

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

Институт энергетики и электротехники  
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование кафедры)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий,  
организаций и учреждений  
(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Электрооборудование и электрохозяйство группы цехов ПАО  
«КуйбышевАзот»

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Студент	<u>А.В. Барабанщиков</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>А.А. Терентьев</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>И.Ю. Усатова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

### Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор, В.В.Вахнина  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) \_\_\_\_\_  
(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2019

## АННОТАЦИЯ

В выпускной квалификационной работе было реконструировано электрохозяйство и электрооборудование корпуса 06 химического предприятия ПАО «КуйбышевАзот».

В работе спроектирована и рассчитана новая система электрического освещения.

Рассчитаны электрические нагрузки после замены электрических двигателей и новой системы электрического освещения.

Также в работе рассчитаны и выбраны новые силовые трансформаторы, произведен расчёт компенсации реактивной энергии и выбраны компенсирующие устройства.

Выбраны сечения силовых кабелей для внутрицехового электроснабжения, а также новые автоматические выключатели и магнитные пускатели.

Выполнен расчёт токов короткого замыкания для самого мощного электрического приёмника и для самого удаленного от распределительного щита.

Произведен расчёт защитного заземления корпуса 06.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки объемом в 60 листов, включает в себя 20 таблиц, 6 рисунков и 31 литературных источников, включая 5 на иностранном языке, а также графической части на 6 листах формата А1.

## ABSTRACT

The title of the graduation work is «Electrical equipment and electrical facilities of workshops of PJSC «KuibyshevAzot».

The object of the graduation work is a chemical building of the "KuibyshevAzot" for the production of ammonia. It was built in 1976 and has not been changed since. The installed equipment get morally and physically old, so it is necessary to make a reconstruction. Need to replace the engines with more powerful ones, to design a new lighting system, to replace the protective and starting equipment.

To achieve the goal, new explosion-proof electric motors were chosen. A new lighting system was designed using LED explosion-proof luminaires. Electrical loads after replacing the equipment were calculated. Based on the received power, new power transformers were selected and reactive power compensation was calculated. Designed and selected new circuit breakers and magnetic starters. To check the equipment, short-circuit currents are for the farthest and most powerful electrical receiver. Also, the calculation of the protective earth of the hull 06 was made.

The graduation work consists of an explanatory note on 60 pages, including 6 figures, 20 tables, the list of 31 references including 5 foreign sources, and the graphic part on 6 A1 sheets.

The result of the work is a complete project for the reconstruction of a part of the chemical building 06 of PJSC «KuibyshevAzot», which meets all the norms and rules.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Предпроектное обследование.....	7
1.1 Характеристика объекта проектирования.....	7
1.2 Схема электроснабжения корпуса 06.....	8
1.3 Анализ проблем.....	11
2 Выбор оборудования.....	13
2.1 Выбор электродвигателей.....	13
2.2 Выбор силовых кабелей.....	14
3 Расчётная часть.....	16
3.1 Расчёт электрических нагрузок.....	16
3.2 Расчёт освещения.....	25
3.3 Выбор трансформаторов для трансформаторной подстанции.....	31
3.4 Компенсация реактивной мощности.....	33
3.5 Выбор сечений проводников схемы внутрицехового электроснабжения 36	
3.6 Выбор автоматических выключателей и магнитных пускателей.....	38
3.7 Выбор трансформаторов тока.....	42
4 Расчёт токов короткого замыкания.....	44
5 Расчёт заземления.....	53
6 Проверка выбранных автоматических выключателей.....	56
Заключение.....	58
Список используемых источников.....	59

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных областей энергетики является – электроэнергетика. Она включает в себя производство электрической энергии, её передачу, а также сбыт. Электроэнергетика играет не малую роль в экономике нашей страны, да и не только экономики, ни одна современная отрасль не сможет обойтись без электрической энергии.

Сейчас трудно представить, как современный человек сможет существовать без электроэнергии, ведь все окружающие нас гаджеты, бытовые приборы, рабочие инструменты и даже автомобили не обходятся без электрической энергии. Конечно основным потребителем электрической энергии сейчас является промышленность, в основу которых входят различные промышленные предприятия (заводы, фабрики, электростанции и т.д.).

Электрическая энергия применяется на предприятиях для выполнения сложных технологических процессов, а также преобразования электрической энергии в другие виды энергии, например, механическую или тепловую.

Современная система электроснабжения обязательно должна удовлетворять жестким нормам для ее передачи и распределения по предприятию. Основными требованиями являются:

- Безопасность;
- Стабильность характеристик (напряжение, частота и т.д.);
- Экономичность;
- Удобство и надежность в эксплуатации.

Для достижения этих требований созданы надежные и экономичные устройства, которые позволяют распределять электрическую энергию разных уровней напряжений, сохраняя при этом её высочайшее качество.

Многие предприятия в нашей стране строились в 20 веке. Большинство из них верой и правдой служат нашей стране и по сей день. Большинство предприятий ведут постепенную реконструкцию своих цехов, заменяя старое

оборудование, которое морально и физически устарело на новое, современное оборудование, отвечающее строгим стандартам, тем самым повышая надежность своих предприятий, а также увеличивая количество и качество выпускаемой продукции. Это приводит к увеличению прибыли предприятия.

Целью бакалаврской работы является реконструкция электрохозяйства корпуса 06 предприятия ПАО «КуйбышевАзот», для обеспечения надежного и бесперебойного питания электроустановок, отвечающих за выработку аммиака, что позволит повысить качество и количество выпускаемого продукта.

# 1 Предпроектное обследование

## 1.1 Характеристика объекта проектирования

В качестве объекта реконструкции выбран корпус 06 цеха № 11 по производству аммиака предприятия ПАО «КуйбышевАзот».

Корпус расположен в Центральном районе города Тольятти на территории ПАО «КуйбышевАзот» (рисунок 1.1). Заводоуправление расположено по адресу ул. Новозаводская 6.



Рисунок 1.1 – Расположение корпуса 06 на территории предприятия

Корпус 06 относится к цеху №11. Данный цех входит в группу цехов по производству аммиака. Этот продукт является важнейшим компонентом обширной производственной номенклатуры предприятия, а его производство – это ключевое звено заводской технологической схемы. Первая партия аммиака была получена 23 августа 1966 года, и эта дата была официально принята за день рождения «КуйбышевАзот». Производство аммиака вышло

на проектную мощность в 290 тыс. тонн продукта в год лишь в начале 1970-ых годов. Постепенно цеха реконструировались и к 2007 году вышли на уровень 570 тыс. тонн продукта. По данным на 2017 год производство аммиака выросло до 880 тыс. тонн аммиака, но с учетом выработки ООО «Линде Азот Тольятти», который находится на территории предприятия «КуйбышевАзот». Реконструкция данного корпуса не производилась с 1976 года. Большинство установленного оборудования в данном цеху относится к 1 категории надежности электроснабжения. Так как поломка какого-либо агрегата, может повлечь за собой опасность для жизни людей, нарушение сложного технологического процесса и большой материальный ущерб. Поэтому необходимо обеспечить всё электрооборудование качественной системой электроснабжения, отвечающее всем нормам безопасности.

Корпус питается от двух трансформаторных подстанций 6/0,4 кВ п/ст 63 и п/ст 64. Эти подстанции являются двухтрансформаторными, на них установлены трансформаторы типа ТМЗ мощностью 1000 кВА. Трансформаторы произведены Чирчикским трансформаторным заводом в июне 1977 года.

Установленное оборудование в корпусе 06: асинхронные взрывозащищённые двигатели серии ВАО, КОМ и АОЛ2 мощностью от 0,27 до 200 кВт; силовые кабели марки ВРБГ сечением от 4 до 35 мм<sup>2</sup>; кабели СБГ от 50 до 95 мм<sup>2</sup>; АВРБГ сечением 4 мм<sup>2</sup> и АВВГ 10 мм<sup>2</sup>.

## **1.2 Схема электроснабжения корпуса 06**

Электроснабжение оборудования корпуса 06 осуществляется при помощи пяти распределительных щитов (РЩ): РЩ №3, РЩ №3а, РЩ №4, РЩ №4а и РЩ 5. Они расположены в помещении 63 подстанции. Запитанные электроприёмники приведены в таблице 1.1.



Таблица 1.1 – Наименование электрооборудования по РЩ в корпусе 06

Наименование оборудования	Позиция	Количество	$P_{наст}$ , кВт
1	2	3	4
Распределительный щит РЩ №3			
Вентилятор к воздушному конденсатору	120/1; 120/3; 312/1; 312/3; 312/5	5	40
Насос конденсата	156/1	1	55
Насос конденсата	127/1; 127/3; 134/1	3	22
Насос питательной воды	IV	1	200
Питание РЩ №3а	РЩ №3а	-	29,94
Освещение	ЩО №3; ЩО №5	-	5,8+5,22
Распределительный щит РЩ №3а			
Насос флегмы	154/1	1	13
Маслонасос	127а/1; 134а/1; 127а/3	3	1
Сантехнический вентилятор	П-1/1	1	1,1
Сантехнический вентилятор	В-2; АО-1	2	0,8
Внешняя нагрузка РЩ №3			
Насос горячей воды	III/3	1	55
Вентилятор воздушного охлаждения	504/1	1	40
Вентилятор № 2 градирни	2	1	75
Внешняя нагрузка РЩ №3а			
Реактор с мешалкой	3/1; 3/3	2	4,5
Насос-дозатор	2/1	1	1,1
Насос-дозатор	1/1; 1/3	2	0,27
Сантехнический вентилятор (насосная горячей воды)	П-5	1	0,6
Всего по РЩ №3	-	-	733
Распределительный щит РЩ №4			
Вентилятор к воздушному конденсатору	120/2; 120/4; 312/2; 312/4; 312/6	5	40
Насос конденсата	156/2	1	55
Насос конденсата	127/2; 134/2	2	22

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4
Питание РЩ №4а	РЩ №4а	-	34,14
Питание РЩ №5	РЩ №5	-	36,6
Панель аварийного освещения п/ст № 63		-	15
Питание КИП ~380/220 В		-	3
Освещение	ЩО №4; ЩО №9; ЩО №10	-	20,65+20,85
Распределительный щит РЩ №4а			
Насос флегмы	154/2	1	13
Маслонасос	127а/2; 134а/2	2	1
Дренажный насос	141	1	3
Экстрактор	148	1	4,5
Фильтр	Ф	1	2,2
Передвижное устройство	ППУ-1	1	2,2
Сантехнический вентилятор	П-1/2	1	1,1
Внешняя нагрузка РЩ №4			
Насос горячей воды	Ш/2	1	55
Вентилятор воздушного охлаждения	504/2	1	40
Вакуум-насос	708	1	75
Вентилятор градирни	3;1	2	75
Внешняя нагрузка РЩ №4а			
Реактор с мешалкой	3/2	1	4,5
Насос дозатор	2/2	1	1,1
Насос дозатор	1/2; 1/4	2	0,27
Всего по РЩ №4	-	-	749,24

### 1.3 Анализ проблем

Реконструкция корпуса будет производиться только для части корпуса 06 питающейся от подстанции № 63, так как заказчик в лице ПАО «КуйбышевАзот» планирует произвести реконструкцию только для этой части корпуса, в последующем будет производиться реконструкция оставшейся части корпуса, которая питается от подстанции 64.

Предварительно оценив объект реконструкции были выявлены следующие проблемы:

Со стороны 6 кВ: необходимо заменить трансформаторы на подстанции 63, на новые и более мощные, в связи с увеличением мощности оборудования, а также моральным и физическим устареванием трансформаторов. Согласно ГОСТ Р 52719-2007 срок службы составляет не менее 30 лет, на данный момент трансформатор работает более 42 лет [2].

Со стороны 0,4 кВ: необходимо заменить силовые кабели, так как согласно ГОСТ 31996-2012 срок службы силовых кабелей с пластмассовой изоляцией от 25 до 40 лет, в зависимости от производителей. В среднем срок службы всех силовых кабелей составляет около 30 лет. Так как цех построен в 1976 году и с этого момента ничего не менялось, следовательно, и всем силовым кабелям уже более 40 лет. Также замена силовых кабелей обусловлена заменой электрических двигателей на более мощные [3]. Также необходимо заменить электродвигатели на новые, так как средний срок службы без капитального ремонта 15-20 лет, с учетом этого можно сделать вывод, что двигатели пора заменить. Так как новые двигатели имеют лучшие технические характеристики, а также более энергоэффективные.

Замена двигателей и кабелей также подразумевает под собой замену пусковой и защитной аппаратуры на новую, отвечающую всем требованиям надежности и безопасности.

Произвести реконструкцию системы освещения корпуса современными светодиодными взрывозащищенными светильниками, которые отвечают существующим нормам и правилам.

Исходя из совокупности всех вышеперечисленных факторов, для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- Произвести замену электродвигателей и обосновать их выбор;
- Произвести расчет силовых кабелей и обосновать их выбор;
- Произвести расчет коммутационной аппаратуры и обосновать их выбор;
- Произвести расчет освещения и обосновать выбор светильников;
- Произвести замену трансформаторов с учетом изменившейся мощности.

## **2 Выбор оборудования**

### **2.1 Выбор электродвигателей**

Категория корпуса 06 по взрывопожарной опасности относится к категории Б, следовательно, стоит выбирать взрывозащищенное оборудование, в том числе электродвигатели [7]. Для этого корпуса выбраны взрывозащищенные асинхронные электродвигатели производства Владимирского электромоторного завода «ВЭМЗ» по нескольким критериям [14]:

- 1) Производство электродвигателей находится на расстоянии не превышающим 1000 км, что облегчает доставку оборудования;
- 2) Качественные электродвигатели, зарекомендовавшие себя с хорошей стороны;
- 3) Обладают хорошими характеристиками, и отвечают соотношению цена=качество.
- 4) Предприятие «КуйбышевАзот» закупает двигатели российского производства, и двигатели этой фирмы не исключение.

Двигатели будут заменяться на более мощные, так как в дальнейшем планируется увеличение объема выпускаемой продукции, чтобы обеспечить нужную производительность. Замена так же производится по причине устаревания установленного оборудования, так как цех запущен в 1976 и с того момента производились только плановые и капитальные ремонты. Двигатели морально и физически уже устарели, а так как цех относится к 1 категории электроснабжения, то внезапный выход из строя электродвигателя не допустим, так как может повлечь за собой значительные потери для производства, а также создать угрозу для жизни работников предприятия. Список заменяемых электродвигателей приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Сравнение асинхронных электродвигателей

Установленные			Предполагаемые к установке		
Модель	Мощность, кВт	КПД, %	Модель	Мощность, кВт	КПД, %
BAO-82-6	40	90,5	BA250M6	55	92,5
BAO-82-2	55	90,0	BA250S2	75	93,6
BAO-71-2	22	87,5	BA180M2	30	90,5
BAO-III-2	200	93,5	1BAO-315M-0,38-2Y2	250	94,2
BAO 52-2	13	88,0	BA160M2	18,5	90,0
КОМ-12-4	1	74,0	BA80MB4	1,5	75,0
BAO 31-2	3	82,0	BA112M2	7,5	88,0
КОМ 31-4	4,5	85,0	BA132S4	7,5	87,5
BAO 31-4	2,2	80,5	BA112M4	5,5	86,0
BAO 22-2	2,2	80,5	BA80MB2	2,2	82,0
АОЛ2-21-4	1,1	68,0	BA80MB4	1,5	75,0
АОЛ2-21-6	0,8	69,0	BA80MB6	1,1	71,0
АОЛ2 12-4	0,8	73,0	BA80MA4	1,1	74,0

Как можно видеть из таблицы 2.1 все предполагаемые к установке двигатели имеют лучшие характеристики относительно установленных двигателей.

## 2.2 Выбор силовых кабелей

Как упомянуто в пункте 2.1 корпус является взрывопожароопасным, следовательно, необходимо применять бронированные и негорючие кабели [29]. К рассмотрению принимаются медные кабели ВБШвнг(А)-LS и алюминиевые АВБШвнг(А)-LS. Произведем сравнение характеристик кабелей одного завода-изготовителя с одинаковым количеством жил и одинаковым сечением. Для примера возьмем кабель ВБШвнг(А)-LS 4x16 и

АВБШвнг(А)-LS 4х16 и произведем сравнение параметров в таблице 2.2 [15, 16].

Таблица 2.2 – Сравнение кабелей ВБШвнг(А)-LS и АВБШвнг(А)-LS

Параметр	ВБШвнг(А)-LS 4х16	АВБШвнг(А)-LS 4х16
Материал жилы	медь	алюминий
Материал изоляции	ПВХ	ПВХ
Материал оболочки	ПВХ	ПВХ
Номинальное переменное напряжение, кВ	1	1
Электрическое сопротивление жилы, ом/км	1,15	1,91
Допустимая токовая нагрузка при прокладке, А: на воздухе в земле	84 102	67 77
Допустимый ток односекундного КЗ, кА	1,74	1,13
Сопротивление изоляции жил, МОм/км	7	7
Максимальный расчётный вес, кг/км	1382	860

Из характеристик кабелей можно сделать вывод, что медный кабель обладает лучшими электрическими характеристиками относительно кабеля с алюминиевыми жилами. Также медный кабель является более прочным и обладает лучшими пластическими свойствами. Алюминий же имеет меньший вес, что играет большую роль при прокладке кабеля на воздушных линиях на большие расстояния, но так как в корпусе все кабели проложены на кабельных эстакадах и в лотках, этот недостаток нивелируется.

Кроме того, при выборе кабельной продукции были приняты во внимание рекомендации электротехнического отдела проектно-конструкторского бюро предприятия «КуйбышевАзот», являющегося представителем заказчика. Следовательно, в расчетах будем использовать именно ВБШвнг(А)-LS, различного сечения.

### 3 Расчётная часть

#### 3.1 Расчёт электрических нагрузок

Найдем расчётную электрическую нагрузку корпуса 06 с учетом установки новых электродвигателей, находящихся в корпусе. Электрооборудование находящиеся за его пределами не меняем, но учитываем при расчёте нагрузки. Это оборудование будет занесено в таблицу как внешняя нагрузка. Для расчёта будем использовать формулы:

1) Номинальная мощность электроприёмника:

$$P_H = P_{насп}, \quad (3.1)$$

где  $P_{насп}$  – паспортная мощность электроприёмника, кВт

2) Активная групповая мощность электроприёмников:

$$P_H = p_H \cdot n, \quad (3.2)$$

где  $n$  – количество электроприёмников в группе, шт.

3) Средняя активная нагрузка:

$$P_C = K_{II} \cdot P_H, \quad (3.3)$$

где  $K_{II}$  – коэффициент использования электрических приёмников.

4) Средняя реактивная нагрузка:

$$Q_C = K_{II} \cdot P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.4)$$

где  $K_{II}$  – коэффициент использования электрооборудования;  $\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной мощности.

5) Коэффициент реактивной мощности:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}, \quad (3.5)$$

где  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности.

6) Эффективное число электрических приемников:

$$n_3 = \frac{2 \cdot P_{H\Sigma}}{P_{H \text{ наиб}}}, \quad (3.6)$$



где  $P_{H\Sigma}$  – суммарная номинальная мощность электроприёмников, кВт;  $P_{H\text{наиб}}$  – максимальная мощность электроприёмника, кВт.

7) Расчетная активная нагрузка:

$$P_p = K_{ma} \cdot \Sigma P_C, \quad (3.7)$$

где  $K_{ma}$  – коэффициент максимума активной нагрузки.

8) Расчетная реактивная мощность:

$$Q_p = K_{mp} \cdot \Sigma Q_C, \quad (3.8)$$

где  $K_{mp}$  – коэффициент максимума реактивной мощности.

9) Полная расчётная мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (3.9)$$

10) Расчётная токовая нагрузка:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (3.10)$$

где  $U_H$  – номинальное напряжение, В.

11) Общий коэффициент использования:

$$K_{II} = \frac{\Sigma P_C}{P_{H\Sigma}}. \quad (3.11)$$

12) Показатель силовой сборки в группе

$$m = \frac{P_{H\text{наиб}}}{P_{H\text{наим}}}, \quad (3.12)$$

где  $P_{H\text{наиб}}$  и  $P_{H\text{наим}}$  – номинальные приведенные к длительному режиму активные мощности электроприёмников наибольшего и наименьшего в группе, кВт.

Для примера рассчитаем электроприёмник позиции 156/1 – насос конденсата. Из плана корпуса найдем  $n$ , оно равно 1. Паспортная мощность электродвигателя  $P_{H\text{нас.кон}} = 75$  кВт.

По формуле 3.2 найдем активную групповую мощность насоса конденсата:

$$P_{\text{Ннас.кон.}} = 75 \cdot 1 = 75 \text{ кВт.}$$

Групповой коэффициент использования найдем исходя из справочных данных[8]:  $K_{II} = 0,7$ . Коэффициент мощности найдем из паспортных данных электродвигателя,  $\cos \varphi = 0,92$ . Зная коэффициент мощности можно найти коэффициент реактивной мощности по формуле 3.5:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - 0,92^2}}{0,92} \approx 0,42.$$

Среднюю активную и реактивную нагрузку найдем по формулам 3.3 и 3.4 соответственно:

$$P_C = 0,7 \cdot 75 = 52,5 \text{ кВт.}$$

$$Q_C = 0,7 \cdot 75 \cdot 0,42 = 22,05 \text{ квар.}$$

Аналогичным способом произведем расчёт для всех электроприёмников питающихся от распределительных щитов: 3, 3а, 4, 4а. Занесем данные для РЩ 3 и 3а в таблицу 3.1 и аналогично для РЩ 4 и 4а в таблицу 3.2.

Расчётная нагрузка рассчитывается только для распределительного щита в целом, расчет произведем на примере РЩ №3а.

Рассчитаем расчетную активную, реактивную и полную мощность по формулам 3.7; 3.8 и 3.9 соответственно.

$$P_{P.РЩ\text{№}3a} = K_{MA} \cdot P_{C\Sigma}.$$

$$Q_{P.РЩ\text{№}3a} = K_{MP} \cdot Q_{C\Sigma}.$$

$$S_{P.РЩ\text{№}3a} = \sqrt{P_{P.РЩ\text{№}3a}^2 + Q_{P.РЩ\text{№}3a}^2}.$$

Для нахождения показателя силовой сборки воспользуемся формулой 3.12:

$$m = \frac{18,50}{0,27} = 68,52.$$

Для расчёта расчетной мощности необходимо определить  $K_{ма}$  для его нахождения необходимо найти общий коэффициент использования, для этого воспользуемся формулой 3.11:

$$K_H = \frac{26,53}{37,94} = 0,7.$$

Также необходимо найти эффективное число электроприёмников по формуле 3.6:

$$n_3 = \frac{2 \cdot 37,94}{18,50} = 4,10.$$

По [8] определяем  $K_{MA} = 1,29$ . Там же находится  $K_{MP}$ , при условии что  $n_3 \leq 10$ , то  $K_{MP} = 1,1$ . Если же  $n_3 > 10$ , то  $K_{MP} = 1$ .

Теперь найдем расчетную активную, реактивную и полную нагрузку

$$P_{P.Щ\text{№}3a} = 1,29 \cdot 26,53 = 34,22 \text{ кВт.}$$

$$Q_{P.Щ\text{№}3a} = 1,1 \cdot 15,55 = 17,11 \text{ квар.}$$

$$S_{P.Щ\text{№}3a} = \sqrt{34,22^2 + 17,11^2} = 38,26 \text{ кВА.}$$

Последним шагом является расчёт тока нагрузки, который находится по формуле 3.10:

$$I_{P.Щ\text{№}3a} = \frac{38,26}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 58,13 \text{ А.}$$

Аналогичным способом рассчитаем параметры для остальных распределительных щитов и занесем их в таблицы 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1 – Определение расчётной электрической нагрузки РИЦ №3 и РИЦ №3а

№ поз.	Наименование электроприёмника	Кол-во ЭП n	Установленная мощность		m	Коэффициент использования Ки	cos φ/ tg φ	Средняя нагрузка		Эффективное число ЭП n <sub>э</sub>	Коэффициент максимума Кма	Коэффициент максимума реактивной нагрузки Кмр	Расчетная нагрузка			I <sub>p</sub> , А
			Однo ЭП, кВт	Всех ЭП, кВт				P <sub>c</sub> , кВт	Q <sub>c</sub> , квар				P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , квар	S <sub>p</sub> , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
РИЦ № 3																
120/1	Вентилятор к воздушному конденсатору	1	55	55		0,95	0,84/0,65	52,25	33,96							
120/3	Вентилятор к воздушному конденсатору	1	55	55		0,95	0,84/0,65	52,25	33,96							
312/1	Вентилятор к воздушному конденсатору	1	55	55		0,95	0,84/0,65	52,25	33,96							
312/3	Вентилятор к воздушному конденсатору	1	55	55		0,95	0,84/0,65	52,25	33,96							
312/5	Вентилятор к воздушному конденсатору	1	55	55		0,95	0,84/0,65	52,25	33,96							
156/1	Насос конденсата	1	75	75		0,70	0,92/0,42	52,50	22,05							
127/1	Насос конденсата	1	30	30		0,70	0,85/0,62	21,00	13,02							
127/3	Насос конденсата	1	30	30		0,70	0,85/0,62	21,00	13,02							
134/1	Насос конденсата	1	30	30		0,70	0,85/0,62	21,00	13,02							
IV	Насос питательной воды	1	250	250		0,8	0,94/0,36	200,00	72,00							
Внешнее питание РИЦ № 3																

Продолжение таблицы 3.1

Ш/З	Насос горячей воды	1	55	55		0,8	0,92/0,42	44,00	18,48							
504/1	Вентилятор воздушного охлаждения	1	40	40		0,85	0,88/0,53	34,00	18,02							
2	Вентилятор №2 градирни	1	75	75		0,85	0,88/0,53	63,75	33,79							
РЦ № 3а																
154/1	Насос флегмы	1	18,5	18,5		0,8	0,89/0,51	14,80	7,55							
127а/1	Маслонасос	1	1,5	1,5		0,65	0,81/0,73	0,98	0,71							
134а/1	Маслонасос	1	1,5	1,5		0,65	0,81/0,73	0,98	0,71							
127а/3	Маслонасос	1	1,5	1,5		0,65	0,81/0,73	0,98	0,71							
п-1/1	Сантехнический вентилятор	1	1,5	1,5		0,65	0,81/0,73	0,72	0,71							
в-2	Сантехнический вентилятор	1	1,1	1,1		0,65	0,71/1	0,72	0,72							
ао-1	Сантехнический вентилятор	1	1,1	1,1		0,65	0,8/0,75	0,72	0,54							
Внешнее питание РЦ № 3а																
3/1	Реактор с мешалкой	1	4,5	4,5		0,54	0,88/0,53	2,43	1,29							
3/3	Реактор с мешалкой	1	4,5	4,5		0,54	0,88/0,53	2,43	1,29							
2/1	Насос-дозатор	1	1,1	1,1		0,7	0,78/0,8	0,77	0,62							
1/1	Насос-дозатор	1	0,27	0,27		0,7	0,71/1	0,19	0,19							
1/3	Насос-дозатор	1	0,27	0,27		0,7	0,71/1	0,19	0,19							
п-5	Сантехнический вентилятор	1	0,6	0,6		0,65	0,76/0,84	0,39	0,33							
Итого по РЦ №3а		13	37,94	37,94	>3	0,70	0,86/0,59	26,53	15,55	4	1,29	1,1	34,22	17,11	38,26	58,13
Итого по РЦ №3		13	860	860	>3	0,84	0,89/0,52	718,5	373,2	7	1,09	1,1	783,17	410,53	884,24	1343,47
Суммарно РЦ №3 и РЦ №3а													817,39	427,64	922,49	1401,58

Таблица 3.2 – Определение расчётной электрической нагрузки РЦ №4 и РЦ №4а

№ поз.	Наименование электроприёмника	Кол-во ЭП	Установленная мощность		m	Коэффициент использования Ки	cos φ/ tg φ	Средняя нагрузка		Эффективное число ЭП n <sub>э</sub>	Коэффициент максимума К <sub>ма</sub>	Коэффициент максимума реактивной нагрузки К <sub>мр</sub>	Расчетная нагрузка			I <sub>p</sub> , А
			Одного ЭП, кВт	Всех ЭП, кВт				P <sub>c</sub> , кВт	Q <sub>c</sub> , квар				P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , квар	S <sub>p</sub> , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
РЦ № 4																
120/2	Вентилятор к воздушному конденсатору	1	55	55		0,95	0,84/0,65	52,25	33,96							
120/4	Вентилятор к воздушному конденсатору	1	55	55		0,95	0,84/0,65	52,25	33,96							
312/2	Вентилятор к воздушному конденсатору	1	55	55		0,95	0,84/0,65	52,25	33,96							
312/4	Вентилятор к воздушному конденсатору	1	55	55		0,95	0,84/0,65	52,25	33,96							
312/6	Вентилятор к воздушному конденсатору	1	55	55		0,95	0,84/0,65	52,25	33,96							
156/2	Насос конденсата	1	75	75		0,70	0,92/0,42	52,50	22,05							
127/2	Насос конденсата	1	30	30		0,70	0,85/0,62	21,00	13,02							
134/2	Насос конденсата	1	30	30		0,70	0,85/0,62	21,00	13,02							
Внешнее питание РЦ № 4																
III/2	Насос горячей воды	1	55	55		0,8	0,92/0,42	44,00	18,48							
504/2	Вентилятор воздушного охлаждения	1	40	40		0,85	0,88/0,53	34,00	18,02							

708	Вакуум-насос	1	75	75		0,85	0,88/0,53	63,75	33,79							
-----	--------------	---	----	----	--	------	-----------	-------	-------	--	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Вентилятор №1 градирни	1	75	75												
3	Вентилятор №3 градирни	1	75	75												
РЦ № 4а																
154/2	Насос флегмы	1	18,5	18,5		0,8	0,88/0,53	14,80	7,84							
127a/2	Маслонасос	1	1,5	1,5		0,65	0,75/0,87	0,98	0,85							
134a/2	Маслонасос	1	1,5	1,5		0,65	0,75/0,87	0,98	0,85							
141	Дренажный насос	1	7,5	7,5		0,7	0,88/0,53	5,25	2,78							
148	Экстрактор	1	7,5	7,5		0,7	0,86/0,59	5,25	3,1							
Ф	Фильтр	1	5,5	5,5		0,4	0,83/0,67	2,2	1,47							
ЭПУ -1	Передвижное устройство	1	2,2	2,2		0,2	0,86/0,59	0,44	0,26							
П-1/2	Сантехнический вентилятор	1	1,5	1,5		0,65	0,81/0,73	0,98	0,71							
Внешнее питание РЦ № 4а																
3/2	Реактор с мешалкой	1	4,5	4,5		0,54	0,88/0,53	2,43	1,29							
2/2	Насос-дозатор	1	1,1	1,1		0,7	0,78/0,8	0,77	0,62							
1/2	Насос-дозатор	1	0,27	0,27		0,7	0,71/1	0,19	0,19							
1/4	Насос-дозатор	1	0,27	0,27		0,7	0,71/1	0,19	0,19							
Итого по РЦ №4а		12	51,84	51,84	>3	0,66	0,86/0,58	34,46	20,16	6	1,23	1,1	42,38	22,17	47,83	72,67
Итого по РЦ №4		13	730	730	<3	0,85	0,86/0,58	621,25	360,97	13	1,05	1,0	652,31	360,97	745,52	1132,71
Питание РЦ №5													36,6	-	-	-
Питание КИП 380/220 В													3	-	-	-
Внешнее освещение (ЩО №9; ЩО №10)													20,85	-	--	-
Щит освещения №1 (новый)													11,14	-	-	16,93

Суммарно РЩ №4, РЩ №4а и освещение												766,28	383,14	856,73	1301,66
------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------	--------	--------	---------



### 3.2 Расчёт освещения

Электрическое освещение один из важнейших факторов на действующем производстве. Поэтому необходимо правильно спроектировать систему освещения, для того, чтобы обслуживающий персонал не получил какую-либо травму. Существуют нормативные документы, в которых прописаны нормы освещенности, именно ими будем руководствоваться при расчете электрического освещения.

Для расчёта электроосвещения необходимо знать несколько величин, таких как: длину, ширину и высоту помещения в котором будет производиться расчёт, а также для чего оно предназначено. Остальные параметры необходимые для расчёта найдем в ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений» [4]. Как правило, используются такие параметры как:

- $E_{экс}$  – эксплуатационная освещенность, минимально допустимое значение средней освещенности  $E_{ср}$  на заданной поверхности, лк;
- $U_0$  – равномерность освещенности, отношение значения минимальной освещенности к значению средней на заданной поверхности;
- $UGR$  – объединенный показатель дискомфорта, характеристика дискомфортной блескости;
- $R_a$  – общий индекс цветопередачи;
- $K_{II}$  – коэффициент пульсации освещенности, %.

Расчёт необходимого количества светильников для производственного помещения произведем в специализированной программе для расчёта электроосвещения DIALux Light 4.12.

Корпус 06 предприятия ПАО «КуйбышевАзот» включает в себя: производственные и электротехнические помещения, а также лестницы. Приведем действующие нормы для них в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Нормы освещённости производственных помещений

Наименование помещения	$E_{экс}$ , лк	$U_0$ , не менее	$UGR$ , не более	$R_a$ , не менее	$K_{П}$ , %, не более
Электрощитовые (внутри здания)	200	0,40	25	60	20
Производственные процессы с частичным применением ручного труда	150	0,40	28	40	-
Лестницы	100	0,40	25	10	-

В программе DIALux также необходимо внести коэффициент отражения стен, пола и потолка. Этот коэффициент показывает, на сколько % поверхность может отражать падающий на него свет.

Для производственных помещений с незначительным пылевыделением эти коэффициенты будут равны:

- Потолок – 50%;
- Стены – 30 %;
- Пол – 10%.

Для расчёта количества светильников не учитывается расположение оборудования, так как в производственном помещении не производятся действия, которые требуют повышенной точности. Поэтому в этом случае будем применять систему общего равномерного освещения.

В данный момент в корпусе 06 освещение выполняется взрывозащищёнными светильниками ЛЦ-200; ППД-200; В4А-200; 4БН-150 с лампами накаливания мощностью от 150 до 200 Вт. Эти светильники обладают плохими техническими характеристиками, потребляют большое количество электрической энергии при этом имея плохую энергоэффективность. Поэтому при расчёте будут применяться современные светодиодные взрывозащищённые

светильники производителя «Световые технологии» серии HB LED 150 D80 Ex [17]. Основные параметры светильника приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Параметры светильника HB LED 150 D80 Ex

Параметры	Значение
Тип исполнения светильника	LED
Световой поток	16600 лм
Мощность светильника	144 Вт
Энергоэффективность	115 лм/Вт
Индекс цветопередачи	>70
Цветовая температура	5000 К
Коэффициент мощности	> 0,95
Напряжение	230 В
Коэффициент пульсации	< 1 %
Степень защиты (IP)	66
Класс энергоэффективности	A+
Пусковой ток	61,5 А
Угол обзора	D80

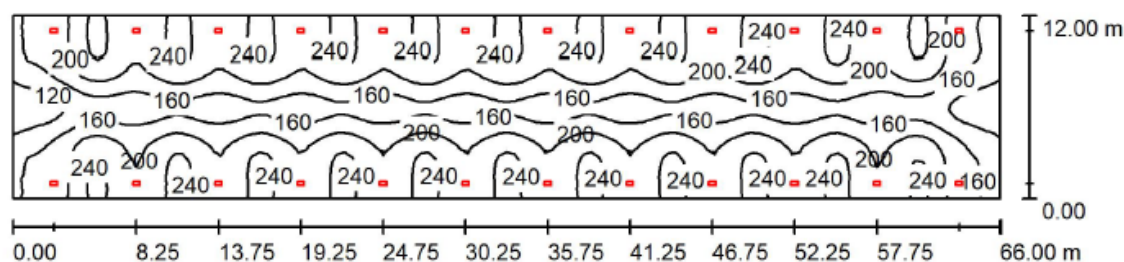
Как можно видеть из характеристик, данный светильник полностью удовлетворяет всем требованиям, приведенным в ГОСТ Р 55710-2013 [4]. И является гораздо экономичнее чем светильники с лампами накаливания, при лучших эксплуатационных характеристиках.

Графические результаты расчёта освещения представлены на рисунках 3.1 – 3.2.



Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

## Отм. 0.000 м / Резюме



Высота помещения: 7.200 m  
Коэффициент эксплуатации: 0.60

Значения в Lux, Масштаб 1:472

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{\text{cp}}$ [lx]	$E_{\text{min}}$ [lx]	$E_{\text{max}}$ [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{cp}}$
Рабочая плоскость	/	199	90	262	0.451
Полы	10	193	107	224	0.555
Потолок	50	27	21	38	0.767
Стенки (4)	30	115	20	701	/

**Рабочая плоскость:**

Высота: 0.850 m  
Растр: 128 x 64 Точки  
Краяевая зона: 0.000 m

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 100.00%.

**Ведомость светильников**

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	24	Lighting Technologies HB LED 150 D80 Ex 5000K (1.000)	16600	16600	144.0
			Всего: 398400	Всего: 398400	3456.0

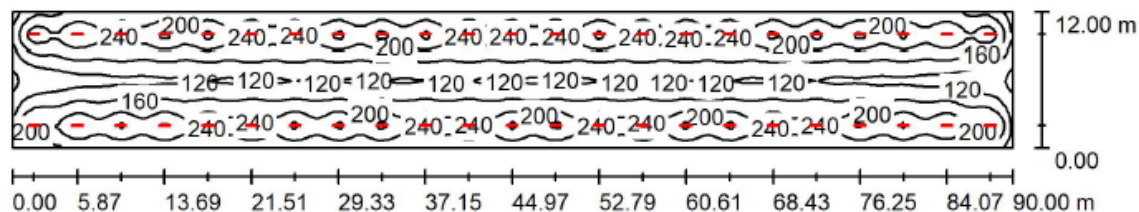
Удельная подсоединенная мощность: 4.36 W/m<sup>2</sup> = 2.19 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Поверхность основания: 792.00 m<sup>2</sup>)

Рисунок 3.1 – Результаты расчёта освещения отметки 0.000 м корпуса 06

Для отметки 7.200 м используем другие светильники, так как они обладают оптимальными параметрами для помещения с такой высотой. Светильник SLICK.PRS ECO LED 60 Ex 5000K также является взрывозащищенным и его технические характеристики отвечают всем установленным требованиям [18].

Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

## Отм. 7.200 м / Резюме



Высота помещения: 4.000 m

Значения в Lux, Масштаб 1:644

Коэффициент эксплуатации: 0.70

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{cp}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_{cp}$
Рабочая плоскость	/	178	78	251	0.436
Полы	10	165	93	199	0.563
Потолок	50	28	18	299	0.653
Стенки (4)	30	122	30	194	/

**Рабочая плоскость:**

Высота: 0.850 m  
Растр: 128 x 64 Точки  
Краяевая зона: 0.000 m

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 100.00%.

**Ведомость светильников**

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	46	Lighting Technologies SLICK.PRS ECO LED 60 Ex 5000K (1.000)	7650	7650	60.0
			Всего: 351900	Всего: 351900	2760.0

Удельная подсоединенная мощность:  $2.56 \text{ W/m}^2 = 1.44 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Поверхность основания:  $1080.00 \text{ m}^2$ )

Рисунок 3.2 – Результаты расчёта освещения отметки 7.200 м корпуса 06

Остальные помещения рассчитаем также при помощи программы DIALux Light 4.12. Полученные после расчёта результаты занесем в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Результаты расчёта освещения

Помещение	$E_{cp}$ , лк	$E_{min}$ , лк	$E_{max}$ , лк	$E_{min}/$ $E_{cp}$	Количество светильников, шт	Мощность светильника, Вт	$\Sigma P_{свет.}$ , Вт
Отметка 0.000 м	199	90	262	0,451	24	144	3456
Подстанция № 63	255	105	499	0,412	12	60	720
Щитовая КИП	359	191	511	0,533	2	60	120
ПВК	451	268	581	0,595	2	60	120
Отметка 7.200 м	178	78	251	0,436	46	60	2760
Отметка 11.200 м	151	64	285	0,424	24	60	1440
Отметка 15.200 м	159	69	283	0,432	26	60	1560
Отметка 17.950 м	155	64	429	0,0,413	12	60	720
Отметка 19.950 м	167	67	361	0,40	4	60	240
							$\Sigma$ 11136

Мощность по старым щитам освещения (ЩО №3, №4, №5) составляет 5,8; 5,22; 20,65 кВт соответственно. Суммарная мощность равна 31,67 кВт. Суммарная мощность всех новых светодиодных осветительных приборов составляет 11,14 кВт, что в 2,85 раз ниже чем старые светильники с лампами накаливания, при лучших световых характеристиках. Полученное значение необходимо занести в таблицу 3.2 для расчёта электрических нагрузок.

Также необходимо предусмотреть аварийное освещение, чтобы обеспечить безопасную эвакуацию обслуживающего персонала в случае непредвиденной аварийной ситуации. Аварийное освещение относится к 1 категории надежности электроснабжения. Так как цех тоже относится к 1 категории электроснабжения, то нет необходимости ставить дополнительные

осветительные приборы, так как выполняется секционирование. При необходимости завод-производитель предоставляет светильники с дополнительным питанием от аккумуляторной батареи, в случае аварии питание может подаваться в течении определенного времени от неё.

### 3.3 Выбор трансформаторов для трансформаторной подстанции

Запишем рассчитанные значения расчётной нагрузки для всех распределительных щитов в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Расчётные нагрузки по распределительным щитам

Наименование	Расчётная нагрузка			$I_p, A$
	$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	
РЩ №3	817,39	427,64	922,49	1401,58
РЩ №4	766,28	383,14	856,73	1301,66
Итого по всем щитам	1583,67	810,78	1779,22	-

Для выбора количества трансформаторов необходимо учитывать категорию электроснабжения корпуса, который необходимо обеспечить качественной электроэнергией с нужными параметрами.

Корпус 06 относится к первой категории надежности электроснабжения, так как авария может повлечь за собой опасность для жизни людей, расстройство сложного технологического процесса и как следует большой материальный ущерб. Следовательно, необходимо выбирать двухтрансформаторную подстанцию с устройством автоматического включения резерва (АВР).

Так как подстанция отделена от корпуса, то можно выбрать маслонаполненные трансформаторы с защитой при помощи азотной подушки. Этот выбор обусловлен тем, что помещение не является взрыво- и

пожароопасным, поэтому можно принять к установке трансформатор ТМЗ. Масляные трансформаторы обладают рядом преимуществ, относительно других типов трансформатора, таких как: нет необходимости в капитальных и профилактических ремонтах; имеют высокую степень надежности, следовательно, не нуждаются в частом контроле; способны работать в различных температурных режимах и различных климатических условиях; имеет низкое реактивное сопротивление [10].

Произведем расчёт мощности трансформатора по формуле 3.13, приняв заранее, что коэффициент загрузки трансформатора для первой категории ( $K_3$ ) равен 0,7. Число трансформаторов ( $N_T$ ), как было сказано ранее принимаем равным 2. Запишем формулу и произведем расчёт:

$$S_{HT} \geq \frac{S_{P\Sigma}}{K_3 \cdot N_T}. \quad (3.13)$$

$$S_{HT} \geq \frac{1779,22}{0,7 \cdot 2} = 1270,87 \text{ кВА.}$$

Предварительно к установке выбираются два трансформатора ТМЗ-1250/6/0,4 производства ООО Энергетическая компания «Силовые трансформаторы» [19].

Необходимо произвести предварительную проверку по допустимой перегрузке выбранных трансформаторов, для того, чтобы оценить, справится ли с нагрузкой один трансформатор при выходе из строя второго. Сделаем это при помощи соотношения 3.14:

$$1,3 \cdot S_{HT} \geq P_{P\Sigma} \quad (3.14)$$

где  $P_{P\Sigma}$  – суммарная расчётная активная мощность по подстанции, кВт.

$$1,3 \cdot 1250 \geq 1583,67.$$

$$1625 \geq 1583,67.$$

Произведем расчёт компенсации реактивной мощности, после чего сделаем вывод о пригодности использования данного трансформатора.



### 3.4 Компенсация реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности один из важнейших критериев при проектировании системы электроснабжения, так как реактивная мощность негативно влияет на работу энергосистемы. Реактивная мощность увеличивает потери электрической энергии в сети, также приводит к увеличению сечения кабелей и проводов, следовательно, сильно влияет на экономическую составляющую. Также реактивная мощность учитывается поставщиками электрической энергии, что приводит к повышенным счетам за потребление электроэнергии [27].

Самым эффективным способом компенсации реактивной мощности является применение конденсаторных установок, они позволяют: разгрузить линии электропередач, распределительные устройства и трансформаторы; подавить сетевые помехи; некоторые установки могут подавлять высшие гармоники. Все это позволяет сделать систему электроснабжения экономичней и надежней.

Расчёт компенсации реактивной мощности производится для каждой секции шин. Так как в цехе устанавливается два трансформатора, то и секций будет две.

Для удобства запишем значения распределенной по секциям нагрузки в таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Распределение нагрузки по секциям

Тип нагрузки	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар
1 секция	766,28	383,14
2 секция	817,39	427,64

Требуемая мощность конденсаторных батарей для одной секции шин по первому условию, вычисляется по формуле 3.15:

$$Q_{ку.мп1} = Q_p - Q_1, \quad (3.15)$$

где  $Q_1$  – реактивная мощность, которую можно передать через трансформатор с учетом требуемого коэффициента загрузки, квар.

$Q_1$  рассчитывается по формуле 3.16:

$$Q_1 = \sqrt{(K_3 \cdot S_{HT})^2 - P_P^2}. \quad (3.16)$$

Требуемая мощность конденсаторных батарей для одной секции шин по второму условию, находится по формуле 3.17:

$$Q_{ку.мп2} = Q_P - Q_3, \quad (3.17)$$

где  $Q_3$  – часть экономической реактивной мощности, потребляемой в часы максимальных нагрузок энергосистемы данной ТП, квар.

$Q_3$  рассчитывается по формуле 3.18:

$$Q_3 = tg \varphi_3 \cdot P_P, \quad (3.18)$$

где  $tg \varphi_3$  – коэффициент мощности на шинах КТП, при котором потребление реактивной мощности не выходит за пределы экономических значений.

Исходя из расчётов, для выбора компенсирующих установок, выбираем наибольшее значение требуемой мощности конденсаторных батарей из двух условий.

Рассчитаем для первой секции:

$$Q_1 = \sqrt{(0,7 \cdot 1250)^2 - 766,28^2} = 422,42 \text{ квар.}$$

$$Q_{ку.мп1} = 383,14 - 422,42 = -39,28 \text{ квар.}$$

$$Q_3 = 0,4 \cdot 766,28 = 306,51 \text{ квар.}$$

$$Q_{ку.мп2} = 383,14 - 306,51 = 76,62 \text{ квар.}$$

Таким образом на 1 секции шин устанавливается регулируемая конденсаторная установка КРМ-0,4-100 мощностью 100 квар производства торговой электротехнической компании «Энергозапад» [20].

Произведем расчёт для второй секции шин:

$$Q_1 = \sqrt{(0,7 \cdot 1250)^2 - 817,39^2} = 312,25 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{кв.мп1}} = 427,64 - 312,25 = 115,38 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{э}} = 0,4 \cdot 817,39 = 326,95 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{кв.мп2}} = 427,64 - 326,95 = 100,69 \text{ квар.}$$

Таким образом на 2 секции шин устанавливается регулируемая конденсаторная установка КРМ-0,4-125 мощностью 125 квар производства торговой электротехнической компании «Энергозапад» [21].

Рассчитаем полную расчетную мощность с учетом компенсации для каждой секции по формуле 3.19:

$$S'_{\text{P}} = \sqrt{P_{\text{P}}^2 + (Q_{\text{P}} - Q_{\text{KV}})^2}. \quad (3.19)$$

Для первой секции шин:

$$S'_{\text{P1}} = \sqrt{766,28^2 + (383,14 - 100)^2} = 816,92 \text{ кВА.}$$

Для второй секции шин:

$$S'_{\text{P2}} = \sqrt{817,39^2 + (427,64 - 125)^2} = 871,62 \text{ кВА.}$$

Найдем суммарную полную мощность по подстанции по формуле 3.20:

$$S'_{\text{P}\Sigma} = \sqrt{(P_{\text{P1}} + P_{\text{P2}})^2 + (Q_{\text{P1}} + Q_{\text{P2}} - \Sigma Q_{\text{KV}})^2}. \quad (3.20)$$

$$S'_{\text{P}\Sigma} = \sqrt{(766,28 + 817,39)^2 + (383,14 + 427,64 - 100 - 125)^2} = 1688,53 \text{ кВА.}$$

Рассчитаем действительный коэффициент загрузки трансформаторов после компенсации реактивной мощности по формуле 3.21:

$$K_{\text{з.д.}} = \frac{S'_{\text{P}}}{S_{\text{HT}}}. \quad (3.21)$$

Для первой секции шин:

$$K_{\text{з.д.1}} = \frac{816,92}{1250} = 0,653.$$

Для второй секции шин:

$$K_{\text{з.д.2}} = \frac{871,62}{1250} = 0,697.$$

Так как все условия выполняются, то к установке рекомендуются конденсаторные установки КРМ-0,4-100 УЗ для первой секции шин и КРМ-0,4-125 УЗ для второй секции шин с трансформаторами типа ТМЗ-1250/6/0,4.

### 3.5 Выбор сечений проводников схемы внутрицехового электроснабжения

Как было упомянуто в пункте 2.2 к выбору предполагаются кабели ВБШвнг(А)-LS [15].

Для определения расчетного тока электроприёмника, воспользуемся формулой 3.21:

$$I_P = \frac{P_P}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (3.21)$$

где  $P_P$  – расчётная мощность одного электроприёмника, кВт;  $\eta$  – КПД электродвигателя;  $U_H$  – номинальное напряжение электродвигателя, кВ.

Согласно пункту 7.3.97. правил устройства электроустановок (ПУЭ) проводники должны быть защищены от перегрузок, а сечения их должны допускать длительную нагрузку не менее 125% номинального тока электродвигателя. Приняв это во внимание выберем сечения силовых кабелей цеховых сетей по соотношению  $1,25 \cdot I_P < I_{доп}$ , для удобства полученные результаты занесем в таблицу 3.4 [1].

Допустимый ток  $I_{доп}$  и сечение найдем в каталоге производителя ООО «ЭлектроКомплект-Сервис» для четырехжильных кабелей ВБШвнг(А)-LS [15].

Также необходимо принять во внимание, что минимальное сечение кабеля с медной жилой составляет  $2,5 \text{ мм}^2$ .

Для примера произведем расчёт расчетного тока для электрического приемника позиции 120/1 – вентилятор к воздушному конденсатору по формуле 3.21. Запишем параметры электрического двигателя:  $P_P = 55$  кВт;  $U_H = 0,38$  кВ;  $\cos \varphi = 0,84$ ;  $\eta = 92,5 \%$ .

$$I_p = \frac{55}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,84 \cdot 0,925} = 107,55 \text{ А.}$$

Так как корпус является взрывоопасным для выбора сечения кабеля необходимо умножить полученное значение на 1,25, найдем значение тока по формуле 3.22:

$$I'_p = I_p \cdot 1,25; \quad (3.22)$$

$$I'_p = 107,55 \cdot 1,25 = 134,44 \text{ А.}$$

Для остальных электродвигателей произведем подобные вычисления, результаты сведем в таблицу 3.8.

Таблица 3.8 – Выбор кабелей сети электроснабжения цеха

Название	Позиция	$I'_p$ , А	$I_{\text{доп}}$ , А	Сечение, мм <sup>2</sup>	Марка кабеля
Вентилятор к воздушному конденсатору	120/1; 120/3; 312/1; 312/3; 312/5; 120/2; 120/4; 312/2; 312/4; 312/6	134,44	137	35	ВБШвнг(А)-LS 3x35+1x16
Насос конденсата	156/1; 156/2	165,41	167	50	ВБШвнг(А)-LS 3x50+1x25
Насос конденсата	127/1; 127/3; 134/1; 127/2; 134/2	74,07	84	16	ВБШвнг(А)-LS 4x16
Насос питательной воды	IV	536,2	542	300	ВБШвнг(А)-LS 3x300+1x150
Насос флегмы	154/1; 154/2	43,86	46	6	ВБШвнг(А)-LS 4x6
Дренажный насос	141	18,39	27	2,5	ВБШвнг(А)-LS 4x2,5
Экстрактор	148	18,93	27	2,5	ВБШвнг(А)-LS 4x2,5
Фильтр	Ф	14,63	27	2,5	ВБШвнг(А)-LS 4x2,5
Передвижное устройство	ППУ-1	5,92	27	2,5	ВБШвнг(А)-LS 4x2,5
Сантехнический вентилятор	П-1/1; П-1/2; В-2; АО-1	4,69	27	2,5	ВБШвнг(А)-LS 4x2,5
Маслонасос	127a/1; 134a/1; 127a/3; 127a/2; 134a/2	4,69	27	2,5	ВБШвнг(А)-LS 4x2,5
Питание РЩ №3а	РЩ №3а	72,66	84	16	ВБШвнг(А)-LS 4x16
Питание РЩ №4а	РЩ №4а	90,84	112	25	ВБШвнг(А)-LS 3x25+1x16
Щит освещения №1	ЩО №1	21,16	63	10	ВБШвнг(А)-LS 4x10

Питание к распределительным щитам РЩ № 3 и РЩ № 4 подводится при помощи шинопроводов ШМА4-1650 с номинальным током в 1600 А, поэтому выбор проводников для них не производим.

### 3.6 Выбор автоматических выключателей и магнитных пускателей

Для выбора автоматического выключателя необходимо знать ток в линии где он будет устанавливаться. При выборе фирмы-производителя учитывается пожелание заказчика, который пожелал установить Schneider electric. Автоматические выключатели этой фирмы давно устанавливаются на предприятии ПАО «КуйбышевАзот» и зарекомендовали себя с хорошей стороны, также они обладают лучшими характеристиками относительно других производителей. Для наглядного сравнения приведем технические характеристики нескольких автоматических выключателей различных фирм-производителей с одинаковыми номинальными токами и кривой тока в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Сравнение автоматических выключателей

Производитель	Schneider electric	Legrand	IEK
1	2	3	4
Серия	Acti 9 iC60H	RX3	BA47-29
Количество полюсов	4	4	4
Характеристика срабатывания	C	C	C
Номинальный ток, А	63	63	63
Отключающая способность, кА	10	6	4,5
Номинальное рабочее напряжение, В	400	400	400

Продолжение таблицы 3.9

1	2	3	4
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение, кВ	6	4	4
Степень защиты	IP20	IP20	IP20
Диапазон рабочих температур, °С	-35/+70	-30/+50	-40/+50
Электрическая износостойкость, А	10000	10000	10000
Механическая износостойкость, А	20000	20000	20000
Дополнительно	Индикатор положения рычага; Дифференциальными блоками (Vigi); вспомогательные устройства для дистанционного отключения и сигнализации; индикация аварийного отключения	Индикатор положения рычага	Индикатор положения рычага
Цена	6000	1300	600

Из сравнения автоматических выключателей видно, что аппаратура Schneider electric обладает лучшими характеристиками, которые позволяют предотвращать ложные срабатывания при включении оборудования. Также они обладают самой высокой отключающей способностью и выдерживаемым импульсным напряжением. В совокупности всех перечисленных факторов автоматические выключатели Acti 9 iC60H рекомендуются к установке [22].

Выбор автоматических выключателей произведем по номинальному току автомата  $I_{на}$  исходя из условий:

для линии с одним электродвигателем:  $1,25 \cdot I_p < I_{ар}$ ;

для групповой линии с несколькими электродвигателями:  $1,1 \cdot I_p < I_{на}$ .

[11].

Расчетные токи для выбора автоматических выключателей от трансформаторной подстанции к распределительному щиту и от РЩ до электрического приёмника были рассчитаны в пункте 3.5.

Произведем выбор автоматических выключателей от ТП до РЩ и занесем их в таблицу 3.10.

Таблица 3.10 – Выбор автоматических выключателей РЩ

Название	$I_p$ , А	$1,1 I_p$ , А	$I_{нр}$ , А	$I_{ПКС}$ , кА	$I_{на}$ , А	Марка
РЩ3	1401,6	1541,76	1600	70	1600	Compact NS1600H
РЩ3а	58,13	63,94	80	25	100	Compact NSX100B
РЩ4	1301,7	1431,87	1600	70	1600	Compact NS1600H
РЩ4а	72,67	79,94	80	25	100	Compact NSX100B
Щит освещения №1	16,93	18,62	20	15	25	IC60H

Для выбора магнитных пускателей помимо расчётных токов и номинального напряжения также необходимо учитывать мощность двигателя, для которого он устанавливается. Должно соблюдаться условие:  $P_{доп.кон} \geq P_{двиг}$ . Производителем магнитных пускателей также является Schneider Electric [24].

В таблицу 3.11 занесем выбранные автоматические выключатели которые устанавливаются на линии от распределительного щита до электрического приёмника, а также магнитные пускатели.



Таблица 3.11 – Выбор автоматических выключателей электрических приемников

Название	Позиция	$I_p, A$	$1,25 \cdot I_p, A$	$I_{нр}, A$	$I_{ПКС}, kA$	$I_{на}, A$	Марка автом. Выключ.	Марка магнитного пускателя
Вентилятор к воздушному конденсатору	120/1; 120/3; 312/1; 312/3; 312/5; 120/2; 120/4; 312/2; 312/4; 312/6	107,55	134,44	150	50	150	Compact NSX160N	LC1F185B5
Насос конденсата	156/1; 156/2	132,3	165,41	200	36	250	Compact NSX250F	LC1D150P7
Насос конденсата	127/1; 127/3; 134/1; 127/2; 134/2	59,3	74,07	80	25	100	Compact NSX100B	LC1D115P7
Насос питательной воды	IV	428,96	536,2	630	200	630	Compact NSX630R	LC1F500M7
Маслонасос	127a/1; 134a/1; 127a/3; 127a/2; 134a/2;	3,03	3,79	6	15	6	IC60H	LC1K06013M7
Насос флегмы	154/1; 154/2	33,94	42,43	50	15	50	IC60H	LC1D65AM7
Дренажный насос	141	15,42	19,27	20	15	20	IC60H	LC1D32P7
Экстрактор	148	15,5	19,38	20	15	20	IC60H	LC1D32P7
Фильтр	Ф	11,84	14,21	16	15	16	IC60H	LC1K1201P7
Передвижное устройство	ППУ-1	15,42	19,27	20	15	20	IC60H	LC1D32P7
Сантехнический	П-1/1; П-1/2; В-2; АО-1	3,62	4,52	6	15	6	IC60H	LC1K06013M7

вентилятор								
------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Автоматические выключатели, стоящие сразу после трансформатора, а также секционный выключатель должны иметь номинальный ток равный сумме протекающих токов по секциям 1 и 2. Суммарный ток равен 2703,3 А, следовательно, необходимо установить автоматические выключатели с номинальным током 3200 А, модель этого выключателя Schneider electric HW 32 NF [23].

### 3.7 Выбор трансформаторов тока

Для измерения тока в цепях питания необходимо установить трансформаторы тока (ТТ) на каждую линию, для передачи сигнала измерительной информации измерительным приборам или устройствам защиты. [25]. Трансформаторы тока предназначены для преобразования первичного тока высокого значения во вторичный ток, безопасный для его измерений. Вторичный ток ТТ равняется всегда 1 или 5 А, в редких случаях можно изготовить на заказ другую величину вторичного тока.

Выбор будем производить по расчётным токам, найденным в пункте 3.5 и 3.6. Выбирать трансформаторы тока необходимо из условия, что расчётный ток в линии меньше, чем номинальный ток первичной обмотки ТТ  $I_P < I_H$ .

Устанавливать будем трансформаторы тока ТТИ-А фирмы ИЕК. В его конструкции предусмотрена возможность подключения как медных, так и алюминиевых проводников, благодаря луженой медной шине. Также корпус ТТИ-А изготовлен из само затухающего пластика, что обеспечивает пожарно- и электробезопасность. [25]. Занесем в таблицу 3.12 все выбранные трансформаторы тока.

Таблица 3.12 – Выбор трансформаторов тока

Название	Позиция	$I_p, A$	$I_H, A$	Марка
Распределительный щит №3	РЩ №3	1541,76	1600	ТТИ-100 1600/5А 15ВА 0,5
Распределительный щит №3а	РЩ №3а	63,94	75	ТТИ-А 75/5А 5ВА 0,5
Распределительный щит №4	РЩ №4	1431,87	1500	ТТИ-100 1500/5А 15ВА 0,5
Распределительный щит №4а	РЩ №4а	79,94	80	ТТИ-А 80/5А 5ВА 0,5
Вентилятор к воздушному конденсатору	120/1; 120/3; 312/1; 312/3; 312/5; 120/2; 120/4; 312/2; 312/4; 312/6	134,44	150	ТТИ-А 150/5А 10ВА 0,5
Насос конденсата	156/1; 156/2	165,41	200	ТТИ-А 200/5А 10ВА 0,5
Насос конденсата	127/1; 127/3; 134/1; 127/2; 134/2	74,07	75	ТТИ-А 75/5А 5ВА 0,5
Насос питательной воды	IV	536,2	600	ТТИ-А 600/5А 10ВА 0,5
Маслонасос	127а/1; 134а/1; 127а/3; 127а/2; 134а/2	4,69	5	ТТИ-А 5/5А 5ВА 0,5
Насос флегмы	154/1; 154/2	43,86	50	ТТИ-А 50/5А 5ВА 0,5
Дренажный насос	141	18,39	20	ТТИ-А 20/5А 5ВА 0,5
Экстрактор	148	18,93	20	ТТИ-А 20/5А 5ВА 0,5
Фильтр	Ф	14,63	15	ТТИ-А 15/5А 5ВА 0,5
Передвижное устройство	ППУ-1	5,92	10	ТТИ-А 10/5А 5ВА 0,5
Сантехнический	П-1/1; П-1/2; В-2; АО-1	4,69	5	ТТИ-А 5/5А

вентилятор				5BA 0,5
------------	--	--	--	---------

#### 4 Расчёт токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания необходимо производить для проверки выбранного электрооборудования, а также аппаратов коммутации и защиты. Расчёт токов КЗ производится для самого мощного и самого дальнего электроприёмника расположенного в цеху. К расчёту принимается только трехфазный ток короткого замыкания, так как он является самым опасным режимом работы для электрического оборудования [28].

Для электрических установок напряжением до 1 кВ при расчёте токов короткого замыкания необходимо учитывать:

- Индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;
- Активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;
- Активные сопротивления различных контактов и контактных соединений.

Сопротивления всех элементов схемы замещения выражены в мОм.

Для корпуса 06 самым мощным электрическим приемником является насос горячей воды позиции IV, его мощность составляет 250 кВт, а длина линии 65 метров. Самым удаленным электроприёмником является вентилятор к воздушному конденсатору позиции 312/5, мощность электродвигателя 55 кВт, а длина линии 125 метров.

Схема для расчёта токов короткого замыкания для самого мощного и самого удаленного электроприёмников приведена на рисунке 4.1, схема ее замещения изображена на рисунке 4.2.

Трансформаторы тока ТА1, ТА2, ТА4 имеют первичный ток более 500 А, поэтому их сопротивления можно не учитывать в расчётах, так как у них относительно малая величина сопротивления [5].

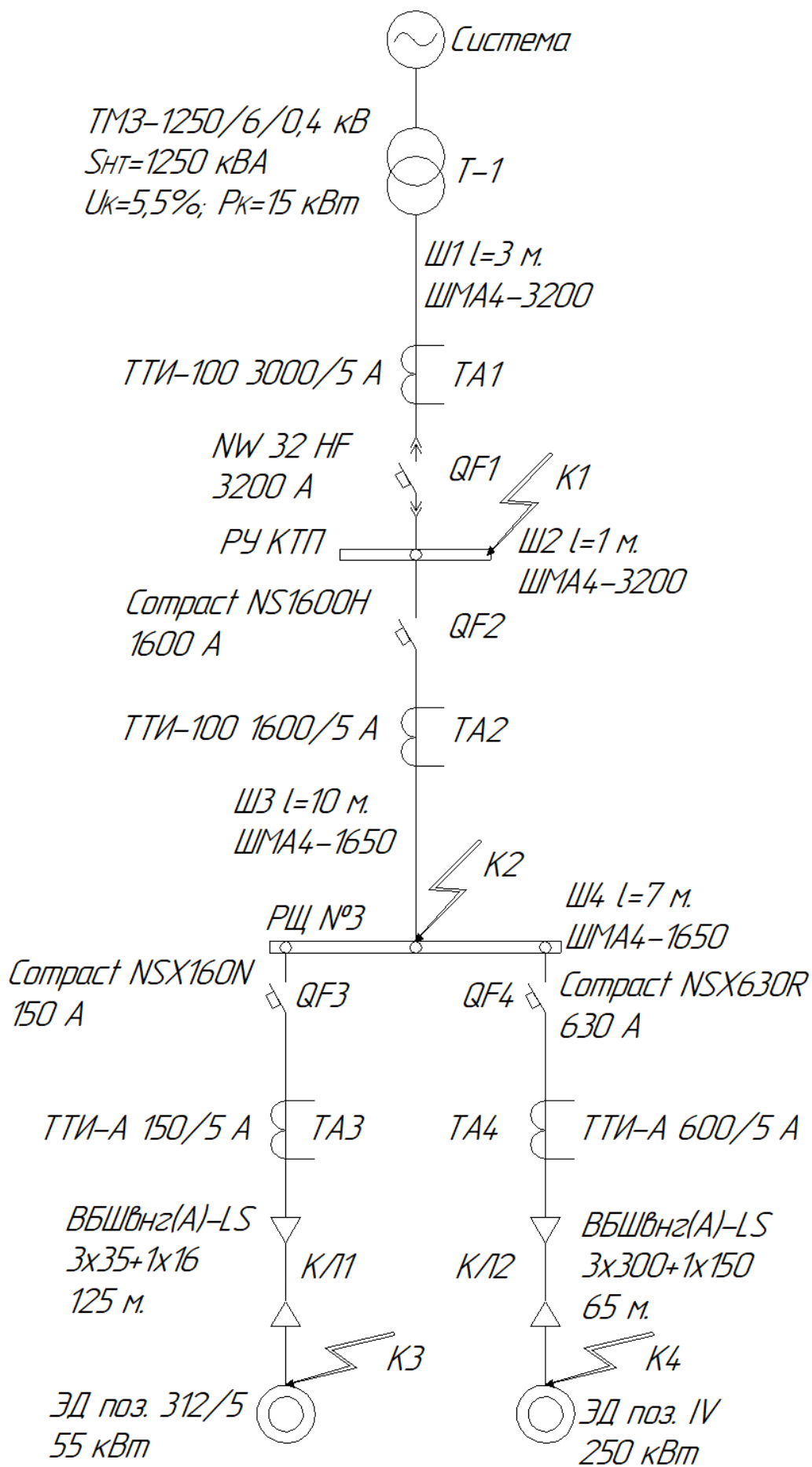


Рисунок 4.1 – Расчётная электрическая схема

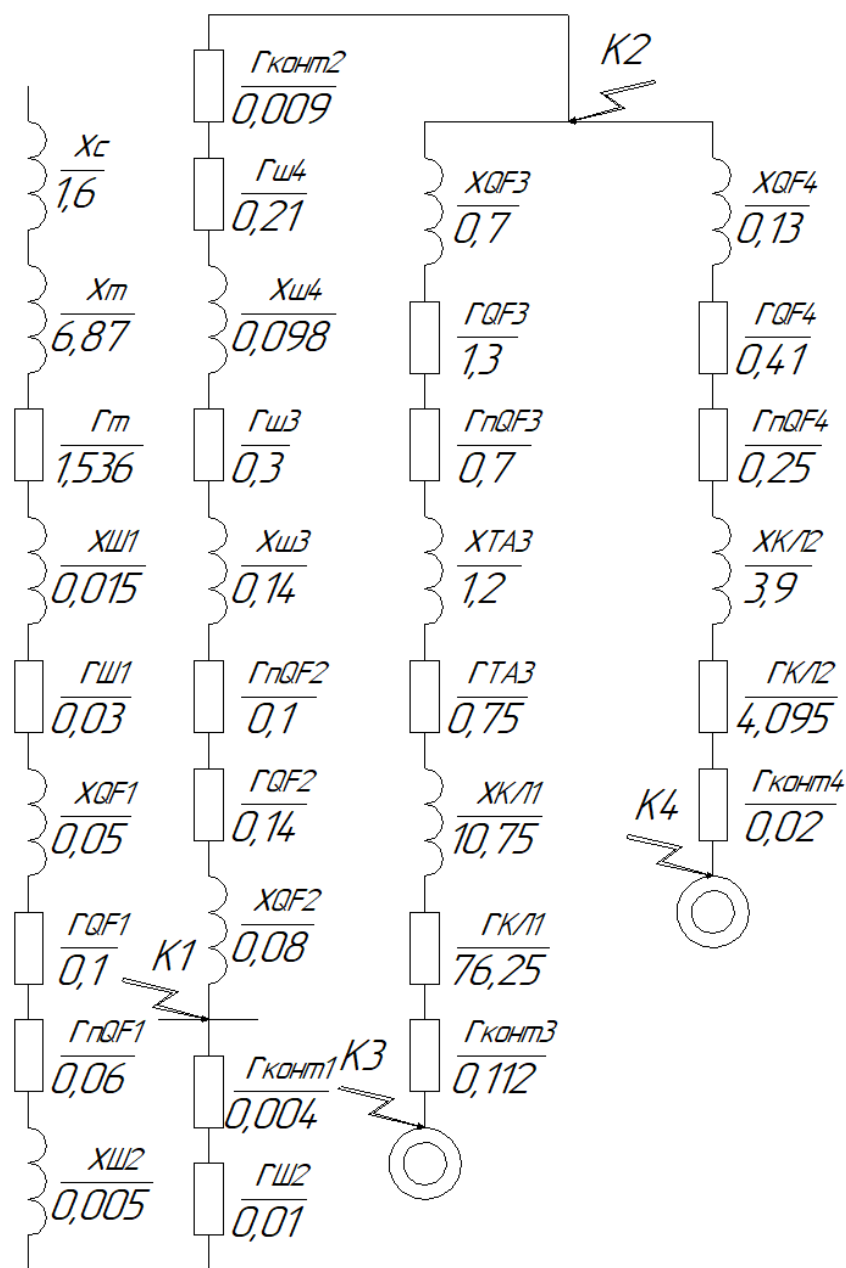


Рисунок 4.2 – Схема замещения

Расчёт токов короткого замыкания произведем в четырёх точках, указанных на расчётной электрической схеме и на схеме ее замещения, они отображены на рисунках 4.1 и 4.2:

K1 – на контактах распределительного устройства трансформаторной подстанции;

K2 – на контактах распределительного щита №3;

K3 – для самого дальнего электрического приёмника;

K4 – для самого мощного электрического приёмника.

Для расчёта значений токов короткого замыкания необходимо найти сопротивления электрического оборудования, участвующих в питании электрического приёмника. Сопротивления находятся в технической документации устройства или в методических пособиях.

Эквивалентное индуктивное сопротивление системы находится по формуле 4.1:

$$x_c = \frac{U_{cp.HH}^2}{S_k} \cdot 10^{-3}, \quad (4.1)$$

где  $U_{cp.HH}$  – среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке низшего напряжения трансформатора, В;  $S_k$  – условная мощность КЗ у выводов обмотки ВН трансформатора, МВА.

Активное и индуктивное сопротивления силового трансформатора находятся по формулам 4.2 и 4.3 соответственно:

$$r_T = \frac{P_{к.ном} \cdot U_{HH.ном}^2}{S_{T.ном}^2} \cdot 10^6. \quad (4.2)$$

$$x_T = \sqrt{u_k^2 - \left( \frac{100 \cdot P_{к.ном}}{S_{T.ном}} \right)^2} \cdot \frac{U_{HH.ном}^2}{S_{T.ном}} \cdot 10^4, \quad (4.3)$$

где  $P_{к.ном}$  – потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт;  $U_{HH.ном}$  – номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ;  $S_{T.ном}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;  $u_k$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Активное и индуктивное сопротивления для кабельной линии рассчитывается по формулам 4.4 и 4.5 соответственно:

$$r_{KL} = r_0 \cdot l. \quad (4.4)$$

$$x_{KL} = x_0 \cdot l, \quad (4.5)$$

где  $l$  – длина кабельной линии, м;  $r_0$  – активное сопротивление кабельной линии, мОм/м;  $x_0$  – индуктивное сопротивление кабельной линии, мОм/м.

Расчёт активного и индуктивного сопротивления для шинпровода аналогичен расчёту кабельной линии, только при расчёте учитываются активное и индуктивное сопротивления и длина шинпровода, а не кабельной линии [6].

Сопротивления контактных соединений для каждого типа кабелей и шинпроводов возьмём из ГОСТ 28249-93 [5]. Также возьмем данные для автоматических выключателей, трансформаторов тока, кабелей и шинпроводов [5, 6, 11, 13].

Произведем расчёт сопротивлений для всех элементов схемы замещения и для удобства восприятия результатов занесем их в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Расчёт сопротивлений электрооборудования

Расчётные параметры	Результаты расчётов
1	2
Система $x_c$	$x_c = \frac{400^2}{100} \cdot 10^{-3} = 1,6 \text{ мОм.}$
Силовой трансформатор $r_T$	$r_T = \frac{15 \cdot 0,4^2}{1250^2} \cdot 10^6 = 1,536 \text{ мОм,}$
$x_T$	$x_T = \sqrt{5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 15}{1250}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{1250} \cdot 10^4 = 6,87$ мОм.
Шинпровод ШМА4-3200 Ш1	$r_{Ш1} = 0,01 \cdot 3 = 0,03 \text{ мОм;}$ $x_{Ш1} = 0,005 \cdot 3 = 0,015 \text{ мОм.}$
Автоматический выключатель QF1	$r_{QF1} = 0,1 \text{ мОм; } r_{П.QF1} = 0,06 \text{ мОм;}$ $x_{QF1} = 0,05 \text{ мОм.}$
Шинпровод ШМА4-3200 Ш2	$r_{Ш2} = 0,01 \cdot 1 = 0,01 \text{ мОм;}$ $x_{Ш2} = 0,005 \cdot 1 = 0,005 \text{ мОм.}$
Сопротивление контактов 1	$r_{конт.1} = 0,002 \cdot 2 = 0,004 \text{ мОм.}$



Продолжение таблицы 4.1

Автоматический выключатель QF2	$r_{QF2} = 0,14 \text{ мОм}; r_{II.QF2} = 0,1 \text{ мОм};$ $x_{QF2} = 0,08 \text{ мОм}.$
Шинопровод ШМА4-1650 Ш3	$r_{Ш3} = 0,03 \cdot 10 = 0,3 \text{ мОм};$ $x_{Ш3} = 0,014 \cdot 10 = 0,14 \text{ мОм}.$
Шинопровод ШМА4-1650 Ш4	$r_{Ш4} = 0,03 \cdot 7 = 0,21 \text{ мОм};$ $x_{Ш4} = 0,014 \cdot 7 = 0,098 \text{ мОм}.$
Сопротивление контактов 2	$r_{конт.2} = 0,003 \cdot 3 = 0,009 \text{ мОм}.$
Автоматический выключатель QF3	$r_{QF3} = 1,3 \text{ мОм}; r_{II.QF3} = 0,7 \text{ мОм};$ $x_{QF3} = 0,7 \text{ мОм}.$
Трансформатор тока ТА3	$r_{ТА3} = 0,75 \text{ мОм}; x_{ТА3} = 1,2 \text{ мОм}.$
Кабельная линия КЛ1, мОм.	$r_{КЛ1} = 0,61 \cdot 125 = 76,25 \text{ мОм};$ $x_{КЛ1} = 0,086 \cdot 125 = 10,75 \text{ мОм}.$
Сопротивление контактов 3	$r_{конт.3} = 0,056 \cdot 2 = 0,112 \text{ мОм}.$
Автоматический выключатель QF4	$r_{QF4} = 0,41 \text{ мОм}; r_{II.QF4} = 0,25 \text{ мОм};$ $x_{QF4} = 0,13 \text{ мОм}.$
Кабельная линия КЛ2, мОм.	$r_{КЛ2} = 0,063 \cdot 65 = 4,095 \text{ мОм};$ $x_{КЛ2} = 0,06 \cdot 65 = 3,9 \text{ мОм}.$
Сопротивление контактов 4	$r_{конт.4} = 0,01 \cdot 2 = 0,02 \text{ мОм}.$

Активное и индуктивное сопротивления для точки короткого замыкания К1 находятся по формулам 4.6 и 4.7 соответственно:

$$r_{\Sigma K1} = r_T + r_{Ш1} + r_{QF1} + r_{II.QF1} + r_{Ш2} + r_{конт.1}, \quad (4.6)$$

$$x_{\Sigma K1} = x_C + x_T + x_{Ш1} + x_{QF1} + x_{Ш2}. \quad (4.7)$$

Сопротивления для точки К2 находятся по формулам 4.8 и 4.9:

$$r_{\Sigma K2} = r_{\Sigma K1} + r_{QF2} + r_{П.QF2} + r_{Ш3} + r_{Ш4} + r_{\text{конт.2}}, \quad (4.8)$$

$$x_{\Sigma K2} = x_{\Sigma K1} + x_{QF2} + x_{Ш3} + x_{Ш4}. \quad (4.9)$$

Сопrotивления для точки К3 находятся по формулам 4.10 и 4.11:

$$r_{\Sigma K3} = r_{\Sigma K2} + r_{QF3} + r_{П.QF3} + r_{ТА3} + r_{КЛ1} + r_{\text{конт.3}}, \quad (4.10)$$

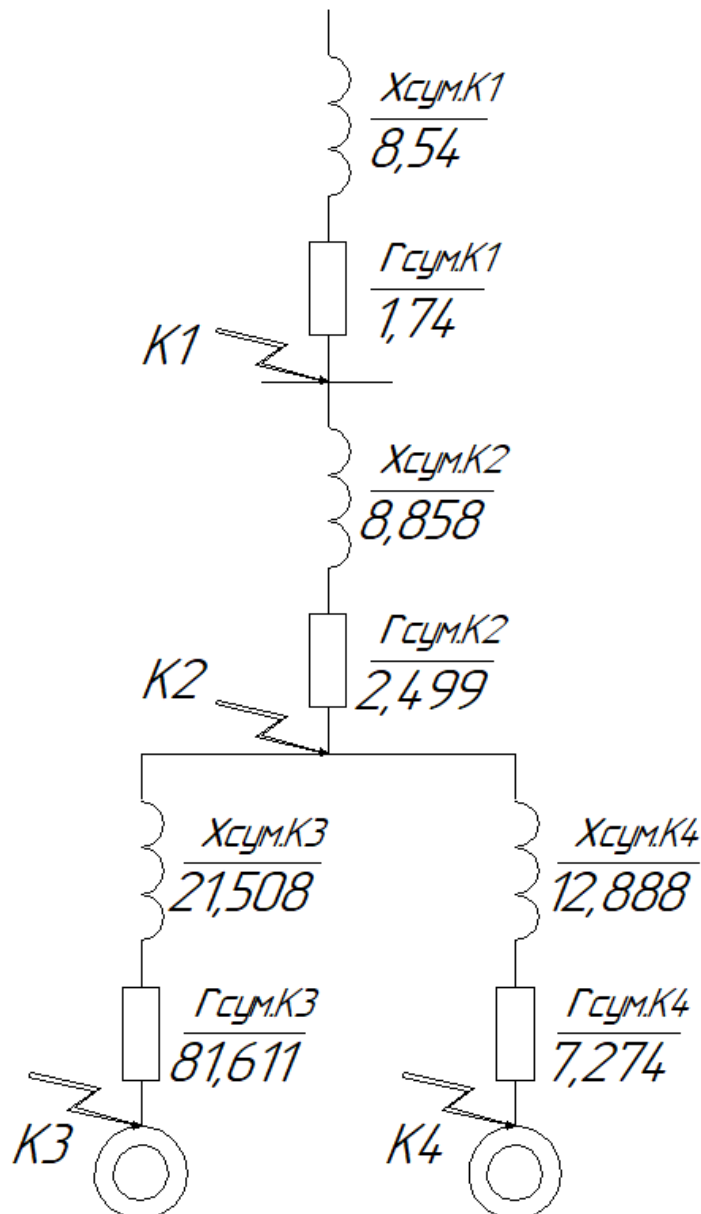
$$x_{\Sigma K3} = x_{\Sigma K2} + x_{QF3} + x_{ТА3} + x_{КЛ1}. \quad (4.11)$$

Сопrotивления для точки К4 находятся по формулам 4.12 и 4.13:

$$r_{\Sigma K4} = r_{\Sigma K2} + r_{QF4} + r_{П.QF4} + r_{КЛ2} + r_{\text{конт.4}}, \quad (4.12)$$

$$x_{\Sigma K4} = x_{\Sigma K2} + x_{QF4} + x_{КЛ2}. \quad (4.13)$$

Составим эквивалентную упрощенную схему замещения для расчёта токов К3 и изобразим ее на рисунке 4.3.



### Рисунок 4.3 – Упрощенная схема замещения

Для каждой из расчётных точек необходимо рассчитать полное сопротивление, их посчитаем по формуле 4.14 подставляя для нужной точки нужное значение:

$$z_{Kx} = \sqrt{r_{\Sigma Kx}^2 + x_{\Sigma Kx}^2} \quad (4.14)$$

Ток трехфазного короткого замыкания также будем рассчитывать для каждой точки по формуле 4.15:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{CP.HH}}{\sqrt{3} \cdot z_K} \quad (4.15)$$

Ударный ток короткого замыкания находится по формуле 4.16:

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\kappa}^{(3)} \quad (4.16)$$

Ударный коэффициент  $K_y$  находится по формулам 4.17 и 4.18:

$$K_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}, \quad (4.17)$$

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{r_{\Sigma} \cdot \omega_c}, \quad (4.18)$$

где  $T_a$  – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания, с;  $\omega_c$  – синхронная угловая частота напряжения сети, рад/с.

Для удобства восприятия полученных результатов, занесем их в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты расчётов для всех точек короткого замыкания

Точки КЗ	Значения сопротивлений			Ток трехфазного КЗ	Ударный коэфф- ициент	Ударный ток
	$r_{\Sigma}$ , МОм	$x_{\Sigma}$ , МОм	$z$ , МОм	$I_{\kappa}^{(3)}$ , кА	$K_y$	$i_{y0}$ , кА
К1	1,74	8,54	8,72	26,48	1,53	57,29
К2	2,499	8,858	9,2	25,1	1,41	50,05
К3	81,611	21,508	84,4	2,74	1,00	3,87

K4	7,274	12,888	14,8	15,6	1,17	25,81
----	-------	--------	------	------	------	-------

## 5 Расчёт заземления

Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус или по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, попадание молнии и т. п.) [9].

По требованиям ПУЭ заземляющее устройство напряжением до 1000В в сетях с глухозаземлённой или изолированной нейтралью, которое выполняется с соблюдением требований к его сопротивлению, должно иметь в любое время года сопротивление не более 4 Ом с учетом сопротивления естественных и искусственных заземлителей. Согласно этих же правил, если суммарная установленная мощность генераторов и преобразователей электроэнергии рассматриваемого корпуса превышает 100 кВА, то тогда это значение не должно превышать 10 Ом [1].

Защитное заземление необходимая мера безопасности на предприятии и не только, так как оно уменьшает напряжение прикосновения, возникшее из-за повреждения или износа изоляции электрических кабелей и проводов [26].

Данные для расчёта защитного заземления корпуса 06 занесем в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – данные для расчёта заземления

Параметры	Величина
1	2
Длина стержней	$L = 5 \text{ м.}$
Диаметр стержней	$d = 0,018 \text{ м.}$
Ширина полосы заземления	$b = 0,04 \text{ м.}$
Расстояние между стержнями	$a = 5 \text{ м.}$
Необходимое сопротивление заземления	$R_s = 4 \text{ Ом.}$
Глубина заложения полосы	$t = 0,7 \text{ м.}$
Удельное сопротив. верхнего слоя грунта	$\rho_1 = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м. (чернозем)}$

Продолжение таблицы 5.1

Удельное сопротив. нижнего слоя грунта	$\rho_2 = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м. (суглинок полутвердый)}$
Толщина верхнего слоя грунта	$H = 2 \text{ м.}$
Климатическая зона Тольятти	II
Коэф. сезонности вертикальный	$K_{\text{сез.вер}} = 1,8$
Коэф. сезонности горизонтальный	$K_{\text{сез.гор}} = 4,5$
Кф. использования вертикальных стержней	$\eta_{\text{вер}} = 0,62$
Кф. использования горизонтальных стержней	$\eta_{\text{гор}} = 0,36$

1) Определяется эквивалентное удельное сопротивление по формуле 5.1:

$$\rho_{\text{экв}} = \frac{K_{\text{сез.вер}} \cdot \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L}{\rho_1 \cdot K_{\text{сез.вер}} (L - H + t) + \rho_2 (H - t)}, \quad (5.1)$$

$$\rho_{\text{экв}} = \frac{1,8 \cdot 50 \cdot 100 \cdot 5}{50 \cdot 1,8(5 - 2 + 0,7) + 100(2 - 0,7)} = 97,19 \text{ Ом.}$$

2) Определяется сопротивление одного вертикального стержня по формуле 5.2:

$$R_c = \frac{\rho_{\text{экв}}}{2\pi L} \cdot \left( \ln\left(\frac{2 \cdot L}{d}\right) + \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot T + L}{4 \cdot T - L}\right) \right), \quad (5.2)$$

$$R_c = \frac{97,19}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \left( \ln\left(\frac{2 \cdot 5}{0,018}\right) + \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5}\right) \right) = 20,84 \text{ Ом.}$$

3) Расстояние от середины стержня до поверхности земли  $T$  находится по формуле 5.3:

$$T = \left(\frac{L}{2}\right) + t, \quad (5.3)$$

$$T = \left(\frac{5}{2}\right) + 0,7 = 3,2 \text{ м.}$$

4) Количество необходимых вертикальных стержней рассчитывается по формуле 5.4, полученное значение округляется в большую сторону:

$$N_{вер} = \frac{R_c}{\eta_{вер} \cdot R_3}, \quad (5.4)$$

$$N_{вер} = \frac{20,84}{0,62 \cdot 4} = 8,4$$

где  $\eta_{вер}$  – коэффициент спроса вертикальных стержней, принимается равным 0,62.

Число вертикальных стержней принимается в количестве 9 штук. При таком количестве стержней длина горизонтального заземлителя будет рассчитана по формуле 5.5:

$$L_2 = a \cdot N_{вер}, \quad (5.5)$$

$$L_2 = 5 \cdot 9 = 45 \text{ м.}$$

5) Необходимо определить сопротивление растекания заземляющей (горизонтальной) полосы по формуле 5.6:

$$R_n = 0,366 \left( \frac{\rho_{э\kappa\text{в}} \cdot K_{\text{сез.зоп}}}{L_2 \cdot \eta_{\text{зоп}}} \right) \cdot \lg \left( \frac{2 \cdot L_2^2}{b \cdot t} \right), \quad (5.6)$$

$$R_n = 0,366 \left( \frac{97,19 \cdot 4,5}{45 \cdot 0,36} \right) \cdot \lg \left( \frac{2 \cdot 45^2}{0,04 \cdot 0,7} \right) = 50,98 \text{ Ом.}$$

б) Определим общее значение сопротивления растекания вертикальных стержней с учетом горизонтальных заземлителей по формуле 5.7:

$$R_{об} = \frac{R_c \cdot R_n}{R_c \cdot \eta_{зоп} + R_n \cdot \eta_{вер} \cdot N_{вер}} \quad (5.7)$$

$$R_{об} = \frac{20,84 \cdot 50,98}{20,84 \cdot 0,36 + 50,98 \cdot 0,62 \cdot 9} = 3,64 \text{ Ом}$$

Общее сопротивление заземляющего устройства равно 3,64 Ом, что соответствует, нормам и требованиям, прописанным в главе 1.7 ПУЭ [1].

К применению предлагаются вертикальные заземлители в количестве 9 шт сталь круглая СтЗпс5  $\varnothing=18$  мм длиной 5 метров, и сталь полосовая СтЗпс5 сечением 5x40 мм длиной 45 метров. Шаг расположения вертикальных заземлителей 5 метров.

## 6 Проверка выбранных автоматических выключателей

Проверка коммутационной аппаратуры производится на динамическую устойчивость и по отключающей способности. Ток динамической стойкости определяется ударным током, который может быть пропущен через автоматический выключатель. Проверка на динамическую устойчивость производится по формуле 6.1[12].

$$I_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}, \quad (6.1)$$

где  $I_{\text{дин}}$  – ток динамической стойкости автоматического выключателя, кА.

Ток динамической стойкости автоматического выключателя рассчитывается по формуле 6.2.

$$I_{\text{дин}} = n \cdot I_{\text{пкс}}, \quad (6.2)$$

где  $I_{\text{пкс}}$  – предельная коммутационная способность автоматического выключателя, кА;  $n$  – коэффициент характеризующий отношение наибольшей включающей способности к наибольшей отключающей способности.

К проверке принимаются автоматические выключатели, установленные на линии в местах расчёта тока КЗ из пункта 4. Коммутационные аппараты и данные для их проверки занесем в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – проверка на динамическую стойкость

Автоматический выключатель	Марка	$I_{\text{пкс}}$ , кА	$n$	$i_{\text{уд}}$ , кА	$I_{\text{дин}}$ , кА	Результат
QF1	NW 32 HF	187	2,2	57,29	411,4	411,4 > 57,29 Пройдена
QF2	Compact NS1600H	70	2,2	50,05	154	154 > 50,05 Пройдена
QF3	Compact NSX160N	50	2,2	3,87	110	110 > 3,87 Пройдена
QF4	Compact NSX630R	200	2,2	25,81	440	440 > 25,81 Пройдена



При выборе автоматического выключателя важным фактором является устойчивость к токам короткого замыкания. Для определения этого фактора используется понятие предельной коммутационной стойкости (ПКС), которое характеризует его нормальную работу при включении его на ток короткого замыкания. Для отключения коммутационным аппаратом высоких токов КЗ, необходимо чтобы он обладал достаточной отключающей способностью. При этом отключающая способность аппарата должна соответствовать условию  $I_{ПКС} \geq I^{(3)}$  [30].

Произведем проверку автоматических выключателей по отключающей способности, полученные результаты занесем в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Проверка аппаратов по отключающей способности

Автоматический выключатель	Марка	$I_{ПКС}$ , кА	Ток КЗ $I^{(3)}$ , кА	Результат
QF1	NW 32 HF	187	26,48	187>26,48 Пройдена
QF2	Compact NS1600H	70	25,1	70>25,1 Пройдена
QF3	Compact NSX160N	50	2,74	50>2,74 Пройдена
QF4	Compact NSX630R	200	15,6	200>15,6 Пройдена

Таким образом, по полученным результатам, можно сделать вывод, что автоматические выключатели прошли проверку по отключающей способности и по динамической стойкости. Так как выбранное оборудование прошло все испытания успешно можно сделать вывод, что замена оборудования на более мощное не требуется.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе произведена реконструкция электрической части действующего корпуса 06 по производству аммиака входящего в состав цеха № 11 предприятия ПАО «КуйбышевАзот».

Опираясь на предпроектное обследование и произведённый анализ проблем, был произведен выбор электрических двигателей и силовых кабелей. С помощью расчётной программы DIALux Light 4.12 была спроектирована новая электрическая система освещения при помощи современных взрывозащищенных светодиодных светильников общей мощностью 11,14 кВт.

Произведен расчёт электрических нагрузок после установки новых электрических двигателей и новой системы освещения, что позволило выбрать новые трансформаторы типа ТМЗ-1250/6/0,4. Также была произведена компенсация реактивной мощности на каждой из секций. Таким образом на первой секции шин устанавливается КРМ-0,4-100, а на второй КРМ-0,4-125.

Произведен расчёт сечений силовых кабелей внутрицехового электроснабжения с использованием кабелей ВБШвнг(А)-LS. Рассчитаны токи для выбора автоматических выключателей, магнитных пускателей и трансформаторов тока.

Рассчитаны токи короткого замыкания в четырёх расчётных точках: на контактах распределительного устройства трансформаторной подстанции, на контактах распределительного щита, для самого дальнего ЭП и самого мощного ЭП. По полученным значениям произведена проверка на стойкость выбранного оборудования к трехфазному току КЗ, а также к ударному току.

Защитное заземление в корпусе 06 выполнено при помощи 9 вертикальных заземлителей длиной 5 метров из круглой стали Ст3пс5  $\varnothing=18$  мм и горизонтальных заземлителей из полосовой стали Ст3пс5 сечением 5x40 мм длиной 45 метров. Шаг расположения вертикальных заземлителей 5 метров.

Результатом работы является готовый проект реконструкции части корпуса 06 предприятия ПАО «КуйбышевАзот».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройства электроустановок. М: Энергоатомиздат, 2015. 330 с.
2. ГОСТ Р 52719-2007 Трансформаторы силовые. Общие технические условия. Введ. 2008-01-01. М.: Стандартиформ, 2007. 45 с.
3. ГОСТ 31996-2012 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия. Введ. 2014-01-01. М.: Стандартиформ, 2013. 40 с.
4. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. Введ. 2014-07-01. М.: Стандартиформ, 2014. 20 с.
5. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчёта в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. Введ. 1995-01-01. М.: Стандартиформ, 2006. 47 с.
6. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М.: НИЦ ЭНАС, 2002. 152 с.
7. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности». М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. 31 с.
8. Сивков А.А., Сайгаш А.С., Герасимов Д.Ю. Основы электроснабжения: учеб. пособие для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2017. 173 с. (Университеты России).
9. Славинский А.К, Электротехника с основами электроники: учеб. пособие. М.: ИД ФОРУМ, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 448 с.
10. Быстрицкий Г.Ф., Кудрин Б.И. Электроснабжение. Силовые трансформаторы: учеб. пособие для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2017. 175 с. (Университеты России).

11. Карапетян И.Г., Файбисович Д.Л., Шапиро И.М. Справочник по проектированию электрических сетей: 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2012. 376 с.
12. Ерошенко Г.П., Кондратьева Н.П. Эксплуатация электрооборудования: Учебник. М.: ИНФРА-М, 2014. 336 с. (Высшее образование: Бакалавриат).
13. Киреева Э.А., Шерстнев С.Н. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчётов): справочное издание. М.: КНОРУС, 2013. 864 с.
14. Взрывозащищенные электродвигатели. Владимирский электромоторный завод. [Электронный ресурс] URL: <http://www.ruselprom.ru/support/informatsionnye-materialy/tekhnicheskaya-dokumentatsiya/kharakteristiki-elektricheskikh-mashin-poseriyam/vzryvozashchishchennye-elektrodivigateli/> (дата обращения 18.10.2018).
15. Силовые кабели ВБШвнг(А)-LS. ЭлектроКомплект-Сервис. [Электронный ресурс] URL: <https://e-кc.ru/price/cable-vbshvnga-ls> (дата обращения: 18.10.2018).
16. Силовые кабели АВБШвнг(А)-LS. ЭлектроКомплект-Сервис. [Электронный ресурс] URL: <https://e-кc.ru/price/avbshvnga-ls> (дата обращения: 18.10.2018).
17. Взрывозащищенные светодиодные светильники HB LED 150 D80. Световые технологии. [Электронный ресурс] URL: <https://www.ltcompany.com/ru/products/types/explosionproof/light-fittings/hb-led-ex/hb-led-150-d80-ex-5000k/> (дата обращения: 25.11.2018).
18. Взрывозащищенные светодиодные светильники SLICK. PRS ECO LED 60. Световые технологии. [Электронный ресурс] URL: <https://www.ltcompany.com/ru/products/types/explosionproof/light-fittings/slick-led-ex/slick-prs-eco-led-60-ex-5000k/> (дата обращения: 25.11.2018).

19. Силовые трансформаторы. ООО Энергетическая компания «Силовые трансформаторы». [Электронный ресурс] URL: [http://transform74.ru/tr/transformator\\_tmz/170/](http://transform74.ru/tr/transformator_tmz/170/) (дата обращения: 11.12.2018).
20. Конденсаторная установка КРМ-0,4-100. Торговая электротехническая компания «Энергозапад». [Электронный ресурс] URL: <http://energozapad.ru/kondensatornaya-ustanovka-krm-04-na-100-kvar> (дата обращения: 18.12.2018).
21. Конденсаторная установка КРМ-0,4-125. Торговая электротехническая компания «Энергозапад». [Электронный ресурс] URL: <http://energozapad.ru/kondensatornaya-ustanovka-krm-04-na-125-kvar> (дата обращения: 18.12.2018).
22. Автоматические выключатели. Schneider Electric. [Электронный ресурс] URL: <https://www.se.com/ru/ru/product-range/7556-acti-9-ic60/?parent-category-id=1600&parent-subcategory-id=1605> (дата обращения: 21.01.2019).
23. Низковольтные выключатели-разъединители. Schneider Electric. [Электронный ресурс] URL: <https://www.se.com/ru/ru/product-range/1007-masterpact-nw/> (дата обращения: 23.01.2019).
24. Магнитные пускатели. Schneider Electric. [Электронный ресурс] URL: <https://www.se.com/ru/ru/product-range/664-tesys-d/> (дата обращения: 21.01.2019).
25. Трансформаторы тока. Группа компаний ИЕК. [Электронный ресурс] URL: [https://www.iek.ru/products/catalog/pribory\\_ucheta\\_kontrolya\\_izmereniya\\_i\\_oborudovanie\\_elektropitaniya/pribory\\_ucheta/transformatory\\_toka\\_tti/](https://www.iek.ru/products/catalog/pribory_ucheta_kontrolya_izmereniya_i_oborudovanie_elektropitaniya/pribory_ucheta/transformatory_toka_tti/) (дата обращения: 13.02.2019).
26. Trevor Linsley. Electrical Installation Work: Level 2 EAL Edition, Second edition. Abingdon: Routledge, 2019. 372 p.
27. Jin Zhong. Power System Economic and Market Operations. 1st Edition. Boca Raton: CRC Press, 2018. 237 p.

28. Thomas E. Baker. Electrical Calculations and Guidelines for Generating Stations and Industrial Plants. Second Edition. Boca Raton: CRC Press, 2017. 372 p.
29. Robert E. Henry, PE. Models for Design. Electrical Calculations for Industrial Plants. 1st Edition. Boca Raton: CRC Press, 2017. 165 p.
30. J.C. Das. Power System Protective Relaying. Power Systems Handbook-Volume 4. Boca Raton: CRC Press, 2017. 702 p.
31. Вахнина В.В., Самолина О.В., Черненко А.Н. Требования к выпускной квалификационной работе бакалавров: учебно-методическое пособие для студентов направления 13.03.02. Тольятти: ТГУ, 2018. 34 с.