

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 группы цехов химического завода

Студент

М.М. Зокирзода

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.п.н., профессор Н.П. Бахарев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Кириллова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

Название бакалаврской работы: «Проектирование системы электроснабжения группы цехов химического завода».

Выпускная работа состоит из введения, 14 разделов, заключения, таблиц, списка литературы, включая зарубежные источники, и графической части на 6 листах формата А1.

Ключевым вопросом выпускной работы является разработка системы электроснабжения химического завода: анализ электроприемников химического завода, обзор существующей системы электроснабжения, изучение схемы расположения оборудования в цехе металлообработки, рассматриваются заводские цеха на химическую и электрическую безопасность, расчет силовой и осветительной нагрузок, определение центра электрических нагрузок цеха металлообработки, выбор конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности, выбор защитной и коммутационной аппаратуры для одного электроприемника и их проверка на электродинамическую стойкость, выбор оборудования цеховых подстанций, расчет заземляющего устройства и молниезащиты, определение экономических показателей проекта.

Целью бакалаврской работы является разработка системы электроснабжения группы цехов химического завода.

Выпускная работа может быть разделена на следующие логически взаимосвязанные части: введение, основные разделы в которых приводятся все необходимые расчеты для правильного выбора параметров, электротехнических приборов и устройств системы электроснабжения группы цехов химического завода.

Подводя итоги, мы бы хотели подчеркнуть, что данная работа актуальна не только для конкретного химического предприятия, но и других промышленных предприятий.

Abstract

The title of the bachelor's work: "Design of the power supply system of a group of chemical plant workshops".

The final work consists of an introduction, 14 sections, conclusion, tables, a list of references, including foreign sources, and a graphic part on 6 sheets of A1 format.

The key issue of the final work is the development of the power supply system of the chemical plant: analysis of the electric receivers of the chemical plant, review of the existing power supply system, study of the layout of the equipment in the metalworking shop, consider the factory shops for chemical and electrical safety, calculation of power and lighting loads, determination of the center of electrical loads of the metalworking shop, selection of capacitor installations for reactive power compensation, selection of protective and switching equipment for a single electric receiver and their verification for electrodynamic stability, selection of equipment for shop substations, calculation of the grounding device and lightning protection, determination of the economic indicators of the project.

The purpose of the bachelor's work is to develop a power supply system for a group of chemical plant workshops.

The final work can be divided into the following logically interrelated parts: introduction, the main sections in which all the necessary calculations are given for the correct choice of parameters, electrical appliances and devices of the power supply system of a group of chemical plant workshops.

Summing up, we would like to emphasize that this work is relevant not only for a particular chemical enterprise, but also for other industrial enterprises.

Содержание

Введение.....	6
1 Анализ электроприемников химического завода	7
2 Обзор существующей системы электроснабжения	11
2.1 Цех металлообработки.....	11
2.2 Схема внешнего электроснабжения	11
2.3 Расположение оборудования в цехе металлообработки	12
2.4 Химическая среда цеха металлообработки	12
2.5 Электробезопасность цеха металлообработки.....	13
2.6 Электробезопасность всего предприятия	13
3 Цеховая электрическая сеть	15
4 Расчет электрических нагрузок	16
4.1 Силовая нагрузка.....	16
4.2 Осветительная нагрузка.....	17
4.3 Условный центр электрических нагрузок цеха металлообработки	24
5 Подключение цеха металлообработки к заводской сети электроснабжения	25
5.1 Выбор цеховых трансформаторов.....	25
5.2 Выбор конденсаторных установок.....	27
6 Расчет защитной и коммутационной аппаратуры для одного электроприемника	28
6.1 Расчетная схема питания	28
6.2 Расчет сечения кабеля.....	29
6.3 Выбор аппаратов защиты	30
6.4 Расчет токов КЗ	31
6.5 Проверка цепи электроприемника на электродинамическую стойкость..	32
6.6 Расчет потерь напряжения	33
7 Выбор оборудования цеховых подстанций	36
7.1 Критерии выбора	36

7.2 Расчет трансформаторов	36
8 Точка расположения ГПП. Картограмма нагрузок	39
8.1 Точка расположения ГПП	39
8.2 Катограмма нагрузок	40
9 Компенсация реактивной мощности.....	42
9.1 Расчет реактивной мощности	42
9.2 Расчет компенсации реактивной мощности.....	43
9.3 Трансформаторы ГПП	43
10 Выбор высоковольтного оборудования.....	45
10.1 Определение токов КЗ.....	45
10.2 Выбор разъединителей, выключателей 110 кВ	47
10.3 Выбор ограничителей перенапряжений 110 кВ.....	48
10.4 Выбор трансформаторов тока.....	48
10.5 Выбор трансформаторов напряжения.....	49
10.6 Выбор основного электрооборудования и электроаппаратуры 6 кВ	50
11 Электромонтажные работы.....	52
12 Экономический расчет.....	53
12.1 Определение капитальных вложений	53
12.2 Определение годовых эксплуатационных издержек.....	55
13 Расчет заземляющего устройства	56
14 Расчет молниезащиты ГПП.....	57
Заключение	60
Список используемых источников.....	61

Введение

Электроэнергия является неотъемлемым элементом цивилизованной жизни. Она повсеместно используется в быту и промышленной сфере. Сегодня без электроснабжения не смогут работать промышленные предприятия, магазины, торговые центры, жить без электричества в квартирах и частных домах также будет весьма проблематично. Ежедневно необходимость в электроэнергии увеличивается, так как строятся новые объекты, нуждающиеся в электроснабжении, изобретаются новые виды техники, которая работает от сети или заряжается от неё.

Поэтому перед энергетиками встает очень важный вопрос, касающийся обеспечения потребителей надежной и качественной поставкой электроэнергии. Чтобы определить необходимые параметры электросети, следует выполнить соответствующие расчёты, на основании которых можно будет подобрать необходимое оборудование.

В этой выпускной квалификационной работе создается проект системы электроснабжения химического завода и цеха металлообработки.

На основании полученных в ходе изучения данных, проводятся соответствующие расчеты, и выбирается соответствующая схема электроснабжения. Это позволяет подобрать тип силового оборудования, защитной аппаратуры и марку силовых линий электропередач.

Правильность принятых решений проверяется соответствующими проверками. В результате получаем надежную систему электроснабжения, которая отвечает всем современным требованиям.

Данный вопрос широко исследуется как в отечественной, так и в зарубежной литературе [27-31].

1 Анализ электроприемников химического завода

Задачами данной работы является следующее: разработка схемы электроснабжения структурного подразделения завода (как внутренней, так и внешней) – цеха металлообработки; определение нагрузки электрической цеховой сети; на базе полученных данных расчет проводов, шинопроводов и кабелей, подбор реле и коммутационных аппаратов, расчёт токов КЗ (короткого замыкания), проектирование защитной установки для одного присоединения. Ещё в число целей работы входит проверка технологического оборудования, проводов и кабелей на стойкость к токам КЗ и на потерю напряжения.

В ходе выполнения работы будет разработаны сети расположения электрических потребителей энергии, прокладки силовых кабелей, а также составлена схема системы.

На рисунках 1 и 2 изображены соответственно план завода и цеха соответственно, а в таблицах 1 и 2 – данные об нагрузках.

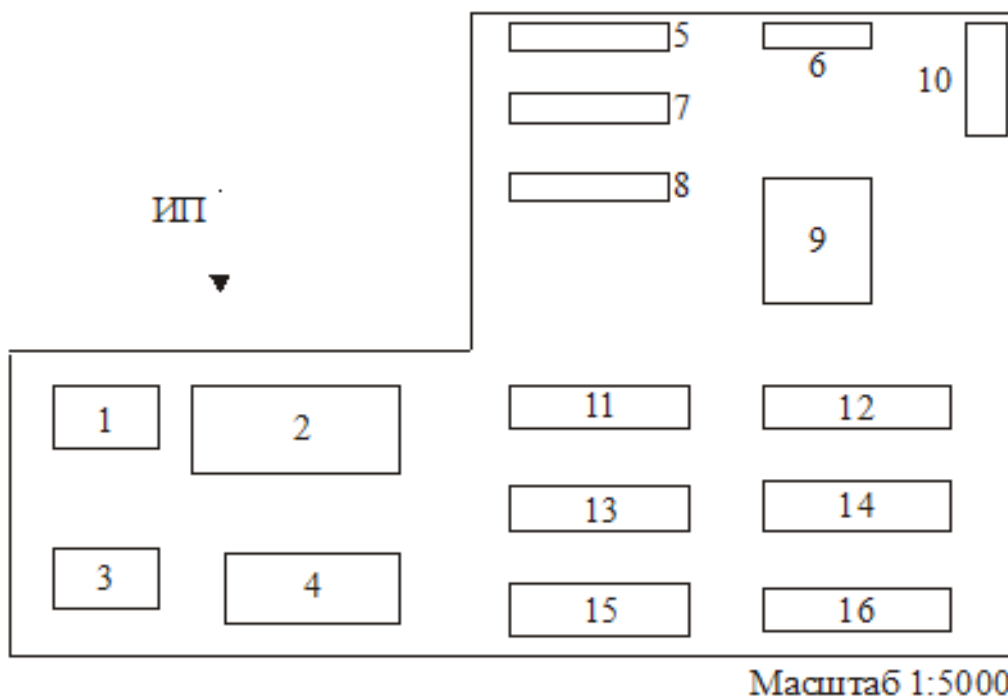


Рисунок 1 – Схема завода

Таблица 1 – Заводские нагрузки

«Номер по плану»	Наименование цехов и нагрузок	Количество электроприемников	Установленная мощность, кВт	
			одного эл. прием., Рн	суммарная, Рн
1	2	3	4	5
1	Заводоуправление, столовая	30	1–40	420
2	Цех хлора и каустика	100	10–100	2800
3	Компрессорная: а) 0,4 кВ; б) СД 6 кВ	20	1–28	150
		4	1250	5000
4	Цех хлорофоса	100	1–40	2100
5	Материальный склад	10	1–10	52
6	Насосная: а) 0,4 кВ; б) СД 6 кВ	10	10–20	100
		2	1000	2000
7	Цех метилхлорида № 1	50	1–40	1600
8	Цех метилхлорида № 2	50	1–40	1700
9	Котельная	90	1–80	590
10	Цех метгалообработки	41	1–33,3	328
11	Склад готовой продукции	6	1–14	50
12	Цех сульфата аммония № 1	40	1–28	1500
13	Цех сульфата аммония № 2	50	1–80	1680
14	Цех сжигания газов	30	10–50	840
15	Цех синильной кислоты № 1	40	7–40	1090
16	Цех синильной кислоты № 2» [1]	28	2–25	1000

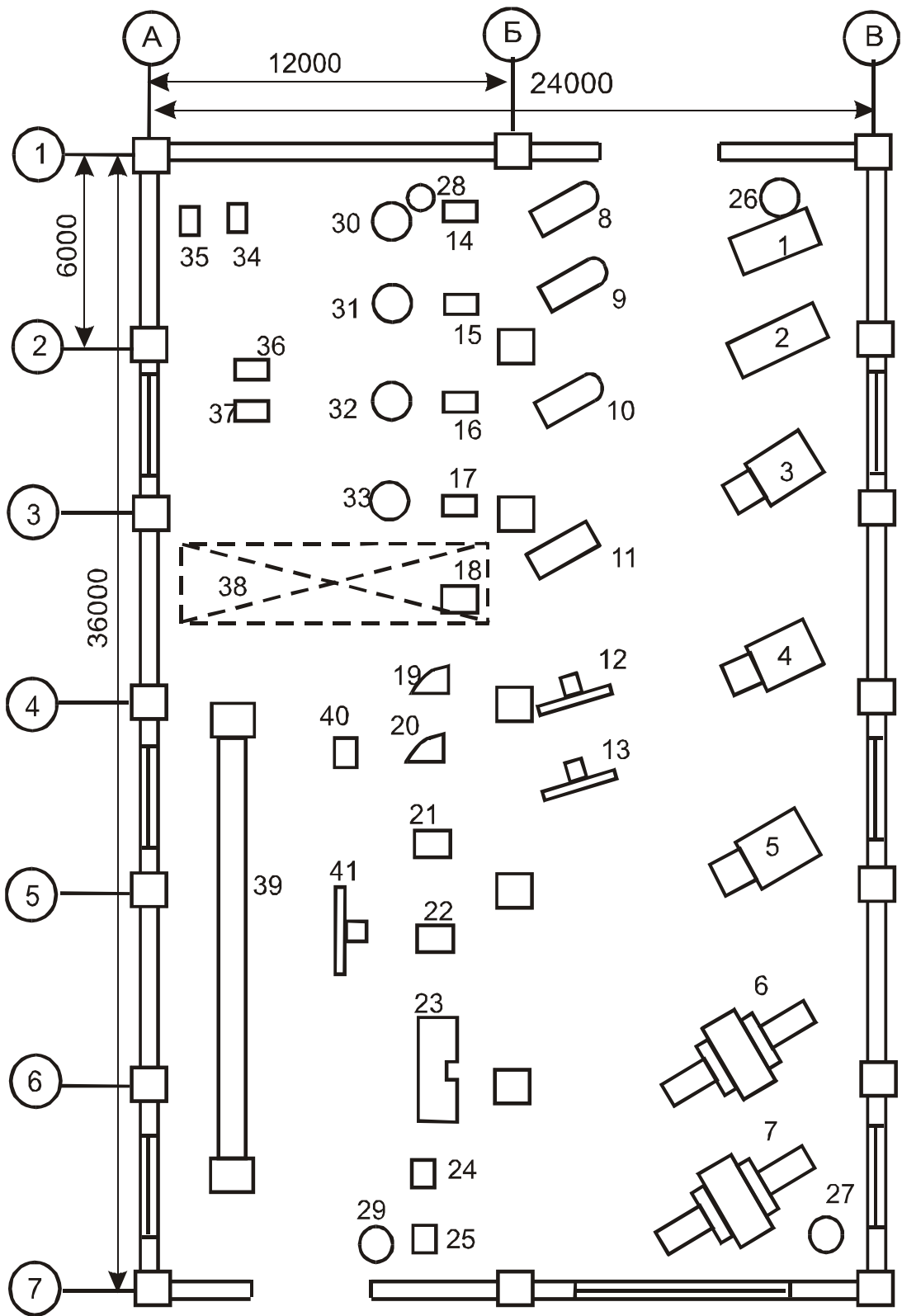


Рисунок 2 – Цех металлообработки

Таблица 2 – Электроприемники цеха

«Номер по плану	Наименование оборудования	Кол-во, шт	Установленная мощность электроприемника, кВт
1, 2	Токарно–винторезный станок	2	$13+1,5+0,4=14,9$
3, 4, 5	Токарно–четырёхшпиндельный полуавтомат	3	$17+1,5+0,6=19,1$
6, 7	Резьбонарезной станок	2	$30+2,2+1,1=33,3$
10, 11	Долбежный станок	2	$4+0,6=4,6$
8, 9	Радиально–сверлильный станок	2	10
12, 13, 41	Гидропресс на 25 т	3	10
14, 15, 16, 17, 18	Притирочный станок	5	4
21, 22, 40	Заточный станок	3	1,5
19, 2	Универсально–заточный станок	2	1,1
23	Шлифовальный станок	1	$3+11+0,4=14,4$
24, 25	Пресс	2	1,5
26, 29	Вентилятор калорифера	2	10
27, 28	Вентилятор вытяжной	2	3
30, 31, 32, 33	Насос гидравлический	4	1
34, 35	Координатно–расточный станок	2	5,5
36, 37	Поперечно–строгальный станок	2	4
38	Кран мостовой, G = 10 т, ПВ = 40%	1	$10+7,5+2,2=19,9$
39	Конвейер» [2]	1	1,9

Выводы.

Исходных данных достаточно для расчета и выбора электрооборудования проектируемой системы электроснабжения.

2 Обзор существующей системы электроснабжения

2.1 Цех металлообработки

Так как подробнее будем считать и проектировать электроснабжение цеха металлообработки, рассмотрим оборудование и охарактеризуем технологический процесс данного цеха. Основным назначением цеха является проведение ремонтно-восстановительных работ технологического металлоемкого оборудования и удовлетворение потребностей химического предприятия в металлических изделиях. Т.е. данный цех не относится к основному производству и считается вспомогательным. Поэтому и требования по категории электроснабжения не самые строгие: расположенное в цехе металлорежущее оборудование относится к III категории электроснабжения, мостовой кран относится ко II категории. Для подключения электроприемников цеха металлообработки применим радиально-магистральную схему. Непосредственно от вводного распределительного устройства будут запитаны электроприводы системы отопления и вентиляции, а также электропривод конвейера. Электропитание подъемного крана осуществим с помощью троллейного шинпровода. Для подключения остальных электроприемников по цеху проложены четыре шинпровода ШР1, ШР2, ШР3 и ШР4.

2.2 Схема внешнего электроснабжения

Как было отмечено в предыдущем п.п 2.1 в цехе находятся электропотребители двух категорий надежности II и III. Требования, предъявляемые к этим группам определены ПУЭ. «Надежность электроснабжения потребителя обеспечивается требуемой степенью резервирования. Электроприемники первой и второй категорий должны иметь резервные источники питания. Резервирование необходимо для

продолжения работы основного производства в после-аварийном режиме. Питание электроприемников третьей категории не требует резервирования. Электроприемники второй категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых взаимно резервируемых источников питания. Ко второй категории следует относить только такое технологическое оборудование, без которого невозможно продолжение работы основного производства на время послеаварийного режима» [3]. Питание электропотребителей III категории осуществляется от одного источника и предусматривает отключение электроэнергии на 24 часа подряд (не более).

2.3 Расположение оборудования в цехе металлообработки

Размеры цеха металлообработки 24 x 36 м. Общая площадь цеха 864 м². Размещенное металлорежущее оборудование сгруппировано по их назначению: ряд токарно-винторезных станков, ряд разнообразных сверлильных станков, ряд шлифовальных и заточных. Кран-балкой охватывается только половина помещения цеха. Так как здание цеха отдельно стоящее, то в нем присутствуют все строительные элементы: наружные стены, ворота, двери, окна.

2.4 Химическая среда цеха металлообработки

По условиям пожарной и взрывной безопасности, в цехе не используют вещества, которые являются горючими, легковоспламеняющимися или взрывчатыми. В цеховой зоне, где располагается шлифовальное оборудование, повышенный уровень загазованности.

Освещение в цеху состоит из нескольких видов: естественное (свет проникает в цех в дневное время через 7 оконных проемов) и искусственное.

Искусственное освещение есть общее и местное (дополнительное освещение станков). Цех также оснащен аварийной системой освещения.

На основании изучения характеристики среды в цеху выбираем кабель определяе ВВГ-нг(А).

Это плоский кабель, изготовленный из меди и обладающий изоляцией из ПВХ. Кабель можно использовать как при одиночной прокладке, так и в групповой, при этом его характеристики гигроскопичности и негорючести не меняются. Кабель с поливинилхлоридной изоляцией является универсальным изделием, применяемом при различных видах электромонтажа на напряжении до 1000 В.

2.5 Электробезопасность цеха металлообработки

Цех характеризуется условиями повышенной опасности с точки зрения поражения электрическим током. Бетонный пол в цеху является токопроводящим. В воздухе помещения постоянно находится металлическая пыль. Рабочие могут прикоснуться к внешнему корпусу электрооборудования и металлоконструкциям, которые находятся на земле или соприкасаются с ней.

2.6 Электробезопасность всего предприятия

«Характеристики внешней среды могут влиять не только на конструктивное исполнения РП, ТП или СП но и на выбор марок и сечений проводов кабелей и защитной аппаратуры. В процессе производственного цикла на территории рассматриваемого предприятия образуется много горючей пыли и волокон из текстильных материалов, которые также могут загореться. В цехе защитных покрытий некоторые вещества при контакте с воздухом образуют взрывоопасные смеси» [4].

Активность цеховой атмосферы, в которой эксплуатируются электроприемники показана в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика среды

№ на схеме	Название	Характеристика среды	Категория по надежности ЭС
1	«Заводоуправление, столовая»	нормальная	II
2	Цех хлора и каустика	химически активная	I
3	Компрессорная	нормальная	II
4	Цех хлорофосфора	химически активная	II
5	Материальный склад	нормальная	III
6	Насосная	сырая	I
7	Цех метилхлора №1	химически активная	I
8	Цех метилхлора №2	химически активная	I
9	Котельная	жаркая	I
10	Цех металлообработки	нормальная	II, III
11	Склад готовой продукции	нормальная	III
12	Цех сульфата аммония №1	химически активная	I
13	Цех сульфата аммония №2	химически активная	I
14	Цех сжигания газов	взрывоопасная	I
15	Цех синильной кислоты №1	химически активная	I
16	Цех синильной кислоты №2	химически активная» [5]	I

Выводы.

Наиболее опасной является взрывоопасная среда, в которой необходимо применять электрооборудование в специальном взрывозащищенном исполнении. В цехе металлообработки среда нормальная, что значительно облегчает подбор для него электрооборудования.

3 Цеховая электрическая сеть

«Для питания электроприемников целесообразно применить распределительные шинопроводы, которые представляют собой пакет изолированных друг от друга шин, находящихся в стальном кожухе. Шинопроводы являются пожаробезопасными, не горят и не распространяют пламя. Еще одно преимущество шинопроводов в том, что они компактны и не занимают много места в схеме компоновки трассы» [5].

Распределение электроэнергии выполнено параллельно группам металлорежущих станков, что позволяет уменьшить длину кабелей подключения. Для непосредственного подключения станков и оборудования использован кабель марки ВВГнг.

Крепление светильников осуществляется на несущий трос марки РТ. Для подвода электричества к светильникам используется кабель марки ВВГнг. Применяется щит освещения типа ЩОВ-200Б. В качестве основного типа светильника применили РСП13 с лампами ДРЛ.

Выводы.

Цеховая электрическая сеть распределяет трехфазное напряжение 380В переменного тока частотой 50Гц по электроприемникам через специально проложенные шинопроводы.

4 Расчет электрических нагрузок

4.1 Силовая нагрузка

Силовую нагрузку определим используем методику, во главу расчета ставящую номинальную мощность электроприемников и их коэффициент использования [6] $K_{и}$:

$$K_{и} = \frac{\sum K_{и} \cdot P_{н}}{\sum P_{н}}, \quad (1)$$

Эффективное число электроприемников

$$n_{э} = \frac{(\sum P_{н})^2}{\sum n \cdot P_{н}^2}, \quad (2)$$

Активная мощность электроприемников

$$P_p = K_p \cdot \sum K_{и} \cdot P_{н}, \quad (3)$$

Реактивная мощность электроприемников

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum K_{и} \cdot P_{н} \cdot \operatorname{tg} \phi, \quad (4)$$

Полная мощность электроприемников

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (5)$$

Расчетный ток электроприемников

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{н}}, \quad (6)$$

Результат расчета электрической нагрузки по металлообрабатывающему цеху сведен в таблицу 4, по всему химическому предприятию – в таблицу 5.

4.2 Осветительная нагрузка

Для расчета осветительных электрических нагрузок используем методику, основанную на удельных нагрузках освещения на единицу площади помещения, в зависимости от его назначения [7]. Например, удельная осветительная нагрузка цеха металлообработки составляет $P_{уд}=9,8 \text{ Вт/м}^2$ при $k_u = 0,85$ тогда

$$P_{p.o} = P_n \cdot k_u, \quad (7)$$

где P_n - потребляемая электроэнергия светильником.

Номинальная активная мощность освещения определяется по формуле

$$P_n = p_{уд} \cdot F_{ц}, \quad (8)$$

Расчетная реактивная мощность освещения определяется по формуле

$$Q_p = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \phi, \quad (9)$$

Результаты определения осветительной нагрузки сведем в соответствующие столбики таблицы 4 и 5.

Таблица 4 – Расчет электрических нагрузок в сети трехфазного тока до 1 кВ

Исходные данные					Расчётные величины			Эф- ое число ЭП, пэ	Кэф. рас. нагрузки, Кр	Расчётная мощность			Расчёт- ный ток, А	
по заданию технологов				справочные данные		КиРн	КиQн			пРн2	Активная Рр, кВт	Реактивная Qр, квар		Полная Sp, кВА
Наименование	Коли- чество ЭП, N	Номинальная (установленная) мощность, кВт		Кэфф. исполь- зования,	Кэфф. реактив- ной мощности tg φ									
	шт.	Одного ЭП, Рн	Общая Рн=пРн	Ки										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ШР1														
Токарно-винторезный станок	2	15,1	30,2	0,13	1,69	4,1	5,89	451,11						
Токарно-четырёхшпиндельный полуавтомат	3	20,2	60,2	0,09	1,81	7,1	12,88	1107,31						
Резьбонарезной станок	2	34,4	67,7	0,21	2,02	10,2	12,76	2199,92						
Итого по ШР1	7	15,1/34,1	149,9	0,13	1,61	22,1	30,89	4122,11	6,4	1,8	40,9	36,1	54,8	79,3
ШР2														
Радиально-сверлильный станок	2	9	19	0,09	1,69	1,9	3,99	198						
Долбежный станок	2	5,1	8,9	0,09	2,11	0,99	2,11	39,28						
Гидропресс 25 т	2	9	18	0,15	0,99	2,99	4,11	198						
Итого по ШР2	6	5,1/9	50,1	0,12	1,62	7,1	9,88	398,27	5,6	2,31	14,9	10,1	18,3	27,2
ШР3														
Притирочный станок	5	4	20	0,12	1,73	2,4	4,15	80						
Универсально-заточный станок	2	1,1	2,2	0,12	1,73	0,3	0,46	2,42						
Заточный станок	3	1,5	4,5	0,12	1,73	0,5	0,93	6,75						
Шлифовальный станок	1	14,4	14,4	0,12	1,73	1,7	2,99	207,36						
Пресс	2	1,5	3	0,17	1,17	0,5	0,60	4,5						

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Гидропресс 25 т	1	10	10	0,17	1,17	1,7	1,99	100						
Насос гидравлический	4	1	4	0,7	0,62	2,8	1,74	4						
Итого по ШРЗ	18	1/14,4	58,1	0,17	1,41	9,9	12,85	405,03	8,3	1,66	16,5	15,4	22,60	32,75
ШР 4														
Координатно-расточный станок	2	5,5	11	0,17	1,17	1,9	2,19	60,5						
Поперечно строгальный станок	2	4	8	0,17	1,17	1,4	1,59	32						
Итого по ШР 4	4	4/5,5	19	0,17	1,17	3,2	3,78	92,5	3,9	1,64	5,3	4,2	6,73	9,76
РП														
Вентилятор вытяжной	1	3	3	0,6	0,75	1,8	1,35	9						
Вентилятор калорифера	1	10	10	0,6	0,75	6	4,5	100						
Итого по РП	2	3/10	13	0,6	0,75	7,8	5,85	109	1,6	1,33	10,4	6,4	12,21	17,69
ВРУ														
Вентилятор вытяжной	1	2,9	2,9	0,5	0,61	1,7	1,41	8						
Вентилятор калорифера	1	9,5	9,5	0,5	0,69	5,8	5,12	95						
Кран мостовой	1	18,6	18,8	0,08	2,01	1,8	4,55	405,11						
Конвейер	1	2,3	2,3	0,5	0,79	0,88	0,81	5,91						
Итого силовая нагрузка по ВРУ	4	2,2/19,7	34,9	0,31	1,03	10,7	10,3	501,93	2,4	2,45	26,1	12	28,74	41,6
ЩО														
Осветительная нагрузка			10,5	0,9	0,1	9,5	0,95				9,4	0,9	9,5	13,7
Итого общая нагрузка по ВРУ	41	1/33,3	327,9	0,21	1,00	69,8	74,83	5307,01			124,5	87,7	154,66	224,1

Таблица 5 – Расчет электрических нагрузок химического предприятия

Исходные данные					Расчётные величины					Расчётная мощность			Расчётный ток, А	
по заданию технологов			справочные данные		$K_n P_n$	$K_n Q_n$	$n P_n$			Эф-ое число ЭП, n_s	Коэф. рас. нагрузки, K_p	Активная P_p , кВт		Реактивная Q_p , квар
Наименование	Кол-чество ЭП, N шт.	Номинальная (установленная) мощность, кВт		Номинальная (установленная) мощность, кВт				Коэфф. реактивной мощности $\text{tg } \varphi$						
		Одного ЭП, P_n	Общая $P_n = n P_n$											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Заводуправление, столовая														
Силовая нагрузка	30	40	420	0,75	0,8	315	252		21	0,85	315	252,7	403,8	585,29
Освещение											18,63	32,2	37,2	53,95
Итого	30		420	0,75	0,8	315	252				333,63	284,9	441,1	639,24
Цех хлора и каустка														
Силовая нагрузка	100	100	2800	0,75	0,48	2100	1008		56	0,8	2800	1356,1	3111,1	4508,86
Освещение											59	102,1	117,9	170,86
Итого	100		2800	0,75	0,48	2100	1008				2859	1458,2	3229,0	4679,72
Компрессорная														
0,4кВ	20	28	150	0,9	0,75	135	101,25		11	0,9	135	101,3	168,8	244,57
Синхр. дв. 6кВ	4	1250	5000	0,7	0,75	3500	2625		4	1	3500	2625,0	4375,0	2528,90
Силовая нагрузка	24	28/1250	5150	0,8	0,75	3635	2726,2				3635	2726,25	4543,75	6585,14
Освещение											8,7	15,1	17,4	25,20
Итого											3643,7	2741,3	4561,1	6610,34
Цех хлорофосфора														

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Силовая нагрузка	100	40	2100	0,6	0,48	1260	604,8		100	0,8	1260	610,3	1400,0	2028,99
Освещение											34,9	60,4	69,7	101,07
Итого	100		2100	0,6	0,48	1260	604,8				1294,9	670,6	1469,7	2130,06
Материальный склад														
Силовая нагрузка	10	10	52	0,3	1,73	15,6	26,988		10	0,9	16	27,0	31,4	45,51
Освещение											3,2	5,5	6,4	9,27
Итого	10		52	0,3	1,73	15,6	26,988				19,2	32,6	37,8	54,78
Насосная														
0,4кВ	10	20	100	0,9	0,75	90	67,5		10	0,9	90	67,5	112,5	163,04
Синхр. дв. 6кВ	2	1000	2000	0,7	0,75	1400	1050		2	1	1400	1050,0	1750,0	1011,56
Силовая нагрузка	12	20/1000	2100	0,8	0,75	1490	1117,5				1490	1117,5	1862,5	2699,28
Освещение											4,3	7,4	8,6	12,45
Итого											1494,3	1124,9	1871,1	2711,73
Цех метилхлора №1														
Силовая нагрузка	50	40	1600	0,6	0,48	960	460,8		50	0,85	960	465,0	1066,7	1545,89
Освещение	50		1600	0,6	0,48	960	460,8				14,7	25,4	29,4	42,57
Итого											974,7	490,4	1096,0	1588,47
Цех метилхлора №2														
Силовая нагрузка	50	40	1700	0,6	0,48	1020	489,6		50	0,85	1020	494,0	1133,3	1642,51
Освещение											19,6	33,9	39,2	56,76
Итого	50		1700	0,6	0,48	1020	489,6				1039,6	527,9	1172,5	1699,27
Котельная														
Силовая нагрузка	90	80	590	0,8	0,75	472	354		15	0,9	472	354,0	590,0	855,07
Освещение											12,9	22,3	25,8	37,36
Итого	90		590	0,8	0,75	472	354				484,9	376,3	615,8	892,43
Цех металлообра ботки														

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Силовая нагрузка	40	33,3	328	0,22	1,24	72,1	89,478		20	1	115,1	78,7	145,2	210,4
Освещение											9,4	9,0	9,5	13,7
Итого	40		328	0,22	1,24	72,1	89,47				124,5	87,7	154,7	224,1
Склад готово продукции														
Силовая нагрузка	6	14	50	0,3	1,73	15	25,95		6	0,95	15	26,0	30,0	43,48
Освещение											1,25	2,2	2,5	3,62
Итого	6		50	0,3	1,73	15	25,95				16,3	28,1	32,5	47,10
Цех сульфата аммония №1														
Силовая нагрузка	40	28	1500	0,6	0,48	900	432		40	0,85	900	435,9	1000,0	1449,28
Освещение											5	8,7	10,0	14,48
Итого	40		1500	0,6	0,48	900	432				905,0	444,5	1010,0	1463,76
Цех сульфата аммония №2														
Силовая нагрузка	50	80	1680	0,6	0,48	1008	483,84		42	0,85	1008	488,2	1120,0	1623,19
Освещение											11,2	19,4	22,4	32,43
Итого	50		1680	0,6	0,48	1008	483,84				1019,2	507,6	1142,4	1655,63
Цех сжигания газов														
Силовая нагрузка	30	50	840	0,6	0,48	504	241,92		30	0,85	504	244,1	560,0	811,60
Освещение											18,4	31,8	36,8	53,29
Итого	30		840	0,6	0,48	504	241,92				522,4	275,9	596,8	864,88
Цех синильной кислоты №1														
Силовая нагрузка	40	40	1090	0,6	0,48	654	313,92		40	0,85	654	316,8	726,7	1053,14
Освещение											34,8	60,2	69,5	100,78
Итого	40		1090	0,6	0,48	654	313,92				688,8	377,0	796,2	1153,92
Цех синильной кислоты №2														

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Силовая нагрузка	30	50	900	0,6	0,48	540	259,2		30	0,85	540	261,5	600,0	869,56
Освещение											9,2	15,9	18,4	26,64
Итого	30		900	0,6	0,48	540	259,2				549,2	277,4	618,4	896,21
РП 3														
Силовая нагрузка	190	248,0	6010	0,6	0,5	606	1730,9		150,3	0,8	2884,8	1384,7	3199,9	4637,6
Освещение											78,6	136,0	157,1	227,6
Итого											2963,4	1520,7	3357,0	4865,2
РП 4														
Силовая нагрузка	210	190,0	4042,0	0,6	0,9	557	1398,9		101,1	0,8	2046,1	1851,7	2759,6	3999,4
Освещение											64,1	103,6	118,8	172,1
Итого											2110,2	1955,3	2878,4	4171,5

4.3 Условный центр электрических нагрузок цеха металлообработки

Для снижения затрат на создание системы электроснабжения на определенной территории (предприятие или его, например, цех) необходимо рассчитать и определить точку условного центра электрических нагрузок. От этой точки до электроприемников будет оптимальное расстояние а электрические нагрузки будут распределены относительно симметрично. Для расчета координат этой точки чаще всего используют метод, в своей основе заключающий аналогию с нахождением центра масс в механике:

$$x_0 = \frac{\sum(P_i \cdot x_i)}{\sum P_i}, \quad (10)$$

$$y_0 = \frac{\sum(P_i \cdot y_i)}{\sum P_i}. \quad (11)$$

Для цеха металлообработки:

$$x_0 = \frac{5560,57}{320,79} = 17,3 \text{ м},$$

$$y_0 = \frac{4926,03}{320,79} = 15,4 \text{ м}.$$

Выводы.

Расчетная мощность по химическому заводу составила:

- активная 2,1102 МВт;
- реактивная 1,9553 Мвар;
- полная 2,8784 МВА;
- суммарный ток 4,1715 кА.

5 Подключение цеха металлообработки к заводской сети электроснабжения

Определим расстояние от цеха металлообработки до подстанции, от которой он будет запитан. Согласно генплана это ЦТП 12. Тогда расстояние составляет 15 м или $l=15000$ мм. Согласно таблицы 4 суммарная активная нагрузка цеха металлообработки $S=124,33$ кВт. Определим экономически целесообразное расстояние длины подводящей линии питания:

$$\begin{aligned} \ell_{\text{эц}} &\leq \frac{l}{S}, \text{ м} \\ \ell_{\text{эц}} &\leq \frac{15000}{124,33} = 121 \text{ м} \end{aligned} \quad (12)$$

Расстояние меньше допустимых рекомендованных значений, значит собственной ТП для питания цеха строить нет необходимости. В цеху устанавливается ВРУ $U_{\text{ном}}=380$ В, $I_{\text{ном}}=250$ А.

5.1 Выбор цеховых трансформаторов

Для примера выполним расчет для ЦТП 12, от которой питаются котельная (поз.9 на генплане), с активным потреблением $P_{p9}=484,9$ кВт и цех металлообработки $P_{p10}=124,4$ кВт (поз.10 на генплане). Их совместная активная нагрузка составляет 609,4 кВт. Принимаем для II категории надежности число трансформаторов на подстанции $N_{\text{тр}}=2$ а их коэффициент загрузки $K_3=0,75$. Тогда номинальная мощность трансформаторов можно рассчитать по формуле

$$\begin{aligned} S_{\text{тр}} &= \frac{P_{\text{ТП12}}}{N_{\text{тр}} \cdot K_3}, \\ S_{\text{тр}} &= \frac{609,4}{2 \cdot 0,75} = 406,2 \text{ кВт} \end{aligned} \quad (13)$$

По стандартному ряду мощностей силовых трансформаторов принимаем ближайшую большую номинальную мощность трансформатора 630 кВА.

Рассчитаем необходимость использования компенсации реактивной мощности. Через трансформатор рекомендуется передавать реактивную мощность не более той, что рассчитывается по формуле:

$$Q_{max\text{тр}} = \sqrt{(N_{\text{тр}} \cdot K_3 \cdot S_{\text{НТр}})^2 - P_p^2}, \quad (14)$$

$$Q_{max\text{тр}} = \sqrt{945^2 - 609,4^2} = 722,25 \text{ квар.}$$

Согласно данным таблицы 4, реактивная мощность оборудования котельной составляет 376,3 квар, а реактивная мощность цеха металлообработки 87,7 квар. Их совместная реактивная нагрузка составляет 464 квар. Тогда реактивная мощность, требующая ее компенсации:

$$Q_{\text{ку}1} = Q_{\text{ТП}12} - Q_{max\text{тр}}, \quad (15)$$

$$Q_{\text{ку}1} = 464 - 722,25 = -258,25 \text{квар.}$$

Полученное значение меньше нуля. Дополнительная мощность конденсаторных батарей (НКБ)

$$Q_{\text{ку}2} = Q_{\text{ТП}12} - Q_{\text{ку}1} - \gamma \cdot N_{\text{тр}} \cdot S_{\text{НТр}}, \quad (16)$$

$$Q_{\text{ку}2} = 464 - (-258,25) - 945 = -222,75 \text{квар.}$$

Полученное значение дополнительной мощности КУ тоже меньше нуля. Таким образом для данной мощности трансформатора принимаем реактивные мощности $Q_{\text{ку}1}$ и $Q_{\text{ку}2}$ равными нулю. Компенсация не требуется.

5.2 Выбор конденсаторных установок

Принимаем к установке в ТП-12 трансформатор ТМГ – 630/6/0,4-УЗ с параметрами:

- $S_{\text{ном}}=630$ кВА;
- $U_{\text{В}}/ U_{\text{Н}}=6/0,4$ кВ;
- $U_{\text{к}}=5,5$ %;
- $\Delta P_{\text{к}}= 7600$ Вт;
- $P_{\text{хх}}= 1240$ Вт;
- теоретическое время работы – 25 тысяч часов;
- срок эксплуатации – 30 лет;
- способ установки – открытый.

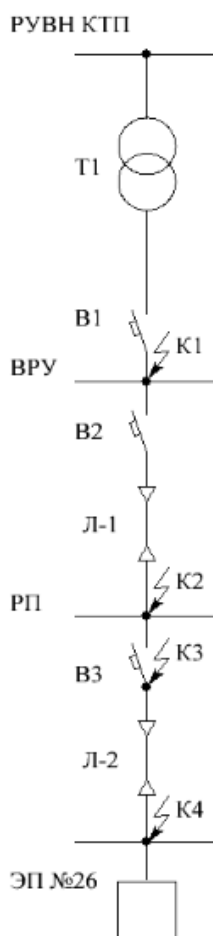
Выводы.

Цех металлообработки питается от ЦТП-12. В подстанции применили трансформатор ТМГ – 630/6/0,4-УЗ.

6 Расчет защитной и коммутационной аппаратуры для одного электроприемника

6.1 Расчетная схема питания

Для примера выполним расчет вытяжного вентилятора, так как он среди всех электроприемников цеха металлообработки имеет наиболее протяженную электропроводку (см. рис. 3).



Т1 - ТМГ – 630/6/0,4; В1, В2, В3 – воздушные автоматические выключатели; Л-1, Л-2 – кабельные линии; ВРУ – цеха металлообработки; РП – распределительный пункт; ЭП №26 – вытяжной вентилятор

Рисунок 3 – Расчетная схема питания вытяжного вентилятора

На основе расчетной схемы рис. 3, составляем эквивалентную ей схему замещения, на которой каждый участок электрической цепи замещен его электрическим сопротивлением (см. рис. 4)

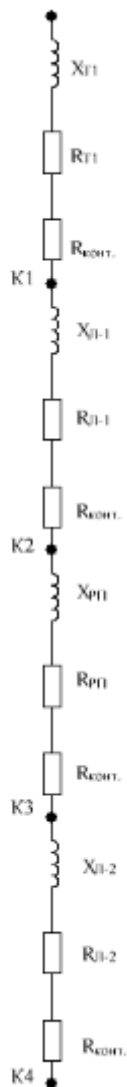


Рисунок 4 – Эквивалентная схема замещения

6.2 Расчет сечения кабеля

При выборе сечения токоведущих жил должно выполняться два условия: $U_{ном} \geq U_{сети}$ и $I_{доп} \geq I_{max\ раб.}$. Согласно таблицы 4, расчетный ток вентилятора $I_{max\ раб} = 13,6A$.

Для создания ответвления используются тонкостенные трубы из стали и кабель ВВГнг. Для соединения с вентилятором понадобится кабель с сечением $1,5 \text{ мм}^2$ с прямым длительным током $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$. Условие выбора по току выполняется, так как $19 \text{ А} > 13,6 \text{ А}$.

Питающую линию Л-1 создаем с помощью кабеля сечением $2,5 \text{ мм}^2$ с длительным допустимым током 25 А .

По известным условиям технологических процессов на производстве, отталкиваясь от рабочих режимов и видов оборудования можно сделать вывод, что на рассматриваемом объекте нет длительных перегрузок систематического характера. Исходя из этого, на основании ПУЭ, проверка соответствия сечения кабельных линий защитным устройствам не нужна. Шиноприводы распределительного типа должны пройти проверку на стойкость к токам КЗ.

6.3 Выбор аппаратов защиты

При выборе параметров автоматических воздушных выключателей должно выполняться два условия: $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$ и $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{max.раб}}$. Для защиты вытяжного вентилятора применим воздушный автомат ВЗ (см. рис. 3) серии ВА88-29 с рабочим током 25 А . Проверим выполнение вышеназванных условий: $660 \text{ В} > 380 \text{ В}$, $25 \text{ А} > 13,6 \text{ А}$. Условия выполнены.

Проверим выбранный воздушный автомат на перегрузочную способность по условию

$$I_{\text{ср}} = 1,25 \cdot I_{\text{max.раб}} < I_{\text{ном}}, \quad (17)$$

$$I_{\text{ср}} = 1,25 \cdot 13,6 = 18 \text{ А} < 25 \text{ А}.$$

Условие выполняются. Для установки в РП выбираем воздушный автомат В2 серии ВА88-29, а для установки в ВРУ – воздушный автомат В1

серии ВА88-73. Рабочий ток автомата В1 300А. Проверки выполняются аналогичным образом.

6.4 Расчет токов КЗ

Выполним расчет для схемы рис. 4 п.п 6.1. При расчете принимаем следующие допущения:

- «мощность питающей системы не имеет ограничений;
- при КЗ напряжение на стороне ВН цехового трансформатора не меняется;
- при расчёте токов КЗ в точках К1-К4 используем именованные единицы.

В процессе расчёта необходимо принимать во внимание сопротивление переходных контактов схемы» [8].

Активное и реактивное сопротивление трансформатора ТМГ – 630/6/0,4 установленного в ТП-12 определяется по формулам [8]

$$R_{T1} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2}, \quad (18)$$

$$X_{T1} = \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}} \sqrt{\left(\frac{U_K}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_K}{S_{НОМ}}\right)^2}. \quad (19)$$

Для проведения расчетов принимаем следующие справочные данные.
«Активное сопротивление контактов:

- для распределительного устройства подстанции $R_{конт} = 15$ мОм;
- на зажимах устройств, которые получают питание от радиальных линий от щитов подстанций $R_{конт.} = 20$ мОм;
- для цеховых распределительных шинопроводов $R_{конт.} = 25$ мОм;
- для аппаратов, установленных непосредственно у приемников электроэнергии $R_{конт.} = 30$ мОм» [8].

Токи КЗ определяются по формуле [8]

$$I_{Ki}^{(3)} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \sqrt{R_{\Sigma Ki}^2 + X_{\Sigma Ki}^2}}. \quad (20)$$

Ударный ток [8]

$$i_{уд Ki} = \sqrt{2} K_{уд} \cdot I_{Ki}^{(3)}. \quad (21)$$

Результаты расчета для линии питания вытяжного вентилятора сведены в табл. 6.

Таблица 6 – Расчет токов КЗ линии питания вытяжного вентилятора

Место КЗ	Вид КЗ	$R_{\Sigma Ki}$, мОм	$X_{\Sigma Ki}$, мОм	$I_{Ki}^{(3)}$, кА	$i_{уд Ki}$, кА
К1	К ⁽³⁾	31,3	41,4	4,40	7,02
К2	К ⁽³⁾	59,8	43,4	2,98	4,88
К3	К ⁽³⁾	86,7	45,1	2,39	3,71
К4	К ⁽³⁾	120,4	45,0	1,79	3,01

6.5 Проверка цепи электроприемника на электродинамическую стойкость

Одним из режимов работы электрооборудования как на низкое, так и на высокое напряжение, является режим короткого замыкания, при котором характерно резкое скачкообразное увеличение протекающего тока и его повышенное тепловое воздействие, поэтому необходимо это учитывать при выборе оборудования. Основным критерием является выполнение неравенства $i_{дин} \geq i_{удк}$. Результаты проверки электрооборудования из п.п. 6.1 показаны в таблице 7. Данные расчета показывают, что электротехническое оборудование, выбранное ранее, проходят проверку по данному условию, имея следующий запас динамической прочности: ВРУ имеет запас в 3,1 раза, РП – в 4,5 раза, а воздушный автомат в 5,4 раза.

Таблица 7 – Результаты проверки электроаппаратов на стойкость токам КЗ

Электротехническое оборудование	Место возникновения КЗ (см. рисунок 3)	$i_{дин}$, кА	$i_{удКз}$, кА
ВРУ–0,4 кВ КТП	К1	22	6,91
РП	К2	22	4,90
ВА88-29-25AD	К3	20	3,71

6.6 Расчет потерь напряжения

В качестве одного присоединения внось используем вытяжной вентилятор. Чтобы произвести расчет, составим расчетную схему (см. рис. 5) и соответствующую ей схему замещения (см. рис. 6).

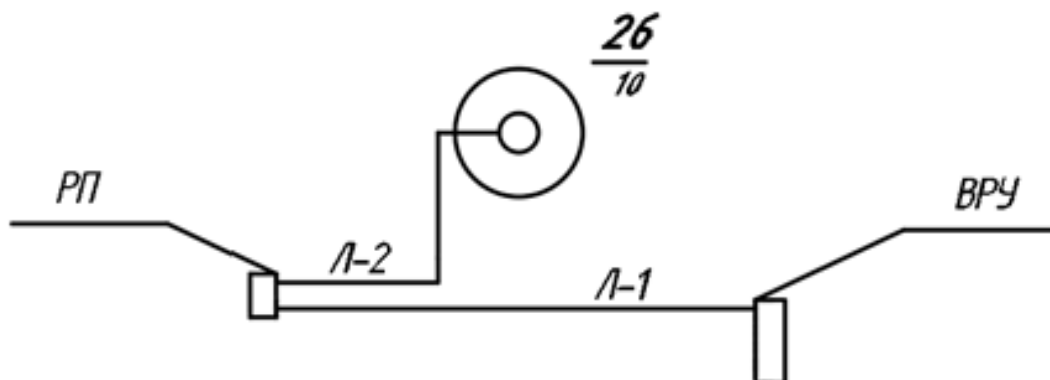


Рисунок 5 – Расчетная схема линии питания вытяжного вентилятора

Потери напряжения определяются по формуле

$$\Delta U_{\%} = \sum \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0) \cdot l_{уч}}{U_{ном}^2} \cdot 100\%, \quad (22)$$

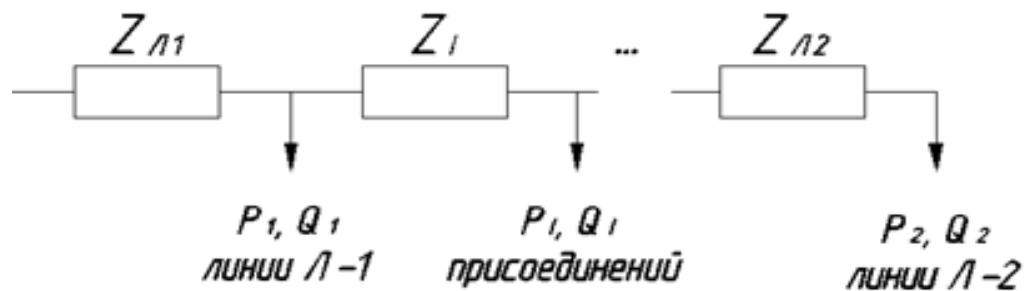


Рисунок 6 – Эквивалентная схема замещения

где « P » – номинальная (установленная) активная мощность электроприемников, которая проходит по участку сети длиной l , Вт;

Q – номинальная (установленная) реактивная мощность электроприемников, идущая по частку сети длиной l , вар;

r_0 – удельное активное сопротивление проводников участка сети, Ом/км;

x_0 – удельное реактивное сопротивление проводников участка сети, Ом/км;

$l_{уч}$ – длина участка сети, м;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение сети, В» [9].

Расчет потерь на линии питания вытяжного вентилятора сведен в таблицу 8.

Таблица 8 – Потери в линии питания вытяжного вентилятора

Исходные данные				Справочные данные	Номинальная реактивная мощность, квар	Длина участка сети, км	Удельное активное сопротивление, Ом/км	Удельное реактивное сопротивление, Ом/км	Потери напряжения, %
по заданию			Коэффициент реактивной мощности						
Наименование ЭП Л-1	Кол-во	Номинальная							
		Одного	Общая						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Л-1									

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вентилятор вытяжной	1	3	3	0,75	2,3	0,035	0,371	0,1	1,2
Л-2									
Вентилятор вытяжной	1	3	3	0,75	2,3	0,04	0,32	0,01	1,1

«Потери напряжения не превышаю допустимые 5%» [3].

Выводы.

Расчеты провели на примере одного электроприемника - вытяжного вентилятора. Максимальный ударный ток короткого замыкания составил 6,91 кА, что не превысило паспортные значения защитных и коммутационных аппаратов, эксплуатируемых в цепи вытяжного вентилятора. Суммарное падение напряжения в цепи вытяжного аппарата составило допустимые 1,2%.

7 Выбор оборудования цеховых подстанций

7.1 Критерии выбора

Подбор электрооборудования трансформаторных подстанций (ТП) необходимо учитывать следующее. «От того, сколько в цеху будет установлено трансформаторных подстанций (ТП), зависит то, какими будут расходы на распределительные устройства и электрические сети. Чем меньше ТП, тем меньше ячеек РУ, а также меньшей является и длина линий, меньшими будут потери электроэнергии в сетях 6-20 кВ. Но при этом возрастут потери в сетях 0,4 кВ и их стоимость. В свою очередь с увеличением количества ТП расходы на цеховые сети будут падать, но при этом возрастет количество ячеек РУ 6-20 кВ и, соответственно, расходы на сети 6-20 кВ» [10].

Удобнее всего в качестве цеховых трансформаторных подстанций использовать уже готовые комплектные трансформаторные подстанции с их расположением внутри цехов. Но на химическом производстве в цехах которого может находиться или находится агрессивная среда КТП располагают за территорией цехов.

7.2 Расчет трансформаторов

Главные критерии выбора – удельная площадь σ (формула 23), электрические нагрузки, коэффициент загрузки и номинальная мощность трансформатора (формула 24). Результат расчета числа трансформаторов сведен в таблицу 9.

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \quad (23)$$

$$N_{ц} = \frac{S_p}{S_{ном.тр} \cdot K_3}, \quad (24)$$

Таблица 9– Число и мощность трансформаторов в цеховых ТП

№ цеха	Название цеха	Расчетная мощность S_p ,	Площадь цеха, м ²	Удельная плотность нагрузки	Категория надёжности	Кз	Число и мощность тр-ров, кВА	Обозначение на генплане
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Заводоуправление, столовая	441,1	1500	0,29	II	0.8		ВРУ 1 от ЦТП 1
2	Цех хлора и каустика	3229	4500	0,72	I	0.7	2·2500	ЦТП 1
3	Компрессорная	168,8	1500	0,11	II	0.8	2·100	ЦТП 2
4	Цех хлорофосфора	1469,7	2975	0,49	II	0.8	2·1000	ЦТП 3
5	Материальный склад	37,8	1125	0,03	III	0.9		ВРУ 1 от ЦТП 5
6	Насосная	121,1	750	0,16	II	0.8	2·100	ЦТП 4
7	Цех метилхлора №1	1096	1125	0,97	I	0.7	2·630	ЦТП 5
8	Цех метилхлора №2	1172,5	1500	0,78	I	0.7	2·1000	ЦТП 6
9	Котельная	615,8	2100	0,29	II	0.8		ЦТП 12
10	Цех металлообработки	224,1	560	0,40	II	0.8		ВРУ 1 от ЦТП 12
11	Склад готовой продукции	32,5	440	0,07	III	0.9		ВРУ 1 от ЦТП 8

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	Цех сульфата аммония №1	1010	380	2,66	I	0.7	2·630	ЦТП 7
13	Цех сульфата аммония №2	1142,4	960	1,19	I	0.7	2·630	ЦТП 8
14	Цех сжигания газов	596,8	1980	0,30	I	0.7	2·400	ЦТП 9
15	Цех синильной кислоты №1	796,2	2660	0,30	I	0.7	2·630	ЦТП 10
16	Цех синильной кислоты №2	618,4	700	0,88	I	0.7	2·400	ЦТП 11

Выводы.

Всего на территории химического предприятия расположено двенадцать цеховых трансформаторных подстанций ЦТП и четыре объекта, расположенных на территории, питаются от ВРУ.

8 Точка расположения ГПП. Картограмма нагрузок

8.1 Точка расположения ГПП

Для нахождения расположения ГПП используем методику, приведенную в [11]. Результаты расчета покажем в виде таблицы 10.

Таблица 10 – Расчет расположения ГПП

Номер и название электроприемника	Координаты приемника		Мощность установленная, кВт	$P_{pi} \cdot x_i$	$P_{pi} \cdot y_i$
	X	Y			
1.Заводоуправление, столовая	42,7	37,3	315	13440	11760
2.Цех хлора и каустика	128,7	100,7	2800	360267	281867
3.Компрессорная	42,0	30,0	135	5670	4050
4.Цех хлорофосфора	137,3	25,3	1260	173040	31920
5.Материальный склад	270,0	285,3	16	4320	4565
6.Насосная	378,7	284,7	90	34080	25620
7.Цех метилхлора №1	270,0	247,3	960	259200	237440
8.Цех метилхлора №2	270,0	210,0	1020	275400	214200
9.Котельная	378,7	187,3	472	178731	88421
10.Цех металлообработки	446,0	258,7	115,1	39645	22993
11.Склад готовой продукции	270,7	111,3	15	4060	1670
12.Цех сульфата аммония №1	392,7	109,3	900	353400	98400
13.Цех сульфата аммония №2	270,7	64,7	1008	272832	65184
14.Цех сжигания газов	392,7	65,3	504	197904	32928
15.Цех синильной кислоты №1	270,7	22,7	654	177016	14824
16.Цех синильной кислоты №2	392,7	22,7	540	212040	12240
ИТОГ			10777,9	2561044	1148082
X= 237,6					
Y=106,52					

8.2 Катограмма нагрузок

Для нахождения расположения ГПП используем методику, приведенную в [11]. Масштаб выбираем произвольно. Радиус окружности определяется по (25).

$$R = 2 \cdot P_c \cdot \pi \cdot M, \quad (25)$$

Цеховая нагрузка суммируется (до 1 кВ, свыше 1 кВ, осветительная). Результаты расчета покажем в виде таблицы 11 и в графической части проекта.

Таблица 11 – Расчет картограммы нагрузок

Наименование цеха	Суммарная расчетная нагрузка, кВт	Расчетная осветительная нагрузка, кВт	Радиус, мм	Угол осветительной нагрузки, град
1	2	3	4	5
1.Заводуправление, столовая	441,1	18,63	15,1	10
2.Цех хлора и каустика	3229	58,995	39,0	7
3.Компрессорная	168,8	8,775	9,1	18
4.Цех хлорофосфора	1469,7	34,89675	33,7	7
5.Материальный склад	37,8	3,20625	5,4	23
6.Насосная	121,1	4,3875	7,4	13,7
7.Цех метилхлора №1	1096	14,74875	29,3	3
8.Цех метилхлора №2	1172,5	19,665	30,2	3
9.Котельная	615,8	12,285	18,1	15
10.Цех металлообработки	134,4	5,2136	15,6	9
11.Склад готовой продукции	32,5	1,254	5,5	45

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5
12.Цех сульфата аммония №1	1010	4,9818	28,5	7
13.Цех сульфата аммония №2	1142,4	11,2608	30,1	6
14.Цех сжигания газов	596,8	18,4338	21,4	9
15.Цех синильной кислоты №1	796,2	34,8726	24,4	9
16.Цех синильной кислоты №2	618,4	9,177	22,2	11
17. Компрессорная, 6кВ	5000	0	51,5	0
18, Насосная, 6 кВ	2000	0	32,6	0

Выводы.

Определены рекомендуемые координаты расположения главной понизительной подстанции: X=237,6 м; Y=106,52 м.

9 Компенсация реактивной мощности

«Одним из показателей, характеризующих необходимость компенсации реактивной мощности является ее экономическая целесообразность

$$Q_3 = \bar{P}_p \cdot \operatorname{tg} \phi_3, \quad (26)$$

где \bar{P}_p – математическое ожидание расчетной активной нагрузки потребителя на границе балансового разграничения с энергосистемой (27);

$\operatorname{tg} \phi_3$ – максимальное значение экономического коэффициента реактивной мощности, определяемого оптимизационным ($\operatorname{tg} \phi_{30}$) или нормативным ($\operatorname{tg} \phi_{3н}$) методами. Если потребитель получает питание от сети до 1000В $\operatorname{tg} \phi_{3н}=0,15$ » [12].

$$\bar{P}_p = P_p \cdot K_0, \quad (27)$$

где K_0 – коэффициент приведения. Принимаем в учебных расчетах $K_0=0,9$ [12].

$$\bar{P}_p = 16317 \cdot 0,9 = 15008 \text{ кВт},$$

$$Q_3 = 15008 \cdot 0,15 = 2251 \text{ квар}.$$

9.1 Расчет реактивной мощности

«Располагаемая реактивная мощность синхронных двигателей, имеющих $P_{д.н} > 2500$ кВт или $n > 1000$ мин⁻¹ (независимо от величины $P_{д.н}$), используется для компенсации реактивной мощности во всех случаях без обосновывающих расчетов. Величина реактивной

мощности, генерируемой этими группами синхронных двигателей, определяется по формуле» [13]

$$Q_{д1} = 0,2 \cdot Q_{дн}, \quad (28)$$

$$Q_{д1} = 0,2 \cdot (2711 + 998) = 739,7 \text{ квар.}$$

Выбираем КРМ 6,3-2200.

9.2 Расчет компенсации реактивной мощности

После определения $Q_{бнк1}$, $Q'_{сд}$ и $Q_{э}$ вычисляется величина дисбаланса по реактивной мощности

$$\Delta Q' = \bar{Q}_p - Q_{бнк1} - Q'_{сд} - Q_{э}, \quad (29)$$

$$\Delta Q' = 9209 - 4411 - 741,8 - 2198 = 1858,2 \text{ квар}$$

9.3 Трансформаторы ГПП

Если на КТП применяются два трансформатора, то их мощность рассчитывается по формуле

$$S_{ном.т} = (0,65 - 0,7) \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{N_{цехов}} (P_{pci} + P_{poi}) + \Delta P_T\right)^2 + \left(\Delta Q_T + \sum_{i=1}^{N_{цехов}} (Q_{pci} + Q_{poi} - Q_{бнк1} - Q'_{сд} - \Delta Q')\right)^2}; \quad (30)$$

$$S_{пгпп} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{N_{цехов}} (P_{pci} + P_{poi})\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{N_{цехов}} (Q_{pci} + Q_{poi} - Q_{бнк1} - Q'_{сд} - \Delta Q')\right)^2}, \quad (31)$$

где « ΔP_T – потери активной мощности в трансформаторе, приближенно определяемые по (32);

ΔQ_T – потери реактивной мощности в трансформаторе. Приблизительно потери в трансформаторах при напряжении на высокой стороне 110 кВ равны 10% от $S_{pГПП}$ [13].

$$\Delta P_T = (0,05 \div 0,06) \cdot \sum_{i=1}^{N_{\text{цехов}}} (P_{pci} + P_{poi}), \quad (32)$$

$$\Delta P_T = 0,05 \cdot 15299 = 491,4 \text{ кВт}$$

$$S_{pГПП} = \sqrt{15299^2 + (10241 - 4364 - 735 - 1915)^2} = 16633 \text{ кВА}$$

$$S_{\text{ном.т}} = 0,7 \sqrt{(16317 + 489,5)^2 + (10241 + 1932 - 4364 - 735 - 1915)^2} = 12306 \text{ кВА}$$

Выбрали трансформатор $S_{\text{ном}}=16000$ кВА. Проверяем его на перегрузку, приняв коэффициент перегрузки $K_2=1,4$

$$S_{\text{ном.т}} \cdot K_2 \geq S_{pГПП},$$

$$16000 \cdot 1,4 = 22400 \text{ кВА} \geq 16633 \text{ кВА}$$

Условие выполняется.

Выводы.

Расчеты показали необходимость компенсации реактивной мощности конденсаторными установками КРМ 6,3-2200.

10 Выбор высоковольтного оборудования

10.1 Определение токов КЗ

«Токи КЗ рассчитывают на основе расчётной схемы системы электроснабжения, а с помощью этой схемы создается схема замещения, которая и необходима для расчёта токов короткого замыкания. На расчётной схеме указаны элементы системы электроснабжения, а также параметры, оказывающие влияние на ток КЗ. Также на расчётной схеме указаны точки, где нужно определить ток короткого замыкания.

Схема замещения соответствует расчётной, в ней все магнитные связи заменены электрическими, а все элементы системы представлены в виде сопротивлений. Рассчитывать токи КЗ будем в относительных единицах» [14].

Необходимо выбрать величину U_6 (среднее напряжение ступени, где есть КЗ) и базисную мощность S_6 (мощность одного трансформатора). Составляем расчётную схему (см. рисунок 7) и соответствующую ей схему замещения (см. рисунок 8)

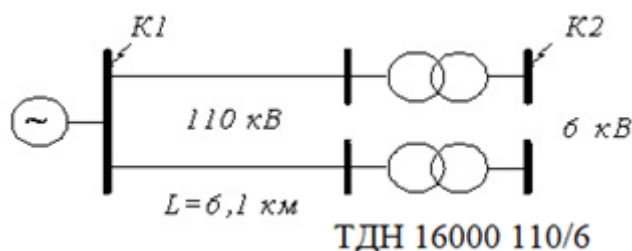


Рисунок 7- Расчетная схема токов КЗ

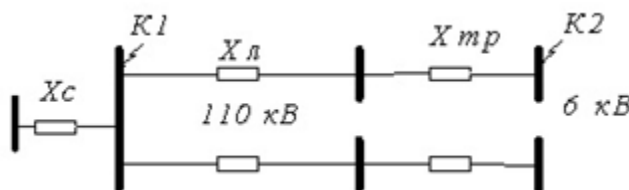


Рисунок 8- Схема замещения для расчета токов КЗ

Параметры короткого замыкания для точки К1: $S_6 = 1500 \text{ МВ}\cdot\text{А}$, $U_6 = 110 \text{ кВ}$. Принимаем раздельную работу фаз трансформатора. Расчет базисного тока I_6 , сопротивления системы X_c , тока КЗ I_1 в точке К1:

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \text{ кА}; \quad (33)$$

$$I_{61} = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 110} = 7,87 \text{ кА};$$

$$X_{c1} = \frac{S_6}{S_{кз}}; \quad (34)$$

$$X_{c1} = \frac{1500}{1500} = 1 \text{ о. е.};$$

$$I_{к1} = \frac{I_6}{X_c}, \text{ кА}; \quad (35)$$

$$I_{к1} = \frac{7,87}{1} = 7,87 \text{ кА}.$$

По формулам (33, 34, 36) рассчитаем параметры тока КЗ в точке К2 приняв $S_6 = 1500 \text{ МВ}\cdot\text{А}$, $U_6 = 10,5 \text{ кВ}$.

$$I_6 = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 6} = 144 \text{ кА};$$

$$X_c = \frac{1500}{1500} = 1 \text{ о. е.};$$

$$X_{л} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \text{ о. е.}; \quad (36)$$

$$X_{л} = 0,4 \cdot 9 \cdot \frac{1500}{110^2} = 0,44 \text{ о. е.}$$

Сопротивление трансформатора на стороне ВН в ГПП

$$X_T = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_6}{S_H}, \text{ о. е.}; \quad (37)$$

$$X_T = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{1500}{16} = 7,03 \text{ о. е.}$$

Ток КЗ на ВН 6,5 кВ цеховых КТП

$$I_{к2} = \frac{I_6}{X_c + X_{л1} + X_T}, \text{ кА}; \quad (38)$$
$$I_{к2} = \frac{144}{1 + 0,44 + 7,03} = 17 \text{ кА}.$$

10.2 Выбор разъединителей, выключателей 110 кВ

При выборе разъединителя необходимо руководствоваться следующими критериями: «напряжение уставки должно быть меньше или равно номинальному напряжению разъединителя $U_{уст} \leq U_{ном}$, расчетный ток должен быть меньше или равен максимальному длительному току аппарата $I_p \leq I_{ном}$, расчетный ток в послеаварийном режиме должен быть меньше номинального тока разъединителя $I_{мах} \leq I_{ном}$, динамическая устойчивость аппарата должна быть выше токов короткого замыкания, протекающего через аппарат» [15].

Выбираем:

- а) в ОРУ 110 кВ – разъединитель РГНП-110/1000 УХЛ;
- б) в ОРУ 110 кВ – выключатель ВЭБ–110–40/1000 У2.

Проверяем их по критериям выбора и устойчивости:

$$U_{уст} \leq U_{ном},$$
$$110 \text{ кВ} = 110 \text{ кВ},$$
$$I_p \leq I_{ном},$$
$$I_{мах} \leq I_{ном},$$
$$\frac{1,4 \cdot S_{тр}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1,4 \cdot 16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 117 \text{ А}; \text{ А} < 1000 \text{ А},$$
$$i_y \leq i_{пр}, \text{ с},$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{по} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 7,87 = 18,9 \text{ кА} < 31,5 \text{ кА}.$$

Условия выполняются.

10.3 Выбор ограничителей перенапряжений 110 кВ

Выбор ограничителей перенапряжений производится по номинальному уровню напряжения $U_{ном} \geq U_{сети}$. Выбираем модель PEXLIM R 114 УН123 от компании АВВ с номинальным рабочим напряжением 114 кВ.

10.4 Выбор трансформаторов тока

Произведем расчет трансформатора тока на стороне высокого уровня. Суммарная нагрузка ТТ по трем фазам составляет 9А, которая складывается из токов, подключенных ко вторичной обмотке контрольно-измерительных приборов: амперметра Э-335, счетчика активной энергии И-680 и счетчика реактивной энергии И-676. Выбираем к установке модель трансформатора тока ТОГФ–110М–У1 с $S_{2ном}=20\text{ВА}$, класс точности 0,5. Проверяем его по критериям:

$$\begin{aligned} U_{уст} &\leq U_{ном}, \\ 110 \text{ кВ} &= 110 \text{ кВ}, \\ I_{р.мах} &\leq I_{ном.тт}, \\ \frac{1,4 \cdot S_{тр}}{\sqrt{3} \cdot U} &= \frac{1,4 \cdot 16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 117\text{А}; \\ 117\text{А} &\leq 150\text{А}. \end{aligned}$$

Проверим ТТ на стойкость токам короткого замыкания:

$$i_y \leq k_{дин} \sqrt{2} I_{ном.тт}, \quad (39)$$

где $k_{\text{дин}}=280$ – коэффициент электродинамической стойкости [14];

$I_{\text{ном.т.т}}=150\text{А}$ – по паспортным данным ТТ

$$i_y \leq 280 \cdot \sqrt{2} \cdot 150 = 59,22 \text{ кА}$$

Так как ударный ток в цепи ТТ равен 5,6 кА, выбранный ТТ удовлетворяет условию противодействия тока КЗ.

10.5 Выбор трансформаторов напряжения

«Трансформатор напряжения используется с целью уменьшения напряжения при его высоких показателях до стандартной величины, а также для отделения цепей измерительных приборов и релейной защиты от цепей высокого напряжения. Чтобы обеспечить безопасность обслуживающему персоналу, необходимо заземлить один из выводов вторичной обмотки. Выбор этого трансформатора осуществляется на основании $U_{\text{ном}}$ первичной цепи и классу точности. Нет необходимости в проверке электродинамической стойкости трансформатора» [16].

Выбираем трансформатор напряжения (ТН) по номинальному току и проверяем его на динамическую стойкость: НАМИ–110, класс точности 0,5, $S_{\text{ном}} = 150\text{ВА}$. Суммарная нагрузка вторичной цепи ТН составляет 14 Вт и образуется вольтметром Э-335, счетчиком активной энергии И-680 и счетчиком реактивной энергии И-676. Их суммарная нагрузка равна

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\Sigma P_{\text{приб}})^2 + (\Sigma Q_{\text{приб}})^2}, \quad (40)$$

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{14^2 + 24,2^2} = \sqrt{196 + 585,64} = 30\text{ВА},$$

$$30 \text{ ВА} < 150 \text{ ВА}.$$

Проверка выполнена.

10.6 Выбор основного электрооборудования и электроаппаратуры 6 кВ

Для установки в РУ-6 выбрали вакуумные выключатели ВВ/TEL 6–80/1000 У2 с коммутационной способностью до 20 кА (см. таблицу 12).

Таблица 12 – Проверка вакуумного выключателя

Проверка	Практическая величина	Теоретическая величина
$U_{ном} \geq U_{уст}$	$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	6 кВ
$I_{ном} \geq I_{мах}$	$I_{макс} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{16633}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1600 \text{ А};$	1600 А
$I_{отк} \geq I_{по}$	$I_{к2} = 17 \text{ кА}$	20 кА
$i_{пр} \geq i_y$	$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{по} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 17 = 41, \text{ кА};$	51 кА
$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$	$B_k = I_{по}^2 \cdot (T_a + t_o) = 17^2 \cdot (0,05 + 1,6 + 0,025) = 484 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$	$20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Для установки в цеховых подстанциях в РУ-6 применим выключатели нагрузки ВНР-10/400–10ЗУ3. Для примера произведем выбор предохранителя на цеховой трансформатор $S_{ном}=1000$ кВА. Для этого рассчитаем ток плавкой вставки:

$$I_{пл.вс} \geq k \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (41)$$

$$I_{пл.вс} \geq \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 128 \text{ А}.$$

Выбираем тип предохранителя: ПКТ–104–10–160–20–У3 с $I_{ном}=160$ А и $I_{откл}=20$ кА.

Результаты выбора сечения кабелей 6 кВ сведены в таблицу 13.

Таблица 13 – Результаты выбора сечения кабелей 6 кВ

Наименование ЭП	Активная Pp, кВт	Реактивная Qp, квар	Полная мощность Sp,кВА	Расчетный ток I _{нррасч} , А	Послеаварийный ток I _{павррасч} , А	Сечение провода, мм ²	Длительный ток I _{доп} , А	Фактический ток, I _ф , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЦТП 1	3192,63	1743,12	3670,07	176,79	353,57	150	335	397,98
ЦТП 2	1294,9	670,6	469,7	22,63	45,25	25	115	136,62
РП 1	3643,7	2741,3	4561,1	219,71	439,41	185	385	457,38
РП 2	1494,3	1124,9	1871,1	90,13	180,26	95	255	302,94
РП 4	2110,2	1955,3	2878,4	138,65	277,30	120	295	350,46
ЦТП 5	993,9	522,9	1133,8	54,61	109,23	50	175	207,9
ЦТП 6	1039,6	527,9	1172,5	56,48	112,96	50	175	207,9
ЦТП 12	609,4	464,0	770,4	37,11	74,22	35	140	166,32
РП 3	2963,4	1520,7	3357,0	161,71	323,41	150	335	397,98
ЦТП 7	905,0	444,5	1010,0	48,65	97,30	50	175	207,9
ЦТП 8	1035,5	535,7	1174,9	56,59	113,19	50	175	207,9
ЦТП 9	522,4	275,9	596,8	28,75	57,50	25	115	136,62
ЦТП 10	688,8	377,0	796,2	38,35	76,71	35	140	166,32
ЦТП 11	549,2	277,4	618,4	29,79	59,58	25	115	136,62

Выводы.

По результатам расчета и проверок на электродинамическую устойчивость была подтверждена возможность применения предварительно выбранного электрооборудования для применения на проектируемой подстанции.

11 Электромонтажные работы

Предприятие будет обеспечено электроснабжением с помощью ВЛЭП напряжением 110 кВ. этот выбор был сделан на основании исходных данных проекта. Преимущество ВЛЭП в том, что они значительно дешевле кабельных линий, именно поэтому они и были выбраны.

Кабельной линией называют совокупность устройств, предназначенных для транспортировки электроэнергии по одному или нескольким кабелям, расположенным параллельно друг к другу. Дополнительными элементами кабельной линии являются крепежи, концевые, стопорные, соединительные муфты, а если используются маслonaполненные кабели, то также в комплекс входят и аппараты подпитки.

Силовой кабель имеет медные или алюминиевые токопроводящие жилы, выбор которых осуществляется по сечению: они бывают круглого, секторного или сегментного сечения. Также классифицируются кабели и по количеству жил: бывают от одно- до четырехжильные.

Кабели заглубляют в пол или в грунт. Заглубление может быть полным (до 1,2 м) или частичным (когда они выступают на 150...350 мм над отметкой). Кабельный канал помещает в себя от 6 до 35 кабелей. Но если удвоить кабельные каналы, то количество кабелей в них может быть увеличено.

Выводы.

Благодаря использованию кабельных каналов исключается возможность негативного воздействия на кабели агрессивной среды грунта, а также блуждающих токов. Также с помощью кабельного канала намного проще ремонтировать линии.

12 Экономический расчет

12.1 Определение капитальных вложений

Расчет капиталовложений представлен в табличном виде (см. таблицу 14)

Таблица 14 – Экономический расчет

Оборудование	Количество	Стоимость, тыс.руб.			
		Цена	Транспор- тные рас- ходы	Расходы на монтаж	Полная стои- мость
1	2	3	4	5	6
ГПП					
Силовой трансформатор ТДН–16000/110–У1	2	18440	4000	9840	59100
Выключатель ВЭБ–110 Ш – 40/1000 У1.	3	1660	298	698	7955
Разъединитель РГПП-2 110/1000 УХЛ1	8	120	31	59,8	1774
Разъединитель РГПП-1 110/1000 УХЛ1	2	119	30	59,7	399,7
Ограничитель перенапряжения РЕХЛIM R 114 УН123	6	51	10,5	25,6	504,8
Ограничитель перенапряжения MWK- 08	2	22,6	5,5	9,8	80,5
Трансформатор тока ТОГФ–110 УХЛ1	9	90,5	18,5	39,8	1277,7
Трансформатор напряжения НАМИ	2	200	40	100	712

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6
Заземлитель ЗОН-110М-I УХЛ1.	2	39,5	7,9	21,1	140,77
Выключатель ВВУ-СЭЩ-Э(П)-10 12,5/1600 У2	3	119,3	19,17	59,5	599,32
Выключатель ВВУ-СЭЩ-Э(П)1012,5/1000У2	14	109,4	19,8	49,4	3114,1
Трансформатор напряжения НАМИ-10-95 УХЛ2	2	39	9,3	19	150,7
Ячейка КРУ СЕЩ-59	20	90,2	20,11	39,11	3088,1
Трансформатор ТСЗР -400/6/0,4У3	2	300,4	49,97	140,14	1007,6
Батарея конденсаторов ВАРНЕТ ВА 1000	2	264,1	49,86	119,7	909,31
Итого ГПП		4622,53	12746,71	91461,55	4633,1
КЛ					
ААБ 3x120-6	1,42	997,23	230,15	570,11	2998,11
ААБ 3x95-6	0,95	989,88	231,44	574,12	1940,22
ААБ 3x50-6	1,92	996,57	211,33	499,89	3417,3
Итого по КЛ			672,92	1644,12	8355,63
КТП					
КТП ТК -2500/6/0,4	1	1958	391,6	979	3328,6
Трансформатор ТМГ -2500/6/0,4	2	726	145,2	363	2468,4
КТП ТК -1000/6/0,4	2	1356	271,2	678	4610,4
Трансформатор ТМГ -1000/6/0,4	4	421,4	84,28	210,7	2865,56
КТП ТК 630/6/0,4	5	643	128,6	321,5	5465,5

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6
Трансформатор силовой ТМГ 630/6/0/4	10	293,7	58,74	146,85	4992,9
КТП ТК 400/6/0/4	2	431	76,9	195,4	703,3
Трансформатор силовой ТМГ 400/6/0/4	4	183,6	32,51	101,73	1271,36
Итого конструкции КТП			1189,03	2993,24	25706,0 2
Итого общая			6255,47	15638,66	125458, 5

12.2 Определение годовых расходов

Затраты на эксплуатацию системы электроснабжения представлены в таблице 15.

Таблица 15 - Затраты на обслуживание

Название	К, тыс. руб.	%	Иэ, тыс. руб.
ГПП 110/10 кВ	87230,49	9	7850,74
Кабельные линии 6 кВ	7911,53	3	237,35
КТП 10/0,4 кВ	30316,44	11	3334,81
ΣИэ тыс. руб.			11422,9

Выводы.

Полная стоимость капиталовложений, необходимых для инвестирования в проект создания системы электроснабжения химического предприятия составляет 125458,5 тысяч рублей.

13 Расчет заземляющего устройства

Расчет заземления цеховой ТП выполним по методике, изложенной в [17]. Рассчитаем количество заземлителей и их расположение. Принимаем: длину вертикального заземлителя 2000 мм, диаметр вертикального заземлителя 25 мм, расстояние от поверхности до середины заземлителя 2000 мм, удельное сопротивление грунта 100 Ом·м, корректирующий коэффициент $K_k=1,5$, грунт – суглинок, длину горизонтального заземлителя 600 мм, диаметр вертикального заземлителя 25 мм, сопротивление заземлителей – 20 Ом, дополнительное сопротивление 5 ом. Тогда:

$$R_{и} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \quad (42)$$

$$R_{и} = \frac{20 \cdot 0,5}{20 - 0,5} = 0,53 \text{ Ом},$$

$$\rho_p = k \cdot \rho_{rp}, \quad (43)$$

$$\rho_p = 1,5 \cdot 100 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$R_{BO} = \frac{\rho_p}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right), \quad (44)$$

$$R_{BO} = \frac{150}{2\pi \cdot 2} \left(\ln \frac{2 \cdot 2}{0,025} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2 + 1}{4 \cdot 2 - 1} \right) = 34,62 \text{ Ом},$$

$$N_B = \frac{R_{BO}}{n_b - R_{и}}, \quad (45)$$

$$N_B = \frac{34,62}{0,65 \cdot 0,513} = 104 \text{ шт},$$

$$R_{\Gamma} = \frac{1}{n_{\Gamma}} \cdot \frac{\rho_p}{2\pi \cdot l} \ln \frac{2l^2}{b+t}, \quad (46)$$

$$R_{\Gamma} = \frac{1}{0,33} \cdot \frac{150}{2\pi \cdot 600} \ln \frac{2 \cdot 600^2}{0,01+1} = 2,18 \text{ Ом},$$

$$R_B = \frac{2,18 \cdot 0,513}{2,18 - 0,513} = 0,67 \text{ Ом}$$

$$N_B = \frac{34,62}{0,65 \cdot 0,67} = 80$$

Таким образом получили 80 заземлителей расположенных по сетке.

14 Расчет молниезащиты ГПП

Выбор молниеотвода для ГПП осуществляется на основании особенностей конструкции здания, которое необходимо защитить, а также от условий размещения. Например, распределительные устройства подстанции открытого типа 110 кВ необходимо защитить молниеотводами (см. рисунок 9)

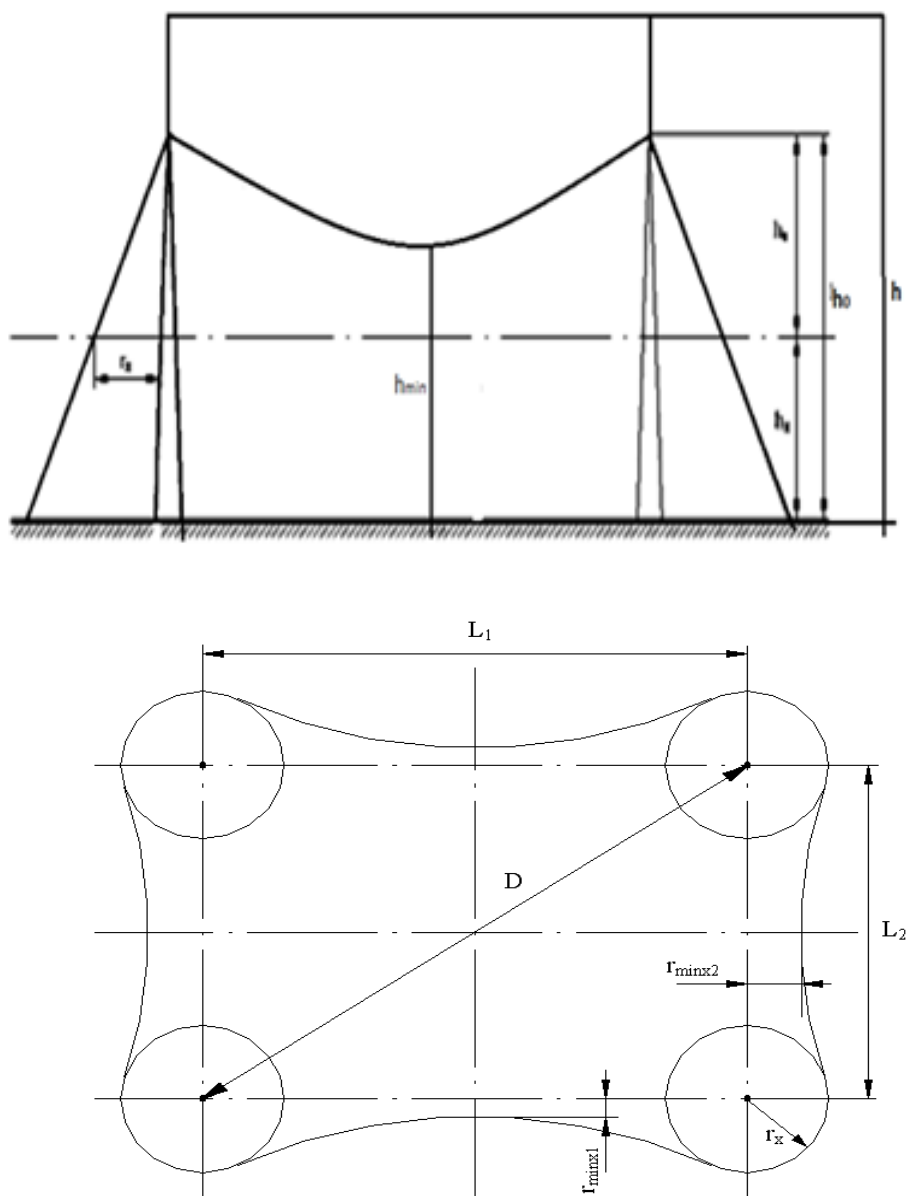


Рисунок 9 – Схема молниезащиты

Согласно [18] используем «четыре молниеотвода стержневого типа и установим их на территории ГПП. Располагать их следует по углам прямоугольника, длина которого составляет 46 м, а ширина – 27 м. Условно примем вероятность прорыва разряда равной 0,05%. Расположение молниеотводов друг от друга по диагонали будет составлять 53,34 м» [18]

Высота стержня

$$h_a = \frac{D}{8}, \text{ м.}, \quad (47)$$

$$h_a = \frac{53,34}{8} = 6,67 \text{ м.}$$

Высота молниеотвода

$$h = h_a + h_x, \text{ м}, \quad (48)$$

$$h = 6,67 + 11,35 = 18,02 \text{ м.}$$

Радиус зон защиты

$$r_0 = 1,5 \cdot h, \quad (49)$$

$$r_0 = 1,5 \cdot 18,02 = 28,5 \text{ м}$$

$$r_x = 1,4 \left(h - \frac{h_x}{0,90} \right), \text{ м}, \quad (50)$$

$$r_x = 1,4 \left(19 - \frac{11,35}{0,90} \right) = 9 \text{ м.}$$

Расстояние от земли до нижней точки портала

$$h_0 = 0,88 \cdot h, \text{ м}, \quad (51)$$

$$h_0 = 0,88 \cdot 19 = 16,97 \text{ м}$$

Принимаем защищенное расстояние от земли до объекта: $h_0 = 16,97 \text{ м} = h_{\min 1} = 16,97 \text{ м.}$

Расстояние от земли до нижней точки портала если $L_2=31,5$ м:

$$h_{\min 2} = h_0 - 0,13(L_2 - 1,4 \cdot h), \text{ м}, \quad (52)$$

$$h_{\min 2} = 17,48 - 0,13(31,5 - 28,5) = 17,06 \text{ м}$$

Полученные значения защищенного расстояния выше высоты расположенного на ГПП портала, а значит порталы попадают под защиту.

Определим защитные радиусы для 46 м $r_{\min x1}$ и 27 м $r_{\min x2}$:

$$r_{\min x1} = r_x = > 0; \quad (53)$$

$$r_{\min x1} = r_x = 10 \text{ м} > 0;$$

$$r_{\min x2} = r_0 \frac{h_{\min 2} - h_x}{h_{\min 2}} > 0. \quad (54)$$

$$r_{\min x2} = 28,5 \cdot \frac{17,69 - 11,35}{17,69} = 10,21 \text{ м} > 0.$$

Выводы.

Молниезащита является необходимым мероприятием для обеспечения надежной работы электрических подстанций. Произведенный расчет показал, что принятые меры по обеспечению защиты от ударов молнии обеспечивают надежную защиту.

Заключение

Спроектирована система электроснабжения химического завода и его структурного подразделения - цеха металлообработки. Основным назначением цеха является проведение ремонтно-восстановительных работ технологического металлоемкого оборудования и удовлетворение потребностей химического предприятия в металлических изделиях

Был выполнен расчет электрических нагрузок всего предприятия по его цехам и отдельно цеха металлообработки. Полная потребляемая мощность всего предприятия 2878,4 кВА, цеха металлообработки 154,66 кВа. На основании расчета электрических нагрузок было рассчитано и подобрано высоковольтное и низковольтное оборудование, выбраны схемы электроснабжения завода и цеха металлообработки.

На ГПП установлены два силовых трансформатора ТДН-16000/110/6 кВ. Общая активная нагрузка, подключенная к ГПП равна 10779 кВт. Для ГПП выбрано и проверено на динамическую стойкость следующее защитное оборудование: разъединитель РГНП-110/1000 УХЛ; выключатель ВЭБ-110-40/1000 У2, ограничитель напряжения РЕХЛИМ R 114 УН123

однолинейная схема электроснабжения цеха металлообработки. Цех питается от ТП-12 и трансформатор ТМГ – 630/6/0,4-У3. суммарная активная нагрузка цеха металлообработки $S=124,33$ кВт. Питание приходит на вводное распределительное устройство и от него распределяется по цеху.

Напрямую с ВРУ питаются вентиляторы колорифера мостовой кран, конвейер и щит освещения. По остальным электроприемникам электричество раздается по 5 шинпроводам типа ШРМ-75. Большинство электрических цепей защищены от перегрузки и короткого замыкания воздушными автоматическими выключателями типа ВА51-35.

Список используемых источников

1. Вебинар №2 «Решение iRZ Collector»: [Электронный ресурс] / Электрон.дан. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=So-dgP2PQM> (дата обращения 18.05.2021).
2. Воротницкий В.Э. Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Динамика, структура, методы анализа и мероприятия / В.Э. Воротницкий, М.А. Калинкина, Е.В. Комкова и др.// Энергосбережение, 2016. – № 2.
3. Выбор числа и мощности трансформаторов [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Школа для электрика». URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/795-vybor-chisla-i-moshhnosti.html> (дата обращения 20.03.2021).
4. Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Электроэнергетика». URL: <https://forca.com.ua/transformatori/praktika/vybor-chisla-i-moschnosti-transformatorov-cehovyh-transformatornyh-podstancii.html>(дата обращения 15.03.2021).
5. Грибанов, А.А. Светотехнический расчёт осветительных установок производственных помещений: Задания и методические указания к выполнению контрольной работы по курсу «Электрическое освещение» студентами специальности 14.02.11 – «Электроснабжение» (по отраслям) [Текст] / А.А. Грибанов / Алт. гос. техн. ун–т им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2017. – 55 с.
6. Гуртовцев А. Комплексная автоматизация энергоучета на промышленных предприятиях и хозяйственных объектах / А. Гуртовцев // СТА, 2016. – №3
7. Измерительные трансформаторы напряжения [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Школа для электрика». URL:

<http://electricalschool.info/main/electroshemy/512-izmeritelnye-transformatory.html> (дата обращения 22.03.2021).

8. МЗ662. Руководство по выполнению расчетов токов короткого замыкания в сетях промышленных предприятий [Электронный ресурс] / офиц. изд. URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293771/4293771683.htm> (дата обращения 14.02.2021).

9. Мироновский Л.А. Алгоритмы оценивания результата трех измерений / Л.А. Мироновский, В. А. Слаев. – СПб.: «Профессионал», 2016. – 192 с.

10. Молниезащита ГПП [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Studbooks.net». URL: https://studbooks.net/1977503/matematika_himiya_fizika/molniezaschita_glavnoy_ponizitelnoy_podstantsii (дата обращения 22.03.2021).

11. ОНТП-14-86 Нормы технологического проектирования предприятий металлообработки [Электронный ресурс] / офиц. изд. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293846/4293846736.htm> (дата обращения 13.02.2021).

12. Определение места расположения ГПП. Расчет картограмм нагрузок [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Studbooks.net». URL: https://studbooks.net/2049364/matematika_himiya_fizika/opredelenie_mesta_rasp_olozheniya_raschet_kartogrammy_nagruzok (дата обращения 15.03.2021).

13. Определение экономического значения реактивной мощности, потребляемой из энергосистемы [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Studbooks.net». URL: https://studbooks.net/2028930/matematika_himiya_fizika/opredelenie_ekonomicheskogo_znacheniya_reaktivnoy_moschnosti_potreblyayemo_y_energostemy (дата обращения 17.03.2021).

14. Петрова Ю.О. Руководство пользователя iRZ ATM2-485 / Ю.О. Петрова. – Волгоград: ООО «СИМЭНЕРГО», 2017

15. Положение о технической политике в распределительном электросетевом комплексе. Приложение к распоряжению ОАО РАО «ЕЭС России» и ОАО «ФСК ЕЭС» от 25.10.2006 № 270р / 293р [Электронный ресурс] / URL: http://www.ciuses.ru/uploaded/document_files/25/Polozhenie_o_tekhnicheskoy_politike_v_raspridelitel_nom_setevom_komplekse.pdf (дата обращения 18.05.2021).

16. Потери напряжения в электрических сетях 10(6)/0,4/0,23 кВ [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Проектирование электрических сетей». URL: <http://www.likeproject.ru/article.php?cont=long&id=1> (дата обращения 13.03.2021).

17. Правила устройства электроустановок [Текст] : все действующие разделы ПУЭ-7 по состоянию на 1 января 2006 г. – 7-е изд. – Новосибирск : Сиб. унив. изд-во, 2016. – 512 с. : ил. – ISBN 5-94087-547-5.

18. Прайс-лист оборудование построение автоматизированных систем учета энергоресурсов, контроля и управления технологическими процессами. Группа компаний Системы и Технологии. Базовые цены на оборудование с 20.06.2017 г. [Электронный ресурс] / URL: <http://www.sicon.ru/about/> (дата обращения 15.05.2021).

19. Преобразователь интерфейса ПИ-2. Паспорт илгш.468152.003пс. Нижегородский завод имени М.В.Фрунзе [Электронный ресурс] / URL: <https://www.nzif.ru/uploads/sert/energo/pi/pi2.pdf> (дата обращения 15.05.2021).

20. Промышленное производство и окружающая среда [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Энергетика и промышленность России». URL: <https://www.eprussia.ru/epr/253/16331.htm> (дата обращения 10.03.2021).

21. Разъединители наружной установки [Электронный ресурс] / URL: <https://electroshield.ru/catalog/razyediniteli-i-vla/razediniteli-naruzhnoy-ustanovki-110-kv/#tab-2> (дата обращения 20.03.2021).

22. Расчет защитного заземления цеховых трансформаторных подстанций [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Vuzlit.ru».

URL:

https://vuzlit.ru/157704/raschet_zaschitnogo_zazemleniya_tsehovyh_transformatornyh_podstantsiy (дата обращения 22.03.2021).

23. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий : учебник для студ. сред. проф. образования [Текст] / Ю.Д. Сибикин. – 2-е изд., испр. – М. : Издательский центр «Академия», 2017. – 368 с.

24. СТО ДИВГ-058-2017 Расчет токов коротких замыканий и замыканий на землю в распределительных сетях. Методические указания [Электронный ресурс] / URL: https://www.mtrele.ru/files/project/raschet_ustavok/raschet_tokov_korotkih_zamykanij_i_zamykanij_na_zemlyu_v_raspredelitelnyh_setyah.pdf (дата обращения 20.03.2021).

25. Химический завод: деятельность, схема, цеха [Электронный ресурс] / URL: <https://cxz.ru/about/> (дата обращения 13.02.2021).

26. Хомутов, С. О. Выпускная квалификационная работа бакалавра : Методические указания для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения / С. О. Хомутов, И. В. Белицын, А. Р. Упит. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2016. – 71 с.

27. Cameron C.A., Trivedi P.K. Regression Analysis of Count Data. Cambridge University Press, 2018. – 434 p.

28. Hornik K., Stinchcombe M., White H. Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators // Neural Networks. – 2016. – Vol. 2. – P. 359 – 366

29. Hosmer D.W., Lemeshow S., Sturdivant R.X. Applied Logistic Regression. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016. – pp 1–39.

30. Masters T. Practical Neural Network Recipes in C++. Morgan Kaufmann, 2016. – 493 p.

31. Olsson U. Generalized Linear Models: An Applied Approach. Lund: Studentlitteratur, 2018. – 244 p