

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 Реконструкция системы электроснабжения сталелитейного завода

Обучающийся

М.А. Маркелов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2023

Аннотация

В ниже представленной выпускной квалификационной работе изложен процесс формирования предварительного проекта реконструкции системы электроснабжения сталелитейного завода.

Выполнен анализ состояния системы электроснабжения, которое признано неудовлетворительным. Описан и обоснован анализ состава и характера функционирования нагрузок предприятия, изучены финальные показатели мощности производства. Произведен выбор и проверка оборудования и проводников предприятия, сформированы планы прокладки кабельных трасс и подключения оборудования с учетом актуальных данных по нагрузке.

Итогом выполнения выпускной квалификационной работы является формализация решений, которые лягут в основу будущей реконструкции системы электроснабжения сталелитейного завода, определение критериев, формирующих верное направление для дальнейшего проектирования.

Выпускная квалификационная работа выполнена в объеме 61 страницы, содержит 14 таблиц, 9 рисунков, список используемых источников из 20 наименований.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия.....	6
2 Расчет электрических нагрузок предприятия	14
2.1 Расчет общецеховых нагрузок.....	15
2.2 Выбор компенсирующего устройства.....	22
3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов.....	25
3.1 Расчет высоковольтной нагрузки	27
4 Расчет токов короткого замыкания	29
5 Выбор и расчет электрических аппаратов и проводников.....	37
5.1 Выбор аппаратов защиты.....	37
5.2 Выбор проводников.....	44
6 Выбор основного электрооборудования и его проверка.....	48
6.1 Выбор устройств релейной защиты и автоматики	52
7 Расчет заземления и молниезащиты.....	56
Заключение	58
Список используемых источников.....	60

Введение

За период, прошедший со дня образования Российской Федерации в 1991 году, экономика нашей страны успела пережить как взлеты, так и падения. Закрывались, а затем вновь открывались под новыми наименованиями предприятия, менялось законодательство и руководство всех уровней. Неизменным во все времена являлось лишь одно. А именно, значимость уровня развития промышленности вообще и тяжелой промышленности – в частности для всех сфер жизни государства и общества.

На сегодняшний день, когда стремительный рост экономики сопровождается взрывоподобным развитием технологий, особенно важно обеспечить стабильное функционирование промышленных предприятий, не только сохранив показатели прошлых лет, но и подняв их на принципиально новый уровень. Одним из важнейших аспектов нормального функционирования производственных площадок в свою очередь является наличие качественного сырья и заготовок для изготовления деталей на всех уровнях производства. Одним из крупнейших в стране производителей такого сырья является сталелитейный завод, расположенный в промышленной зоне города Челябинска, а именно – Челябинский металлургический комбинат (ЧМК).

Запущенный в 1943 году для обеспечения металлом оборонных предприятий, данный завод отличается богатой историей и занимает почетное место в аспекте производства изделий из чугуна, стального проката из углеродистой и нержавеющей стали. На данный момент ЧМК входит в состав крупной металлургической компании ПАО «Мечел».

В рамках программы по реконструкции производства, утвержденной ПАО «Мечел» до 2030-го года, планируется обновление не только основного оборудования предприятия, но и вышедших из строя, морально устаревших или попросту изношенных элементов инженерных систем, в особенности – системы электроснабжения. Несмотря на то, что отдельные участки сети

неоднократно ремонтировались с 1943-го года, капитальный ремонт так и не был произведен ни на одном из производств, что усложняет эксплуатацию системы электроснабжения, приводит к частым локальным сбоям и перерывам электропитания. В масштабах работы предприятия это влечет за собой потери на недоотпуск продукции и брак.

Для минимизации таких потерь и экономии бюджета в будущем, руководством предприятия принято решение произвести капитальную реконструкцию системы электроснабжения производств, начав с наиболее старой и изношенной, а именно – системы электроснабжения чугунолитейного производства.

Последний раз значительный ремонт данной системы производился в 2016-м году, затронув, в основном, оборудование распределительных устройств, а отдельные узлы и агрегаты не менялись с 70-х годов прошлого века. Еще одной существенной проблемой избыточная заполненность кабельных лотков, обусловленная тем, что кабели, изначально проложенные при строительстве завода, а затем вышедшие из строя, так и не была извлечена обратно. Новые кабели прокладывались поверх старых. Это создает особые проблемы при монтаже слаботочных сетей АСУТП, так как отдельные лотки для них не предусмотрены, а использование проводов с высокой степенью экранирования крайне затратно.

В связи с обновлением норм и правил, касающихся электрооборудования, большая часть электрических сетей и аппаратов выработали плановый срок эксплуатации, морально устарели и нуждаются в замене.

На основании вышеизложенного, целью выпускной квалификационной работы является формирование предварительного проекта реконструкции системы электроснабжения сталелитейного завода.

1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия

Челябинский металлургический комбинат (ЧМК), расположенный в промышленном секторе города Челябинск и входящий в состав крупного металлургического холдинга ПАО «Мечел» основан в 1943 году для обеспечения фронта чугунами и стальными изделиями, производства рельс и иного металлопроката, крайне необходимого государству. Имея стратегически важное значение для экономики Российской Федерации предприятие с достоинством выдержало испытания перестроечных и постперестроечных времен и вступило в фазу новейшей истории.

Являясь местом работы более чем 18 тысяч сотрудников, ЧМК на сегодняшний день является одним из крупнейших в стране производителей изделий из различных марок стали и чугуна, обеспечивая качественной продукцией многие отрасли промышленности.

Наиболее старым из пущенных в работу производств ЧМК является чугунолитейное производство. Выпустившее первую продукцию в год открытия предприятия (1943), по состоянию на сегодняшний день производство ни разу не прекращало свою работу, варьируя лишь объемы выпуска продукции в зависимости от объемов заказа и поставок сырья.

В связи с тем, что помимо прочих, ЧМК обеспечивает металлоконструкциями оборонные предприятия, на данный момент возникла необходимость в задействовании дополнительных мощностей на обеспечение нужд фронта, подобно тем годам, когда из печей ЧМК вышла первая отливка.

В результате длительной непрерывной работы предприятия, имеющиеся на нем инженерные системы, хоть и имели значительный запас прочности, постепенно пришли в негодность. Несмотря на то, что частичная модернизация оборудования и инженерных сетей проводились неоднократно, а аварийный ремонт, обусловленный критическим износом отдельных узлов, в последнее время ведется непрерывно, общая ситуация от этого не

улучшается – имеющиеся инженерные системы выработали свой ресурс и нуждаются в капитальной реконструкции. Не обошла такая участь и систему электроснабжения.

Проложенные в далеких 1940-х годах кабели и провода пришли в негодность и по мере выхода из строя функционально заменялись новыми кабелями и проводами. Однако далеко не всегда такая замена сопровождалась очисткой кабельных трасс от старых проводников. В результате, на данный момент большая часть кабельных лотков непригодна к прокладке кабелей и даже не закрыта крышками. Фотографии подобных лотков представлены на рисунке 1.



Рисунок 1– Кабельная трасса ПАО «ЧМК»

В условиях металлургического производства, особенно – в зоне размещения плавильных печей, где существует опасность попадания на кабели расплавленного металла и горячей окалины, такая ситуация крайне неприемлема. Несмотря на то, что подобные проблемы пытаются решать в рабочем порядке, в приоритете чаще всего оказывается быстрый запуск оборудования, а не качество и монтаж в соответствии со стандартами, что впоследствии приводит к ранним повторным отказам.

Не лучше обстоят дела и с системой освещения завода. В связи с высокой степенью загрязнения на производственном участке, освещенность цехов от общего освещения остается крайне низкой, что обусловило решение руководства о применении в цехах зонального освещения. Однако такое решение также требует обновления проводки с обеспечением высокой степени защиты в зонах разлета окалины.

Не менее значительные проблемы наблюдаются в случае с защитно-коммутационной аппаратурой. Имеющиеся вводно-распределительные устройства (ВРУ) неоднократно частично ремонтировались, что привело к крайней запутанности схем питания, прокладке кабелей вопреки правилам, установленным в [10]. Часть аппаратуры уже обновлена, однако имеются отдельные ВРУ, сохранились с 1940-х годов, лишь приобретя новое наполнение, которое лишь условно совместимо со старыми корпусами.

На рисунке 2 представлена фотография старого РУ, сохранившегося со времен постройки завода с более новыми предохранителями. На рисунке 3 изображены блоки плавного пуска, установленные в рамках пробного монтажа системы АСУТП в 2020-м году. Из-за отсутствия разделения слаботочных и силовых сетей, предусмотренного [10], дистанционное управление блоками плавного пуска невозможно, и они используются лишь для ручного управления.

Состояние высоковольтных кабелей, питающих дуговые плавильные печи и иные высоковольтные приемники, также вызывает опасение в связи с их длительной непрерывной эксплуатацией. Несмотря на то, что при первоначальном проектировании был заложен значительный запас прочности как по сечению жил, так и по степени защиты, со временем происходит старение изоляции, что периодически приводит к пробоям высоковольтных кабелей и отключению ключевого для производства оборудования. Это обуславливает необходимость полной замены высоковольтных кабелей.

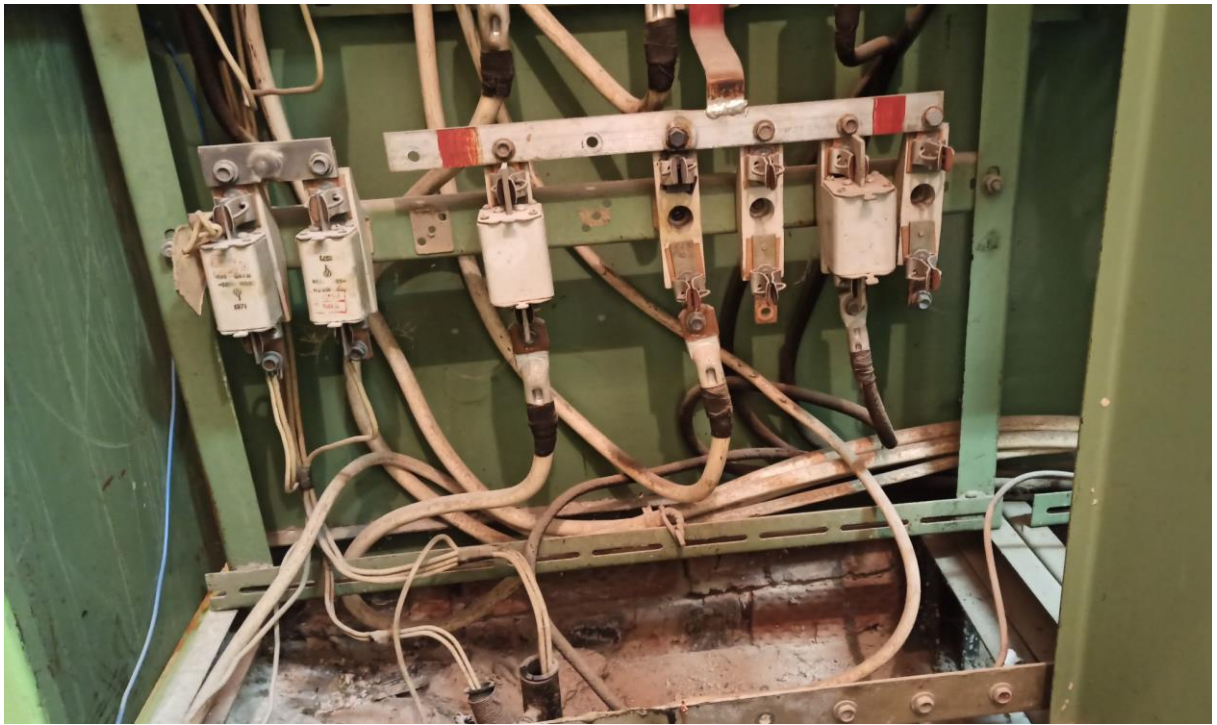


Рисунок 2– Старое РУ чугунолитейного производства



Рисунок 3 – Обновленные блоки плавного пуска

Использование предохранителей в ВРУ также является проблемой. Особенно это актуально в условиях высокого износа системы электроснабжения и часто происходящих коротких замыканий. Замена предохранителей занимает время и приводит к негативному экономическому эффекту при длительном отключении важного для технологического процесса оборудования.

В соответствии с политикой реконструкции производства, принятой на головном предприятии ПАО «Мечел», решено произвести замену предохранителей на автоматические выключатели для повышения надежности и бесперебойности электроснабжения.

Наиболее мощное производственное оборудование (электрические дуговые плавильные печи, литейные машины и пр.) питаются от напряжения 6 кВ, однако, после модернизации предполагается установка нового оборудования, функционирующего на напряжении 10 кВ. В связи с этим, в соответствии с информацией, полученной от отдела капитального строительства (ОКС), после реконструкции питание приемников цеха будет осуществляться от трех классов промышленного напряжения: 10 кВ – для мощного производственного оборудования, 0,4 кВ – для вспомогательного производственного оборудования, 0,23 кВ – для светильников системы освещения и оборудования кабинетов бригадиров и мастеров, а также – для инструмента ремонтного персонала в точках штепсельного подключения.

На данный момент питание цеха на напряжении ниже 1 кВ осуществляется от трансформаторной подстанции, расположенной в пристройке к основному цеху. Это оправданно с точки зрения высокой загрязненности внутри производственного корпуса и позволяет обеспечить как приемлемые условия работы эксплуатирующего персонала, так и оптимальный температурный режим. На данный момент на подстанции установлено два трансформатора ТНЗП-400/6/0,4 кВ УЗ (рисунок 4). Они были установлены в рамках модернизации производства в 1974 году.



Рисунок 4 – Трансформатор марки ТНЗП

Помимо физического износа, обусловленного длительной эксплуатацией преобразовательных устройств, а также «износом холостого хода» - электрохимическим старением материалов, из которых изготовлены элементы оборудования, существует иная проблема. В качестве охлаждающего и изолирующего состава в трансформаторах данной марки используется совтол (полихлорированный бифенил, ПХБ). Имея достаточно высокие характеристики в аспекте изоляционных свойств и теплоемкости и стабильности данный диэлектрик отличается высокой токсичностью и практически не разлагается в обычных условиях.

Именно из-за проблем с утилизацией и невозможностью переработки данного вещества, в 1985 году использование и производство этого вещества было запрещено сначала в Европе, а к концу 1980-х и в нашей стране. Несмотря на это, на практике немало совтоловых трансформаторов продолжают работать на благо отечественной промышленности и по сей день. В условиях ужесточения требований к экологической безопасности производства и планируемым переходом на другой класс напряжения, считается необходимым произвести замену данных трансформаторов.

По итогам общения с представителем службы главного инженера предприятия, получен список основного технологического оборудования, которое будет установлено в чугунолитейном цехе в соответствии с актуальной версией плана модернизации производства. Данный список представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень оборудования производства изделий из чугуна

Наименование	P_y , кВт	Кол-во	Режим
$U_n = 0,4$ кВ			
Автомат фрезерный	8	2	ДР
Станок галтовочный	5	2	ДР
Транспортер ленточный №1	11	2	ДР
Печь индукционная	9	2	ДР
Стенд полировочный	6	2	ДР
Станок шлифовальный	4	2	ПКР, ПВ = 60%
Станок токарный №1	12	2	ДР
Станок сверлильный	3	2	ПКР, ПВ = 80%
Станок продольно-фрезерный	17	2	ДР
Станок карусельный малый	20	2	ПКР, ПВ = 70%
Молот ковочный	15	2	ДР
Транспортер ленточный №2	9	2	ДР
Шлифовальный станок	4	6	ДР
Станок карусельный большой	40	2	ДР
Станок токарный №2	8	2	ДР
Автомат очистки продукции	5	2	ДР
Станок винторезный	9	2	ПКР, ПВ = 30 %
Станок слиткообдирочный	16	2	ПКР, ПВ = 50 %
Кран-балка с электроталью	8	2	ПКР, ПВ = 40%
Зарядный агрегат статический	4	1	ДР, 1-ф
Компрессор	5	2	ДР
Насос водяной	8	2	ДР
Установка вытяжной вентиляции	6	2	ДР
Шихтопогрузочная машина	20	2	ДР
$U_n = 10$ кВ			
Машина для подготовки шихты	95,00	4	ДР
Печь дуговая плавильная	350,00	2	ДР
Машина для литья	70,00	4	ДР
Муфельная печь	200,00	4	ДР

Необходимо отметить, что высоковольтная нагрузка оснащается собственными трансформаторами (например, печными), которые осуществляют питание установок на тех классах напряжения, которые для них необходимы.

В свою очередь, питание данных трансформаторов выполняется от отдельных ячеек, расположенных на РУ ВН цеховой ТП ЧМК через высоковольтные силовые выключатели. Существует необходимость выполнить выбор высоковольтных кабелей, питающих оборудование, силовых выключателей, устанавливаемых в распределительные ячейки РУ 10 кВ. Также необходимо рассчитать общую нагрузку на стороне ВН (110 кВ) для учета при реконструкции ГПП.

Вывод по разделу №1.

В результате исследования объекта выпускной квалификационной работы получено представление о техническом состоянии инженерных систем, планы расположения производственного оборудования и технические условия для проектирования. Далее необходимо произвести расчет электрических нагрузок производства изделий из чугуна для последующего осуществления выбора проводников, коммутационного оборудования и систем релейной защиты.

2 Расчет электрических нагрузок предприятия

В рамках выпускной квалификационной работы рассматривается вопрос проектирования системы электроснабжения цеха, обеспечивающего производство изделий из чугуна и его сплавов. Для того, чтобы обеспечить бесперебойную работу цеха, при этом не завышая сметную стоимость, необходимо произвести расчет прогнозируемой нагрузки, опираясь на наиболее современные методики, зарекомендовавшие себя в проектной практике. Одной из таких методик, широко применяемый при расчете нагрузок оборудования, является метод расчетного коэффициента.

Данный метод, основанный на статистике использования оборудования и учитывающий технологические карты предприятия, обеспечивает наиболее точное вычисление загруженности производственных линий и позволяет снизить энергооснащенность предприятия (а соответственно – и капиталоемкость реконструкции), не поступившись при этом надежностью.

Использование апробированного на протяжении многих лет проектной практики метода и статистически выверенных коэффициентов в связке с пониманием особенностей использования того или иного оборудования в рамках технологического процесса позволит в значительной степени точно определить средние нагрузки по цеху в течение рабочего дня. Методика расчета подробно описана в [15].

Необходимо отметить, что система измерения в рамках ВКР принимается в соответствии с [5]. Это необходимо для обеспечения единства измерений на всех этапах выполнения работы.

Выполним расчет нагрузки на стороне низкого напряжения подстанции (0,4 кВ). Определение мощности, потребляемой на высоком напряжении, станет доступно после выбора силовых трансформаторов цеховой подстанции 10/0,4 кВ.

2.1 Расчет общецеховых нагрузок

Вычисление по методу расчетного коэффициента выполняется путем расчета с последующей фиксацией в сводной ведомости цеховых нагрузок (таблица 2). Для упрощения работы с разделом данная таблица размещена в его конце.

Так как в цехе присутствует как оборудование с повторно-кратковременным режимом работы, так и устройства с долговременным, необходимо в первую очередь привести значения мощности каждого из приемников, имеющих режим работы, отличный от долговременного, к таковому. Расчет производится в электронной программной среде Excel, что рекомендовано в [18]. Приведем пример расчета.

В качестве примера расчета приведем нагрузку кран-балки, которая функционирует на повторно-кратковременной основе. Данный расчет позволяет определить, какая мощность эквивалентна работе приемника с аналогичной мощностью в долговременном режиме.

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{ПВ} \quad (1)$$

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{ПВ} = 8 \cdot \sqrt{0,40} = 5,1 \text{ кВт}$$

где $P_{\text{пасп}}$ – номинальная мощность ЭП;

$ПВ$ – продолжительность включения, %;

Когда же речь заходит о расчете мощности для однофазного приемника нельзя не учесть принцип распределения нагрузки по фазам. Она определяется в зависимости от схемы подключения к сети и в нашем случае целесообразно применить схему, изображенную на рисунке 5 – установленный на ремонтном участке зарядный агрегат подключается к фазе А. Последующее выравнивание нагрузки осуществляется за счет подключению большего количества светильников к фазам В и С. Определим неравномерность распределения нагрузки по фазам. В данном случае:

$$H = \frac{P_{\text{фНБ}} - P_{\text{фНМ}}}{P_{\text{фНМ}}} \cdot 100\% = \frac{4 - 0}{4} \cdot 100\% = 100\% > 15\% \quad (2)$$

$$P_y = P_A + P_B + P_C = 4 + 4 + 4 = 12 \text{ кВт} \quad (3)$$

где $P_{\text{ф.нб}}$ – максимальная нагрузка, которую оказывает группа приемников на одну фазу;

$P_{\text{ф.нм}}$ – минимальная нагрузка, которую оказывает приемник на одну фазу;

P_A, P_B, P_C – пофазная нагрузка.

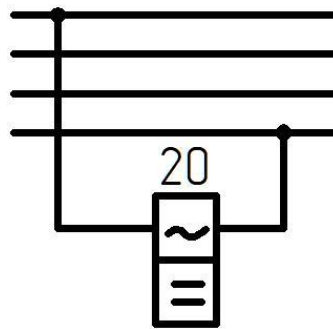


Рисунок 5 – Подключение приёмника с однофазным питанием

Для остального оборудования вычисление значений расчетных мощностей производится по тому же принципу, охватывая как однофазные ЭП, так и приемники с ПКР, долговременным режимом работы. Результат занесем в таблицу 2.

Далее вычислим групповую нагрузку. Приведем пример расчета для приемников № 23 по плану:

$$P_{\text{ном}} = 15 \text{ кВт}$$

$$n = 2 \text{ шт}$$

$$P_{\text{ном}\Sigma} = P_{\text{ном}} \cdot n = 15 \cdot 2 = 30 \text{ кВт} \quad (4)$$

где n – количество данных приемников.

Теперь необходимо вычислить мощность группы среднюю – она зависит от продолжительности использования ЭП за рабочую смену. Активная мощность:

$$1 \quad P_{см} = P_{номΣ} \cdot K_{и} = 30 \cdot 0,6 = 18,00 \text{ кВт} \quad (5)$$

где $K_{и}$ – коэффициент использования.

Коэффициент $K_{и}$ принимается на основании [15] и предоставленных технологами завода технологических карт.

Аналогично определяем реактивную мощность за смену.

$$Q_{см} = P_{см} \cdot tg\varphi = 18,0 \cdot 0,75 = 13,50 \text{ кВАр} \quad (6)$$

где $tg \varphi$ - тангенс угла потерь.

Результаты вычислений занесем в таблицу 2.

Далее определим групповой коэффициент использования. Пример расчета приведем для ШРА1 (расчет для иных групп выполняется аналогично, результаты заносятся в таблицу 2):

$$K_{и.гр.} = \sum \frac{P_{см}}{P_{номΣ}} = \frac{153,40}{195,80} = 0,78 \quad (7)$$

Тангенс потерь:

$$tg\varphi = \sum \frac{Q_{см}}{P_{см}} = \frac{145,30}{153,40} = 0,95 \quad (8)$$

На основании полученных данных выполняется выбор эффективного (среднестатистически применяемого с учетом мощности) числа электроприемников по [12]. Исходные данные для вычисления определены ранее: ($n \geq 5$, $K_{и} \geq 0,2$ и $m \geq 3$, $P_{ном} \neq const$).

$$n_{\Sigma} = \frac{2 \sum P_{ном\Sigma}}{P_{max}} = \frac{2 \cdot 195,80}{40} = 9,79 \quad (9)$$

где P_{max} – номинальная нагрузка наиболее мощного приемника.

По [12, с. 26, табл. 1.5.3] производится выбор расчетного коэффициента K_p для $K_{игр} = 0,78$, $n_{\Sigma} = 9,79$. Он составил: 1,07

Расчетная активная мощность:

$$P_p = P_{см} \cdot K_m = 153,40 \cdot 1,07 = 164,13 \text{ кВт} \quad (10)$$

– Расчетная реактивная мощность:

$$Q_p = Q_{см} = 145,30 \text{ кВАр} \quad (11)$$

Вычисляем полную мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{164,13^2 + 145,30^2} = 219,20 \text{ кВАр} \quad (12)$$

Ток расчетный по ШРА1, ШРА2:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{219,20}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 316,76 \text{ А} \quad (13)$$

Расчет для прочих групп выполняется аналогично. Определение расчетных мощностей по цеху выполняется суммированием групповых расчетных нагрузок.

Осветительная установка имеет сложную конфигурацию, оптимизированную под нужды металлургического производства. В соответствии с данными, предоставленными службой главного энергетика (СГЭ) ЧМК ее мощность составила 11,70 кВт при $\cos \varphi = 0,95$.

Таблица 2 – Ведомость нагрузок по цеху сводная

Наименование группы ЭП	Кол-во ЭП	Номинальная мощность		Коэффициент использования	cosφ	tgφ	m	Среднемесячная активная мощность	Среднемесячная реактивная мощность, Q _{см}	Эффективное число ЭП	Коэффициент максимума	Расчетная активная мощность	Расчетная реактивная мощность	Расчетная полная мощность	Расчетный номинальный ток										
		целого ЭП	группы ЭП													Ки	P _{см}	Q _{см}	n _э	K _p	P _p	Q _p	S _p	I _p	
		шт	кВт													кВт	-	кВт	кВАр	шт	-	кВт	кВАр	кВА	А
РП1																									
Зарядный агрегат статический, 1-ф	1,00	-	12,00	0,25	0,35	2,67	-	3,00	8,01	-	-	-	-	-	-										
Компрессор	2,00	5,00	10,00	0,70	0,80	0,75	-	7,00	5,25	-	-	-	-	-	-										
Насос водяной	2,00	8,00	16,00	0,70	0,80	0,75	-	11,20	8,40	-	-	-	-	-	-										
ВСЕГО по РП1	5,00	-	38,00	0,56	0,84	0,64	<3	21,20	13,65	5,00	1,41	29,89	13,65	32,86	47,43										
РП2																									
Установка вытяжной вентиляции	2	15,00	30,00	0,60	0,80	0,75	-	18,00	13,50	-	-	-	-	-	-										
ВСЕГО по РП2	2	-	30,00	0,60	0,80	0,75	<3	18,00	13,50	2,00	1,46	26,28	13,50	29,54	42,64										
РП3																									
Кран-балка с электроталью (ПВ = 40%)	2	5,10	10,20	0,70	0,80	0,75	-	7,14	5,36	-	-	-	-	-	-										
ВСЕГО по РП3	2	-	10,20	0,70	0,80	0,75	<3	7,14	5,36	2,00	1,29	9,21	5,36	10,65	15,38										
РП4																									
Шихтопогрузочная машина	2	20,00	40,00	0,60	0,80	0,75	-	24,00	18,00	-	-	-	-	-	-										
ВСЕГО по РП4	2	-	50,20	0,48	0,80	0,75	<3	24,00	18,00	2,00	1,65	39,60	18,00	43,50	62,79										
ШРА-1																									
Автомат фрезерный	1	8,00	8,00	0,83	0,65	1,17	-	6,64	7,76	-	-	-	-	-	-										
Станок галтовочный	1	5,00	5,00	0,78	0,65	1,17	-	3,90	4,56	-	-	-	-	-	-										
Транспортер ленточный №1	1	11,00	11,00	0,81	0,85	0,62	-	8,91	5,52	-	-	-	-	-	-										
Печь индукционная	1	9,00	9,00	0,73	0,75	0,88	-	6,57	5,79	-	-	-	-	-	-										
Стенд полировочный	1	6,00	6,00	0,71	0,65	1,17	-	4,26	4,98	-	-	-	-	-	-										
Станок шлифовальный (ПВ = 60%)	1	3,10	3,10	0,72	0,65	1,17	-	2,23	2,61	-	-	-	-	-	-										
Станок токарный №1	1	12,00	12,00	0,79	0,85	0,62	-	9,48	5,88	-	-	-	-	-	-										
Станок сверлильный (ПВ = 80%)	1	2,70	2,70	0,82	0,75	0,88	-	2,21	1,95	-	-	-	-	-	-										
Станок продольно-фрезерный	1	17,00	17,00	0,80	0,65	1,17	-	13,60	15,90	-	-	-	-	-	-										
Станок карусельный мал. (ПВ= 70%)	1	16,80	16,80	0,80	0,85	0,62	-	13,44	8,33	-	-	-	-	-	-										

Продолжение таблицы 2

Наименование группы ЭП	Кол-во ЭП	Номинальная мощность		Коэффициент использования	cosφ	tgφ	m	Среднемесячная активная мощность	Среднемесячная реактивная мощность,	Эффективное число ЭП	Коэффициент максимума	Расчетная активная мощность	Расчетная реактивная мощность	Расчетная полная мощность	Расчетный номинальный ток										
		ЦС	группы ЭС													Ки	P _{см}	Q _{см}	n _э	K _p	P _p	Q _p	S _p	I _p	
		n	P _{ном}																						P _{номΣ}
		шт	кВт																						кВт
Молот ковочный	1	15,00	15,00	0,78	0,75	0,88	-	11,70	10,32	-	-	-	-	-	-	-									
Транспортер ленточный №2	1	9,00	9,00	0,69	0,75	0,88	-	6,21	5,48	-	-	-	-	-	-	-									
Шлифовальный станок	3	4,00	12,00	0,72	0,85	0,62	-	8,64	5,35	-	-	-	-	-	-	-									
Станок карусельный большой	1	40,00	40,00	0,83	0,65	1,17	-	33,20	38,82	-	-	-	-	-	-	-									
Станок токарный №2	1	8,00	8,00	0,84	0,75	0,88	-	6,72	5,93	-	-	-	-	-	-	-									
Автомат очистки продукции	1	5,00	5,00	0,75	0,65	1,17	-	3,75	4,38	-	-	-	-	-	-	-									
Станок винторезный (ПВ = 30 %)	1	5,00	5,00	0,84	0,65	1,17	-	4,20	4,91	-	-	-	-	-	-	-									
Станок слиткообдирочный (ПВ = 50 %)	1	11,20	11,20	0,69	0,75	0,88	-	7,73	6,82	-	-	-	-	-	-	-									
Всего по ШРА1	20	-	195,80	0,78	0,73	0,95	>3	153,39	145,29	9,79	1,07	164,13	145,29	219,20	316,38										
Всего по ШРА2	20	-	195,80	0,78	0,73	0,95	>3	153,39	145,29	9,79	1,07	164,13	145,29	219,20	316,38										
Итого по цеху на стороне НН ТП	51	-	520,00	0,73	0,74	0,90	>3	377,13	341,08	26,00	-	433,25	341,08	551,40	795,87										
Освещение	-	-	11,70	0,85	0,95	0,33	-	9,95	3,28	-	-	9,95	3,28	10,47	15,12										
Итого по цеху с освещением	51	-	531,70	0,73	0,75	0,89	>3	387,07	344,36	70,89	-	443,19	344,36	561,25	810,10										
Компенсация	-	-	-	-	-	-	-	-	180,00	-	-	-	-	-	-	-									
Итого с компенсацией на стороне НН (0,4 кВ)	51	-	531,70	0,73	0,94	0,37	-	387,07	164,36	42,54	-	443,19	164,36	472,69	682,26										
Нагрузка ТП на стороне 10 кВ с учетом компенсации	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	512,65	28,19										
РП КРУН ГПП (10 кВ)																									
Машина для подготовки шихты	4	95,00	380,00	0,90	0,85	0,62	-	342,00	211,95	-	-	-	-	-	-	-									
Печь дуговая плавильная	2	350,00	700,00	0,95	0,70	1,02	-	665,00	678,44	-	-	-	-	-	-	-									
Машина для литья	4	70,00	280,00	0,75	0,88	0,54	-	210,00	113,35	-	-	-	-	-	-	-									
Муфельная печь	4	200,00	800,00	0,90	0,93	0,40	-	720,00	284,56	-	-	-	-	-	-	-									
Всего по РП КРУН (10 кВ)	14	-	2160,00	0,90	0,83	0,67	>3	1937,00	1288,30	12,34	1,03	1995,11	1288,30	2374,90	130,59										

Определяем суммарную активную мощность для групповых приемников:

$$P_p = \sum P_{p.zp} = 29,89 + 26,28 + 9,21 + 39,60 + 164,13 \cdot 2 \quad (14)$$

$$P_p = 433,25 \text{ кВт}$$

Вычислим суммарную реактивную мощность для групповых приемников:

$$Q_p = \sum Q_{p.zp} = 13,65 + 13,50 + 5,36 + 18,00 + 145,29 \cdot 2 \quad (15)$$

$$Q_p = 341,08 \text{ кВт}$$

Определяем полную мощность по цеху:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{433,25^2 + 341,08^2} = 551,40 \text{ кВАр} \quad (16)$$

Вычисляем ток, соответствующий данной расчетной мощности:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{551,40}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 795,87 \text{ А} \quad (17)$$

Как уже было сказано ранее, в процессе выполнения расчетных процедур формируется сводная ведомость расчетных нагрузок. Данная ведомость представлена таблицей 2.

В рамках расчетов, положенных в основу данной таблицы, важной характеристикой системы электроснабжения цеха, является коэффициент мощности. Произведем его расчет:

$$\cos\varphi = \frac{P_{см}}{S_{см}} = \frac{377,13}{508,49} = 0,74 \quad (18)$$

Следуя [15], значение коэффициента мощности для сети электроснабжения – 0,95. Такая величина коэффициента мощности сохраняет высокую пропускную способность системы при отсутствии нежелательного эффекта резонанса и различных сбоев, обусловленных вероятностью перекомпенсации при отключении наиболее мощной индуктивной нагрузки. Перекомпенсация приводит к повышению напряжения в сети, что может вывести из строя оборудование, снижает срок службы изоляции и негативно влияет на систему электроснабжения в целом (регламентируется [4]). Для оптимизации коэффициента мощности используется емкостная компенсация, для которой на практике применяются конденсаторные батареи, объединенные в установки компенсации реактивной мощности (УКРМ).

2.2 Выбор компенсирующего устройства

Принимая во внимание факт того, что индуктивная и емкостная нагрузка компенсируют друг друга, а на промышленных предприятиях как правило преобладает индуктивная составляющая реактивной мощности, считается целесообразной установка блоков конденсаторных батарей на стороне 0,4 кВ. Технически данные блоки оформляются в виде УКРМ, подключаемых к шинам низкого напряжения цеховой подстанции. Зарубежный опыт компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях представлен в [17].

Как уже было сказано ранее, компенсация производится до значения $\cos\varphi = 0,95$, что приблизительно соответствует $\operatorname{tg}\varphi = 0,33$. Для того, чтобы иметь

возможность производить компенсацию именно до этих значений, необходимо осуществить расчет мощности компенсирующего устройства. Исходные данные для расчета, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчет компенсации

Параметр	cos φ	tg φ	P _{см} , кВт	Q _{см} , кВАр	S _{см} , кВА
Без компенсации	0,74	0,90	377,13	341,08	508,49

Производим вычисление мощности компенсирующей установки

$$Q_k = P_{см} \cdot \alpha \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_2) = 377,13 \cdot 0,90 \cdot (0,90 - 0,33) \quad (19)$$

$$Q_k = 193,47 \text{ кВАр}$$

где tg φ₁ – тангенс до компенсации;

tg φ₂ – желаемый тангенс после компенсации.

По результатам расчета выберем установку 2×УКРМ-0,4-100-У3. В таком случае при выборе ступени регулирования 90 % от номинальной мощности итоговый тангенс угла между активной и реактивной мощностью составит:

$$tg\varphi_k = tg\varphi - \frac{Q_{к.р.}}{\alpha \cdot P_{см}} = 0,90 - \frac{2 \cdot 90}{0,9 \cdot 377,13} = 0,37 \quad (20)$$

где Q_{к.р.} – мощность компенсирующего устройства емкостного характера.

Итоги расчета занесем в таблицу 3.

Вывод по разделу №2 выпускной квалификационной работы.

Питание технологических линий решено выполнить распределительными шинопроводами, питание приемников в отдельных

помещениях – от отдельно расположенных распределительных пунктов. С применением метода расчетного коэффициента выполнено определение активной, реактивной и полной мощностей по цеху, которые с учетом компенсации и осветительной нагрузки составили: 443,19 кВт; 164,36 кВар и 472,69 кВА. Расчетный ток – 682,26 кА.

Полученные в ходе расчета данные ложатся в основу дальнейшего выбора оборудования, что обеспечивает точное определение целесообразной энергетической оснащённости цеха и обеспечивает целостное понимание того, какое оборудование необходимо для обеспечения нормального электроснабжения цеха во всех режимах функционирования.

Далее на основании этих данных необходимо выбрать питающие трансформаторы цеха и определить суммарную нагрузку на стороне ВН.

3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов

После того, как произведен расчет цеховой нагрузки на стороне 0,4 кВ считается необходимым произвести выбор источника питания этих нагрузок. Как уже говорилось ранее, на данный момент на питающей цех подстанции установлены трансформаторы марки ТНЗП-400/6/0,4 кВ, имеющие в качестве изоляционного и охлаждающего элемента совтол – ядовитое соединение, запрещенное к использованию в России и Европе [20]. Кроме того, данное оборудование выработало свой ресурс и не позволяет обеспечить достаточную надежность электроснабжения технологического процесса.

В связи со спецификой производства – высокой температурой и степенью загрязненности пространства цеха, трансформаторная подстанция вынесена в отдельную пристройку, расположенную у южной стены цеха чугунолитейного производства ЧМК. Пристройка примыкает к помещению электрощитовой, где расположены вводно-распределительные устройства. В связи с тем, что в рамках капитальной реконструкции внутренняя сеть предприятия переводится на класс напряжения 10 кВ, существует необходимость выбора трансформатора данного класса напряжения взамен имеющихся. Расчет номинальной мощности производится на основании [14]. По [10] питание цеха относится к категории надежности II. Исключение составляет система пожарной безопасности, система контроля доступа (СКУД) и аварийное освещение. Питание данной нагрузки на время отключения питания производится от аккумуляторных батарей, расположенных в помещении аккумуляторной.

Первоначально необходимо определить величину потерь в трансформаторе, которая непосредственно влияет на потребляемую цехом мощность на стороне 10 кВ. Расчет производится по формулам, приведенным на странице 30 [15]:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{p(\text{HH})} = 0,02 \cdot 682,26 = 13,66 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{p(\text{НН})} = 0,1 \cdot 682,26 = 68,23 \text{ кВт}$$

где $S_{p(\text{НН})}$ – максимальная расчетная мощность на стороне 0,4 кВ;

Данные о значениях потерь занесем в таблицу 3. По итогу уточненного расчета максимальная мощность цеха с учетом потерь в трансформаторе составила 739,95 кВА.

В соответствии с [1] трансформаторы могут без повреждений работать под нагрузкой, не превышающей номинальную более, чем на 40%. Для обеспечения резерва мощности на случай отключения одного из вводов, считается необходимым выполнить расчет номинальной мощности трансформатора по следующей формуле:

$$S_{\text{ном.Т}} > 0,7 \cdot S_{\text{max}} = 0,7 \cdot 739,95 = 517,97 \text{ кВА} \quad (21)$$

В самом цеху отсутствует масляное хозяйство, необходимое для нормальной эксплуатации масляных трансформаторов, однако оно есть на территории предприятия. В связи с этим считается целесообразным оборудование трансформаторной подстанции масляными трансформаторами класса напряжения 10/0,4 кВ. Принимая во внимание данный факт, а также ранее рассчитанную номинальную мощность примем к установке на ТП чугунолитейного производства трансформаторы марки ТМ-630/10/0,4 кВ. Их закупка будет производиться на тендерной основе (в зависимости от того, какие цены и иные условия будут предложены поставщиками оборудования). Характеристики трансформатора приняты в соответствии с данными, представленными в каталоге [8]. Чтобы обеспечить сезонное регулирование уровня напряжения в цеху, данные устройства оснащены системой ПБВ (переключение без возбуждения). Климатическое исполнение предполагает расположение в закрытых помещениях без искусственного регулирования температуры в диапазоне от -45 до +40 °С в соответствии с [2]. Технические характеристики СТ приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики силовых трансформаторов

Напряжение обмотки, кВ		Потери, кВт		U _к , %	I _х , %	К _{ип}
ВН	НН	ΔP _{xx}	ΔP _{кз}			
ТМ-630/10/0,4 УЗ						
10	0,4	1,25	7,60	5,5	1,7	0,05

3.1 Расчет высоковольтной нагрузки

Как и указывалось ранее, помимо приемников, функционирующих на напряжении 0,4 кВ, в цеху присутствуют ЭП, работающие от напряжения 10 кВ. Питание данных приемников осуществляется по отдельным высоковольтным кабельным линиям от распределительной ячейки 10 кВ ТП 10/0,4 кВ предприятия. Необходимо определить нагрузку данного оборудования для вычисления суммарно требуемой мощности подключения по цеху.

Поскольку питание оборудования осуществляется от ячейки 10 кВ, будем рассматривать высоковольтную нагрузку как групповую.

Расчет производится по методу, аналогичному случаю нагрузки 0,4 кВ с учетом мощности, потребляемой цеховой ТП. Результаты заносятся в таблицу 2.

Приведем ток на стороне 10 кВ ТП в стороне высокого напряжения:

$$I_p^{ВН} = \frac{I_p}{U_{ср.ном.}^{ВН}} = \frac{739,95 \cdot 0,4}{10,5} = 70,47 \text{ А}$$

где I_p – максимальный ток цеховой ТП с учетом потерь в трансформаторах

$U_{ср.ном.}^{ВН}$ – средненоминальное напряжение на стороне 10 кВ.

Результаты расчета занесем в таблицу 2. Аналогичным образом выполним расчет по приемникам 30, 32-34.

Исходя из данных в таблице 2, итоговая мощность приемников цеха чугунолитейного производства, питаемых РП КРУН (10 кВ) составила 130,59 А.

Суммарная нагрузка на стороне 10 кВ составила 2887,55 кВА, ток равен 158,77 А. Эти данные будут переданы в отдел капитального строительства для учета при реконструкции ГПП.

Вывод по разделу №3 выпускной квалификационной работы.

В результате расчета, произведенного в рамках раздела, определен состав и технические характеристики установки электрообеспечения цеха. Решено использовать два трансформатора марки ТМ-630/10/0,4 УЗ, которые размещаются в существующем здании трансформаторной подстанции, пристроенном к основному цеху. Здание дополнительно оборудуется маслосборниками.

Определена расчетная мощность высоковольтного оборудования цеха по производству изделий из чугуна. Полная расчетная мощность оборудования составила 2374,90 кВА, что соответствует 130,59 А на стороне 10 кВ и 2887,55 кВА с учетом нагрузки 0,4 кВ и потерь в трансформаторах ТП. Итоговый ток, потребляемый с шин НН ГПП составил 158,77 А.

Далее существует необходимость выбрать основное коммутационное оборудование подстанции и проводники питающей сети, однако, для того, чтобы произвести такой выбор, следует сначала рассчитать токи коротких замыканий, от величины которых зависят характеристики применяемого оборудования и проводников.

4 Расчет токов короткого замыкания

В электротехнике существует две основные проблемы, из которых вытекают все нештатные режимы работы электрической сети. Первая из них – отсутствие электрического контакта там, где он нужен, тогда как вторая – наличие там, где он не нужен. И если первый вариант просто приводит к отсутствию питания, то второй чаще всего называется коротким замыканием (КЗ) и вызывает множество негативных последствий – от полного разрушения оборудования до пожара, уничтожающего имущество, жилой фонд и нередко приводящему к человеческим жертвам. При большой мощности и сечении проводников резкий рост тока (ударный ток) в момент КЗ сопровождается электродинамическим ударом, наносящим повреждение системам жестким шин и вводам оборудования.

Для защиты от КЗ на стороне 0,4 кВ применяются автоматические выключатели, позволяющие благодаря наличию электромагнитного расцепителя быстро отключить ток, превышающий уставку аппарата.

Для их выбора необходимо определить токи КЗ, процесс расчета которых описан в [3]. Оптимизированная методика расчета с пояснениями изложена в [15]. В соответствии с методикой, изначально необходимо определить параметры расчетной сети, которая изображена на рисунке 6.

Следуя [14], расчет производится для мощного приемника, расположенного ближе всего к ШНН трансформаторной подстанции. В нашем случае таковым является приемник №25, запитанный от РП4. В соответствии с планом, длина линий до данного приемника составляет:

Шины НН ТП 10/0,4 кВ – 1,5 метра, КЛ питания РП4 – 10 метров, Длина КЛ питания приемника – 6 метров. По информации, переданной службой главного энергетика ЧМК, в качестве сопротивления системы для расчета принимаются величины: $X_C' = 1,2 \text{ Ом}$; $R_C' = 7,4 \text{ Ом}$.

Существует необходимость привести данные значения к стороне напряжения 0,4 кВ.

$$R_c = R'_c \cdot \left(\frac{V_{\text{НН}}}{V_{\text{ВН}}}\right)^2 = 7,40 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 \cdot 10^3 = 10,74 \text{ мОм} \quad (22)$$

$$X_c = X'_c \cdot \left(\frac{V_{\text{НН}}}{V_{\text{ВН}}}\right)^2 = 1,20 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5}\right)^2 \cdot 10^3 = 1,74 \text{ мОм} \quad (23)$$

где $U_{\text{НН}}$ – напряжение средненоминальное стороны НН;

$U_{\text{ВН}}$ – напряжение средненоминальное стороны ВН;

R_c, X_c – исходные данные активного и реактивного сопротивления системы.

Результаты расчетов последовательно занесем в таблицу 5.

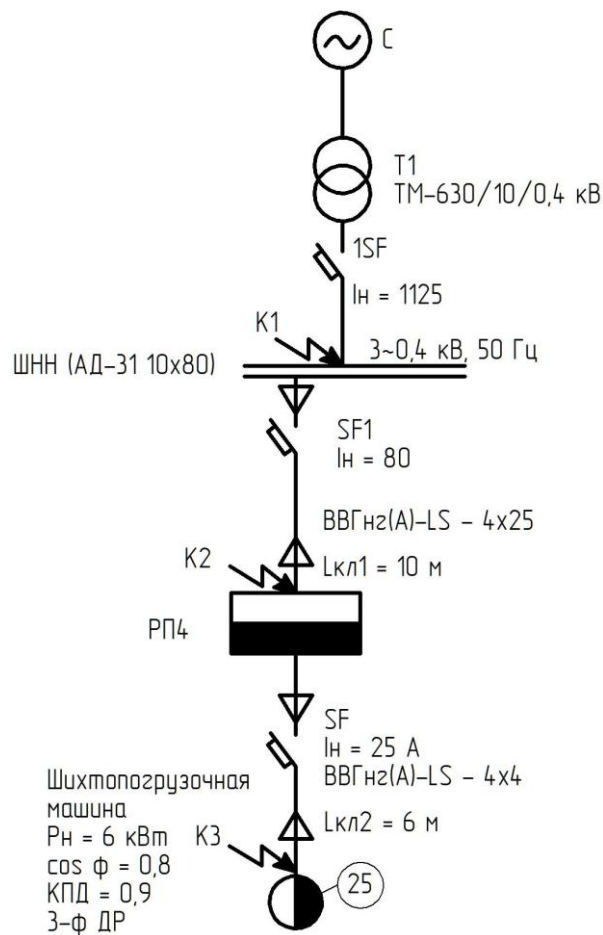


Рисунок 6 – Расчётная схема для определения токов коротких замыканий

В соответствии с [15, с 61] для трансформатора ТМ-630/10/0,4 УЗ сопротивление принимается равным:

$$R_T = 3,10 \text{ мОм}$$

$$X_T = 13,60 \text{ мОм}$$

$$Z_T = 14,00 \text{ мОм}$$

Сопротивление аппаратов и коммутационных блоков [15, с 61]:

$$1SF \quad R_{1SF} = 0,10 \text{ мОм}; X_{1SF} = 0,10 \text{ мОм}; R_{n1SF} = 0,15 \text{ мОм}$$

$$SF1 \quad R_{SF1} = 0,70 \text{ мОм}; X_{SF1} = 0,70 \text{ мОм}; R_{nSF1} = 0,70 \text{ мОм}$$

$$SF \quad R_{SF} = 1,30 \text{ мОм}; X_{SF} = 1,20 \text{ мОм}; R_{nSF} = 0,75 \text{ мОм}$$

На рисунке 7 изображена общая схема замещения расчетной цепи.

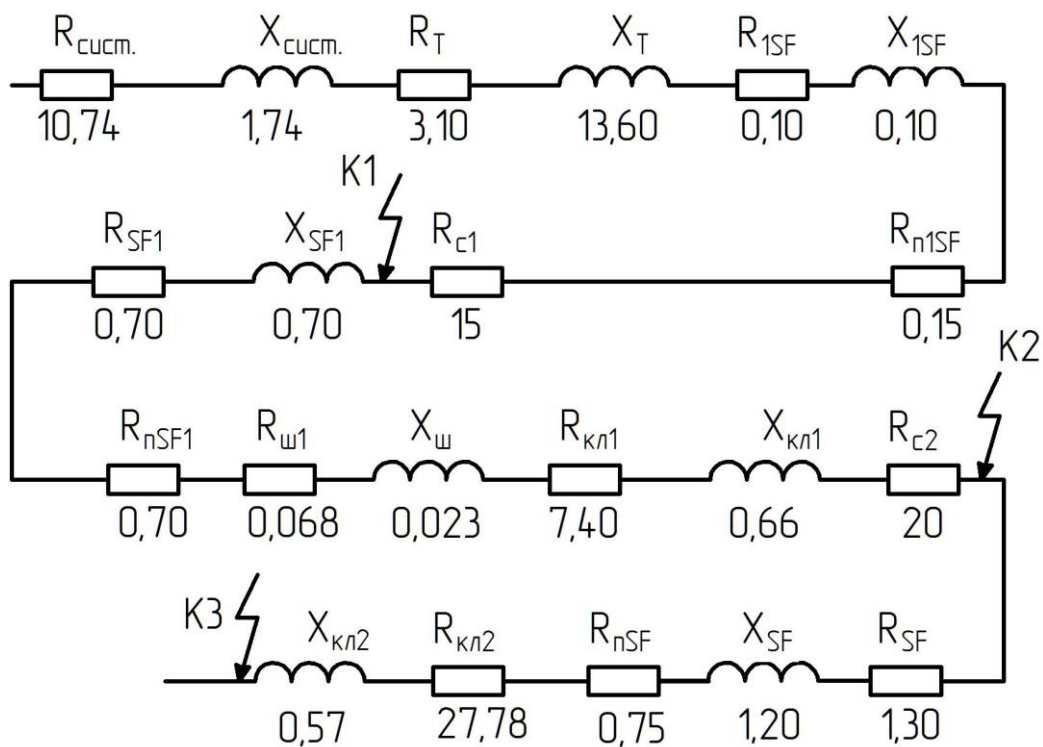


Рисунок 7 – Общая (развернутая) схема замещения

Сопротивление для шин, устанавливаемых в РУ подстанции (для сечения 80×10 мм):

$$R_{ш} = r_0 \cdot L_{ш} = 0,045 \cdot 1,50 = 0,068 \text{ мОм} \quad (24)$$

$$X_{ш} = x_0 \cdot L_{ш} = 0,015 \cdot 1,50 = 0,023 \text{ мОм} \quad (25)$$

$$r_0 = 0,068 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,023 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$r_{0n} = 0,068 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_{0n} = 0,053 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

где $L_{ш}$ – Длина шины;

$r_{0п}$ – сопротивление нулевой последовательности;

r_0 – сопротивление активное удельное;

x_0 – сопротивление реактивное удельное.

После осуществления расчета сопротивления шины алюминиевой, необходимо выполнить определение сопротивления кабельной линии номер один по [15, с 62] (ВВГнг(А)-LS 4x25):

$$r_0 = 0,74 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,066 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$R_{КЛ1} = r_0 \cdot L_{КЛ1} = 0,74 \cdot 10,00 = 7,40 \text{ мОм}$$

$$X_{КЛ1} = x_0 \cdot L_{КЛ1} = 0,066 \cdot 10,00 = 0,66 \text{ мОм}$$

где $L_{КЛ}$ –длина линии.

Определим параметры линии, питающей шихтопогрузочную машину (КЛ2 - ВВГнг(А)-LS 4x4):

$$r_0 = 4,63 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,095 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$R_{КЛ2} = r_0 \cdot L_{КЛ2} = 4,63 \cdot 6,00 = 27,78 \text{ мОм}$$

$$X_{КЛ2} = x_0 \cdot L_{КЛ2} = 0,095 \cdot 6,00 = 0,57 \text{ мОм}$$

Также имеют своё сопротивление ступени распределения, под которыми понимаются контакты распределительных устройств, болтовые соединения, наконечники кабелей и тому подобное. По [15, с 62]:

$$R_{c1} = 15\text{мОм}; R_{c2} = 20\text{мОм}$$

На основании вышеизложенных данных формируется схема замещения эквивалентная (рисунок 8). Здесь суммируются все активные и реактивные сопротивления каждой из ступеней. Значения, представленные на схеме, рассчитываются ниже.

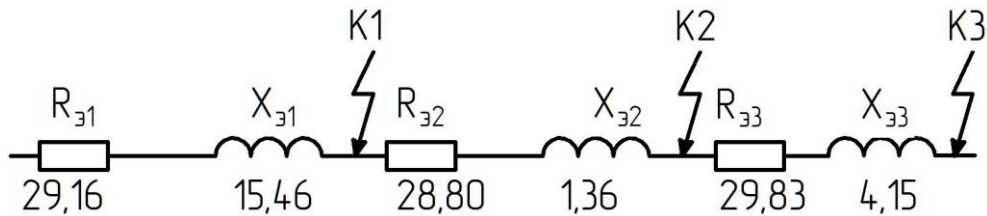


Рисунок 8 – Схема эквивалентная «Свернутая»

$$R_{э1} = R_{сист} + R_T + R_{1SF} + R_{n1SF} + R_{III} + R_{c1} \quad (26)$$

$$R_{э1} = 10,74 + 3,10 + 0,10 + 0,15 + 0,07 + 15,00 = 29,16 \text{ мОм}$$

где $R_{сист}$ – активное сопротивление системы;

R_T – активное сопротивление трансформатора;

R_{1SF} – активное сопротивление выключателя 1SF;

R_{n1SF} – активное сопротивление нулевой последовательности выключателя 1SF;

R_{III} – активное сопротивление шины;

R_{c1} – активное сопротивление ступени распределения.

$$X_{э1} = X_{сист} + X_T + X_{1SF} + X_{III} \quad (27)$$

$$X_{э1} = 1,74 + 13,60 + 0,10 + 0,02 = 15,46 \text{ мОм}$$

где $X_{сист}$ – реактивное сопротивление системы;

X_T – реактивное сопротивление трансформатора;

X_{1SF} – реактивное сопротивление выключателя 1SF;

X_{III} – реактивное сопротивление шины;

X_{c1} – реактивное сопротивление ступени распределения.

$$R_{э2} = R_{SF1} + R_{nSF1} + R_{KЛ1} + R_{c2} \quad (28)$$

$$R_{\text{э}2} = 0,70 + 0,70 + 7,40 + 20,00 = 28,8 \text{ мОм}$$

где R_{SF1} – активное сопротивление выключателя 1SF;

$R_{\text{нSF1}}$ – активное сопротивление нулевой последовательности выключателя 1SF.

$$X_{\text{э}2} = X_{\text{SF1}} + X_{\text{КЛ1}} = 0,70 + 0,66 = 1,36 \text{ мОм} \quad (29)$$

где X_{SF1} – реактивное сопротивление выключателя 1SF;

$X_{\text{нSF1}}$ – реактивное сопротивление нулевой последовательности выключателя 1SF.

$$R_{\text{э}3} = R_{\text{SF}} + R_{\text{нSF}} + R_{\text{КЛ2}} = 1,30 + 0,75 + 27,78 = 29,83 \text{ мОм} \quad (30)$$

$$X_{\text{э}3} = X_{\text{SF}} + X_{\text{КЛ2}} = 1,20 + 2,95 = 4,15 \text{ мОм} \quad (31)$$

Далее необходимо вычислить сопротивления до каждой из точек КЗ ($R_{\text{К1}}$, $R_{\text{К2}}$, $R_{\text{К3}}$ до точек 1, 2, 3 – соответственно. Они заносятся в сводную ведомость (таблица 5):

$$R_{\text{К1}} = R_{\text{э}1} = 29,16 \text{ мОм} \quad (32)$$

$$X_{\text{К1}} = X_{\text{э}1} = 15,46 \text{ мОм} \quad (33)$$

$$Z_{\text{К1}} = \sqrt{R_{\text{К1}}^2 + X_{\text{К1}}^2} = \sqrt{29,16^2 + 15,46^2} = 33,00 \text{ мОм} \quad (34)$$

$$R_{\text{К2}} = R_{\text{э}1} + R_{\text{э}2} = 29,16 + 28,80 = 57,96 \text{ мОм} \quad (35)$$

$$X_{\text{К2}} = X_{\text{э}1} + X_{\text{э}2} = 15,46 + 1,36 = 16,82 \text{ мОм} \quad (36)$$

$$Z_{\text{К2}} = \sqrt{R_{\text{К2}}^2 + X_{\text{К2}}^2} = \sqrt{57,96^2 + 16,82^2} = 60,35 \text{ мОм} \quad (37)$$

$$R_{\text{К3}} = R_{\text{К2}} + R_{\text{э}3} = 57,96 + 29,83 = 87,79 \text{ мОм} \quad (38)$$

$$X_{\text{К3}} = X_{\text{К2}} + X_{\text{э}3} = 16,82 + 4,15 = 20,97 \text{ мОм} \quad (39)$$

$$Z_{\text{К3}} = \sqrt{R_{\text{К3}}^2 + X_{\text{К3}}^2} = \sqrt{87,79^2 + 20,97^2} = 90,26 \text{ мОм} \quad (40)$$

$$\frac{R_{\text{К1}}}{X_{\text{К1}}} = \frac{29,16}{15,46} = 1,89 \quad (41)$$

$$\frac{R_{K2}}{X_{K2}} = \frac{57,96}{16,82} = 3,45 \quad (42)$$

$$\frac{R_{K3}}{X_{K3}} = \frac{87,79}{20,97} = 4,19 \quad (43)$$

Далее выполняется подбор коэффициентов ударных K_y и фазных q по типам короткого замыкания. Методика определяется [15, с 59].

$$K_{y1} = F \cdot \left(\frac{R_{K1}}{X_{K1}} \right) = F(1,89) = 1 \quad (44)$$

$$K_{y2} = F \cdot \left(\frac{R_{K2}}{X_{K2}} \right) = F(3,45) = 1 \quad (45)$$

$$K_{y3} = F \cdot \left(\frac{R_{K3}}{X_{K3}} \right) = F(4,19) = 1 \quad (46)$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2(K_{y1} - 1)^2} = \sqrt{1 + 2(1,0 - 1)^2} = 1 \quad (47)$$

$$q_2 = q_3 = q_1 = 1 \quad (48)$$

Вычисляются токи двухфазных ($I_k^{(2)}$) и трехфазных КЗ ($I_k^{(3)}$):

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{V_{k1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{0,40 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 33,00} = 7,00 \text{ кА} \quad (49)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{V_{k2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{0,40 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 60,35} = 3,83 \text{ кА} \quad (50)$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{V_{k3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{0,40 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 90,26} = 2,56 \text{ кА} \quad (51)$$

$$I_{yk1} = q_1 \cdot I_{K1}^{(3)} = 1 \cdot 7,00 = 7,00 \text{ кА} \quad (52)$$

$$I_{yk2} = q_2 \cdot I_{K2}^{(3)} = 1 \cdot 3,83 = 3,83 \text{ кА} \quad (53)$$

$$I_{yk3} = q_3 \cdot I_{K3}^{(3)} = 1 \cdot 2,56 = 2,56 \text{ кА} \quad (54)$$

$$i_{yk1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{k1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 7,00 = 9,90 \text{ кА} \quad (55)$$

$$i_{yk2} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{k2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 3,83 = 5,41 \text{ кА} \quad (56)$$

$$i_{yк3} = \sqrt{2} \cdot K_{y3} \cdot I_{к3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 2,56 = 3,62 \text{ кА} \quad (57)$$

$$I_{к1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к1}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7,00 = 6,06 \text{ кА} \quad (58)$$

$$I_{к2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к2}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,83 = 3,31 \text{ кА} \quad (59)$$

$$I_{к3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к3}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,56 = 3,62 \text{ кА} \quad (60)$$

Таблица 5 – Ведомость сводная для токов коротких замыканий (3-ф.)

Т. КЗ	R _к , МОм	X _к , МОм	Z _к , МОм	R _к /X _к	K _у	q	I _к ⁽³⁾ , кА	i _у , кА	I _∞ ⁽³⁾ , кА	I _к ⁽²⁾ , кА	Z _п , МОм
K1	29,16	15,46	33,00	1,89	1	1	7,00	9,90	7,00	6,06	15,0
K2	57,96	16,82	60,35	3,45	1	1	3,83	5,41	3,83	3,31	71,0
K3	87,79	20,97	90,26	4,19	1	1	2,56	3,62	2,56	2,22	77,4

Вывод по разделу номер четыре

Как можно увидеть из вышеизложенного расчета, по итогам выполнения данного раздела были определены наиболее опасные токи коротких замыканий, в соответствии с которыми производится дальнейший выбор защитно-коммутационного оборудования и проводников цеховой сети электроснабжения.

В соответствии с данными, полученными в результате вычисления можно сделать следующие основные выводы: токи трехфазных коротких замыканий в установившемся режиме в точках 1, 2 и 3 (наиболее опасных) имеют значения 7,00 кА; 3,83 кА и 2,56 кА. При этом ударные токи, возникающие в первые мгновения после КЗ составят: 9,90 кА; 5,41 кА и 3,62 кА.

Таким образом, расчет токов короткого замыкания выполнен. Далее определим параметры защитно-коммутационных аппаратов и проводников.

5 Выбор и расчет электрических аппаратов и проводников

Для питания оборудования цеха существует необходимость выбора коммутационного оборудования и проводников. Правильный выбор номинальных характеристик в совокупности с использованием аппаратов и проводников проверенных производителей является залогом эффективной и безопасной эксплуатации системы электроснабжения на всем протяжении ее жизненного цикла. Поскольку в рамках модернизации чугунолитейного производства ЧМК производится реконструкция инженерной системы в целом, считается необходимым комплексный подход к выбору рассматриваемого оборудования. Выбор, производимый в рамках данного этапа ВКР выполняется в соответствии со следующими стадиями:

Во-первых, выбор жесткой ошиновки ТП 10/0,4 кВ – существующие шины не соответствуют параметрам возросшей нагрузки.

Во-вторых, кабели электроснабжения для ШРА и РП.

В-третьих, шинопроводы распределительные, а также:

Питающие проводники цехового оборудования, вводные и промежуточные аппараты защиты, защитно-коммутационные блоки каждого из приемников.

Начать выбор целесообразно с выбора защитных аппаратов.

5.1 Выбор аппаратов защиты

В условиях санкционного давления целесообразно выбрать оборудование компании, которое не только хорошо зарекомендовало себя на рынке, но и доступно к закупке в текущих условиях. Поскольку фактор доступности нельзя не учитывать в текущей геополитической обстановке, считается целесообразным применить на объекте коммутационные аппараты марки ИЕК. Являясь российско-китайским производителем, данная компания продолжает бесперебойные поставки оборудования в Россию. В первую

очередь следует выбрать вводной автомат, который устанавливается на шинах низкого напряжения трансформаторной подстанции (SF, рисунок 5).

Выполним расчет номинального тока расцепителя:

$$I_{н.р.} \cdot 1,1 \cdot \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,1 \cdot \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1001,45 \text{ A} \quad (61)$$

где S_T – паспортная мощность СТ;

U_n – напряжение ступени средненоминальное.

К установке примем автомат ВА88-43 ЗР 1250А 50кА ИЕК. Уставка расцепителя по нагрузке выбирается из диапазона 40 – 90%. Шаг уставки – 10%. Выберем ток уставки равным: $0,9 \times I_n = 1125 \text{ A}$.

Электромагнитный расцепитель отстраивается от группового тока линии. Он определяется с учетом тока пуска электродвигателей в линиях, в особенности – наиболее мощного в группе.

$$I_{пик} = K_n \cdot I_{н.нб} + I_p - I_{н.нб} \quad (62)$$

где K_n – кратность пуска;

$I_{н.нб}$ – ток наиболее мощного ЭД.

Приведем пример расчета для секции шин №2, где самый мощный ЭД – большой карусельный станок, подключенный к ШРА-2. Определим номинальный ток данного приемника:

$$I_{н.нб} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_d \cdot \cos\varphi} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,93 \cdot 0,65} = 95,62 \text{ A} \quad (63)$$

где η_d – КПД.

Определяем нормальный длительный ток защищаемой линии в целом:

$$I_m = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 910,40 \text{ A} \quad (64)$$

Определяется пиковый ток линии:

$$2 \quad I_{\text{пик}} = 6,90 \cdot 95,62 + 910,40 - 95,62 = 1474,56 \text{ A}$$

В соответствии с методикой из [15] выполняется определение группового тока.

$$I_0 \cdot 1,2 \cdot I_{\text{пик}} \quad (65)$$

Тогда:

$$I_0 \cdot 1,2 \cdot 1474,56 = 1769,47 \text{ A}$$

Ток срабатывания ЭМ расцепителя определяется по шкале, которая в общем виде выглядит так: (2-4-6-8-10-12)×I_н. На основании вышеизложенного расчета выберем уставку: 2×I_н = 2500 А.

По иным групповым выключателем расчет будем выполнять так же. Результаты выбора заносятся в таблицу 6.

После того, как описанный выше расчет выполнен и параметры групповых коммутационных аппаратов зафиксированы в табличной форме, существует необходимость произвести вычисление параметров коммутационных аппаратов для обеспечения подключения и защиты отдельных приемников электрической энергии. Выбор осуществляется по каталогу, представленному в [9]. В связи с доступностью модульных автоматических выключателей и компактностью их монтажа принято решение использовать данные защитные аппараты на стороне 0,4 кВ взамен ранее применявшихся предохранителей. Рассмотрим расчет, выполняемый для статического зарядного агрегата, подключенного к РП1. Данный приемник не имеет электродвигателя и питается от фазного напряжения.

$$I_{н.д.} = \frac{P_n}{U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{4,00}{0,22 \cdot 0,35} = 51,95 \text{ A} \quad (66)$$

Применим автомат защиты ВА47-29 3Р 63А 4,5кА, характеристика С, ИЕК. Уставка по нагрузке составляет – 63 А. Характеристика электромагнитного расцепителя С – $5 \times I_n = 315 \text{ A}$.

Далее считается необходимым произвести выбор автоматического выключателя для защиты линии, в которой установлен трёхфазный электродвигатель, приводящий в движение приёмник с долговременным режимом работы, а именно - установку вытяжной вентиляции, подключенную к РП2.

$$I_{н.д.} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_{д} \cdot \cos\varphi} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,93 \cdot 0,80} = 29,13 \text{ A} \quad (67)$$

В данном случае используем автоматический выключатель ВА47-29 1Р 32А 4,5кА, имеющий характеристику D, пр-ва ИЕК. Уставка по нагрузке данного аппарата составляет 50 А. При этом уставка мгновенного отключения имеет характеристику D – $10 I_n = 320 \text{ A}$

Ток пуска:

$$I_n = K_n \cdot I_{н.д.} = 6,90 \cdot 29,13 = 200,99 \text{ A} \quad (68)$$

$$I_0 = 1,2 \cdot I_n = 1,2 \cdot 200,99 = 241,19 \text{ A} \quad (69)$$

где K_n – пусковой коэффициент.

На основании того факта, что рассчитанный пусковой ток ниже значения, которое было определено для уставки электромагнитного расцепителя, данный автоматический выключатель подходит к установке в данную линию. Помимо вышеизложенного считается целесообразным привести пример расчёта для приёмника, имеющего повторно-кратковременный режим работы.

Расчёт произведён для кран-балки с электроталью, подключенной к распределительному пункту, имеющему номер 3. Единственным отличием от ранее произведённого расчёта будет то, что при определении тока учитывается режим работы.

$$I_{н.д} = \frac{P_n \cdot \sqrt{ПВ}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_{д} \cdot \cos\varphi} = \frac{8 \cdot \sqrt{0,4}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,93 \cdot 0,80} = 9,83 \text{ А} \quad (70)$$

Выполним выбор коммутационного аппарата ВА47-29 3Р 10А 4,5кА характеристика D IEK. Уставка отключения по нагрузке– 10 А. Значение тока мгновенного отключения D – $10 I_n = 100 \text{ А}$

Произведём определение пускового тока:

$$I_n \cdot K_n \cdot I_{н.д} = 7,2 \cdot 9,83 = 70,78 \text{ А}$$

$$I_0 \cdot 1,2 \cdot I_n = 1,2 \cdot 70,78 = 84,93 \text{ А}$$

На основании того, что уставка электромагнитного расцепителя имеет большее значение, нежели ток отстройки, данный автоматический выключатель можно использовать при установке в рассматриваемой линии.

Выполнение вычислений для прочих электроприёмников цеха производится аналогичным образом и формализуется путём внесения в таблицу номер 6 в случае с автоматическими выключателями для защиты групповых линий, а также таблицу номер 7 для одиночных линий.

Таким образом, можно заключить, что выбор коммутационных аппаратов, предназначенных для питания приёмников цеха, выполнен. В рамках дальнейшего расчёта необходимо осуществить расчёт проводников, которые будут передавать электроэнергию от источника питания к приёмникам.

Таблица 6 – Защита групповых линий

Линия Обозначение	U _н , кВ	1,1·I _р , А	I _{н.нб} , А	1,2·I _{шпик} , А	Аппарат защиты			
					Марка	I _н , А	I _{н.р.} , А	I _о , А
СШ №1 РУ ТП - ШРА1	0,4	348,02	41,21	714,33	ВА88-37 3Р	400	360	3600
СШ №1 РУ ТП - ШРА2	0,4	348,02	41,21	714,33	ВА88-37 3Р	400	360	3600
СШ №1 РУ ТП - РП1	0,4	52,17	8,68	125,11	ВА47-29 3Р D	63	63	630
СШ №1 РУ ТП - РП2	0,4	46,91	4,35	87,62	ВА47-29 3Р D	50	50	500
СШ №2 РУ ТП - РП3	0,4	16,92	4,17	50,30	ВА47-29 3Р D	25	25	250
СШ №2 РУ ТП - РП4	0,4	69,06	22,87	247,51	ВА88-32 3Р	80	80	500

Таблица 7 – Выполнение защиты отдельных приёмников

Наименование	P _н , кВт	U _н , кВ	η, %	cos φ	I _р , А	1,2·I _п , А	Марка	I _н , А	I _{н.р.} , А	I _о , А
Автомат фрезерный	2	0,40	81,0	0,65	9,50	66,48	ВА47-29 3Р D	10	10	100
Станок галтовочный	6	0,40	81,5	0,65	28,32	198,21	ВА47-29 3Р D	32	32	320
Транспортер ленточный №1	1,1	0,40	90,0	0,85	3,59	25,16	ВА47-29 3Р D	4	4	40
Печь индукционная	8	0,40	80,0	0,75	33,33	233,33	ВА47-29 3Р D	40	40	400
Стенд полировочный	3	0,40	81,0	0,65	14,25	99,72	ВА47-29 3Р D	16	16	160
Станок шлифовальный (ПВ = 60%)	7,5	0,40	83,0	0,65	34,75	243,28	ВА47-29 3Р D	40	40	400
Станок токарный №1	0,5	0,40	83,0	0,85	1,77	12,40	ВА47-29 3Р D	2	2	20
Станок сверлильный (ПВ = 80%)	6	0,40	78,5	0,75	25,48	178,34	ВА47-29 3Р D	32	32	320
Станок продольно-фрезерный	9	0,40	93,4	0,65	37,06	259,43	ВА47-29 3Р D	40	40	400
Станок карусельный мал. (ПВ= 70%)	0,55	0,40	83,0	0,85	1,95	13,64	ВА47-29 3Р D	2	2	20
Молот ковочный	3	0,40	79,5	0,75	12,58	88,05	ВА47-29 3Р D	16	16	160
Транспортер ленточный №2	1,2	0,40	80,0	0,75	5,00	35,00	ВА47-29 3Р D	6	6	60
Шлифовальный станок	6	0,40	94,5	0,85	18,67	130,72	ВА47-29 3Р D	20	20	200
Станок карусельный большой	9	0,40	84,0	0,65	41,21	288,46	ВА47-29 3Р D	50	50	500
Станок токарный №2	14	0,40	94,0	0,75	49,65	347,52	ВА47-29 3Р D	50	50	500

Продолжение таблицы 7

Наименование	P_n , кВт	U_n , кВ	η , %	$\cos \varphi$	I_p , А	$1,2 \cdot I_n$, А	Марка	I_n , А	$I_{н.р.}$, А	I_o , А
Автомат очистки продукции	1,1	0,40	94,0	0,65	4,50	31,51	BA47-29 3P D	5	5	50
Станок винторезный (ПВ = 30 %)	2,2	0,40	82,0	0,65	10,32	72,23	BA47-29 3P D	16	16	160
Станок слиткообдир-ый (ПВ = 50 %)	2,3	0,40	79,5	0,75	9,64	67,51	BA47-29 3P D	10	10	100
Кран-балка с электроталью (ПВ = 40%)	1,2	0,40	90,0	0,8	4,17	29,17	BA47-29 3P D	6	6	60
Зарядный агрегат статический, 1-ф	4	0,22	-	0,35	51,95	-	BA47-29 3P B	63	63	189
Компрессор	1,5	0,40	83,0	0,8	5,65	39,53	BA47-29 3P D	10	10	50
Насос водяной	2,5	0,40	90,0	0,8	8,68	60,76	BA47-29 3P D	10	10	100
Установка вытяжной вентиляции	1,1	0,40	79,0	0,8	4,35	30,46	BA47-29 3P D	5	5	50
Шихтопогрузочная машина	6	0,40	82,0	0,8	22,87	160,06	BA47-29 3P D	25	25	250

Данные из таблиц 6 и 7 с характеристиками выбранных коммутационных аппаратов будут использоваться для расчёта проводников.

5.2 Выбор проводников

Заполнение лотков производится в соответствии с [10]. Прокладка кабелей производится с учётом того что поперечным сечением заполненность для лотков с открываемой крышкой не должны быть более 40%. Об этом повествует пункт 2.6.61.

В рамках расчета считается необходимым произвести выбор следующих категорий проводников.

Во-первых, это проводники жёсткой ошиновки на стороне низкого напряжения трансформаторной подстанции. Они выполняются из алюминиевых шин.

Во-вторых, следует произвести выбор комплектных шинопроводов низкого напряжения, которые обеспечивают питание длинных производственных линий. В зависимости от расчётной нагрузки применяются либо шинопроводы распределительные алюминиевые (ШРА), либо шинопроводы магистральные алюминиевые (ШМА).

В-третьих, считается необходимым выбрать кабели, являющиеся связующим звеном между распределительным устройством низкого напряжения трансформаторной подстанции, групповыми распределительными устройствами (РП, шинопроводы), а также тех, по которым питаются электрические приёмники цеха.

В качестве шин низкого напряжения распределительного устройства трансформатора или подстанции применяются шины марки АД-31. Они должны выдерживать нагрузку, которая определяется с помощью методики, описанной в [7].

В свою очередь, для связи между шинопроводами и распределительными устройствами применяется кабель медный с изоляцией

из ПВХ пластика, не поддерживающего горения с низким дымогазовыделением и повышенной нагревостойкостью изоляции (марка ВВГнг(А)-LS). Длительно допустимый ток принимаем по [10]. Выбор конкретных поперечных сечений жил кабеля производится по [15].

Для предотвращения возгорания кабеля при повышенной нагрузке принимается коэффициент защиты. В данном случае он равен 1,25 [11].

Определим сечение алюминиевых шин модуля низкого напряжения трансформаторной подстанции:

$$I_{дон} = K_{зщ} \cdot I_{н.р.} \quad (71)$$

где $I_{н.р.}$ – Ток расцепителя теплового рассчитанный в предыдущем пункте 4.1;

$K_{зщ}$ – коэффициент защиты.

Таким образом,

$$I_{дон} = 1,25 \cdot 1125 = 1406,25 \text{ А} \quad (72)$$

По результатам данного расчёта выбирается шина 4×АД 31 80×10. Длительно допустимый ток данного пакета шин будет составлять 1480 А. В связи с наличием в среде цеха коррозионно-активных средств в виде зольных остатков и химических реагентов (присадок) существует необходимость обеспечить защиту металлоконструкций кабеленесущих систем от коррозии в соответствии с требованиями [12].

В данном случае приводится пример расчета для кабеля, который соединяет в электрическом аспекте секцию шин номер один и шинопровод распределительный номер один.

Следуя данным, которые ранее были рассчитаны при заполнении таблицы номер 7, ток расцепителя составил в данном случае 400А. В связи с тем, что $360 \times 1,25 = 450 \text{ А}$, с учетом защитного коэффициента примем для питания распределительного блока кабель марки 2х(ВВГнг(А)-LS 4×150) ($I_{д} =$

500 А). Параллельное применение двух одинаковых кабельных линий обусловлено требованиями к удобству монтажа и обслуживания. Прочие проводники рассчитаем аналогичным способом. Результаты занесём в таблицу 8 (для приёмников группового типа) и таблицу 9 для одиночных электроприёмников. Выбранные таким образом комплектные шинопроводы фиксируются в таблице номер 10. Необходимо отметить, что по соображениям обеспечения механической прочности кабели сечения меньше 2,5 мм² не применяются.

Таблица 8 – Проводники питания групповых линий

Групповые линии					
Объект питания		Кабель			
Обозначение	I _{др.} , А	Марка	п, жил	S, мм ²	I _{д.} , А
СШ №1 РУ ТП - ШРА1	450,00	ВВГнг(А)-LS	4	2×95	510
СШ №1 РУ ТП - ШРА2	450,00	ВВГнг(А)-LS	4	2×95	510
СШ №1 РУ ТП - РП1	78,75	ВВГнг(А)-LS	4	16	81
СШ №1 РУ ТП - РП2	62,50	ВВГнг(А)-LS	4	16	81
СШ №2 РУ ТП - РП3	31,25	ВВГнг(А)-LS	4	6	46
СШ №2 РУ ТП - РП4	100,00	ВВГнг(А)-LS	4	25	107

Таблица 9 – Распределительные шинопроводы

Обозначение	I _{др.} , А	Марка	I _{д.} , А
ШРА1	450,00	ШРА-4-73-630-У3	630
ШРА2	450,00	ШРА-4-73-630-У3	630

Таблица 10 – Питание отдельных приемников.

ЭП		Кабель			
Наименование	I _{др.} , А	Марка	п жил	S, мм ²	I _{д.} , А
Автомат фрезерный	13	ВВГнг(А)-LS	4	1,5	20
Станок галтовочный	40	ВВГнг(А)-LS	4	6	46
Транспортер ленточный №1	5	ВВГнг(А)-LS	4	1,5	20
Печь индукционная	50	ВВГнг(А)-LS	4	10	61
Стенд полировочный	20	ВВГнг(А)-LS	4	1,5	20
Станок шлифовальный (ПВ = 60%)	50	ВВГнг(А)-LS	4	10	61
Станок токарный №1	3	ВВГнг(А)-LS	4	1,5	20
Станок сверлильный (ПВ = 80%)	40	ВВГнг(А)-LS	4	6	46
Станок продольно-фрезерный	50	ВВГнг(А)-LS	4	10	61

Продолжение таблицы 10

ЭП		Кабель			
Наименование	I _{др.} , А	Марка	п жил	S, мм ²	I _{д.} , А
Станок карусельный мал. (ПВ= 70%)	3	ВВГнг(А)-LS	4	1,5	20
Молот ковочный	20	ВВГнг(А)-LS	4	1,5	20
Транспортер ленточный №2	8	ВВГнг(А)-LS	4	1,5	20
Шлифовальный станок	25	ВВГнг(А)-LS	4	2,5	26
Станок карусельный большой	63	ВВГнг(А)-LS	4	16	81
Станок токарный №2	63	ВВГнг(А)-LS	4	16	81
Автомат очистки продукции	6	ВВГнг(А)-LS	4	1,5	20
Станок винторезный (ПВ = 30 %)	20	ВВГнг(А)-LS	4	1,5	20
Станок слиткообдир-ый (ПВ = 50 %)	13	ВВГнг(А)-LS	4	1,5	20
Кран-балка с электроталью (ПВ = 40%)	8	ВВГнг(А)-LS	4	1,5	20
Зарядный агрегат статический, 1-ф	79	ВВГнг(А)-LS	3	16	81
Компрессор	13	ВВГнг(А)-LS	4	1,5	20
Насос водяной	13	ВВГнг(А)-LS	4	1,5	20
Установка вытяжной вентиляции	6	ВВГнг(А)-LS	4	1,5	20
Шихтопогрузочная машина	31	ВВГнг(А)-LS	4	4	34

Вывод по разделу номер пять.

Задачей выполнения данного раздела был выбор защитно-коммутационной аппаратуры и проводников, питающих оборудование цеха. В результате произведённых расчётов и формализованных в виде таблиц вычислений были произведены следующие основные формирующие действия.

Во-первых, осуществлён выбор как групповых, так и единичных защитно-коммутационных аппаратов. Решено использовать автоматические выключатели, производимые российско-китайской корпорацией IEK. Продукция данной компании зарекомендовала себя как надёжная, долговечная и доступная в текущих условиях.

Во-вторых, выполнен выбор кабелей, питающих групповые и единичные приёмники, алюминиевых шин и комплектных шинопроводов цеховой системы электроснабжения. Применены кабели с медными жилами марки ВВГнг(А)-LS, шины АД-31 и шинопроводы ШРА-73. Таким образом, выбор основных элементов сети электроснабжение цеха на стороне низкого напряжения подстанции выполнен. Произведём выбор основного электрооборудования на стороне высокого напряжения.

6 Выбор основного электрооборудования и его проверка

Необходимо отметить, что силовой выключатель на стороне высокого напряжения подстанции обеспечивает не только защиту силового трансформатора от перегрузки, вызванной избыточной нагрузкой, но и позволяет своевременно отключить возникшее в линии короткое замыкание, сохранив дорогостоящее оборудование и предотвратив нанесение значительного материального ущерба.

Вычислим максимальный ток на стороне высокого напряжения трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ.

$$I_{max} = \frac{S_{ПС}}{\sqrt{3} \cdot U_{ср.ном}} \cdot K_{пер} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} \cdot 1,40 = 48,55 \text{ А} \quad (73)$$

где $U_{ср.ном}$ – средненоминальное напряжение рассматриваемой ступени.

Основным условием при выборе силового выключателя высокого напряжения, равно как и для низкого, является соответствие его номинального тока и напряжения параметрам сети, в которую и предполагается установить данное устройство. Как уже зафиксировано ранее, напряжение установки, в которую производится установка силового выключателя в данном случае составляет 10 кВ. В соответствии с таблицей 1.11.1 [15] произведём выбор выключателя марки: ВВЭ-10-400-10 У3. Данный электрический аппарат имеет следующие характеристики (таблица 11).

Таблица 11 – Базовые характеристики силового выключателя на стороне высокого напряжения трансформаторной подстанции

Наименование параметра	Параметр выключателя	Параметр установки
Номинальное напряжение $U_{н.в.}$, кВ	10	10
Номинальный ток, $I_{н.в.}$, А	400	48,55
Отключающая способность $I_{н.откл.}$, кА	10	0,53
Ток термической стойкости $I_{тс}$, кА	10	0,27

Продолжение таблицы 11

Наименование параметра	Параметр выключателя	Параметр установки
Динамическая стойкость, $i_{ск}$, кА	52	0,75
Время термической стойкости $t_{тс}$, с	4	-
Полное время отключения выключателя, $t_{об}$, с	1	-

Далее заполним таблицу 11, произведя все необходимые расчёты.

Выполним проверку на способность отключения:

$$X'_c = 10,74 \text{ Ом}$$

$$R'_c = 1,74 \text{ Ом}$$

Определим полное сопротивление системы:

$$Z_{с3} = \sqrt{R_{с3}^2 + X_{с3}^2} = \sqrt{10,74^2 + 1,74^2} = 10,88 \text{ мОм} \quad (74)$$

Вычислим ток, протекающий при коротком замыкании.

$$I_K^{(3)} = \frac{V_{k1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 10,88} = 0,53 \text{ кА} \quad (75)$$

Производим вычисление ударного тока:

$$i_{ук1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_k^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 0,53 = 0,75 \text{ кА} \quad (76)$$

Выполним занесение полученных нами данных в таблицу номер 11.

Определим ток термической стойкости.

$$I_{тс} = I_K^{(3)} \cdot \sqrt{\frac{t_{\partial}}{t_{тс}}} = 0,53 \cdot \sqrt{\frac{1}{4}} = 0,27 \text{ кА} \quad (77)$$

Таким образом для защиты силового трансформатора по высокой стороне выбран силовой выключатель, имеющий наименование ВВЭ-10-400-10 УЗ с электромагнитным приводом.

Далее считается необходимым произвести выбор силовых выключателей используемых для защиты линий, питающих отдельные высоковольтные приёмники цеха. Перечень таковых представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень ЭП на стороне 10 кВ.

Наименование	P_n , кВт	η , %	$\cos \varphi$	Кол-во	Режим
$U_n = 10$ кВ					
Машина для подготовки шихты	95,00	0,90	0,92	4	ДР
Печь дуговая плавильная	350,00	0,75	0,78	2	ДР
Машина для литья	70,00	0,87	0,89	4	ДР
Муфельная печь	200,00	0,93	0,95	4	ДР

Определим основные параметры силовых выключателей, применяемых для защиты высоковольтных приёмников цеха. В данном случае необходимо учитывать, что машина для подготовки шихты и машина для литья оснащены электрическими приводами, тогда как основная нагрузка печей не подвержена пусковым токам. Приведём пример расчёта для линии без электродвигателя (муфельная печь). Индуктивная нагрузка для данного приёмника практически отсутствует, так как он оперирует нагревательными элементами.

$$I_{н.д.} = \frac{P_n}{U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{200,00}{10,00 \cdot 0,95} = 21,05 \text{ А}$$

Выберем силовой выключатель ВВЭ-10-400-10 УЗ т.к. 400 А – минимальный ток, на который выпускаются выключатели данного класса напряжения.

Далее приведём пример расчёта для линии с электродвигателями (линия питания машины для подготовки шихты).

Ток в рабочем режиме составляет:

$$I_{н.д} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_d \cdot \cos\varphi} = \frac{95}{\sqrt{3} \cdot 10,00 \cdot 0,93 \cdot 0,92} = 6,42 \text{ А} \quad (78)$$

Ток пуска:

$$I_n = K_n \cdot I_{н.д} = 6,90 \cdot 6,42 = 44,30 \text{ А} \quad (79)$$

$$I_0 = 1,2 \cdot I_n = 1,2 \cdot 44,30 = 53,16 \text{ А} \quad (80)$$

где K_n – пусковой коэффициент

Таким образом, отстройка мгновенной токовой отсечки для данного приемника осуществляется от значения 53,16 А. Расчёт для прочих приёмников произведём аналогичным образом, а результаты вычислений сведём в таблицу 13.

Таблица 13 - Аппараты защиты высоковольтных потребителей

Наименование	I_p , А	$1,2 \cdot I_n$, А	Марка	I_n , А	$I_{мтз}$, А	$I_{мто}$, А
Машина для подготовки шихты	12,42	86,93	ВВЭ-10-400-10	400	14	95
Печь дуговая плавильная	66,67	-	ВВЭ-10-400-10	400	68	-
Машина для литья	9,14	64,00	ВВЭ-10-400-10	400	11	70
Муфельная печь	23,12	-	ВВЭ-10-400-10	400	25	-

Помимо выбора защитных аппаратов необходимо также произвести выбор высоковольтных кабелей, по которым будет осуществляться питание оборудования. Нагрузка кабелей рассчитывается исходя из значения коэффициента защиты. Для питания высоковольтных приемников применим кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвВнг(А)-LS. Использование алюминиевой жилы высоковольтного кабеля обеспечит значительную экономию при условии невысоких токов, обусловленных высоким напряжением.

Расчет выполняется по аналогии с тем, как он производился в п. 5.2 данной ВКР. Результаты выбора проводников сведем в таблицу 14.

Таблица 14 – Кабели питания оборудования на напряжении 10 кВ

Наименование	$I_{д.р.}, A$	Марка	n жил	S, мм ²	$I_{д.}, A$
Машина для подготовки шихты	18	АПВВнг(А)-LS	4	4	21
Печь дуговая плавильная	85	АПВВнг(А)-LS	4	50	105
Машина для литья	14	АПВВнг(А)-LS	4	2,5	16
Муфельная печь	31	АПВВнг(А)-LS	4	8	32

При выборе системы защиты оборудования на стороне высокого напряжения нельзя забывать, что силовые выключатели управляются системой релейной защиты. В связи с этим необходимо определить основные параметры системы релейной защиты силового трансформатора.

6.1 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

Нельзя не отметить, что на стороне напряжения выше 1 кВ нет объективной возможности использовать сигналы силовой сети для управления защитными устройствами. В связи с этим для оперативного реагирования на электромагнитные проявления сети электроснабжения на стороне высокого напряжения применяются схемы релейной защиты и автоматики, функционирующие на оперативном токе. Параметры оперативного тока будут определены при формировании проекта реконструкции главной понизительной подстанции, так как основные параметры схемы релейной защиты и уставки срабатывания рассчитываются в данном пункте. Расчёт для выключателя с электромагнитным приводом описан в [12].

В соответствии с почерпнутой отсюда информацией, наиболее эффективной зарекомендовала себя схема, сочетающая в своём составе максимальную токовую защиту (МТЗ) и мгновенную токовую отсечку (МТО).

Технически данная система схожа с принципом работы автоматического выключателя на стороне напряжения потребителя 0,4 кВ. Данные виды защит реализуются на базе реле марок РТ-40 и РТВ с возможностью последующего перехода на блоки микропроцессорной релейной защиты (БМРЗ), которая рекомендована в [16].

Определение тока, протекающего в линии электроснабжения силового трансформатора в нормальном режиме на стороне высокого напряжения.

$$I_n = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10,5} \cdot 1,4 = 48,55 \text{ A} \quad (81)$$

По таблице с номером 1.12.1 [12] в целях использования для снабжения схемы релейной защиты информацией о состоянии сети может использоваться трансформатор ТПЛ-10. Данное устройство имеет коэффициент трансформаторного преобразования: $K_T = 100/5$. В данном случае используется схема «звезда». Её коэффициент имеет значение 1. Для обеспечения управления силовыми выключателями применим схему с включением на разность тока в двух фаз, которое позволяет защитить систему от замыкания между фазами. Изображение её можно увидеть на рисунке 9.

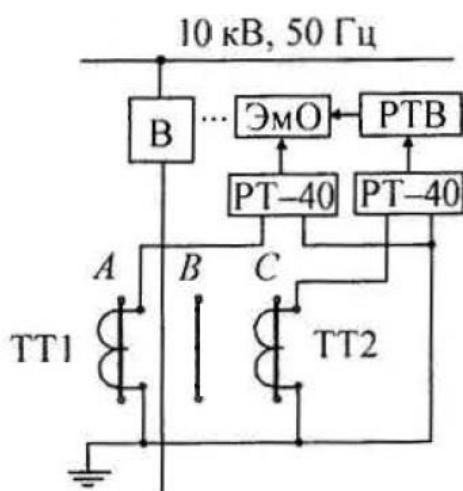


Рисунок 9 – Обеспечение релейной защиты трансформаторной подстанции.

Расчёт уставок максимальный токовой защиты и токовой отсечки для высоковольтных потребителей цеха приведены в таблице 13. Необходимо произвести аналогичный расчёт отстройки для трансформаторной подстанции, питающей потребители на стороне ниже 1 кВ.

Выполним отстройку от тока короткого замыкания в точке К1. Первоначально нужно привести ток $I_{к1}^{(3)}$ к стороне высокого напряжения.

$$I_{к(нн)}^{(3)} = I_{к(нн)}^{(3)} \cdot \frac{U_{нн}}{U_{вн}} = 7000 \cdot \frac{0,4}{10,5} = 266,67 \text{ А} \quad (82)$$

В связи с тем, что мощность электродвигателей на стороне НН цеха крайне мала в сравнении с общей мощностью цеховых электроприёмников, отстройкой от пусковых токов ЭД в данном случае можно пренебречь. Выполним определение уставки мгновенного срабатывания системы защиты.

Как сказано в таблице 1.12.3 [12] возвратный коэффициент реле ($K_{в}$) и коэффициент надежности отстройки ($K_{н}$) имеют значения 0,8 и 1,2 для РТ-40 (соответственно). Вычисляем ток:

$$I_{ср(то)} = \frac{K_{н} \cdot K_{сх}}{K_{м}} \cdot I_{к.}^{(3)} = \frac{1,2 \cdot 1}{\frac{100}{5}} 0,27 \cdot 10^3 = 16,20 \text{ А} \quad (83)$$

Примем РТ-40/50. (ток уставок 12,5 – 25 А.) Принимается уставка – 17 А. Вычисляется объективное значение коэффициента чувствительности защиты.

$$K_{ч(то)} = \frac{2 \cdot 0,87 \cdot I_{к}^{(3)}}{K_{м} \cdot I_{ср}} = \frac{2 \cdot 0,87 \cdot 266,67}{\frac{100}{5} \cdot 17} = 1,36 \quad (84)$$

Поскольку значение коэффициента чувствительности больше 1,2, следовательно, защита может считаться надежной.

Далее выполним расчет уставок максимальной токовой защиты, обеспечивающей защиту силового трансформатора от перегрузки.

Ток срабатывания (коэффициенты приняты по [12]):

$$I_{\text{ср(МТЗ)}} = \frac{K_{\text{зап}} \cdot K_n \cdot K_{\text{сх}}}{K_{\text{б}} \cdot K_m} \cdot I_{\text{нб}} = \frac{1 \cdot 1,25 \cdot 1}{0,8 \cdot 100/5} \cdot 48,55 = 3,79 \text{ А} \quad (85)$$

Применим РТ-40/10 (Ток срабатывания 2,5..5). Уставка: 4 А. Определим чувствительность защиты:

$$K_{\text{ч(МТЗ)}} = \frac{0,87 \cdot I_{\text{к}}^{(3)}}{K_m \cdot I_{\text{ср}}} = \frac{0,87 \cdot 266,67}{\frac{100}{5} \cdot 4} = 2,9 \quad (86)$$

В связи с тем, что значение коэффициента больше 1,2, защита надежна.

Вывод по разделу 6 выпускной квалификационной работы

В результате проведенного расчёта произведён выбор оборудования защиты на стороне высокого напряжения подстанции цеха. Принято решение об использовании силовых выключателей ВВЭ-10-400-10, как наиболее бюджетной из представленных на рынке моделей, подходящих под задачи энергооснащения цеха. В свою очередь, для питания высоковольтного оборудования решено использовать кабели марки АПВВнг(А)-LS.

Выполнен расчет релейной защиты силовых трансформаторов подстанции 10/0,4 кВ. По итогам данного расчета выбраны:

Измерительные трансформаторы тока марки ТПЛ-10 (100/5), два реле РТ40 (40/50 с уставкой 17 А для ТО и 40/10 с уставкой 4 А для МТЗ, а также – реле времени РТВ с уставкой по времени 5 с.

7 Расчет заземления и молниезащиты

Система молниезащиты и заземления является неотъемлемой частью каждого объекта капитального строительства. В особенности, это касается промышленных предприятий, где одновременно работает большое количество сотрудников и используется оборудование с высокими показателями номинальной мощности. Система заземления в общих чертах регламентируется в [10]. Так, следуя данным пункта 1.7: «Заземлению подлежат все металлические нормально нетокопроводящие части электрооборудования». Сопротивление системы заземления объекта приводится в таблице 1.8.38 [10]. Более подробные требования к системе заземления приводятся в [6].

В соответствии с информацией, представленной в данном источнике существует четыре вида заземления: общее защитное заземление, применяемое для обеспечения безопасности сотрудников предприятия, помехозащитное заземление, применяемое для защиты от помех, молниезащитное и рабочее заземление.

В рамках подготовки к реконструкции цеха чугунолитейного производства ЧМК, электролабораторией при службе главного энергетика предприятия было произведено измерение сопротивления заземляющего устройства. В соответствии с данными, предоставленными по окончании испытания, сопротивление защитного контура не превышает 12,74 Ом, тогда как по таблице 1.8.38 [10] сопротивление заземляющего устройства для случая системы с глухим заземлением в непосредственной близости от нейтрали не должно превышать 15 Ом. Таким образом, система защитного заземления соответствует нормативным значениям и в рамках реконструкции переделываться не будет. В связи с изменением плана размещения основного оборудования формируются новые точки заземления, путем приварки болтов соответствующего диаметра.

Рабочее заземление выполняется по N-жилам питающих кабелей (система TN-C-S с разделением на рабочее и защитное заземление на ШНН трансформаторной подстанции). Отдельная система помехозащитного заземления не предусмотрена. Экраны помехозащиты микропроцессорных блоков управления станками и иные защитные устройства подключаются к устройству защитного заземления.

Отдельно хотелось бы остановиться на молниезащите. Защита от прямых ударов молний является обязательным условием для всех объектов капитального строительства соответствии с [13]. «Попадание» молнии в здание приводит к повреждению строительных конструкций, возгоранию проводки, повреждению дорогостоящего оборудования.

Для молниезащиты зданий применяется система, сочетающая в своем составе горизонтальные и вертикальные молниеприемники, а также - соединители, применяемые для связи молниезащиты в единый контур. Вертикальные выполняются путем использования комплектных молниеприемников с держателями, производимых компанией ДКС (марка NL 7300). Изготовленные из оцинкованной стали, данные молниеприемники имеют значительный срок службы и высокие эксплуатационные показатели. Применение подобных конструкций рекомендовано в [19]. Горизонтальные молниеприемники выполняются стальной полосой 5x50 мм. Защита горизонтальных молниеприемников от коррозии выполняется путем окрашивания черной краской по грунту. Соединение молниеприемников между собой осуществляется сваркой. Молниеприемник электрически связывается с контуром защитного заземления здания в соответствии с пунктом 1.7.55 [10]. Более подробно схема молниезащиты изображена в графической части ВКР.

Вывод по разделу 7

В результате изысканий, проведенных в рамках раздела осуществлено определение основных параметров устройств заземления и молниезащиты цеха чугунолитейного производства ЧМК.

Заключение

На данном этапе считается целесообразным подвести итог выполнения выпускной квалификационной работы. В результате проведенных изыскательских работ сформировано общее представление о характеристиках и составе оборудования и проводников системы цехового электроснабжения, выявлены основные направления будущей реконструкции цеха чугунолитейного производства ООО «ЧМК».

Произведен анализ информации о планируемых в рамках реконструкции технологических изменениях, планах по модернизации структуры производственных линий. Получены исходные данные о техническом состоянии имеющейся системы электроснабжения. Зафиксирована высокая степень ее износа и общее неудовлетворительное состояние.

Питание технологических линий решено выполнить распределительными шинопроводами, питание приемников в отдельных помещениях – от отдельно расположенных распределительных пунктов. Используя метод расчетного коэффициента определены активная, реактивная и полная мощности по цеху, которые с учетом компенсации и осветительной нагрузки составили: 443,19 кВт; 164,36 кВар и 472,69 кВА. Расчетный ток – 682,26 кА.

В качестве основного питающего агрегата цеха чугунолитейного производства ЧМК решено использовать два трансформатора марки ТМ-630/10/0,4 УЗ, которые размещаются в существующем здании трансформаторной подстанции. Здание дополнительно оборудуется маслосборниками.

Определена расчетная мощность высоковольтного оборудования цеха по производству изделий из чугуна. Полная расчетная мощность оборудования составила 2374,90 кВА, что соответствует 130,59 А на стороне 10 кВ и 2887,55 кВА с учетом нагрузки 0,4 кВ и потерь в трансформаторах ТП. Итоговый ток, потребляемый с шин НН ГПП составил 158,77 А.

Произведен расчет токов трехфазных коротких замыканий в установившемся режиме в точках 1, 2 и 3. Они имеют значения 7,00 кА; 3,83 кА и 2,56 кА. При этом ударные токи, возникающие в первые мгновения после КЗ составят: 9,90 кА; 5,41 кА и 3,62 кА.

Осуществлён выбор как групповых, так и единичных защитно-коммутационных аппаратов. Решено использовать автоматические выключатели производства российско-китайской корпорации ИЕК.

Выбраны кабели, питающие групповые и единичные приёмники, алюминиевые шины и комплектные шинопроводы цеховой системы электроснабжения. Применены проводники с медными жилами марки ВВГнг(А)-LS, шины АД-31 и шинопроводы ШРА-73.

Произведён расчет оборудования защиты на стороне высокого напряжения подстанции цеха. Решено применить силовой выключатель ВВЭ-10-400-10, как наиболее бюджетную из представленных на рынке моделей, подходящих под задачи электропитания цеха. В свою очередь, для питания высоковольтного оборудования решено использовать кабели марки АПвВнг(А)-LS.

Выполнен расчет релейной защиты силовых трансформаторов подстанции 10/0,4 кВ. По итогам данного расчета выбраны:

Измерительные трансформаторы тока марки ТПЛ-10 (100/5), два реле РТ40 (40/50 с уставкой 17 А для ТО и 40/10 с уставкой 4 А для МТЗ, а также – реле времени РТВ с уставкой по времени 5 с. Осуществлено определение основных параметров устройств заземления и молниезащиты цеха.

Таким образом, формирование предварительного проекта реконструкции системы электроснабжения сталелитейного завода осуществлено. Цель выполнения выпускной квалификационной работы достигнута.

Список используемых источников

1. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. М. : Стандартинформ, 1985. 20 с.
2. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. М. : Стандартинформ, 1969. 91 с.
3. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках М. : Стандартинформ, 1993. 109 с.
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М. : Стандартинформ, 2012. 20 с.
5. ГОСТ 8.417 - 2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. М. : Стандартинформ, 2002. 33 с.
6. ГОСТ Р 58882-2020 Заземляющие устройства. М. : Стандартинформ, 2021. 45 с.
7. Длительно-допустимый ток для алюминиевой шины // Официальный сайт ООО «Невская алюминиевая компания». URL: <http://spbalum.ru/manual/alyuminievaya-shina-tok> (дата обращения: 14.08.2022).
8. Каталог трансформаторов силовых с масляной и сухой изоляцией // Официальный сайт ЗАО «ГК «Электрощит-Самара». URL: <https://electroshield.ru/upload/iblock/ef6/Katalog-Transformatory-silovye-s-maslyanoy-i-sukhoj-izolyatsiey.pdf> (дата обращения: 25.07.2022).
9. Модульные выключатели // Официальный сайт фирменного магазина ИЕК в России. URL: <https://iek-rus.ru/category/modulnoe-oborudovanie/> (дата обращения 26.09.2022).
10. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок М.: Стандартинформ, 2001. 330 с.

11. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. М. : Стандартинформ, 2009. 36 с.

12. СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. М. Стандартинформ, 2017. 127 с.

13. ГОСТ Р 59789-2021 (МЭК 62305-3:2010). Молниезащита. Защита зданий и сооружений от повреждений и защита людей и животных от электротравматизма. М. : Стандартинформ, 2021. 45 с.

14. Черненко Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции : Учебное пособие для курсового проектирования. Тольятти : ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2020. 88 с.

15. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения : учеб. пособие. М. : ИНФРА-М, 2018. 214 с.

16. Beinarts I., Grunde U., Jacovics A. Distributed multi-sensor real-time building environmental parameters monitoring system with remote data access // De gruyter open. 2019. Vol. 7. PP 41-46.

17. Bonoli A., Fusco E.D., Zanni S., Lauriola I., Ciriello V., Federico V.D. Green Smart Technology for Water (GST4Water): Life Cycle Analysis of Urban Water Consumption // Water, 2022, Vol. 11. Issue 2. PP. 389-401.

18. Gonzalez-Galvez O., Morales M., Seefoo C., Morillon D., Ali Khan Z., Valdes H. Energy Diagnosis of University Buildings: Renewable Energy Institute from UNAM // Buildings. 2018. № 8. PP. 136-153.

19. Lo C., Tsai S., Olarinoye G., Lin B.S. Ice Storage Air-Conditioning System Simulation with Dynamic Electricity Pricing: A Demand Response Study // Energies. 2018. № 9. PP. 113-129.

20. Yang D., Zhao K., Tian H., Liu Y. Decision Optimization for Power Grid Operating Conditions with High- and Low-Voltage Parallel Loops // Applied sciences. 2018. Vol. 7. PP 487-505.