{номi} \cdot \operatorname{tg} \phi_i + Q_{осв} + \Delta Q_m; \quad (16)$$

где $Q_{осв}$ - реактивная нагрузка системы внутреннего искусственного освещения;

ΔQ_m - величина потерь реактивной мощности в силовых трансформаторах цеховых подстанций.

$$Q_p = 1 \cdot 3031 + 1201 + 170 - 804 = 3597 \text{ квар.}$$

«Расчётная суммарная полная нагрузка по 13» [7]:

$$S_p = \sqrt{10124^2 + 3597^2} = 10744 \text{ кВА.}$$

По высоковольтному распределительному пункту №2 расчеты производим аналогичным образом, итоговые полученные данные:

$$P_p = 8132 \text{ кВт}; Q_p = 2444 \text{ квар}; S_p = 8491 \text{ кВА.}$$

Выводы по разделу: произведён расчёт электрических нагрузок по методу расчётного коэффициента, определены нагрузки для всех производственных цехов предприятия в соответствии со схемой внутризаводского электроснабжения. Нагрузка цехов распределена на 2 высоковольтных РП для каждого из которых определены значения расчётных мощностей.

3 Выбор схемы внутреннего электроснабжения производственного корпуса

«Сети напряжением до 1000 В осуществляют распределение электроэнергии внутри промышленных предприятий и установок и непосредственное питание большинства приемников электроэнергии. Схема сети определяется технологическим процессом производства, взаимным расположением источника питания подстанций и приемников электроэнергии и их единичной установленной мощностью.

К сетям напряжением до 1000 В, как и ко всякой электрической сети, предъявляются следующие требования. Они должны:

- обеспечивать необходимую надежность электроснабжения;
- быть удобными, простыми и безопасными в эксплуатации;
- требовать минимальных приведенных затрат на сооружение и эксплуатацию;
- удовлетворять условиям окружающей среды;
- обеспечивать применение промышленных методов монтажа.

Схемы электрических сетей бывают радиальными, магистральными и смешанными» [5, 10, 11].

В результате произведенного анализа применяемых схем выбрана оптимальная для распределения электрической энергии по цехам предприятия, для внутрицехового электроснабжения выбрана схема блока трансформатор-магистраль при которой вместо РУ 0,4 кВ используется магистральный шинопровод к которому подключаются распределительные шинопроводы от которых получают питание отдельные электроприемники цеха предприятия.

Для выбора сечения проводников используется условие, по которому допустимый ток проводника должен превышать рабочий с учетом поправочных коэффициентов:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_P}{k_{\text{нонр}}}, \quad (17)$$

найденное значение должно согласоваться с аппаратом защиты:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_3 \cdot k_3}{k_{\text{нонр}}}, \quad (18)$$

Полученные в результате совместного выбора проводников и защитных аппаратов на примере автоматической линии по раскрою металла заносим в таблицу 4.

Таблица 4 - Результат совместного выбора проводников и защитных аппаратов на примере автоматической линии по раскрою металла

№ ЭД	ЭД типа АИР	$I_{P, \text{ДВ}},$ А	Провод типа АПВ	$I_{\text{доп}},$ А	$I_{Н.Р.},$ А	по ф-ле 3.2
1	180М2	55,7	5 (1×25)	70	63	$70 \text{ А} > \frac{63 \cdot 1}{1} \text{ А}$
2	160S2	28,3	5 (1×8)	37	31,5	$37 \text{ А} > \frac{31,5 \cdot 1}{1} \text{ А}$
3	90L2	6,2	5 (1×2,5)	19	10	$19 \text{ А} > \frac{10 \cdot 1}{1} \text{ А}$
4	90L4	5,3	5 (1×2,5)	19	8	$19 \text{ А} > \frac{8 \cdot 1}{1} \text{ А}$

Результаты расчетов по первой группе ЭП представлены в таблице 5, а ко второй группе в таблице 6.

Таблица 5 - Результаты расчетов по первой группе ЭП

ЭП	I_p, A	Н проводников	Н жил \times F, мм ²	$I_{дон}, A$
вальцы с подогревом	279.61	2	5 \times 95	170
электромеханические трехвалковые вальцы MetalMaster ESR 1315	237.06	1	5 \times 185	270
поточные линии по нанесению резинового покрытия на металлокорд	279.61	2	5 \times 95	170

Таблица 6 - Результаты расчетов по второй группе ЭП

ЭП	I_p, A	Н проводников	Н жил \times F, мм ²	$I_{дон}, A$
вальцы с подогревом	8,73	5	1 \times 2,5	19
электромеханические трехвалковые вальцы MetalMaster ESR 1315	6,40	5	1 \times 2,5	19
поточные линии по нанесению резинового покрытия на металлокорд	66,40	5	1 \times 50	120

Продолжение таблицы 6

ЭП	I_p, A	Н проводников	Н жил \times F, мм ²	$I_{доп}, A$
полностью автоматические установки для раскроя металлокорда	44,45	5	1 \times 35	85
линии по раскрою металла	73,01	5	1 \times 50	120
полуавтоматы для обработки металлокорда	42,39	5	1 \times 25	70

Выбираем магистральный шинопровод для схемы трансформатор-магистраль по значению номинального тока трансформатора КПТ:

$$I_n \geq \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}; \quad (19)$$

$$I_n \geq \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 2431 A.$$

Принимаем магистральный шинопровод ШМА4-2500 с $I_{ном} = 2500A$.

«Выбор распределительных шинопроводов производим по значению расчетного тока группы подключенных к нему электроприемников» [5]:

$$I_n \geq I_p, \quad (20)$$

«Номинальный ток автоматического выключателя выбираем по расчетному току» [5]:

$$I_n = \frac{\beta_{m.a} S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

$$I_n = \frac{1.4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 3403,33 \text{ A}$$

Выбираем автоматический выключатель ВА-СЭЩ-В-АН-40Е с параметрами $I_{н.а} = 4000 \text{ A}$ и $I_p = 4000 \text{ A}$.

Для второй группы с $I_p = 606 \text{ A}$ принимаем к установке ШРА4-630 с $I_{ном} = 630 \text{ A}$.

Для его защиты выбираем автоматический выключатель:

$$I_{н.а} = 630 \text{ A} \geq I_p = 606 \text{ A},$$

$$I_{н.р} = 630 \text{ A} \geq I_p = 606 \text{ A}.$$

Значение пикового тока определим по формуле [3]:

$$I_{пик} \approx I_{пуск.наиб} + (I_p - \kappa_u \cdot I_p)$$

$$I_{пик} = 389.67 + (605.82 - 0.65 \cdot 30) = 975,99 \text{ A}.$$

Найдем значение тока срабатывания расцепителя автомата [6]:

$$I_{ср} = I_{ср} \geq 1.25 \cdot I_{пик},$$

$$I_{ср} = 1.25 \cdot 975.99 = 1220 \text{ A}.$$

Учитывая паспортную кратность тока срабатывания автоматического выключателя $\kappa_{кр} = 10$:

$$\kappa_{кр} \cdot I_{нр} = 10 \cdot 630 = 6300 \text{ A}.$$

Полученное значение превышает ток срабатывания расцепителя $6300 \text{ A} > 1220 \text{ A}$.

Выбираем автоматический выключатель ВА-СЭЩ-TS800 с $I_{ном} = I_{н.а} = 800 \text{ A}$.

Находим значение длительно допустимого тока для кабельной линии:

$$I_{дл} \geq 606 \text{ A};$$
$$I_{дл} \geq I_{кр} \cdot k_3 = 630 \cdot 1 = 630 \text{ A}.$$

Выбираем сдвоенный кабель 2ААШВУ- 5х240 с $I_{н}$ равным $I_{н} = 330 \text{ A}$.

Найдем ток плавления вставки у защищающего предохранителя:

- определим значение продолжительного тока [8]:

$$I_{вс} \geq I_p; \quad (21)$$

- условие отстройки от броска пускового тока:

$$I_{вс} \geq \frac{I_{кр}}{\alpha}, \quad (22)$$

«Значение пикового тока от группы ЭП находим по формуле» [5]:

$$I_{кр} = I_{пик} = I_{пуск.наиб.} + (I_p - k_u \cdot I_{н.наиб.}), \quad (23)$$

Результаты выбора автоматических выключателей заносим в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты выбора автоматических выключателей

гр.№	ЭП	I_p, A	$I_{пик}, A$	$I_{пик} / \alpha$	АВ типа TS
1	вальцы с подогревом	279,61	2013,21	2516,51	TS 400, $I_n = 400A, I_p = 300A$
	электромеханические трехвалковые вальцы MetalMaster ESR 1315	237,06	1540,89	1926,12	TS 250, $I_n = 250A, I_p = 250A$
	поточные линии по нанесению резинового покрытия на металлокорд	279,61	2013,21	2516,51	TS 400, $I_n = 400A, I_p = 300A$
2	вальцы с подогревом	8,73	48,12	19,25	TS 100, $I_n = 100A, I_p = 12A$
	электромеханические трехвалковые вальцы MetalMaster ESR 1315	6,40	34,69	13,88	TS 100, $I_n = 100A, I_p = 12A$
	поточные линии по нанесению резинового покрытия на металлокорд	66,40	290,24	116,10	TS 100, $I_n = 100A, I_p = 100A$
	линии по раскрою металла	44,45	263,09	105,24	TS 100, $I_n = 100A, I_p = 63A$
	полностью автоматические установки для раскроя металлокорда	73,01	426,50	170,60	TS 100, $I_n = 100A, I_p = 100A$
	полуавтоматы для обработки металлокорда	42,39	189,98	75,99	TS 100, $I_n = 100A, I_p = 63A$

Выводы по разделу: в результате произведенного анализа применяемых схем выбрана оптимальная для распределения электрической энергии по цехам предприятия, для внутрицехового электроснабжения выбрана схема блока трансформатор-магистраль, при которой вместо РУ 0,4 кВ используется магистральный шинопровод к которому в свою очередь подключаются распределительные шинопроводы от которых получают питание отдельные электроприемники цеха предприятия.

Выбраны типы кабелей и их сечения для питания отдельных электроприемников, произведён выбор магистрального шинопровода, выбраны автоматические выключатели для установки в цеховой трансформаторной подстанции, при выборе выключателей производилась их отстройка от пиковых значений токов, выбраны автоматические выключатели для защиты от токов КЗ отдельных электроприемников.

4 Расчет электрических нагрузок системы искусственного освещения

Излучение представляет собой поток материальных частиц - фотонов, которые обладают конечной массой и скоростью в безвоздушном пространстве $3 \cdot 10^8$ м·с⁻¹. Масса покоя энергии излучения равна нулю. «Излучение принято характеризовать длиной волны, под которой понимается расстояние, пройденное излучением за время полного периода колебаний.

Длина волны излучения λ и частота электромагнитных колебаний ϑ связаны между собой скоростью света» [1]:

$$\lambda = \frac{c}{\vartheta},$$

где λ — длина волны, м (длины волн оптического излучения измеряются в нанометрах, 1 нм = 10^{-9} м);
 c — скорость света, равная $3 \cdot 10^8$ м/с.

Область оптических излучений состоит из области ультрафиолетового излучения (длина волн находится в пределах от 10 до 380 нм), области видимого излучения (от 380 до 770 нм) и области инфракрасного излучения (от 770 до 10^5 нм) [9].

Для освещения внутренних производственных помещений выбираем светильники НВ LED со светодиодными источниками света, выпускаемые Световыми технологиями.

Определим расчетную высоту подвеса светильников по формуле:

$$H_p = H - h_c - h_p, \quad (24)$$

$$H_p = 8 - 1.4 - 0.8 = 5.8 \text{ м.}$$

Найдем число рядов светильников в помещении [11]:

$$R = \frac{B - 2 \cdot l}{L} + 1; \quad (25)$$

$$R = \frac{23.6 - 2 \cdot 2}{6} + 1 = 5;$$

Определим количество светильников в одном ряду:

$$N_R = \frac{A - 2 \cdot l}{L} + 1. \quad (26)$$

$$N_R = \frac{50 - 2 \cdot 2}{6} + 1 = 8.$$

Найдем значение фактического расстояния между рядами светильников в помещении:

$$L_B = \frac{B - 2 \cdot l}{R - 1}; \quad (27)$$

$$L_B = \frac{23.6 - 2 \cdot 2}{5 - 1} = 4.9 \text{ м.}$$

«Фактическое расстояние между светильниками в ряду» [13]:

$$L_R = \frac{A - 2 \cdot l}{N_R - 1}; \quad (28)$$

$$L_R = \frac{50 - 2 \cdot 2}{8 - 1} = 6.6 \text{ м.}$$

«Для проверки правильности размещения светильников используется выражение» [5]:

$$1,0 \leq \frac{L_A}{L_B} \leq 1,5; \quad (29)$$

$$1,0 \leq 1.34 \leq 1,5.$$

По результатам расчетов зная количество рядов светильников и количество светильников, устанавливаемых в каждом ряду, получаем общее число светильников необходимое для данного помещения равным 40 штук.

«Определим значение индекса помещения по формуле» [5]:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}. \quad (30)$$

$$i = \frac{50 \cdot 23.6}{5.8 \cdot (50 + 23.6)} = 2.76.$$

«Требуемое значение светового потока одной лампы» [13]:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot F \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (31)$$

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1.4 \cdot 1180 \cdot 1.15}{40 \cdot 0.745} = 19126 \text{ лм.}$$

Исходя из требуемого светового потока выбираем из каталога производителя осветительную установку с близким большим световым потоком НВ 228 LED с номинальной мощностью и световым потоком равными 225 Вт и $\Phi = 21000$ лм соответственно, что находится в допустимых пределах 10%.

В помещении трансформаторной подстанции устанавливаем светильники ВАТ 236.

Определим необходимое число светильников в одном ряду [14]:

$$N_R = \frac{E \cdot K \cdot F \cdot Z}{m \cdot R \cdot \Phi \cdot \eta}; \quad (32)$$

«Расчетная высота подвеса светильников по 24» [13]:

$$H_p = 5.0 - 1.4 - 0.8 = 2.8 \text{ м.}$$

Индекс помещения находим последующей формуле:

$$i = \frac{12 \cdot 5}{2.8 \cdot (12 + 5)} = 1.26.$$

«Количество светильников в ряду по 32» [13]:

$$N_R = \frac{100 \cdot 2 \cdot 60 \cdot 1.15}{2 \cdot 1 \cdot 3200 \cdot 0.64} = 2.4;$$

Округляя полученное расчетное значение до ближайшего целого получаем число светильников, устанавливаемых в одном ряду равным трём штукам.

«Фактическое расстояние между светильниками в ряду по 28» [13]:

$$L_R = \frac{12 - 2 \cdot 1.3 - 3 \cdot 1.2}{3 - 1} = 2.9.$$

Параметры помещений и полученные результаты выбора системы освещения заносим в таблицу 8.

Таблица 8 – Параметры помещений и полученные результаты выбора системы освещения

Основные помещения цеха	E , лк	A , м	B , м	H_p , м	i	L , м	L , м	R , шт.	N_R , шт.	N , шт.	L_B , м	L_R , м	η	Φ , лм	$P_{л}$, Вт
главная часть цеха	300	50	23,6	5,8	2,76	6	2	5	8	40	4,9	6,6	74,5	23000	225
комната механика	100	5	4,5	2,8	0,85	2,5	1	1	2	2	-	0,6	50	3200	40
трансформаторная подстанция	100	12	5	2,8	1,26	3	1,3	1	2,4	3	-	2,9	64	3200	40
коридор	100	5	2	2,8	0,51	3	1	1	1	1	-	-	41	3200	40
складское помещение	100	9,1	5	4,2	0,77	3,5	1,5	2	2	4	2	3,7	46,2	3200	40
комната энергетика	100	5	4,5	2,8	0,85	2,5	1	1	2	2	-	0,6	50	3200	40
санузел женский	75	5	3,3	0,68	0,7	3	1	1	1	1	-	-	45	3200	40
комната начальника смены	100	5	3,4	2,8	0,72	3	1	1	1	1	-	-	45	3200	40
санузел мужской	75	5	3,3	0,68	0,7	3	1	1	1	1	-	-	45	3200	40
подсобное помещение №2	100	5	3,4	2,8	0,72	3	1	1	1	1	-	-	45	3200	40
подсобное помещение №1	100	5	3,4	2,8	0,72	3	1	1	1	1	-	-	45	3200	40

Определим параметры системы эвакуационного освещения при помощи точечного метода расчета.

Найдем освещенность в контрольной точке по формуле:

$$\Sigma e = e_1 + e_2 + \dots + e_n, \quad (33)$$
$$\Sigma e = 0.35 + 0.35 + 0.35 + 0.35 = 1.4 \text{ лк.}$$

Расчетный минимальный световой поток одной лампы должен быть не ниже [15]:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E \cdot k}{\mu \cdot \Sigma e}, \quad (34)$$
$$\Phi = \frac{1000 \cdot 0.5 \cdot 1.4}{1.1 \cdot 1.4} = 455 \text{ лм.}$$

Выводы по разделу: для системы эвакуационного освещения принимаем светильники НСП21 с лампами накаливания мощностью $P_{л} = 90$ Вт и световым потоком $\Phi = 1380$ лм. Для освещения основных производственных площадей, опираясь на полученное в результате расчетов значение светового потока выбираем из каталога производителя осветительную установку с близким большим световым потоком НВ 228 LED с номинальной мощностью и световым потоком равными 225 Вт и $\Phi = 21000$ лм соответственно, что находится в допустимых пределах 10%.

5 Выбор количества, типа и номинальной мощности цеховых трансформаторов на КТП предприятия

Минимальное число силовых трансформаторов на цеховой ТП [16]:

$$N_{min} = \frac{P_{рн}}{\beta_m \cdot S_m} + n; \quad (35)$$

Определим данное значение для подготовительного цеха предприятия:

$$N_{min} = \frac{1920}{0.87 \cdot 1600} = 1.7.$$

Округляя до целого большего числа выбираем к установке на ТП два трансформатора.

Результаты определения числа ТП и трансформаторов на них заносим в таблицу 9.

Произведем выбор устройств компенсации реактивной мощности для подготовительного цеха.

«Наибольшее значение реактивной мощности, которое может быть передано через трансформаторы в сеть до 1кВ» [17]:

$$Q_m = \sqrt{(1.1 \cdot S_m \cdot \beta_m \cdot N_{тэ})^2 - P_{рн}^2}; \quad (36)$$
$$Q_m = \sqrt{(1.1 \cdot 1600 \cdot 0.7 \cdot 2)^2 - 1920^2} = 1544 \text{ квар.}$$

«Суммарная мощность батарей низковольтных конденсаторов» [17]:

$$Q_{нк1} = Q_{рн} - Q_m; \quad (37)$$
$$Q_{нк1} = 2199 - 1543.73 = 656 \text{ квар.}$$

Таблица 9 – Результаты определения числа ТП и трансформаторов на них

Цеха предприятия	$P_{рн}$, кВт	$Q_{рн}$, квар	$S_{рн}$, кВА	βm	$N_{T.MIN}$	№ТП	S_{mp} , кВА	N_T	ΔP_{xx} , кВт	$\Delta P_{кз}$, кВт	Uкз, %	Ixx, %
подготовительный	1920	2199	2920	0,7	1,72	1	1600	2	2,65	16,5	6,0	1,0
паровоздуховная станция	987	901	1135	0,7	1,41	6	1000	2	1,90	10,8	5,5	1,2
автокамерный + вулканизации	1322	1655	2118	0,7	1,89	3	1000	2	1,90	10,8	5,5	1,2
склад + компрессорная станция + сист, нар, освещ,	929	1135	1467	0,7	1,40	7	1000	2	1,90	10,8	5,5	1,2
сборочный	2555	1910	3021	0,7	3,65	4,5	1000	2	1,90	10,8	5,5	1,2
каландровый	2341	1912	3021	0,7	2,09	2	1600	2	2,65	16,5	6,0	1,0

«Мощность батарей низковольтных конденсаторов, приходящаяся на один силовой трансформатор» [17]:

$$Q_{нк} = \frac{Q_{нк1}}{N \min} \quad (38)$$

$$Q_{нк} = \frac{656}{2} = 328 \text{ квар.}$$

Выбираем две автоматические конденсаторные установки АУКРМ-400.

Найденные значения мощностей конденсаторных установок, необходимых для размещения на ТП цеха заносим в таблицу 10.

Таблица 10 - Значения мощностей конденсаторных установок, необходимых для размещения на ТП

№ ТП	Q_m , квар	$Q_{нк1}$, квар	$Q_{нк}$, квар	$Q_{нкф}$, квар	$Q_{нкф1}$, кВА
1	1543,7	655,9	328	402	804
3	790,7	864,1	432,1	450	900
2	770,3	1139,9	569,9	536	1072
4,5	1720,2	1302,6	325,7	300	1200
7	1227,9	-93,3	-	-	-
6	1182,4	-281,7	-	-	-

Найдем значение потерь активной и реактивной мощностей в силовых трансформаторах КТП №1.

«Потери активной мощности в СТ» [20]:

$$\Delta P_T = \Delta P_{хх} + \Delta P_{кз} \cdot \beta^2; \quad (39)$$

$$\Delta P_T = 2 \cdot 2.65 + \frac{16.2}{2} \cdot 0.74^2 = 9,8 \text{ кВт};$$

«Определим коэффициент загрузки силового трансформатора по формуле» [17]:

$$\beta_T = \frac{S_p}{N_{\min} \cdot S_T}; \quad (40)$$
$$\beta_{T\Phi} = \frac{2374}{2 \cdot 1600} = 0.74.$$

«Полная расчетная мощность при установке КУ» [17]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{нкф1})^2}. \quad (41)$$
$$S_p = \sqrt{1920^2 + (2199 - 800)^2} = 2376 \text{ кВА};$$

«Значение потерь реактивной мощности в СТ» [17]:

$$\Delta Q_T = \frac{S_{ном}}{100} (I_{xx} + U_{кз} \cdot \beta_T^2); \quad (42)$$
$$\Delta Q_T = \frac{1600}{100} \left(2 \cdot 1 + \frac{6}{2} \cdot 0.74^2 \right) = 58,4 \text{ квар}.$$

В таблицу 11 сводим полученные расчётные мощности по каждой трансформаторной подстанции, количество устанавливаемых на них силовых трансформаторов, а также их номинальные мощности и данные по потерям активной и реактивной мощности в каждом из трансформаторов.

Таблица 11 - Полученные расчётные мощности по каждой трансформаторной подстанции, количество устанавливаемых на них силовых трансформаторов, а также их номинальные мощности и данные по потерям активной и реактивной мощности в каждом из трансформаторов

$N_{\text{ТП}}$	$S_p, \text{кВА}$	$\beta_{\text{мф}}$	N_m	$S_{\text{ном}}, \text{кВА}$	$\Delta P_{\text{м}\Sigma}, \text{кВт}$	$\Delta Q_{\text{м}\Sigma}, \text{квар}$
1	2374	0,74	2	1600	9,8	58,4
3	1522	0,76	2	1000	8,2	43,9
2	2486	0,78	2	1600	10,3	61
4,5	3138	0,79	4	1000	9,3	56,5
7	1467	0,73	2	1000	6,7	38,8
6	1336	0,67	2	1000	6,2	72,8
Σ	12323	-	-	-	50,5	331,3

Выводы по разделу: определено число цеховых трансформаторных подстанций и количество силовых трансформаторов на каждой для каждого из цехов промышленного предприятия, определены мощности автоматических устройств компенсации реактивной мощности, устанавливаемых на трансформаторных подстанциях, выполнен расчет суммарных потерь активной и реактивной мощностей в силовых трансформаторах КТП.

6 Анализ и выбор схемы для распределения электроэнергии по территории завода

Предприятие получает питание от двух высоковольтных РП, запитанных по кабельным линиям напряжением 10 кВ от ГРУ ТЭЦ.

Распределение электрической энергии от РП до трансформаторных подстанций предприятия производится по кабельным линиям. Найдем расчетный ток для полной нагрузки ТПЗ.

«Значение расчетного ток определим по формуле» [18]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (43)$$
$$I_p = \frac{1566}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2} = 45.2 \text{ A.}$$

«Сечение жилы кабеля по экономической плотности тока» [18]:

$$q_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (44)$$
$$q_3 = \frac{45.2}{1.2} = 38 \text{ мм}^2.$$

Округляем полученное значение до ближайшего стандартного сечения кабеля 35 мм².

Тип кабеля принимаем ААШВУ-10 3×35 с $I_{дон} = 115 \text{ A}$. Капитальные вложения в данную КЛ составят:

$$K_{Л4} = 3.3 \cdot 0.043 \cdot 2 \cdot 3000 = 851 \text{ тыс.руб.}$$

Результаты расчетов по КЛ 10 кВ заносим в таблицу 12.

Таблица 12 – Результаты расчетов по КЛ с номинальным напряжением 10 кВ

Начало и конец линии (обозн. ТП не приводит ся)	S_p , кВА	I_p , А	q_s , мм ²	l , км	F , мм	$I_{дон}$, А	$K_0 \cdot 10^3$, тыс. руб./ км	K_l , тыс. руб.
Расп. пункт 1-1	5344,8	154,2	128,6	0,12	3×120	240	4,5	3294
5-4	1572,7	45,4	37,8	0,18	3×35	115	3,3	3742
1-6	2815,5	81,2	67,7	0,25	3×70	165	3,8	5722
2-5	3202,7	92,4	77,0	0,19	3×70	165	3,8	4468
6-7	1439,8	41,5	34,6	0,13	3×35	115	3,3	2734
Расп. пункт 2-2	5690,1	164,2	136,9	0,15	3×150	275	4,92	4457
2-3	1565,5	45,1	37,7	0,04	3×35	115	3,3	851
Итоговые затраты на КЛ								25269

Выводы по разделу: выполнены расчёты по выбору сечения кабельных линий на номинальное напряжение 10 кВ, которые прокладываются от главной понизительной подстанции до высоковольтных распределительных пунктов и от высоковольтных распределительных пунктов до цеховых трансформаторных подстанций, определены расчетные значения мощности и тока, протекающего по линиям, найдено их целесообразное по экономической плотности тока сечение, из генплана предприятия определены длины, выбраны их сечения для которых определены значения длительно допустимых токов, произведён расчёт капитальных затрат на прокладку линий.

7 Определение значений токов коротких замыканий в расчётных точках

«В системе трехфазного переменного тока могут возникнуть непредусмотренные соединения проводников двух или трех фаз между собой или па землю, называемые короткими замыканиями. Это происходит при набрасывании проводника на воздушную линию, повреждении кабеля, падении поврежденной опоры воздушной линии со всеми проводами на землю, перекрытии фаз животными и птицами, обрыве проводов и т.д.

В результате короткого замыкания резко снижается сопротивление электрической цепи, так как полные сопротивления фазовых нагрузок Z_A , Z_B , Z_C одной, двух или всех трех фаз оказываются зашунтированными вследствие соединения проводов «накоротко». В точке короткого замыкания сопротивление фаз источника составляет лишь небольшую долю сопротивления нагрузки. Ток в короткозамкнутой цепи намного превышает рабочий ток. Наибольший ток короткого замыкания возникает при трехфазном коротком замыкании, поэтому данный ток и определяют для выбора электрического оборудования» [5].

Расчеты токов КЗ выполняем в относительных единицах, при вычислениях за базисную мощность берем значение $S_B = 1000 \text{ MVA}$, а за базисное напряжение $U_B = 10,5 \text{ кВ}$.

Базисный ток найдем по формуле:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B}; \quad (45)$$
$$I_B = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 55 \text{ кА}.$$

Расчетные формулы, по которым будем находить сопротивления элементов схемы замещения:

- синхронные генераторы

$$X_G = X_d'' \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_H}; \quad (46)$$

- силовые трансформаторы ТП

$$x_T = \frac{U_{k\%}}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{HT}}, \quad (47)$$

- ЛЭП

$$X_l = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2}; \quad (48)$$

$$r_l = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2}; \quad (49)$$

Величину ЭДС синхронного генератора находим из выражения:

$$E = \sqrt{(I_o \cdot x_d'' \cdot \cos \varphi_o)^2 + (U_o + I_o \cdot x_d'' \cdot \sin \varphi_o)^2}; \quad (50)$$

В таблице 13 приведены паспортные данные СГ ТЭЦ.

Таблица 13 – Паспортные данные СГ ТЭЦ

№ СГ	$S_{ном},$ МВА	$P_{ном},$ МВт	$\cos \varphi$	$U_{ном},$ кВ	$I_{ном},$ кА	X_d''
5-7	125,0	100	0,80	10,5	6,88	0,210
1-4	117,7	100	0,85	13,8	4,92	0,192
8-9	78,8	63	0,80	10,5	4,33	0,153

По выражению 50 находим ЭДС синхронного генератора:

$$E_{\Gamma 1-\Gamma 4} = \sqrt{(1 \cdot 0.210 \cdot 0,85)^2 + (1 + 1 \cdot 0.210 \cdot 0,527)^2} = 1.125.$$

$$E_{\Gamma 5-\Gamma 7} = \sqrt{(1 \cdot 0.192 \cdot 0,85)^2 + (1 + 1 \cdot 0.192 \cdot 0,6)^2} = 1.126.$$

$$E_{\Gamma 8-\Gamma 9} = \sqrt{(1 \cdot 0.153 \cdot 0,85)^2 + (1 + 1 \cdot 0.153 \cdot 0,6)^2} = 1.099.$$

В таблице 14 приведены паспортные данные силовых трансформаторов на ТЭЦ.

Таблица 14 - Паспортные данные силовых трансформаторов на ТЭЦ

№ СТ	$S_{ном},$ МВА	$U_{вн},$ кВ	$U_{нн},$ кВ	$U_{кз},$ %	$\Delta P_x,$ кВт	$\Delta P_k,$ кВт
8-9	40	115	10.5	10.5	34	170
1-4	80	121	13.8	11.0	85	310
5-7	80	115	10.5	10.5	58	310

По выражению 47 находим реактивные сопротивления силовых трансформаторов ТЭЦ:

$$x_{\Gamma 1-\Gamma 4} = \frac{11}{100} \cdot \frac{1000}{80} = 1.38;$$

$$x_{\Gamma 5-\Gamma 7} = \frac{10.5}{100} \cdot \frac{1000}{80} = 1.31;$$

$$x_{\Gamma 8,\Gamma 9} = \frac{10.5}{100} \cdot \frac{1000}{40} = 2.63;$$

По выражению 46 находим реактивные сопротивления синхронных генераторов на ТЭЦ:

$$x_{\Gamma 1-\Gamma 4} = 0.210 \cdot \frac{1000}{117.7} = 1.78.$$

$$x_{\Gamma 5-\Gamma 7} = 0.192 \cdot \frac{1000}{125} = 1.54.$$

$$x_{\Gamma 8, \Gamma 9} = 0.153 \cdot \frac{1000}{78.8} = 1.94.$$

По выражению 48 находим реактивные сопротивления высоковольтных линий электропередачи:

$$x_{л1} = 0.4 \cdot 95 \cdot \frac{1000}{115^2} = 2.87,$$

$$x_{л2} = 0.4 \cdot 95 \cdot \frac{1000}{115^2} = 2.87,$$

$$x_{л3} = 0.4 \cdot 70 \cdot \frac{1000}{115^2} = 2.12,$$

$$x_{л4} = 0.4 \cdot 90 \cdot \frac{1000}{115^2} = 2.72,$$

$$x_{л5} = 0.4 \cdot 90 \cdot \frac{1000}{115^2} = 2.72,$$

$$x_{л6} = 0.4 \cdot 60 \cdot \frac{1000}{115^2} = 1.81,$$

$$x_{л7} = 0.4 \cdot 60 \cdot \frac{1000}{115^2} = 1.81.$$

На рисунке 1 изображена преобразованная схема замещения для расчета токов КЗ.

$$x_{36} = x_1 + x_2 = 1.78 + 1.38 = 3.16;$$

$$x_{36} = x_{37} = x_{38} = x_{39}$$

$$x_{46} = \frac{1}{1/x_{36} \cdot 4} = \frac{1}{1/3.16 \cdot 4} = 0.79;$$

$$x_{40} = x_{13} + x_{14} = 1.54 + 1.31 = 2.85;$$

$$x_{40} = x_{41} = x_{42}$$

$$x_{46} = \frac{1}{1/x_{40} \cdot 3} = \frac{1}{1/2.85 \cdot 4} = 0.95;$$

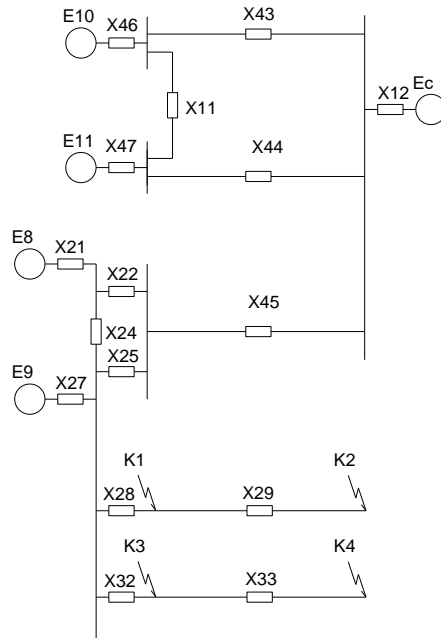


Рисунок 1 – Преобразованная схема замещения для расчета токов КЗ

$$x_{43} = \frac{x_5 \cdot x_8}{x_5 + x_8} = \frac{2.87}{2} = 1.44;$$

$$x_{44} = \frac{x_{17} \cdot x_{20}}{x_{17} + x_{20}} = \frac{2.72}{2} = 1.36;$$

$$x_{45} = \frac{x_{23} \cdot x_{26}}{x_{23} + x_{26}} = \frac{1.81}{2} = 0.91;$$

$$E_{10} = \frac{E_1 \cdot 1/x_{36} \cdot 4}{1/x_{36} \cdot 4} = \frac{1.25 \cdot 1/3.16 \cdot 4}{1/3.16 \cdot 4} = 1.12;$$

$$E_{11} = \frac{E_5 \cdot 1/x_{40} \cdot 3}{1/x_{40} \cdot 3} = \frac{1.26 \cdot 1/2.85 \cdot 3}{1/2.85 \cdot 3} = 1.13;$$

На рисунке 2 изображена свернутая схема замещения после расчета эквивалентных сопротивлений.

$$x_{63} = x_{53} + x_{62} = 0.62 + 1.21 = 1.84;$$

$$x_{64} = x_{\Sigma} = \frac{x_{63} \cdot x_{27}}{x_{63} + x_{27}} = \frac{1.84 \cdot 1.94}{1.84 + 1.94} = 0.94;$$

$$E_{15} = E_{\text{экв}} \frac{E_9 \cdot x_{62} + E_{14} \cdot x_{27}}{x_{62} + x_{27}} = \frac{1.099 \cdot 1.84 + 1.07 \cdot 1.94}{2.3 + 2.57} = 1.08;$$

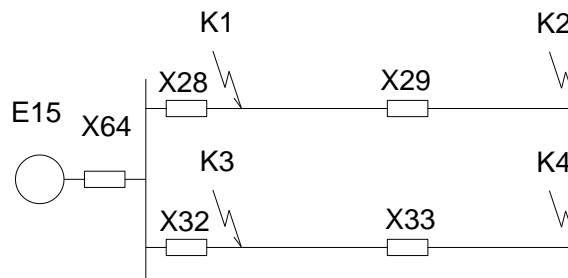


Рисунок 2 – Свернутая схема замещения после определения эквивалентных сопротивлений

«Установившийся ток короткого замыкания» [10]:

$$I_{\kappa} = \frac{E_{\text{экв}}}{x_{\Sigma}} \cdot I_B; \quad (51)$$

«Ударный ток короткого замыкания» [10]:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\Pi,0}; \quad (52)$$

Найдем установившийся ток КЗ на шинах ГРУ:

$$I_{\kappa 1} = \frac{1.08}{0.94} \cdot 54.99 = 63.13 \text{ кА.}$$

При токах КЗ выше 20 кА необходима установка токоограничивающего реактора. Определим его сопротивление по формуле:

$$X'_{\Sigma} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot I'_{\kappa}}, \quad (53)$$

$$X'_{\Sigma} = \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot 20} = 0.3 \text{ Ом.}$$

$$X_{\Sigma} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot I_{\kappa}}, \quad (54)$$

$$X_{\Sigma} = \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot 63.13} = 0.1 \text{ Ом.}$$

$$X_{\text{реак}} = X'_{\Sigma} - X_{\Sigma}, \quad (55)$$

$$X_{\text{реак}} = 0.3 - 0.1 = 0.2 \text{ Ом.}$$

По результатам расчетов выбираем реактор РБУ 10-1000 с $X_{\text{реак}} = 0,35$ Ом.

Найдем установившийся ток КЗ на шинах ГРУ с установленным реактором:

$$X_{p^*} = X_p \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp}^2}, \quad (56)$$

$$I_{\kappa 1} = \frac{54.99 \cdot 1.08}{3.17 + 0.94} = 14.47 \text{ кА.}$$

Определяем расчетный ток в кабельных линиях от генераторного распределительного устройства электростанции до РП предприятия.

Расчетный ток РП1 предприятия:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (57)$$

$$I_p = \frac{10743.94}{\sqrt{3} \cdot 10} = 620.3 \text{ А;}$$

$$I_{\text{кл}} = \frac{I_P}{2} = \frac{620.3}{2} = 310.2 \text{ A.}$$

«Определим сечение кабеля по экономической плотности тока» [12]:

$$F_{\text{э}} = \frac{310.15}{1,2} = 259 \text{ мм}^2;$$

По полученному экономическому сечению выбираем две кабельных линии, выполненных ААШВУ-3×240 с $I_{\text{дон}} = 355 \text{ A}$ на один кабель.

Выполним проверку выбранного сечения на допустимый длительный перегрев:

$$I_{\text{доп}} = k_{\text{п}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{\text{допн}} > I_P; \quad (58)$$

$$I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 355 = 462 \text{ A} > I_{PA} = 310 \text{ A};$$

Так как условие выполняется, то выбранные ранее кабели проходят проверку.

Расчетный ток РП2 предприятия:

$$I_P = \frac{8491}{\sqrt{3} \cdot 10} = 490 \text{ A};$$

$$I_{\text{кл}} = 490 / 2 = 245 \text{ A.}$$

«Определим сечение кабеля по экономической плотности тока» [12]:

$$F_{\text{э}} = \frac{245}{1.2} = 205 \text{ мм}^2;$$

По полученному экономическому сечению выбираем две кабельных линии, выполненных ААШВУ – 3×240 с $I_{\text{дон}} = 355 \text{ A}$ на один кабель.

Выполним проверку выбранного сечения на допустимый длительный перегрев:

$$I_{\text{доп}} = 1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 355 = 461,5 \text{ A} > I_p = 245 \text{ A};$$

Так как условие выполняется, то выбранные ранее кабели проходят проверку.

Находим величину теплового импульса, воздействующего на проводник:

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_{\text{омк}} + T_a); \quad (59)$$

$$B_k = (14,47 \cdot 10^3)^2 \cdot (1,5 + 0,01) = 316 \cdot 10^6;$$

Выполним проверку выбранного сечения КЛ по термической устойчивости:

$$F_m = \frac{\sqrt{B_k}}{C}; \quad (60)$$

$$F_m = \frac{\sqrt{316 \cdot 10^6}}{100} = 178 \text{ мм}^2.$$

Выбранное сечение превышает минимально допустимое значение по термической устойчивости.

Определяем по справочным данным удельное активное и реактивное сопротивление выбранного кабеля $x_0 = 0,079 \text{ Ом/км}$, $r_0 = 0,206 \text{ Ом/км}$.

Переводим его в относительные единицы:

$$r_{\text{КЛ}} = 0,206 \cdot 1,7 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 3,18;$$

$$x_{\text{КЛ}} = 0,079 \cdot 1,7 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 1,22.$$

Тогда суммарное сопротивление до т. 2 будет равно:

$$x_{PE3} = x_{64} + x_{реакт} + x_{29,30} = 0.94 + 3.17 + 1.56 = 4.73.$$

Ток трехфазного КЗ в т.2 будет равен:

$$I_{к2} = \frac{1.08}{4.73} \cdot 54.99 = 12.6 \text{ кА};$$

Ударный ток КЗ в т.2:

$$i_y^{K2} = \sqrt{2} \cdot 1.35 \cdot 12.6 = 24.1 \text{ кА}.$$

Определяем по справочным данным удельное активное и реактивное сопротивление КЛ от РП2 до ТПЗ $x_0 = 0.081 \text{ Ом/км}$, $r_0 = 0.253 \text{ Ом/км}$.

Переводим его в относительные единицы:

$$r_{ТПЗ} = 0.253 \cdot 0.2 \cdot \frac{1000}{10.5^2} = 0.46,$$

$$x_{ТПЗ} = 0.081 \cdot 0.2 \cdot \frac{1000}{10.5^2} = 0.15.$$

Ток трехфазного КЗ на стороне высокого напряжения ТПЗ будет равен:

$$I_{к3}^{(3)} = \frac{1.08}{4.73 + 0.15} \cdot 54.99 = 12.2 \text{ кА}$$

На стороне 0,4 кВ ТПЗ.

Находим сопротивление системы в именованных единицах:

$$X_c = \frac{U_{cp.n} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot I_k^{(3)}}; \quad (61)$$

$$X_c = \frac{10.5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 12.22} = 496 \text{ мОм.}$$

«Приводим найденное значение к стороне 0,4 кВ» [19]:

$$X_c^{(0)} = \frac{X_c \cdot U_{cp.nn}^2}{U_{cp.nв}^2}; \quad (62)$$

$$X_c^{(0)} = \frac{496 \cdot 0.4^2}{10.5^2} = 0.72 \text{ мОм.}$$

«Сопротивления силового трансформатора определим по формуле» [19]:

$$R_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_H^2}{S_H} \cdot 10^6, \quad (63)$$

$$R_T = \frac{10.8 \cdot 0.38}{1000} \cdot 10^6 = 1.56 \text{ мОм.}$$

$$X_T = \sqrt{U_k^2 - \left(\frac{\Delta P_k}{10 \cdot S_H} \right)^2} \cdot \frac{U_H^2}{S_H} \cdot 10^4; \quad (64)$$

$$X_T = \sqrt{5.5^2 - \left(\frac{10.8}{10 \cdot 1000} \right)^2} \cdot \frac{0.38}{1000} \cdot 10^6 = 7.94 \text{ мОм}$$

Зная суммарное значение активного и индуктивного сопротивления до расчётной точки короткого замыкания определяем значение тока трёхфазного КЗ на стороне низкого напряжения для третьей трансформаторной подстанции:

$$I_{кнн}^{(3)} = \frac{U_{ср.н}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}; \quad (65)$$

$$I_{кнн}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1.56^2 + (0.72 + 7.94)^2}} = 26.2 \text{ кА.}$$

Полученное значение тока трехфазного КЗ пересчитываем на сторону 10 кВ:

$$I_{к}^{(3)} = \frac{I_{кнн}^{(3)}}{n_m}; \quad (66)$$

$$I_{к}^{(3)} = \frac{26240.32}{26} = 1 \text{ кА.}$$

Выводы по разделу: выполнен расчёт токов короткого замыкания на сторонах высокого и низкого напряжения цеховых трансформаторных подстанций, определены значения трехфазного металлического тока короткого замыкания и его мгновенного ударного значения.

8 Выбор электрических аппаратов для установки в высоковольтных распределительных пунктах предприятия

8.1 Выбор высоковольтных выключателей и разъединителей

«Высоковольтные выключатели выбираются по следующим параметрам» [4, 5, 7]:

$$U_{н.в.} \geq U_p, \quad (67)$$

$$I_{н.в.} \geq I_p; \quad (68)$$

$$i_{дин} \geq i_y, \quad (69)$$

$$I_t^2 \cdot t \geq I_\infty^2 \cdot t_\infty; \quad (70)$$

«Определим ударный ток КЗ по формуле» [5]

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_k; \quad (71)$$

«Проверяем на отключающую способность» [5]:

$$S_{отк} \geq S_k; \quad (72)$$

где

$$S_{отк} = \sqrt{3} \cdot I_{отк} \cdot U_{н.в.}; \quad (73)$$

Для РП1 предварительно принимаем вакуумный выключатель ВВ/TEL-10-12.5/630-У3, проверяем его по формулам 67 – 73:

$$U_{н.в.} = 10кВ = U_p = 10кВ, I_{н.в.} = 630 А \geq I_p = 620.3 А;$$

$$i_{\text{дин}} = 51 \text{ кА} \geq i_y = 1.35 \cdot \sqrt{2} \cdot 12.60 = 24.06 \text{ кА},$$

$$I_t^2 t = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с} \geq 12.6^2 \cdot (1.1 + 0.01) = 176 \text{ кА}^2 \text{ с},$$

$$S_{\text{отк}} = \sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10 = 346 \text{ МВА} \geq S_k = \sqrt{3} \cdot 12.6 \cdot 10 = 218.3 \text{ МВА}.$$

Выбранный выключатель ВВ/TEL-10-12.5/630-У3 удовлетворяем приведенным выше условиям.

Результаты выбора высоковольтного выключателя для РП2 сводим в таблицу 15.

Таблица 15 - Результаты выбора высоковольтного выключателя для РП2

Расчетные формулы	Паспортные данные выключателя ВВ/TEL-10-20/630	Результаты расчета по второму распред. пункту
$U_{н.в.} \geq U_p, \text{ кВ}$	10	10
$I_{н.в.} \geq I_p, \text{ А}$	630	490,2
$i_{\text{дин}} \geq i_y, \text{ кА}$	51	24,1
$I_{\text{отк}} \geq I_k, \text{ кА}$	20	12,6
$I_t^2 \cdot t \geq I_\infty^2 \cdot t_\infty, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	1200	176
$S_{\text{отк}} \geq S_k, \text{ МВА}$	346	218,3

Результаты выбора высоковольтного выключателя для защиты отходящих линий и выбора секционного выключателя сводим в таблицу 16.

Результаты выбора разъединителей для РП1 и РП2 сводим в таблицу 17.
К установке предварительно принимаем разъединитель РВФ3-10/630.

Таблица 16 - Результаты выбора высоковольтного выключателя для защиты отходящих линий и выбора секционного выключателя

Расчетные формулы	Паспортные данные выключателя ВВ/TEL-10-20/630	ТП 1	ТП 2	ТП 3	Межсекц. выкл. РП1	Межсекц. выкл. СВ РП2
$U_{н.в.} \geq U_p, \text{кВ}$	10	10	10	10	10	10
$I_{н.в.} \geq I_p, \text{А}$	630	308,8	331,6	90,4	620,3	490,2
$i_{дин} \geq i_y, \text{кА}$	51	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1
$I_{отк} \geq I_k, \text{кА}$	20	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
$I_t^2 \cdot t \geq I_\infty^2 \cdot t_\infty, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	1200	176	176	176	176	176
$S_{отк} \geq S_k, \text{МВА}$	346	218,3	218,3	218,3	218,3	218,3

Таблица 17 - Результаты выбора разъединителей для РП1 и РП2

Расчетные формулы	Паспортные данные разъединителя РВФЗ-10/630	Результаты расчета по первому распред. пункту	Результаты расчета по второму распред. пункту
$U_{н.р.} \geq U_p, \text{кВ}$	10,0	620,3	490,24
$I_{н.р.} \geq I_p, \text{кА}$	630	24,06	24,06
$i_{дин} \geq i_y, \text{кА}$	52	12,6	12,6
$I_t^2 \cdot t \geq I_\infty^2 \cdot t_\infty, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	1600	176	176

Результаты выбора разъединителей на отходящих линиях и между секциями сборных шин РП сводим в таблицу 18.

Таблица 18 - Итоги проверки разъединителей на отходящих линиях к ТП и между секциями на РП

Расчетные формулы	Паспортные данные разъединителя РВФЗ-10/630	ТП 1	ТП 2	ТП 3	Межсекц. выкл. РП1	Межсекц. выкл. РП2
$U_{н.р.} \geq U_p, кВ$	10	10	10	10	10	10
$I_{н.р.} \geq I_p, кА$	630	308,8	331,6	90,4	620,3	490,2
$i_{дин} \geq i_y, кА$	41	24,1	24,1	24,1	24,1	24,1
$I_t^2 \cdot t \geq I_\infty^2 \cdot t_\infty, кА^2 \cdot с$	768	176	176	176	176	176

«Условия выбора и проверки автоматических выключателей 0,4 кВ в цеховых ТП» [5]:

$$I_{н.а.} \geq I_{p.max}, \quad (74)$$

$$I_{н.р.} \geq I_{p.max}, \quad (75)$$

$$I_{p.max} = \frac{1.4 \cdot S_{н.м.}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (76)$$

$$I_{p.max} = \frac{1.4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 2127 \text{ A},$$

$$I_{p.max} = \frac{1.4 \cdot 1600}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 3403 \text{ A}.$$

По результатам расчетов на КТП с номинальной мощностью установленных силовых трансформаторов равной 1000 кВА устанавливаем АВ типа ВА-СЭЦ-В-АН25Е с $I_{ном} = 2500 \text{ A}$ и $I_{расц} = 2500 \text{ A}$. На КТП с номинальной мощностью установленных силовых трансформаторов равной

1600 кВА устанавливаем АВ типа ВА-СЭЦ-В-АН40Е с $I_{ном} = 4000$ А и $I_{расц} = 4000$ А.

Выбор секционных выключателей производим по значению номинального тока:

$$I_{на} \geq \frac{0.7 \cdot 1.4 \cdot S_m}{\sqrt{3} \cdot 0.38}, \quad (77)$$

$$I_{на} \geq \frac{0.7 \cdot 1.4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 1489 \text{ А.}$$

По результатам расчетов на КТП с номинальной мощностью установленных силовых трансформаторов равной 1000 кВА устанавливаем АВ типа ВА-СЭЦ-В-АН16Е с $I_{ном} = 1600$ А и $I_{расц} = 1600$ А. На КТП с номинальной мощностью установленных силовых трансформаторов равной 1600 кВА устанавливаем АВ типа ВА-СЭЦ-В-АН25Е с $I_{ном} = 2500$ А и $I_{расц} = 2500$ А.

Номинальный ток автоматических устройств компенсации реактивной мощности определим из выражения:

$$I_{HK} = \frac{Q_{HK}}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (78)$$

Условие выбора:

$$I_y = \frac{1,25 \cdot Q_{HK}}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (79)$$

Для автоматического устройства компенсации реактивной мощности АУКРМ-0.4-400

$$I_{HK} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 610 \text{ A} ,$$

$$I_y = \frac{1.25 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 763 \text{ A} .$$

По результатам расчетов выбираем АВ типа ВА-СЭЩ-В-АН06Е с $I_{расц} = 630 \text{ A}$.

8.2 Выбор трансформаторов тока и напряжения

Трансформаторы напряжения выбираем по максимальной мощности вторичной нагрузки в нужном классе точности. Принимаем на каждой секции высоковольтного РП трансформаторы напряжения НАМИ-10 с $S_{max} = 120 \text{ ВА}$.

Вторичной нагрузкой ТН на РП являются вольтметр, счётчики активной и реактивной электроэнергии с суммарными активными и реактивными мощностями $P_{np} = 12 \text{ Вт}$ и $Q_{np} = 39 \text{ вар}$. При этом значение полной мощности равно:

$$S_2 = \sqrt{12^2 + 39^2} = 41 \text{ ВА}.$$

Вторичная нагрузка ТН не превышает максимально допустимую в выбранном классе точности.

«Трансформаторы тока выбираются по величине номинальной нагрузки вторичной обмотки» [7]:

$$S_2 = S_{np.б} + I_2^2 \cdot (r_{np} + r_{кон}) \quad (80)$$

в расчетах принимаем $r_{кон} = 0,1 \text{ Ом}$, $I_2 = 5 \text{ А}$.

$$r_{np} = \frac{S_2 - S_{np.б} - I_2^2 \cdot r_{кон}}{I_2^2}. \quad (81)$$

Выполним проверку на электродинамическую устойчивость:

$$K_{дин} \geq \sqrt{2} \cdot I_{ном1} \geq i_y. \quad (82)$$

Проверим по термической стойкости:

$$K_t \geq I_\infty \sqrt{t_{cp}} / I_{ном}. \quad (83)$$

Во вторичные цепи трансформатора тока, установленного в РП подключаются амперметр и счетчик активной и реактивной электрической энергии с общей нагрузкой 5 ВА.

Выбираем ТТ типа ТОЛ-10 с $S_{ном} = 10$ ВА.

$$r_{np} = \frac{10 - 5 - 5^2 \cdot 0.1}{5^2} = 0.1 \text{ Ом}; \quad I_{н1} = 800 \text{ А}; \quad I_{н2} = 5 \text{ А}.$$

Выполним проверку на электродинамическую устойчивость:

$$51 \text{ кА} > 14.5 \text{ кА}.$$

Проверяем по величине тока во вторичной обмотке ТТ:

$$800 \text{ А} > 620 \text{ А}.$$

Проверим по термической стойкости:

$$31.5 \text{ кА} \geq 12.6 \cdot \sqrt{1.61} = 16 \text{ кА}.$$

Предварительно выбранный трансформатор тока прошёл все предъявляемые проверки и удовлетворяет необходимым условиям, показал свою стойкость к негативному воздействию токов короткого замыкания.

Выводы по разделу: Произведен выбор по номинальному току и напряжению в месте установки высоковольтных выключателей, размещаемых в распределительных пунктах, питающих предприятие. Высоковольтные выключатели проверены по отключающей способности, удовлетворяют требованиям стойкости к токам коротких замыканий, также выбраны и проверены на стойкость к токам КЗ разъединители для установки в распределительных пунктах. Произведен также выбор и проверка основных электрических аппаратов, размещаемых в цеховых трансформаторных подстанциях, таких как автоматические выключатели, трансформаторы тока и трансформаторы напряжения. По результатам расчетов на КТП с номинальной мощностью установленных силовых трансформаторов равной 1000 кВА устанавливаем АВ типа ВА-СЭЩ-В-АН25Е с $I_{ном} = 2500 \text{ А}$ и $I_{расц} = 2500 \text{ А}$. На КТП с номинальной мощностью установленных силовых трансформаторов равной 1600 кВА устанавливаем АВ типа ВА-СЭЩ-В-АН40Е с $I_{ном} = 4000 \text{ А}$ и $I_{расц} = 4000 \text{ А}$. Для секционных выключателей по результатам расчетов на КТП с номинальной мощностью установленных силовых трансформаторов равной 1000 кВА устанавливаем АВ типа ВА-СЭЩ-В-АН16Е с $I_{ном} = 1600 \text{ А}$ и $I_{расц} = 1600 \text{ А}$. На КТП с номинальной мощностью установленных силовых трансформаторов равной 1600 кВА устанавливаем АВ типа ВА-СЭЩ-В-АН25Е с $I_{ном} = 2500 \text{ А}$ и $I_{расц} = 2500 \text{ А}$.

Заключение

При разработке системы электроснабжения предприятия по выпуску резинотехнических изделий были определены расчетные ожидаемые активные, реактивные и полные электрические нагрузки по предприятию в целом и по каждому из цехов в частности, определены расчетные нагрузки двух высоковольтных питающих распределительных пунктов от которых производится питание цехов предприятия.

Для освещения основных производственных площадей, опираясь на полученное в результате расчетов значение светового потока одной лампы, приняты светильники HB228LED.

Произведены выбор и проверка кабелей, проводов и автоматических выключателей.

В результате произведенного анализа применяемых схем выбрана оптимальная для распределения электрической энергии по цехам предприятия, для внутрицехового электроснабжения выбрана схема блока трансформатор-магистраль с магистральным шинопроводом к которому подключаются распределительные шинопроводы от которых получают питание отдельные электроприемники цеха предприятия.

Определено число цеховых трансформаторных подстанций и количество силовых трансформаторов на каждой для каждого из цехов промышленного предприятия. Определены мощности автоматических устройств компенсации реактивной мощности, устанавливаемых на трансформаторных подстанциях, выполнен расчет суммарных потерь активной и реактивной мощностей в силовых трансформаторах КТП.

Произведен выбор кабельных линий до центров питания (РП) и от РП до трансформаторных подстанций промышленного предприятия. Выполнено определение токов короткого замыкания в расчетных точках сети на сторонах 0,4 и 10 кВ. Произведены выбор и проверка на устойчивость к воздействию токов короткого замыкания электрооборудования РП и ТП предприятия.

Список используемых источников

1. Бартоломей П.А. Информационное обеспечение задач электроэнергетики: учебное пособие, 2-е изд., стер. М.: Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. 108 с.
2. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 15.12.2022).
3. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 08.02.2023).
4. Вахнина В.В., Черненко А.Н., Самолина О.В., Рыбалко Т.А. Проектирование осветительных установок [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 107 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/3383/1/Vahnina%20Chernenko%20Samolina%20Ribalko_%20EUI_Z.pdf (дата обращения: 12.01.2023).
5. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник. М.: Феникс, 2018. 382 с.
6. Кудряков А.Г., Сазыкин В.Г. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебник. Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. 263 с.
7. Матаев У.М. Практикум по электроэнергетике (в примерах с решениями) : учебное пособие. Алматы: Нур-Принт, Казахский национальный аграрный университет, 2014. 195 с.
8. Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушений электроснабжения потребителей [Электронный ресурс]. Электрон. дан.

Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. 188 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/72323> (дата обращения: 18.12.2022).

9. Сазонова Т.В., Шлейников В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие. М.: Бибком, 2016. 110 с.

10. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий [Электронный ресурс]: учебник. 5-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2019. 405 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1003810> (дата обращения: 15.02.2023).

11. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. М.: Форум, 2015. 368 с.

12. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С. Основы электроснабжения. Учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 173 с.

13. Хорольский В.Я., Таранов М.А., Петров Д.В. Технико-экономические расчеты распределительных электрических цепей: учебное пособие. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 96 с.

14. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. Электрические аппараты: учебник. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 304 с.

15. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2019. 496 с.

16. Bobby Rauf S. Electrical Engineering for Non-electrical Engineers. Lulu Press. Inc, 2015. 235 p.

17. IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems. IEEE Std 551. NY: IEEE, 2013. 300 p.

18. Khan S., Khan S., Ahmed G. Industrial power systems. Boca Raton: CRC Press, 2016. 488 p.

19. Usman M., Coppo M., Bignucolo F., Turri R., Cerretti, A. A novel methodology for the management of distribution network based on neutral losses allocation factors // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. №1. pp. 613-622.

20. Zhang Q., Tang W., Zaccour G., Zhang J. Should a manufacturer give up pricing power in a vertical information-sharing channel // European Journal of Operational Research. 2019. №276, pp. 910-928.