

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)

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Разработка системы электроснабжения предприятия по изготовлению пластмассовых изделий и гальваники

| | | |
|--------------|---|-------|
| Студент | <u>С.В. Бондарев</u> (И.О. Фамилия) | _____ |
| Руководитель | <u>А.А. Кувшинов</u> (И.О. Фамилия) | _____ |
| Консультанты | <u>А.В. Кириллова</u> (И.О. Фамилия) | _____ |

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

Представленная выпускная квалификационная работа описывает процесс разработки системы электроснабжения предприятия по изготовлению пластмассовых изделий и гальваники.

В работе описываются основные этапы проектирования, которые касаются разработки систем электроснабжения и освещения, а также процесса выбора проводников и защитных аппаратов цеха. Описываются основные технические решения, применение которых позволит обеспечить не только современный подход к проектированию и соблюдение актуальных норм и правил, но и предельно упростить и ускорить процесс монтажа элементов системы электроснабжения без снижения качества конструкций.

Результатом выпускной квалификационной работы является проект системы электроснабжения цеха предприятия по изготовлению изделий из пластмассы и гальваники.

Выпускная квалификационная работа выполнена в объеме 59 страниц, содержит 13 таблиц, 10 рисунков, список используемых источников из 20 наименований, графическую часть на 6 листах формата А1.

ABSTRACT

The title of the diploma paper is: «Development of the power supply system of an enterprise for the production of plastic products and electroplating». This graduation work is about the power supply system design process

The subject of the graduation work is the one of the production workshops of the company producing furniture and interior items PJSC "GALVANIK Enterprise", founded in 1990, placed in the village New Devyatkinno of Vsevolzhsky district of the Leningrad region and, particularly, its power supply system. The key issue of the graduation work is the development of solutions for renovation of the power supply system, with is necessary for rise of safety and efficiency of power equipment. We touch upon the problem of non-ecological, outdated power transformers and ineffective short circuit protection system and a number of other types of structures, which must be aligned to the existing norms and regulations. We start with the statement of the problem and then logically pass over to its possible solutions.

We study the role of workshop power supply in the functioning of the infrastructure facility as a single unified electrotechnical complex and analyze the technical condition of it. We also examine how the power scheme of the work-shop affects the reliability of its power supply

In conclusion we'd like to stress that taking into consideration the fact that due to the modernization of production for the manufacture of plastic products and electroplating, a new power supply system must be developed for it. The development of a new power supply system in accordance with the requirements of current regulatory documents will ensure the safety and reliability of its use.

As a result of the diploma paper, equipment and conductors of the shop power supply system were selected. The currents flowing in the circuits in normal and emergency modes of operation and the configuration of the lighting system are determined.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| 1 Описание объекта выпускной квалификационной работы | 7 |
| 2 Вычисление ожидаемых нагрузок цеха | 13 |
| 2.1 Система освещения цеха | 14 |
| 2.2 Расчет общецеховых нагрузок | 16 |
| 2.3 Выбор компенсирующего устройства | 24 |
| 3 Выбор источника питания цеха | 26 |
| 4 Выбор оборудования сети электроснабжения | 36 |
| 4.1 Расчет защитных аппаратов | 37 |
| 4.2 Выбор проводников цеховой сети | 43 |
| 5 Расчет токов короткого замыкания | 47 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 56 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ | 58 |

ВВЕДЕНИЕ

Ситуация, сложившаяся в нашей стране при переходе с системы плановой централизованной экономики к рыночной модели стимулирует глобальные изменения, вынуждая не только простых граждан, но, в первую очередь, крупных функционеров отечественной промышленности оперативно подстраиваться под веяния нового времени.

Одной из отраслей, которая на настоящий момент развивается особенно быстро и имеет широкие перспективы как качественного, так и количественного роста является химическая промышленность. Особенно существенным в данном аспекте является вопрос производства пластика и изделий на его основе. Спрос на них не только не снижается с ходом времени – он возрастает из года в год. Потребитель и контролирующие органы предъявляют все более высокие требования не только к количеству производимой продукции, но и качеству ее, к долговечности, механическим и функциональным характеристикам конечного продукта.

Такая ситуация ставит производственные компании перед необходимостью постоянного поиска новых способов привлечения покупателей. Относительно новым веянием в сфере производства пластиковых изделий является их гальваническая обработка. Покрытие пластиковых изделий слоем металла применялось и раньше, однако оно, как правило, производилось химическим путем и было исключительно дорогое.

Разработка гальванического способа покрытия изделий из пластика металлом может по праву считаться не только прорывом в сфере науки, но и значительным шагом для промышленности.

Одной из первых компаний, еще в 2005 году освоивших гальванизацию пластмасс, стало публичное акционерное общество (ПАО) «Предприятие ГАЛЬВАНИК», расположенное в деревне Новое Девяткино Всевожского района Ленинградской области. Основным видом деятельности данного предприятия является производство мебели из пластика и металла, а также

различных предметов интерьера. Применение метода гальванизации пластика позволило компании значительно повысить конкурентоспособность своей продукции.

В 2018 году в связи с ростом продаж, а также большим числом сторонних заказов на производство пластиковых изделий и их гальванизацию было решено расширить производство путем установки дополнительной линии и общей оптимизации технологического процесса. Такие меры должны, с одной стороны, обеспечить рост производственных мощностей основного цеха предприятия, в котором выполняются операции по производству и гальванизации пластика, а с другой стороны – снизить стоимость производства и, следовательно, себестоимость единицы продукции.

Важнейшей частью модернизации производства является разработка системы электроснабжения. Помимо изменения ее общей конфигурации, положительным аспектом также станет установление соответствия электрической сети современным нормам и правилам, повышение надежности и удобства эксплуатации, а также – использование современных изделий и материалов, облегчающих текущее обслуживание электроэнергетической инфраструктуры.

Последние положения особенно актуальны по причине того, что обновление системы электроснабжения с момента сдачи в эксплуатацию цеха в 1990 году и по наши дни производилось лишь частично. Большая доля производимых изменений не была задокументирована, либо документация не была оформлена надлежащим образом, что создает значительную путаницу при ремонте и обслуживании.

Таким образом, целью выпускной квалификационной работы является разработка системы электроснабжения предприятия по изготовлению пластмассовых изделий и гальваники с соблюдением современных норм и правил.

1 Описание объекта выпускной квалификационной работы

Цех по изготовлению пластмассовых изделий и гальваники является одной из составных частей компании по производству мебели и предметов интерьера ПАО «Предприятие ГАЛЬВАНИК», основанной в 1990 году. Освоение компанией гальванизирования пластмассовых изделий датируется 2005 годом. В это время цех, в котором ранее изготавливались пластмассовые детали и выполнялась сборка мебели был подвергнут перепрофилированию – на месте сборочных площадок расположена гальваническая линия.

За более чем 13 лет, прошедших с момента ввода цеха в эксплуатацию и начала производства изделий, большая часть технологического оборудования успела приобрести износ, причиной которого стала активная эксплуатация оборудования в связи с большим количеством поступающих (особенно в последнее время) заказов.

Однако, текущий износ технологического оборудования является менее существенной проблемой, чем устаревание самой технологии гальванизации пластика, которая приносит предприятию значительные прибыли. Причиной этого является сложный процесс одноэтапной гальванизации, который сейчас применяется компанией. Такой подход позволяет обеспечить качественное покрытие, однако характеризуется излишне высокой капиталоемкостью.

На настоящий момент наиболее перспективной технологией формирования гальванического покрытия изделий из пластика является двухэтапный процесс «Гальванит VS», разработанный и внедряемый компанией ООО "Компания Гальванит" [14]. Она не имеет собственных производственных площадок, располагая лишь небольшими лабораториями, поэтому обкатка новых способов гальванизации на производстве производится путем сотрудничества с рядом компаний. В число таковых входит ПАО «Предприятие ГАЛЬВАНИК».

Помимо технологии гальванизации обновление технологической базы также затронуло линии производства изделий из пластмассы. В частности,

принято решение о замене морально устаревшего оборудования, применявшегося ранее на производстве на более энергоэффективные и надежные образцы.

Руководством предприятия принято решение о модернизации производства, в рамках которой помимо прочих систем решено заново разработать систему электроснабжения цеха предприятия, что даст возможность длительной и надежной эксплуатации цехового оборудования и обеспечит безостановочное функционирование цеха в условиях увеличившихся нагрузок.

Цех относится к категории Г в соответствии с [7]. Стены здания изготовлены из бетонных плит, двери и ворота - металлические. Производство считается взрывобезопасным, однако пожароопасность определяется классом П-П. Это обусловлено наличием твердых горючих веществ (готовая продукция и полимерное сырье). Среда цеха классифицируется категорией А в соответствии с [8] т.е. не является агрессивной. Такая ситуация обусловлена тем фактом, что применяющиеся реагенты находятся в жидком состоянии и в процессе производства не происходит их активного испарения.

На настоящий момент питание цеха осуществляется от трансформаторной подстанции (ТП), расположенной в одном из внутренних помещений. Питание ТП осуществляется от ГПП предприятия по кабельной линии, проложенной в траншее.

На трансформаторной подстанции расположено два силовых трансформатора марки ТНЗП-160/6/0,4 кВ У3, установленных в 1990-м году. Суммарная мощность трансформаторов составляет 320 кВА. Изображение одного из таких трансформаторов в процессе подготовки к утилизации приведено на рисунке 1.1

Необходимо более подробно остановиться на данном типе преобразующих устройств. Дело в том, что в качестве изоляции в трансформаторе применяются синтетический диэлектрик - совтол, иначе называемый полихлорированным бифенилом (ПХБ). Данный диэлектрик широко применялся в СССР и ряде других стран при производстве электротехнического оборудо-

вания с 1930-х годов. Несмотря на его высокие диэлектрические характеристики, он имеет существенный недостаток – является стойким органическим загрязнителем, относящимся к первому классу опасных веществ. Разлив вещества способен нанести непоправимый вред природе, а также привести к развитию у человека различных патологий и изменению его генома, что было доказано в 1980-х годах. В 1985 году производство оборудования с применением ПХБ было прекращено в Европе, а чуть позже – и в СССР. Таким образом, трансформаторы, питающие цех производства пластмассы являются одними из последних представителей данного модельного ряда.



Рисунок 1.1 – Подготовка трансформатора марки ТНЗП к утилизации

В соответствии со Стокгольмской Конвенцией от 2001-го года эксплуатация совтолового оборудования разрешена до 2025 года, после чего оно должно быть выведено из эксплуатации и утилизировано. Это обуславливает необходимость замены силовых трансформаторов (СТ).

Помимо неудовлетворительного состояния СТ нужно отметить исключительно сложную организацию системы электроснабжения как на этапе РУ НН ТП – РП, так и при непосредственном подключении приемников. Это

обусловлено отсутствием капитального ремонта системы электроснабжения с момента пуска цеха в эксплуатацию. Как было указано выше, при монтаже системы электроснабжения участка гальваники новые кабели были проложены по старым кабельным трассам, либо по конструкциям, смонтированным поверх данных кабельных трасс (рисунок 1.2)



Рисунок 1.2 – Вариант прокладки кабелей

Такой подход привел к повышению риска возгорания проводки в результате короткого замыкания, общей низкой эксплуатационной пригодности системы электроснабжения. Особенные затруднения вызывает замена питающих линий при их выходе из строя – обнаружить нужные кабели, зачастую, сложно.

Подобная ситуация наблюдается и в распределительных устройствах (в частности, это касается блоков – ровесников завода). Значительное количество текущих ремонтов и частных модернизаций (для увеличения числа возможных подключений) привели к неудовлетворительному техническому состоянию устройств распределения. Помимо сильного физического износа здесь также наблюдается отсутствие порядка при прокладке проводников, что в конечном итоге ведет к затруднению эксплуатации. Одно из подобных РУ изображено на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Распределительное устройство предприятия

В связи со сложившейся ситуацией руководством ПАО «Предприятие Гальваника» принято решение о разработке системы электроснабжения цеха по производству изделий из пластмассы и гальваники. Полная замена проводников, коммутационной и преобразовательной аппаратуры позволит оптимизировать конфигурацию схемы электроснабжения, обеспечит повышение надежности и энергетической эффективности производства.

Перечень цехового оборудования, которое необходимо обеспечить электропитанием по итогам программы расширения производства изделий из пластмассы и модернизации гальванической линии приведен в таблице 1.1. Приступим к определению ожидаемых электрических нагрузок цеха предприятия.

Таблица 1.1 – Перечень технологического и вспомогательного оборудования после модернизации производства

| № | Наименование | Р _у , кВт | Кол-во | Режим |
|----|-----------------------------------|----------------------|--------|---------------|
| 1 | Контейнероопрокидыватель | 2 | 3 | ДР |
| 2 | Автомат погрузочный | 6 | 3 | ДР |
| 3 | Транспортер исходного сырья | 1,1 | 3 | ДР |
| 4 | Дробилка | 8 | 3 | ДР |
| 5 | Сепаратор №1 | 3 | 3 | ДР |
| 6 | Конвейер роликовый №1 | 7,5 | 3 | ДР |
| 7 | Весы электрические | 0,5 | 3 | ДР |
| 8 | Смеситель | 6 | 3 | ДР |
| 9 | Машина выдувная | 9 | 3 | ДР |
| 10 | Сепаратор №2 | 0,55 | 3 | ДР |
| 11 | Сушилка №1 | 3 | 3 | ДР |
| 12 | Стол механизированный | 1,2 | 3 | ПКР, ПВ = 70% |
| 13 | Транспортер подготовленного сырья | 6 | 3 | ДР |
| 14 | Экструдер | 9 | 3 | ДР |
| 15 | Конвейер роликовый №2 | 14 | 3 | ДР |
| 16 | Конвейер пластинчатый | 1,1 | 9 | ДР |
| 17 | Станок экструзионно-выдувной | 10 | 3 | ДР |
| 18 | Сушилка №2 | 2,3 | 3 | ДР |
| 19 | Модуль фасовочный | 1,2 | 3 | ДР |
| 20 | Насос подогревателя | 4 | 3 | ДР |
| 21 | Реактор подогревателя | 1,5 | 6 | ДР |
| 22 | Термопластавтомат 1-п. | 2,5 | 6 | ДР |
| 23 | Устройство пневматической подачи | 1,1 | 3 | ДР |
| 24 | Кран-балка с электроталью | 6 | 3 | ПКР, ПВ = 40% |
| 25 | Зарядный агрегат статический | 2,7 | 1 | ДР, 1-ф |
| 26 | Компрессор | 4,2 | 2 | ДР |
| 27 | Насос водяной | 2,8 | 2 | ДР |
| 28 | Калорифер для обогрева | 7,1 | 1 | ДР |
| 29 | Вентилятор | 25 | 2 | ДР |
| 30 | Барaban гальванический | 5,5 | 2 | ДР |
| 31 | Установка фильтрации электролита | 4 | 2 | ДР |
| 32 | Ванна гальваническая большая | 12 | 2 | ДР |
| 33 | Ванна гальваническая малая | 8 | 2 | ДР |
| 34 | Ванна колокольная | 7,4 | 2 | ДР |

2 Вычисление ожидаемых нагрузок цеха

Электрические нагрузки цеха определяют конфигурацию системы электроснабжения. Расчет производится на основании типовых статистических данных, которые определяют частоту использования и режимы работы аппаратов цеха. Данные статистики накапливаются, в свою очередь, на основании анализа технологических карт процессов, выполнявшихся ранее на данном, или на аналогичных производствах.

Оптимальным в соотношении точность/трудоемкость способом определения нагрузки цеха промышленного предприятия является метод коэффициента максимума, который более подробно описан в [11]. Единицы измерения приняты в соответствии с [6]. Общий порядок расчета в соответствии с данной методикой таков:

- Вычисляются активные, реактивные и полные мощности ЭП по группам.
- Определяются групповые параметры нагрузки (например, по шинопроводу или по распределительному пункту).
- Вычисляется эффективное (действующее) число ЭП и на его основе определяется т.н. коэффициент максимума.
- На базе вычисленного коэффициента определяются расчетные мощности и токи как по группам, так и по отдельным ЭП.

Расположение оборудования цеха по производству пластмассовых изделий и гальваники в виде производственных линий при наличии отдельных вспомогательных участков делает удобным использование смешанной системы распределения – шинопроводов и распределительных пунктов.

Схема отражена в графической части работы. Перед расчетом нагрузок силовых потребителей цеха выполним расчет его системы освещения.

2.1 Система освещения цеха

Люминесцентные светильники, повсеместно применяемые для освещения цеха, оборудованы электромагнитной пускорегулирующей аппаратурой, которая за время эксплуатации приобрела сильный износ. Поскольку среда внутри цеха характеризуется классом пожарной опасности П-П, применяемые в системе освещения светильники должны соответствовать ряду основных требований:

- Степень защиты не менее IP 40
- Корпус изготовлен из негорючего материала
- Лампа закрыта защитным кожухом

Соответствие данным требованиям обеспечивает безопасную эксплуатацию светильника в пожароопасной среде.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что одним из наиболее подходящих и, что не менее важно, экономичных вариантов для установки в цеху является модель светодиодного светильника, производимая тольяттинской компанией ООО «СветТехСервис»: СДП СТС 01-60-107. Более подробно его параметры отражены в [15]

Для упрощения вычислений и, одновременно, повышения точности и наглядности результатов расчета, его решено произвести в программной среде DIALux. Такой метод, помимо прочих плюсов, рекомендован иностранными источниками: [19], [20].

Исходные данные и конечные результаты сведены в таблицу 2.1. Результаты моделирования системы освещения технологического участка в программной среде DIALux приведены на рисунке 2.1.

При такой конфигурации средняя освещенность технологического участка составит 417 Лк при принятой в соответствии с пожеланием заказчика и требованиями [9] норме освещенности 400 Лк - норма соблюдается. Общее количество светильников - 195 штук, а их суммарная мощность – 11700 Вт = 11,70 кВт.

Таблица 2.1 – Расчет системы освещения в программе DIALux

| Помещение | P_n , кВт | Кол-во | $P_{n\Sigma}$, кВт | S , м ² | $E_{ср. расч.}$ Лк | $E_{ср. норм.}$ Лк | h , м |
|-----------------|-------------|--------|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|---------|
| 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Тех. участок | 0,06 | 182 | 10,92 | 1728 | 417 | 400 | 5 |
| ЭЛЩ | 0,06 | 2 | 0,12 | 36 | 176 | 150 | 3 |
| Помещение деж. | 0,06 | 4 | 0,24 | 18 | 525 | 400 | 3 |
| Компрессорная | 0,06 | 1 | 0,06 | 18 | 143 | 75 | 3 |
| Насосная | 0,06 | 1 | 0,06 | 18 | 143 | 75 | 3 |
| Вентиляционная | 0,06 | 1 | 0,06 | 36 | 94 | 75 | 3 |
| Гардероб | 0,06 | 1 | 0,06 | 36 | 94 | 75 | 3 |
| Склад сырья | 0,06 | 1 | 0,06 | 36 | 94 | 75 | 3 |
| Склад тары | 0,06 | 1 | 0,06 | 36 | 94 | 75 | 3 |
| Склад продукции | 0,06 | 1 | 0,06 | 36 | 94 | 75 | 3 |
| ИТОГО | | 195 | 11,70 | 1998,00 | | | - |

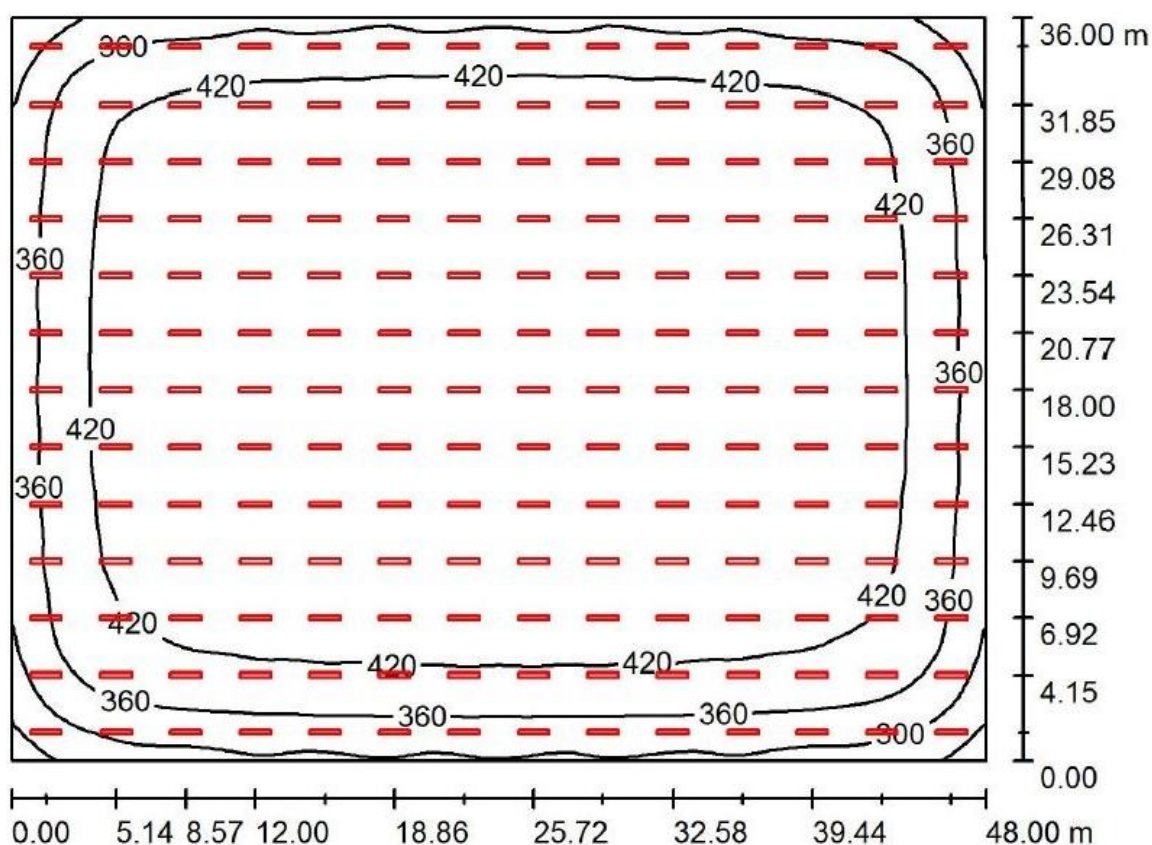


Рисунок 2.1 – Модель освещения технологического участка цеха

Таким образом, произведен расчет цеховой системы освещения. Приступим к расчету общецеховых нагрузок.

2.2 Расчет общецеховых нагрузок

Проведение расчета по методу коэффициента максимума предполагает формирование таблицы, которая заполняется в соответствии с типовыми формулами и методами, приведенными в [11]. Далее приведем расчетные формулы и пример расчета для электроприемников.

Первоначально определяется номинальная нагрузка, которая требуется для работы потребителя от трехфазной (3-ф) сети в долговременном режиме. В связи с наличием в цеху приемников, работающих от сети однофазной (1-ф), а также функционирующих в повторно-кратковременном режиме (ПКР), требуется их приведение к режиму: 3-ф и(или) ДР.

– Для 3-ф, ДР приемника:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \quad (2.1)$$

– Для 3-ф, ПКР приемника:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} \quad (2.2)$$

Пример расчета для кран-балки с электроталью (см. таблицу 1.1 данной ВКР):

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 6 \cdot \sqrt{0,40} = 3,8 \text{ кВт} \quad (2.3)$$

– Для 1-ф, ДР приемника – проведем расчет для зарядного агрегата статического. Подключение агрегата осуществим к фазе А (рисунок 2.2).

Вычисляем неравномерность загрузки по фазам:

$$H = \frac{P_{\text{фНБ}} - P_{\text{фНМ}}}{P_{\text{фНМ}}} \cdot 100\% = \frac{2,7 - 0}{2,7} \cdot 100\% = 100\% \geq 15\% \quad (2.4)$$

$$P_{\text{у}} = P_{\text{А}} + P_{\text{В}} + P_{\text{С}} = 2,7 + 2,7 + 2,7 = 8,1 \text{ кВт} \quad (2.5)$$

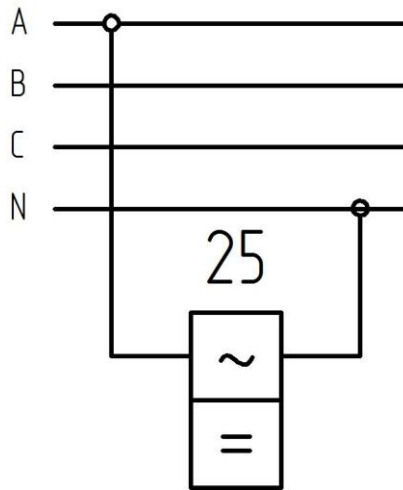


Рисунок 2.2 – Подключение однофазных ЭП к сети

Приведение прочих приемников к долговременному режиму работы от трехфазной сети производится аналогичным образом. Результаты заносятся в таблицу 3.2.

– Приведем пример расчета групповой нагрузки для вентилятора:

Определим общую номинальную мощность группы ЭП:

$$P_{\text{ном}} = 25 \text{ кВт}$$

$$n = 2 \text{ шт}$$

$$P_{\text{ном}\Sigma} = P_{\text{ном}} \cdot n = 25 \cdot 2 = 50 \text{ кВт} \quad (2.6)$$

Вычислим активную среднесменную мощность:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{ном}\Sigma} \cdot K_{\text{и}} = 50 \cdot 0,6 = 30,0 \text{ кВт} \quad (2.7)$$

Здесь $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования этого типа оборудования по [11]

Определяем мощность реактивную среднесменную.

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 30,0 \cdot 0,75 = 22,5 \text{ кВАр} \quad (2.8)$$

Расчет прочих групп ЭП выполнен аналогично. Результаты занесены в таблицу 2.2. Далее выполним группировку второго уровня – для предвари-

тельно рассчитанных групп ЭП. На данном этапе рассчитаем нагрузку по цепи без учета системы освещения.

– Вычисляем коэффициент использования общегрупповой

$$K_{и.гр.} = \sum \frac{P_{см}}{P_{ном\Sigma}} = \frac{360,6}{488,6} = 0,7 \text{ кВт} \quad (2.9)$$

– Тангенс потерь средний

$$\text{tg}\varphi = \sum \frac{Q_{см}}{P_{см}} = \frac{310,5}{360,6} = 0,86 \quad (2.10)$$

– Число ЭП эффективное (в соответствии с [11] для данных рассчитанных значений при $n \geq 5$, $K_{и} \geq 0,2$ и $m \geq 3$, $P_{ном} \neq \text{const}$):

$$n_э = \frac{2 \sum P_{ном}}{P_{max}} = \frac{2 \cdot 488,6}{25} = 39,1 \quad (2.11)$$

– Определяется коэффициент максимума (расчетный коэффициент)

Выбирается из таблицы 1.5.3 [с. 26, 11] и при $K_{и.гр} = 0,7$, $n_э = 39,1$ равен:

$$K_m = 1,09$$

– Производится определение расчетной активной мощности:

$$P_p = \sum P_{см} \cdot K_m = 360,6 \cdot 1,09 = 393,10 \text{ кВт} \quad (2.12)$$

– Вычисляется реактивная мощность расчетная:

$$Q_p = \sum Q_{см} = 310,5 \text{ кВАр} \quad (2.13)$$

Определяется полная мощность расчетная:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{393,1^2 + 310,5^2} = 500,9 \text{ кВАр} \quad (2.14)$$

Вычисляется расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H} = \frac{500,9}{\sqrt{3} 0,4} = 723,0 \text{ А} \quad (2.15)$$

Результаты произведенного расчета сводятся в ведомость цеховой нагрузки, которая представлена таблицей 3.2. Она содержит подробную информацию по расчету параметров каждой из групп ЭП. Эти данные впоследствии будут использованы для выбора проводников и защитных аппаратов цеха.

Качественный расчет цеховых нагрузок является залогом правильного выбора источника питания мощностей цеха (в данном случае речь пойдет о силовом трансформаторе) и позволит избежать излишней, либо недостаточной энергооснащенности. Первая опасна перерасходом средств и материалов, что ведет к увеличению сметной стоимости проекта, а вторая – ускорением износа оборудования и его отказом в результате перегрузки, что, в конечном итоге, также ведет к экономическими потерями.

Из таблицы 4.1 следует, что:

- Активная расчетная мощность: 403,9 кВт
- Реактивная мощность: 313,8 кВАр
- Полная мощность: 511,5 кВА
- Расчетный номинальный ток: 738,2 А

Рассчитаем коэффициент мощности по цеху:

$$\cos\varphi = \frac{P_{cm}}{S_{cm}} = \frac{370,5}{486,6} = 0,76 \quad (2.16)$$

Для обеспечения большей пропускной способности сети рекомендуется поддержание коэффициента мощности на уровне 0,95. Это может быть достигнуто подключением компенсирующего устройства.

Таблица 2.2 – Ведомость нагрузок по цеху сводная

| Наименование группы ЭП | Кол-во ЭП | Номинальная мощность | | Коэффициент использования | $\cos\varphi/\text{tg}\varphi$ | m | Среднесменная активная мощность | Среднесменная реактивная мощность, | Эффективное число ЭП | Коэффициент максимума | Расчетная активная мощность | Расчетная реактивная мощность | Расчетная полная мощность | Расчетный номинальный ток | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------|----------------------|-----------|---------------------------|--------------------------------|----|---------------------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|------------------------|-----|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | одного ЭП | группы ЭП | | | | | | | | | | | | $P_{\text{ном}}$ | $P_{\text{ном}\Sigma}$ | Ки | $P_{\text{см}}$ | $Q_{\text{см}}$ | $n_{\text{э}}$ | $K_{\text{м}}$ | $P_{\text{р}}$ | $Q_{\text{р}}$ | $S_{\text{р}}$ | $I_{\text{р}}$ |
| | | шт | кВт | | | | | | | | | | | | кВт | - | кВт | кВАр | шт | - | кВт | кВАр | кВА | А | |
| РП-1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | | | | | | | | | | | |
| Зарядный агрегат, 1-ф | 1 | 8,1 | 8,1 | 0,25 | 0,35/2,67 | | 2,0 | 5,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Компрессор | 2 | 4,2 | 8,4 | 0,7 | 0,8/0,75 | | 5,9 | 4,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Насос водяные | 2 | 2,8 | 5,6 | 0,7 | 0,80/0,75 | | 3,9 | 2,9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Итого по РП-1 | 5 | | 22,1 | 0,5 | 0,85/0,62 | <3 | 11,8 | 7,4 | 5,0 | 1,76 | 20,8 | 7,4 | 22,1 | 31,9 | | | | | | | | | | | |
| РП-2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Калорифер для обогрева | 1 | 7,1 | 7,1 | 0,75 | 0,95/0,33 | | 5,3 | 1,8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Вентиляторы | 2 | 25 | 50 | 0,6 | 0,80/0,75 | | 30,0 | 22,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Итого по РП-2 | 3 | | 57,1 | 0,6 | 0,82/0,69 | <3 | 35,3 | 24,3 | 3,0 | 1,51 | 53,3 | 24,3 | 58,6 | 84,6 | | | | | | | | | | | |

Продолжение таблицы 2.2

| РПЗ | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|------|------|------|-----------|----|-----|-----|-----|------|------|-----|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Кран-балка с электроталью, ПВ = 40% | 3 | 3,8 | 11,4 | 0,6 | 0,80/0,75 | | 6,8 | 5,1 | | | | | | |
| Итого по РП-3 | 3 | | 11,4 | 0,6 | 0,80/0,73 | <3 | 6,8 | 5,1 | 3,0 | 1,51 | 10,3 | 5,1 | 11,5 | 16,6 |
| ШРА-1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Контейнероопрокидыватель | 1 | 2 | 2 | 0,83 | 0,65/1,17 | | 1,7 | 1,9 | | | | | | |
| Автомат погрузочный | 1 | 6 | 6 | 0,78 | 0,65/1,17 | | 4,7 | 5,5 | | | | | | |
| Транспортер исходного сырья | 1 | 1,1 | 1,1 | 0,81 | 0,85/0,62 | | 0,9 | 0,6 | | | | | | |
| Дробилка | 1 | 8 | 8 | 0,73 | 0,75/0,88 | | 5,8 | 5,2 | | | | | | |
| Сепаратор №1 | 1 | 3 | 3 | 0,71 | 0,65/1,17 | | 2,1 | 2,5 | | | | | | |
| Конвейер роликовый №1 | 1 | 7,5 | 7,5 | 0,72 | 0,65/1,17 | | 5,4 | 6,3 | | | | | | |
| Весы электрические | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,79 | 0,85/0,62 | | 0,4 | 0,2 | | | | | | |
| Смеситель | 1 | 6 | 6 | 0,82 | 0,75/0,88 | | 4,9 | 4,3 | | | | | | |
| Машина выдувная | 1 | 9 | 9 | 0,80 | 0,65/1,17 | | 7,2 | 8,4 | | | | | | |
| Сепаратор №2 | 1 | 0,55 | 0,55 | 0,80 | 0,85/0,62 | | 0,4 | 0,3 | | | | | | |
| Сушилка №1 | 1 | 3 | 3 | 0,78 | 0,75/0,88 | | 2,3 | 2,1 | | | | | | |
| Стол механизированный, ПВ = 70% | 1 | 1 | 1 | 0,69 | 0,75/0,88 | | 0,7 | 0,6 | | | | | | |
| Транспортер готового сырья | 1 | 6 | 6 | 0,72 | 0,85/0,62 | | 4,3 | 2,7 | | | | | | |

Продолжение таблицы 2.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|----------------------------------|---|-----|-----|------|-----------|----|-------|------|------|------|-------|------|-------|-----|
| Экструдер | 1 | 9 | 9 | 0,83 | 0,65/1,17 | | 7,5 | 8,7 | | | | | | |
| Конвейер роликовый №2 | 1 | 14 | 14 | 0,84 | 0,75/0,88 | | 11,8 | 10,4 | | | | | | |
| Конвейер пластинчатый | 3 | 1,1 | 3,3 | 0,75 | 0,65/1,17 | | 2,5 | 2,9 | | | | | | |
| Станок экструзионно-выдувной | 1 | 10 | 10 | 0,84 | 0,65/1,17 | | 8,4 | 9,8 | | | | | | |
| Сушилка №2 | 1 | 2,3 | 2,3 | 0,69 | 0,75/0,88 | | 1,6 | 1,4 | | | | | | |
| Модуль фасовочный | 1 | 1,2 | 1,2 | 0,70 | 0,65/1,17 | | 0,8 | 1,0 | | | | | | |
| Насос подогревателя | 2 | 4 | 8 | 0,85 | 0,85/0,65 | | 6,8 | 4,2 | | | | | | |
| Реактор подогревателя | 2 | 1,5 | 3 | 0,82 | 0,85/0,62 | | 2,5 | 1,5 | | | | | | |
| Термопластавтомат | 1 | 2,5 | 2,5 | 0,79 | 0,75/0,88 | | 2,0 | 1,7 | | | | | | |
| Устройство пневматической подачи | 1 | 1,1 | 1,1 | 0,70 | 0,75/0,88 | | 0,8 | 0,7 | | | | | | |
| Итого по ШРА-1 | 1 | 9 | 9 | 0,83 | 0,65/1,17 | >3 | 85,44 | 82,9 | 15,4 | 1,07 | 91,42 | 82,9 | 123,4 | 178 |
| Итого по ШРА-2 | 1 | 14 | 14 | 0,84 | 0,75/0,88 | >3 | 85,44 | 82,9 | 15,4 | 1,07 | 91,42 | 82,9 | 123,4 | 178 |
| Итого по ШРА-3 | 3 | 1,1 | 3,3 | 0,75 | 0,65/1,17 | >3 | 85,44 | 82,9 | 15,4 | 1,07 | 91,42 | 82,9 | 123,4 | 178 |
| ШРА-4 | | | | | | | | | | | | | | |
| Барaban гальванический | 2 | 5,5 | 11 | 0,6 | 0,8/0,75 | | 6,6 | 5,0 | | | | | | |
| Установка фильтрации электролита | 2 | 4 | 8 | 0,6 | 0,8/0,75 | | 4,8 | 3,6 | | | | | | |
| Ванна гальваническая большая | 2 | 12 | 24 | 0,75 | 0,95/0,33 | | 18,0 | 5,9 | | | | | | |

Продолжение таблицы 2.2

| ШРА-4 | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----|-----|-------|------|-----------|----|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Ванна гальваническая малая | 2 | 8 | 16 | 0,75 | 0,95/0,33 | | 12,0 | 3,9 | | | | | | |
| Ванна колокольная | 2 | 7,4 | 14,8 | 0,60 | 0,8/0,75 | | 8,9 | 6,7 | | | | | | |
| Итого ШРА-4 | 10 | | 73,8 | 0,70 | 0,89/0,50 | >3 | 50,3 | 25,1 | 10,0 | 1,16 | 58,3 | 25,1 | 63,5 | 91,6 |
| ИТОГО | | | | | | | | | | | | | | |
| Итого по цеху | 102 | | 488,6 | 0,70 | 0,76/0,86 | >3 | 360,6 | 310,5 | 39,1 | 1,09 | 393,1 | 310,5 | 500,9 | 723,0 |
| Освещение | - | - | 11,7 | 0,85 | 0,95/0,33 | - | 9,9 | 3,3 | - | - | 9,9 | 3,3 | 10,5 | 15,1 |
| Итого по цеху с освещением | 102 | | 500,3 | 0,70 | 0,76/0,86 | >3 | 370,5 | 313,8 | 40,0 | 1,09 | 403,9 | 313,8 | 511,5 | 738,2 |
| Компенсация | | | | | | | | 150 | | | | | | |
| Итого с компенсацией | 102 | | 500,3 | 0,7 | 0,93/0,41 | | 370,5 | 163,8 | 40,0 | 1,09 | 403,9 | 163,8 | 435,8 | 629,1 |

2

При расчете учитывался тот факт, что в каждой из трех линий по производству изделий из пластмассы применяется одинаковое оборудование. В связи с этим нужды в детализации расчета нагрузки каждого из шинопроводов ШРА-1 – ШРА-3 нет. Далее произведем расчет компенсирующего устройства, устанавливаемого для повышения пропускной способности сети.

2.3 Выбор компенсирующего устройства

Взаимное вычитание положительной (индуктивной) и отрицательной (емкостной) составляющих приводит к снижению полной мощности и, соответственно, протекающих в сети токов при тех же значениях активной нагрузки. Это дает возможность повысить пропускную способность линий, повысить срок службы изоляции и коммутационной аппаратуры и, в конечном итоге, приводит к экономии денежных средств в процессе эксплуатации и обслуживания и к снижению сметной стоимости. Весь процесс подробно описан в [17].

Нужно учитывать тот факт, что компенсация должна производиться до значения коэффициента мощности ($\cos \varphi$) не более 0,95 и соответствующего данному углу значения тангенса потерь ($\operatorname{tg} \varphi = 0,33$). Это связано с тем, что т.н. перекомпенсация (рост коэффициента мощности до значений более единицы), приводит к тому, что потери напряжения в линии, питающей цех, могут приобрести отрицательное значение т.е. напряжение в начале линии станет больше, чем в конце, что ведет к негативным последствиям. Необходимо отметить, что за перекомпенсацию на потребителя накладываются штрафные санкции. Данное утверждение справедливо не только для нашей страны – в странах Евросоюза ситуация аналогична [18].

Как правило, для формирования оптимального режима компенсации реактивной мощности используются компенсирующие установки со ступенчатой регулировкой включаемой емкости. Причем, наиболее современные модели обеспечивают переключение в автоматическом режиме в зависимости от реактивной мощности, измеряемой в режиме реального времени. Предпочтение при проектировании отдается именно таким устройствам, так как они обеспечивают качественную компенсацию при любой нагрузке, не выходящей за рамки их установленной мощности.

Произведем расчет мощности компенсирующего устройства (КУ). Исходные данные для расчета приведены в таблице 2.3

Таблица 2.3 – Исходные данные

| Параметр | cos φ | tg φ | P _{см} , кВт | Q _{см} , кВАр | S _{см} , кВА |
|-----------------|-------|------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Без компенсации | 0,76 | 0,85 | 370,5 | 313,8 | 486,6 |

Выполним расчет мощности КУ:

$$Q_k = P_{см} \cdot \alpha \cdot (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) = 370,5 \cdot 0,9 \cdot (0,85 - 0,33) \quad (2.17)$$

$$Q_k = 173,4 \text{ кВАр}$$

По результатам расчета выбираем многоступенчатую конденсаторную установку с автоматическим регулированием 2хУКМ-0,4-75-У3. После выбора КУ необходимо определить максимальное фактическое значение тангенса потерь после компенсации:

$$\operatorname{tg} \varphi_k = \operatorname{tg} \varphi - \frac{Q_{к.р.}}{\alpha P_p} = 0,85 - \frac{2 \cdot 75}{0,9 \cdot 403,89} = 0,41 \quad (2.18)$$

Рассчитанные данные занесем в таблицу 4.1. Произведем расчет итоговых параметров сети.

Таким образом, произведена компенсация реактивной мощности цеха. В соответствии с данными таблицы 4.1 расчетные мощности после компенсации составили:

- Активная – 403,9 кВт
- Реактивная – 163,8 кВАр
- Полная – 435,8 кВА

Далее приступим к расчету источника питания цеха.

3 Выбор источника питания цеха

Начать выбор оборудования цеховой системы электроснабжения целесообразно с определения параметров источника питания – цеховой трансформаторной подстанции.

В качестве расчетной приемлемой мощности, рассчитанную в пункте 2 данной выпускной квалификационной работы. В связи с тем, что основной проблемой, с которым сталкивался персонал, осуществляющий эксплуатацию оборудования подстанции является сильный износ силовых трансформаторов, в рамках разработки системы электроснабжения решено выполнить замену данных электрических устройств на более новые и экологически безопасные, чем установленные прежде.

В настоящее время существует две основные категории трансформаторов требуемого класса напряжения с принципиально разными типами изоляции. Первый - это традиционный масляный трансформатор, второй вариант - с «сухой» литой изоляцией.

Основные преимущества трансформаторов с литой изоляцией включают в свой перечень относительно небольшие габариты, отсутствие необходимости в содержании маслохозяйства и оборудования для тестирования и сушки масла, а также других процедур, связанных с использованием оборудования с изоляцией из этого материала. Недостатком является общая сложность контроля состояния изоляции. В настоящее время существует современный метод анализа состояния литой изоляции, описанный, в частности, в [16], но в Российской Федерации оборудование для проведения таких исследований не распространено и очень дорого.

Электроснабжение цеха для экономии внутреннего пространства целесообразно выполнить от комплектной трансформаторной подстанции, размещенной рядом с помещением бывшей цеховой ТП, которое будет переоборудовано под электрощитовую.

В связи с тем, что для питания цеха применяется комплектная трансформаторная подстанция, а на предприятии отсутствует масляное хозяйство (в связи с применением совтоловых трансформаторов), прием к установке на ТП сухие трансформаторы.

Одним из наиболее ответственных производителей распределительных трансформаторов в Российской Федерации, имеющим лучшие отзывы потребителей является ЗАО «ГК «Электроцит-Самара». Выбор трансформатора, а также определение его основных параметров произведем по каталогу, представленному на официальном сайте предприятия [13].

В соответствии с данными, полученными в ходе расчета в пункте 3 данной ВКР, общая мощность по цеху с учетом подключения системы освещения и компенсирующих устройств составила 435,84 кВА.

По информации, полученной от уполномоченных сотрудников ПАО «Предприятие ГАЛЬВАНИК», оборудование цеха имеет вторую категорию надежности электроснабжения по [7]. Это позволяет заключить, что на трансформаторной подстанции должно быть установлено не менее двух силовых трансформаторов, каждый из которых питается от собственной линии внешней распределительной сети.

Их мощность, в соответствии с [2] рассчитывается таким образом, чтобы обеспечить электрической энергией потребителя в случае отключения одного из трансформаторов (аварийного или планового), причем нагрузка на оставшийся в работе аппарат не должна превышать 140% от номинальной. Рассчитаем мощность трансформатора, необходимого для питания цеха:

$$S_{\text{ном.Т}} > 0,7 S_{\text{max}} = 0,7 \cdot 435,84 \approx 305,09 \text{ кВА} \quad (3.1)$$

Рассмотрим модели трансформаторов, которые приведены на странице 100 каталога [13]. Так как нагрузка цеха имеет сезонный характер, необходимо предусмотреть возможность регулирования напряжения обмоток силового трансформатора. Для этой цели в СТ классов напряжения 6-10 кВ используется система переключения без возбуждения (ПБВ). Наличие такой систе-

мы нужно для удовлетворения требований [5]. Наиболее подходящими по мощности и техническим характеристикам в [13] являются силовые трансформаторы:

- ТСЛ-СЭЩ-400/6/0,4УЗ
- ТСЛ-СЭЩ-630/6/0,4УЗ

Категория климатического исполнения подразумевает эксплуатацию в условиях умеренного климата (+40..-45 °С) в закрытом помещении без искусственного регулирования температуры в соответствии с [3]. Характеристики трансформаторов приведены в таблице 3.1.

Выполним расчет технико-экономических показателей для обеспечения должной доказательной базы экономической и технической целесообразности выбора того, или иного варианта. Для этого необходимо сформировать годовой график нагрузки цеховой ТП.

Таблица 3.1 – Технические характеристики силовых трансформаторов

| Напряжение обмотки, кВ | | Потери, кВт | | U _к , % | I _х , % | K _{ип} |
|------------------------|-----|------------------|------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| ВН | НН | ΔP _{хх} | ΔP _{кз} | | | |
| ТСЛ-СЭЩ-400/6/0,4УЗ | | | | | | |
| 6 | 0,4 | 0,98 | 4,26 | 6,0 | 1,8 | 0,05 |
| ТСЛ-СЭЩ-630/6/0,4УЗ | | | | | | |
| 6 | 0,4 | 1,10 | 6,71 | 6,0 | 1,6 | 0,05 |

Основой для формирования прогнозного графика является информация о нагрузке цеха в 2018 году, которая была предоставлена службой главного энергетика ПАО «Предприятие ГАЛЬВАНИК». Несмотря на то, что суммарная мощность оборудования предприятия станет иной, сезонность нагрузки будет неизменна. Результат формирования прогнозного графика нагрузки цеховой трансформаторной подстанции представлен на рисунке 3.1. Далее произведем технико-экономический расчет для обоснования целесообразности применения того или иного варианта трансформаторной установки. Расчет выполняется в соответствии с методикой, описанной в [10].

– Техничко-экономический расчет для варианта №1

Первоначально рассчитываются базовые показатели для варианта №1 – с СТ ТСЛ-СЭЩ-400/6/0,4-У3. Определяются потери реактивной мощности

$$Q_X = \frac{i_{XX}}{100} \cdot S_{\text{ном.Т}} = \frac{1,80}{100} \cdot 400 = 7,20 \text{кВАр} \quad (3.2)$$

Вычисляются потери активной мощности приведенные. Их необходимо определять в режиме XX:

$$P'_x = \Delta P_{XX} + k_{\text{ин}} \cdot Q_X = 0,98 + 0,05 \cdot 7,20 = 1,34 \text{ кВт} \quad (3.3)$$

Производится определение коэффициентов загрузки, применительно к обмоткам НН и ВН трансформатора.

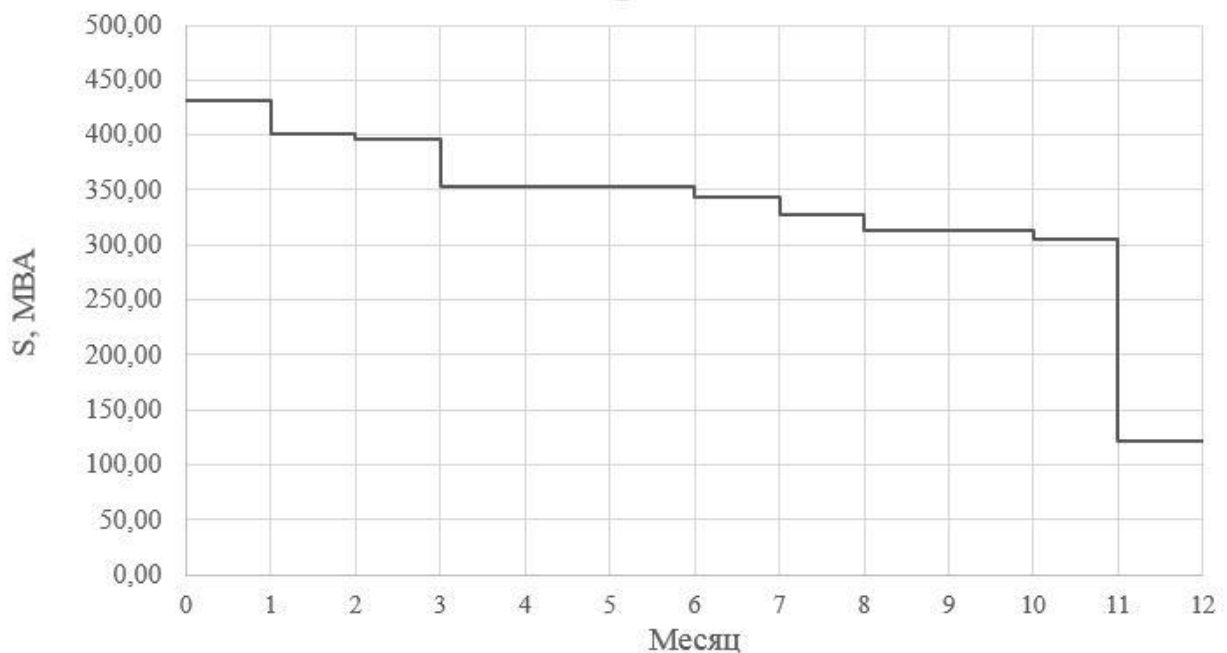


Рисунок 3.1 – Годовой график нагрузки цеха по изготовлению пластмассовых изделий и гальваники

$$K_{3,В} = \frac{S_B}{S_{\text{ном.Т}}} = \frac{435,84}{400} = 1,09 \quad (3.4)$$

$$K_{3,Н} = K_{3,В}$$

Мощность КЗ на каждой из обмоток:

$$P_{к.В} = P_{к.Н} = 0,5 \cdot \Delta P_{КЗ} = 0,5 \cdot 4,26 = 2,13 \text{ кВт} \quad (3.5)$$

Напряжение короткого замыкания и его реактивная мощность на соответствующих обмотках (ВН, НН).

$$U_{к.В} = 0,125 \cdot U_{к} = 0,125 \cdot 6,00 = 0,75\% \quad (3.6)$$

$$Q_{к.В} = \frac{U_{к.В}}{100} \cdot S_{\text{ном.Т}} = \frac{0,75}{100} \cdot 400 = 3,00 \text{ кВАр} \quad (3.7)$$

$$U_{к.Н} = 1,75 \cdot U_{к} = 1,75 \cdot 6,00 = 10,50\% \quad (3.8)$$

$$Q_{к.Н} = \frac{U_{к.Н}}{100} \cdot S_{\text{ном.Т}} = \frac{10,50}{100} \cdot 400 = 42,00 \text{ кВАр} \quad (3.9)$$

Мощность потерь активной мощности для каждой из обмоток СТ в режиме КЗ:

$$P'_{к.В} = P_{к.В} + k_{\text{ип}} \cdot Q_{к.В} = 2,13 + 0,05 \cdot 3,00 = 2,28 \text{ кВт} \quad (3.10)$$

$$P'_{к.Н} = P_{к.Н} + k_{\text{ип}} \cdot Q_{к.Н} = 2,13 + 0,05 \cdot 42,00 = 4,23 \text{ кВт} \quad (3.11)$$

Производится определение приведенных потерь активной составляющей мощности СТ:

$$P'_T = P'_x + K_{з.В}^2 \cdot P'_{к.В} + K_{з.Н}^2 \cdot P'_{к.Н} \quad (3.12)$$

$$P'_T = 1,34 + 1,09^2 \cdot 2,28 + 1,09^2 \cdot 4,23 = 9,07 \text{ кВт}$$

Таблица 3.2 является сводной ведомостью определения потерь СТ.

– Производится определение экономической составляющей (в некоторых источниках – экономический фактор) для силового трансформатора ТСЛ-СЭЦ-400/6/0,4УЗ Базовая стоимость одного кВт·ч электроэнергии (ЭЭ), по которой предприятие приобретает электроэнергию у энергоснабжающей организации, составляет (по данным ПАО «Предприятие ГАЛЬВАНИК»): $C_Э = 2,5$ руб/(кВт·ч).

Таблица 3.2 – Вычисление суммы годовых потерь СТ ТСЛ-СЭЦ-400/6/0,4 УЗ

| i | S _{вi} , МВА | S _{нi} , МВА | n _i | T _i , ч | ΔW _{xi} | Kз.вi | Kз.нi | ΔW _{к.вi} | ΔW _{к.нi} |
|----|--------------------------|--------------------------|----------------|--------------------|-----------------------------------|-------|-------|--------------------|--------------------|
| 1 | 431,48 | 431,48 | 2 | 0 | 0 | 1,08 | 1,08 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | 400,98 | 400,98 | 2 | 730 | 1956,4 | 1,00 | 1,00 | 836,3 | 1551,5 |
| 3 | 396,62 | 396,62 | 2 | 730 | 1956,4 | 0,99 | 0,99 | 818,2 | 1517,9 |
| 4 | 353,03 | 353,03 | 2 | 730 | 1956,4 | 0,88 | 0,88 | 648,2 | 1202,7 |
| 5 | 353,03 | 353,03 | 2 | 730 | 1956,4 | 0,88 | 0,88 | 648,2 | 1202,7 |
| 6 | 353,03 | 353,03 | 2 | 730 | 1956,4 | 0,88 | 0,88 | 648,2 | 1202,7 |
| 7 | 344,32 | 344,32 | 2 | 730 | 1956,4 | 0,86 | 0,86 | 616,6 | 1144,0 |
| 8 | 326,88 | 326,88 | 2 | 730 | 1956,4 | 0,82 | 0,82 | 555,8 | 1031,1 |
| 9 | 313,81 | 313,81 | 2 | 730 | 1956,4 | 0,78 | 0,78 | 512,2 | 950,3 |
| 10 | 313,81 | 313,81 | 2 | 730 | 1956,4 | 0,78 | 0,78 | 512,2 | 950,3 |
| 11 | 305,09 | 305,09 | 2 | 730 | 1956,4 | 0,76 | 0,76 | 484,1 | 898,2 |
| 12 | 122,04 | 122,04 | 2 | 730 | 1956,4 | 0,31 | 0,31 | 77,5 | 143,7 |
| Σ | | | | | 21520,4 | | | 6357,5 | 11794,9 |
| | | | | | ΔW _{пс} = 39672,86 кВт·ч | | | | |

$$I_{\text{Э}} = W_{\text{ПС}} \cdot C_{\text{Э}} = 39672,86 \cdot 2,5 = 99,18 \cdot 10^3 \text{ руб} \quad (3.13)$$

Вычисляются единовременные вложения, необходимые для установки СТ

$$K = 2 \cdot 410000 = 820 \cdot 10^3 \text{ руб.}$$

Определяется величина отчислений, необходимых для поддержания нормального состояния СТ в течение одного года.

$$I_0 = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,09 \cdot 820,00 \cdot 10^3 = 77,08 \cdot 10^3 \text{ руб} \quad (3.14)$$

Определяются приведенные затраты, которые учитывают полный объем отчислений на закупку, установку и последующую эксплуатацию СТ ТСЛ-СЭЩ-400/6/0,4 УЗ

$$Z_{\text{пр1}} = E_{\text{Н}} \cdot K + I_0 + I_{\text{Э}} = 0,15 \cdot 820,00 \cdot 10^3 + 77,08 \cdot 10^3 + 99,18 \cdot 10^3 \quad (3.15)$$

$$Z_{\text{пр1}} = 299,26 \cdot 10^3 \text{ руб}$$

Итак, приведенные затраты по первому варианту установки СТ составили 299,26 тысяч рублей. Далее нужно выполнить аналогичный расчет для второго варианта – СТ ТСЛ-СЭЩ-630/6/0,4 УЗ

– Технико-экономический расчет для варианта №2

Рассчитаем показатели для варианта №2 – установки с СТ ТСЛ-СЭЩ-630/6/0,4-УЗ.

Определяются потери реактивной мощности:

$$Q_{\text{X}} = \frac{i_{\text{XX}}}{100} \cdot S_{\text{ном.Г}} = \frac{1,60}{100} \cdot 630 = 10,08 \text{ кВАр}$$

Вычисляются потери активной мощности приведенные. Их необходимо определять в режиме XX:

$$P'_{\text{X}} = \Delta P_{\text{XX}} + k_{\text{ин}} \cdot Q_{\text{X}} = 1,10 + 0,05 \cdot 10,08 = 1,60 \text{ кВт}$$

Производится определение коэффициентов загрузки.

$$K_{3.B} = \frac{S_B}{S_{\text{ном.Т}}} = \frac{435,84}{630} = 0,69$$

$$K_{3.H} = K_{3.B}$$

Мощность КЗ на каждой из обмоток:

$$P_{к.В} = P_{к.Н} = 0,5 \cdot \Delta P_{\text{КЗ}} = 0,5 \cdot 6,71 = 3,36 \text{ кВт}$$

Напряжение короткого замыкания и его реактивная мощность на соответствующих обмотках (ВН, НН).

$$U_{к.В} = 0,125 \cdot U_k = 0,125 \cdot 6,00 = 0,75\%$$

$$Q_{к.В} = \frac{U_{к.В}}{100} \cdot S_{\text{ном.Т}} = \frac{0,75}{100} \cdot 630 = 4,72 \text{ кВАр}$$

$$U_{к.Н} = 1,75 \cdot U_k = 1,75 \cdot 6,00 = 10,50\%$$

$$Q_{к.Н} = \frac{U_{к.Н}}{100} \cdot S_{\text{ном.Т}} = \frac{10,50}{100} \cdot 630 = 66,15 \text{ кВАр}$$

Мощность потерь активной мощности для каждой из обмоток СТ в режиме КЗ:

$$P'_{к.В} = P_{к.В} + k_{\text{ип}} \cdot Q_{к.В} = 3,36 + 0,05 \cdot 4,72 = 3,59 \text{ кВт}$$

$$P'_{к.Н} = P_{к.Н} + k_{\text{ип}} \cdot Q_{к.Н} = 3,36 + 0,05 \cdot 66,15 = 6,66 \text{ кВт}$$

Производится определение приведенных потерь активной составляющей мощности СТ:

$$P'_T = P'_x + K_{3.B}^2 \cdot P'_{к.В} + K_{3.H}^2 \cdot P'_{к.Н}$$

$$P'_T = 1,60 + 0,69^2 \cdot 3,59 + 0,69^2 \cdot 6,66 = 6,51 \text{ кВт}$$

Таблица 3.3 является сводной ведомостью определения суммарных потерь СТ.

Таблица 3.3 – Вычисление суммы годовых потерь СТ ТСЛ-СЭЩ-630/6/0,4 УЗ

| i | $S_{вi}$, МВА | $S_{нi}$, МВА | n_i | T_i , ч | ΔW_{xi} | $K_{з.вi}$ | $K_{з.нi}$ | $\Delta W_{к.вi}$ | $\Delta W_{к.нi}$ |
|----------|-------------------|-------------------|-------|-----------|-----------------------------------|------------|------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 431,48 | 431,48 | 2 | 0 | 0 | 0,43 | 0,43 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | 400,98 | 400,98 | 2 | 730 | 2336 | 0,40 | 0,40 | 210,7 | 390,8 |
| 3 | 396,62 | 396,62 | 2 | 730 | 2336 | 0,40 | 0,40 | 206,1 | 382,4 |
| 4 | 353,03 | 353,03 | 2 | 730 | 2336 | 0,35 | 0,35 | 163,3 | 303,0 |
| 5 | 353,03 | 353,03 | 2 | 730 | 2336 | 0,35 | 0,35 | 163,3 | 303,0 |
| 6 | 353,03 | 353,03 | 2 | 730 | 2336 | 0,35 | 0,35 | 163,3 | 303,0 |
| 7 | 344,32 | 344,32 | 2 | 730 | 2336 | 0,34 | 0,34 | 155,3 | 288,2 |
| 8 | 326,88 | 326,88 | 2 | 730 | 2336 | 0,33 | 0,33 | 140,0 | 259,7 |
| 9 | 313,81 | 313,81 | 2 | 730 | 2336 | 0,31 | 0,31 | 129,0 | 239,4 |
| 10 | 313,81 | 313,81 | 2 | 730 | 2336 | 0,31 | 0,31 | 129,0 | 239,4 |
| 11 | 305,09 | 305,09 | 2 | 730 | 2336 | 0,31 | 0,31 | 122,0 | 226,3 |
| 12 | 122,04 | 122,04 | 2 | 730 | 2336 | 0,12 | 0,12 | 19,5 | 36,2 |
| Σ | | | | | 25696 | | | 1582,1 | 2935,1 |
| | | | | | $\Delta W_{пс} = 30213,252$ кВт·ч | | | | |

Определим экономическую составляющую для силового трансформатора ТСЛ-СЭЩ-630/6/0,4УЗ

Стоимость годовых потерь мощности:

$$И_{\text{э}} = W_{\text{ПС}} \cdot C_{\text{э}} = 30213,25 \cdot 2,5 = 75,53 \cdot 10^3 \text{ руб}$$

Вычисляются единовременные вложения, необходимые для установки СТ

$$K = 2 \cdot 520000 = 1040,00 \cdot 10^3 \text{ руб.}$$

Определяется величина отчислений, ежегодно необходимых для поддержания нормального состояния СТ в течение одного года.

$$И_0 = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,09 \cdot 1040,00 \cdot 10^3 = 97,76 \cdot 10^3 \text{ руб}$$

Определяются приведенные затраты, которые учитывают полный объем отчислений на закупку, установку и последующую эксплуатацию СТ ТСЛ-СЭЩ-630/6/0,4 УЗ

$$З_{\text{пр2}} = E_{\text{н}} \cdot K + И_0 + И_{\text{э}} = 0,15 \cdot 1040,00 \cdot 10^3 + 97,76 \cdot 10^3 + 75,53 \cdot 10^3$$

$$З_{\text{пр2}} = 329,29 \cdot 10^3 \text{ руб}$$

Итак, приведенные затраты по варианту установки СТ составили 329,29 тысяч рублей.

Сравним результаты расчета. При определении технико-экономических показателей для первого варианта получено значение 299,26 тысяч рублей, для второго – 329,29 тысяч рублей. Из этого следует, что первый вариант конфигурации трансформаторной подстанции цеха по изготовлению изделий из пластмассы и гальваники является более экономичным. Принимаем к установке на цеховой КТП два СТ ТСЛ-СЭЩ-400/6/0,4 УЗ.

Теперь нужно вычислить параметры и произвести выбор проводников цеховой сети и защитного оборудования, которое необходимо для предотвращения негативных последствий коротких замыканий и перегрузок.

4 Выбор оборудования сети электроснабжения

Данный пункт ВКР подразумевает определение конфигурации сети электроснабжения внутри цеха. В первую очередь производится выбор защитно-коммутационной аппаратуры (для стороны 0,4 кВ это – главным образом, автоматические выключатели).

Затем в соответствии с выбранными параметрами автоматических выключателей и условиями цеховой среды определяется тип и сечение проводников, питающих цеховые приемники и распределительные устройства. В связи со следованием руководства ПАО «Предприятие ГАЛЬВАНИК» доктрине импортозамещения, принятой в Российской Федерации, к установке должны приниматься комплектующие отечественного производства.

Суммируя объем задач, которые необходимо решить в рамках данного пункта, можно выделить следующие основные этапы дальнейшей работы:

Проводники, которые нужно выбрать:

– Жесткие шины: Т1 КТП (Т2 КТП) – СШ №1 0,4 кВ (СШ №2 0,4 кВ) распределительного устройства (РУ НН).

– Кабельные линии (КЛ): СШ №1 0,4 кВ (СШ №2 0,4 кВ) РУ НН цеховой КТП – распределительные пункты (РП) и распределительные шинопроводы (ШРА).

– Шинопроводы распределительные алюминиевые

– Кабельные линии: РП (ШРА) – цеховые электроприемники (ЭП).

Аппараты защиты, которые нужно выбрать:

– Вводные аппараты защиты в линии: Т1(Т2) – СШ №1 0,4 кВ (СШ №2 0,4 кВ) РУ КТП

– Аппараты защиты линий: РУ ТП – РП (ШРА)

– Аппараты защиты линий: РП – ЭП

Начнем с выбора защитных аппаратов.

4.1 Расчет защитных аппаратов

Для применения в качестве защитных аппаратов принимаются выключатели автоматические производства компании IEK.

Произведем расчет тока для выбора вводных аппаратов защиты, устанавливаемых в линии: Т1(Т2) – СШ №1 0,4 кВ (СШ №2 0,4 кВ) РУ КТП. Расчетная формула имеет следующий вид:

$$I_{н.р.} \geq 1,1 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 1,1 \cdot \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 635,84 \text{ А} \quad (4.16)$$

По полученному значению тока линии произведем выбор коммутационного аппарата ВА88-40 ЗР 800А 35кА IEK. Уставка теплового расцепителя (защита от перегрузки) является регулируемой в диапазоне 40 – 90 % с шагом 10% от номинального тока автомата I_H . Примем уставку $0,8 \times I_H = 640 \text{ А}$

Уставка для электромагнитной отсечки в случае с групповой линией определяется по значению пикового тока. Он учитывает параметры пуска наиболее мощного электродвигателя (ЭД), подключенного к линии и определяется по формуле:

$$I_{пик} = K_{п} \cdot I_{н.нб} + I_p - I_{н.нб} \quad (4.17)$$

Здесь $K_{п}$ – кратность пускового тока наиболее мощного ЭД группы, $I_{н.нб}$ – номинальный ток наиболее мощного ЭД группы (в данном случае - ЭД вентилятора, подключенного к РП 2).

Рассчитаем номинальный ток для вентилятора:

$$I_{н.нб} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_d \cdot \cos \varphi} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,93 \cdot 0,80} = 48,56 \text{ А} \quad (4.18)$$

Рассчитаем наибольший длительный ток линий: Т1(Т2) – СШ №1 0,4 кВ (СШ №2 0,4 кВ) РУ КТП.

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 578,03 \text{ А} \quad (4.19)$$

Определим пиковый ток линии по формуле (4.18):

$$I_{\text{пик}} = 6,90 \cdot 48,56 + 578,03 - 48,56 = 864,53 \text{ А}$$

В соответствии с [11] номинальный ток электромагнитного расцепителя (I_0) для группы с несколькими ЭД определяется из условия:

$$I_0 \geq 1,2 \cdot I_{\text{пик}} \quad (4.20)$$

Следовательно,

$$I_0 \geq 1,2 \cdot 864,53 = 1037,44 \text{ А}$$

Ток срабатывания расцепителя настраивается по шкале (2-4-6-8-10-12) $\times I_H$. Примем для вводных выключателей РУ НН ток отсечки, равный: $2 \times I_H = 2250 \text{ А}$.

Далее целесообразно произвести рассмотрение частных случаев расчета параметров защитных аппаратов для различных ЭП.

Проведем расчет для однофазного ЭП, не имеющего ЭД. Таким ЭП является зарядный агрегат статический, который подключен к РП1.

$$I_{\text{н.д.}} = \frac{P_H}{U_H \cdot \cos \varphi} = \frac{2,70}{0,22 \cdot 0,35} = 35,06 \text{ А} \quad (4.21)$$

По рассчитанному значению тока выберем автоматический выключатель ВА47-29 1Р 40А 4,5кА х-ка С ИЕК. Уставка теплового реле постоянная – 40 А. Уставка электромагнитного реле при характеристике С – $5 I_H = 200 \text{ А}$.

Определим тип автоматического выключателя для линии с трехфазным ЭД, работающим в режиме ДР. Рассчитаем параметры коммутационного аппарата для линии, питающей вентилятор, подключенный к РП 2

$$I_{н.д} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_d \cdot \cos\varphi} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,93 \cdot 0,80} = 48,56 \text{ А} \quad (4.22)$$

Выбираем автоматический выключатель ВА47-29 1Р 50А 4,5кА х-ка D IEK. Уставка теплового реле постоянная– 50 А. Уставка электромагнитного реле при характеристике D – $10 I_n = 500 \text{ А}$

Пусковой ток:

$$I_n \geq K_n \cdot I_{н.д} = 6,90 \cdot 48,56 = 335,06 \text{ А} \quad (4.23)$$

$$I_0 \geq 1,2 \cdot I_n = 1,2 \cdot 335,06 = 402,07 \text{ А} \quad (4.24)$$

Поскольку условие (4.24) выполняется, автоматический выключатель подходит для установки в линию.

Определим защитный аппарат для линии с трехфазным ЭД, работающим в режиме ПКР. Рассчитаем параметры коммутационного аппарата для линии, питающей кран балку с электроталью, которая подключена к РП 3.

$$I_{н.д} = \frac{P_n \cdot \sqrt{ПВ}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_d \cdot \cos\varphi} = \frac{3,8 \cdot \sqrt{0,4}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,93 \cdot 0,80} = 4,67 \text{ А} \quad (4.25)$$

Выбираем автоматический выключатель ВА47-29 1Р 6А 4,5кА х-ка D IEK. Уставка теплового реле постоянная– 6 А. Уставка электромагнитного реле при характеристике D – $10 I_n = 60 \text{ А}$

Пусковой ток:

$$I_n \geq K_n \cdot I_{н.д} = 7,2 \cdot 4,67 = 33,62 \text{ А}$$

$$I_0 \geq 1,2 \cdot I_n = 1,2 \cdot 33,62 = 40,34 \text{ А}$$

Поскольку условие выбора уставки электромагнитного расцепителя выполняется, автоматический выключатель подходит для установки в данную линию.

Выполнение расчета для прочих приемников производится таким же образом. Результаты выбора автоматических выключателей для групповых линий приведены в таблице 4.1, а для отдельных ЭП - в таблице 4.2.

Таблица 4.1 – Выбор аппаратов защиты групповых линий

| Линия | | U _н , кВ | 1,1·I _р , А | I _{н.нб} , А | 1,2·I _{пик} , А | Аппарат защиты | | | |
|-------|--------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|----------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| № | Обозначение | | | | | Марка | I _н , А | I _{н.р.} , А | I _о , А |
| 1 | СШ №1 РУ ТП - ШРА2 | 0,4 | 195,95 | 49,65 | 592,58 | ВА88-35 | 250 | 200 | 2000 |
| 2 | СШ №1 РУ ТП - ШРА3 | 0,4 | 195,95 | 49,65 | 592,58 | ВА88-35 | 250 | 200 | 2000 |
| 3 | СШ №2 РУ ТП - РП1 | 0,4 | 35,04 | 16,01 | 157,30 | ВА88-32 | 125 | 40 | 500 |
| 4 | СШ №2 РУ ТП - РП2 | 0,4 | 93,04 | 83,65 | 713,89 | ВА88-32 | 125 | 100 | 1000 |
| 5 | СШ №2 РУ ТП - РП3 | 0,4 | 18,31 | 22,87 | 186,61 | ВА88-32 | 125 | 25 | 500 |
| 6 | СШ №2 РУ ТП - ШРА1 | 0,4 | 195,95 | 28,32 | 439,01 | ВА88-35 | 250 | 200 | 2000 |
| 7 | СШ №2 РУ ТП - ШРА4 | 0,4 | 100,80 | 24,76 | 299,22 | ВА88-32 | 125 | 125 | 1250 |

Таблица 4.2 – Выбор аппаратов защиты линий питания ЭП

| № | 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 |
|---|-----------------------------|----------------------|---------------------|------|-------|--------------------|------------------------|--------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | Контейнероопрокидыватель | 2 | 0,40 | 81,0 | 0,65 | 9,4967 | 66,48 | ВА47-29 3P D | 10 | 10 | 100 |
| 2 | Автомат погрузочный | 6 | 0,40 | 81,5 | 0,65 | 28,315 | 198,21 | ВА47-29 3P D | 32 | 32 | 320 |
| 3 | Транспортер исходного сырья | 1,1 | 0,40 | 90,0 | 0,85 | 3,5948 | 25,16 | ВА47-29 3P D | 4 | 4 | 40 |
| 4 | Дробилка | 8 | 0,40 | 80,0 | 0,75 | 33,333 | 233,33 | ВА47-29 3P D | 40 | 40 | 400 |
| 5 | Сепаратор №1 | 3 | 0,40 | 81,0 | 0,65 | 14,245 | 99,72 | ВА47-29 3P D | 16 | 16 | 160 |
| 6 | Конвейер роликовый №1 | 7,5 | 0,40 | 83,0 | 0,65 | 34,754 | 243,28 | ВА47-29 3P D | 40 | 40 | 400 |

Продолжение таблицы 4.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|-----------------------------------|------|------|------|------|--------|--------|--------------|----|----|-----|
| 7 | Весы электрические | 0,5 | 0,40 | - | 0,85 | 1,4706 | - | BA47-29 3P C | 2 | 2 | 10 |
| 8 | Смеситель | 6 | 0,40 | 78,5 | 0,75 | 25,478 | 178,34 | BA47-29 3P D | 32 | 32 | 320 |
| 9 | Машина выдувная | 9 | 0,40 | 93,4 | 0,65 | 37,061 | 259,43 | BA47-29 3P D | 40 | 40 | 400 |
| 10 | Сепаратор №2 | 0,55 | 0,40 | 83,0 | 0,85 | 1,949 | 13,64 | BA47-29 3P D | 2 | 2 | 20 |
| 11 | Сушилка №1 | 3 | 0,40 | 79,5 | 0,75 | 12,579 | 88,05 | BA47-29 3P D | 16 | 16 | 160 |
| 12 | Стол механизированный | 1,2 | 0,40 | 80,0 | 0,75 | 5 | 35,00 | BA47-29 3P D | 6 | 6 | 60 |
| 13 | Транспортер подготовленного сырья | 6 | 0,40 | 94,5 | 0,85 | 18,674 | 130,72 | BA47-29 3P D | 20 | 20 | 200 |
| 14 | Экструдер | 9 | 0,40 | 84,0 | 0,65 | 41,209 | 288,46 | BA47-29 3P D | 50 | 50 | 500 |
| 15 | Конвейер роликовый №2 | 14 | 0,40 | 94,0 | 0,75 | 49,645 | 347,52 | BA47-29 3P D | 50 | 50 | 500 |
| 16 | Конвейер пластинчатый | 1,1 | 0,40 | 94,0 | 0,65 | 4,5008 | 31,51 | BA47-29 3P D | 5 | 5 | 50 |
| 17 | Станок экструзионно-выдувной | 2,2 | 0,40 | 82,0 | 0,65 | 10,319 | 72,23 | BA47-29 3P D | 16 | 16 | 160 |
| 18 | Сушилка №2 | 2,3 | 0,40 | 79,5 | 0,75 | 9,6436 | 67,51 | BA47-29 3P D | 10 | 10 | 100 |
| 19 | Модуль фасовочный | 1,2 | 0,40 | 90,0 | 0,65 | 5,1282 | 35,90 | BA47-29 3P D | 6 | 6 | 60 |
| 20 | Насос подогревателя | 4 | 0,40 | 79,0 | 0,85 | 14,892 | 104,24 | BA47-29 3P D | 16 | 16 | 160 |
| 21 | Реактор подогревателя | 1,5 | 0,40 | - | 0,85 | 4,4118 | - | BA47-29 3P C | 5 | 5 | 25 |
| 22 | Термопластавтомат однопозиционный | 2,5 | 0,40 | 90,0 | 0,75 | 9,2593 | 64,81 | BA47-29 3P D | 10 | 10 | 100 |
| 23 | Устройство пневматической подачи | 1,1 | 0,40 | 79,0 | 0,75 | 4,6414 | 32,49 | BA47-29 3P D | 5 | 5 | 50 |
| 24 | Кран-балка с электроталью | 6 | 0,40 | 82,0 | 0,8 | 22,866 | 160,06 | BA47-29 3P D | 25 | 25 | 250 |
| 25 | Зарядный агрегат статический, 1-ф | 2,7 | 0,22 | - | 0,35 | 35,065 | - | BA47-29 1P C | 40 | 40 | 200 |
| 26 | Компрессор | 4,2 | 0,40 | 82,0 | 0,8 | 16,006 | 112,04 | BA47-29 3P D | 20 | 20 | 200 |
| 27 | Насос водяной | 2,8 | 0,40 | 79,0 | 0,8 | 11,076 | 77,53 | BA47-29 3P D | 16 | 16 | 160 |
| 28 | Калорифер для обогрева | 7,1 | 0,40 | 82,0 | 0,95 | 22,786 | 159,50 | BA47-29 3P D | 25 | 25 | 250 |

Продолжение таблицы 4.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|----------------------------------|-----|------|------|------|--------|--------|--------------|-----|-----|------|
| 29 | Вентилятор | 25 | 0,40 | 93,4 | 0,8 | 83,646 | 585,52 | BA88-32 3P | 125 | 100 | 1000 |
| 30 | Барабан гальванический | 5,5 | 0,40 | 82,0 | 0,8 | 20,96 | 146,72 | BA47-29 3P D | 25 | 25 | 250 |
| 31 | Установка фильтрации электролита | 4 | 0,40 | 94,5 | 0,8 | 13,228 | 92,59 | BA47-29 3P D | 16 | 16 | 160 |
| 32 | Ванна гальваническая большая | 12 | 0,40 | - | 0,95 | 31,579 | - | BA47-29 3P D | 40 | 40 | 400 |
| 33 | Ванна гальваническая малая | 8 | 0,40 | - | 0,95 | 21,053 | - | BA47-29 3P D | 25 | 25 | 250 |
| 34 | Ванна колокольная | 7,4 | 0,40 | 93,4 | 0,8 | 24,759 | 173,31 | BA47-29 3P D | 32 | 32 | 320 |

Таким образом произведен выбор защитных аппаратов цеховой сети электроснабжения. Использование современного оборудования отечественного производства позволит в полной мере обеспечить не только качественную защиту проводников, устройств распределения и потребления от коротких замыканий и перегрузок, но и удобный монтаж оборудования, его комфортное обслуживание. Это особенно актуально в условиях современного рынка, когда гибкость всех инженерных систем является важнейшим критерием конкурентоспособности предприятия и его способности в срок выполнять возложенные на себя обязательства. Далее выберем проводники цеховой сети электроснабжения.

4.2 Выбор проводников цеховой сети

Начнем с выбора проводников для соединения вводов низкого напряжения силовых трансформаторов с РУ НН, расположенным в помещении электрощитовой цеха.

Для этой цели применяется шина алюминиевая марки АД 31. Допустимые токовые нагрузки определяются в соответствии с [12].

В качестве проводников цеховой сети ЭСН применим кабель марки ВВГнг-LS, производимые заводом ООО «ГК «Севкабель». Это кабель с медными жилами, поясной и фазной изоляцией, не поддерживающей горение, с пониженным дымогазовыделением. Преимуществом медных кабелей является долговечность, удобство монтажа и более высокая допустимая токовая нагрузка.

Допустимые токовые нагрузки определяются в соответствии с [7].

Определение сечений производится в соответствии с [11].

В связи с тем, что помещение цеха по изготовлению пластмассовых изделий и гальваники является пожароопасным, коэффициент защиты ($K_{зщ}$) принимается равным 1,25.

Поскольку помещение цеха является пожароопасным, коэффициент защиты ($K_{зщ}$) принимается равным 1,25.

– Определим сечение алюминиевых шин.

Ток, длительно допустимый для шин, должен соответствовать условию:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{н.р.}} \quad (4.26)$$

Здесь $I_{\text{н.р.}}$ – выбранный в пункте 4.1 номинальный ток теплового расцепителя. Пример расчета для линии Т1(Т2) – СШ №1 0,4 кВ (СШ №2 0,4 кВ) РУ НН:

$$I_{\text{доп}} \geq 1,25 \cdot 640 = 800\text{А}$$

По рассчитанному току выбираем пакет алюминиевых шин 4хАД 31 60х6. Длительно допустимый ток в соответствии с [12]: 870 А.

– Аналогичным образом выполняется расчет и выбор кабелей и шинопроводов.

Пример для КЛ СШ №1 РУ – ШРА2:

В соответствии с таблицей 4.1 ток расцепителя автоматического выключателя в линии СШ №1 РУ – ШРА2 составил 200 А. $200 \times 1,25 = 250$ А. Выберем кабель: ВВГнг-LS 4х95 ($I_d = 255$ А).

Результаты выбора проводников питания групповых линий сведем в таблицу 4.3, выбор шинопроводов – в таблицу 4.4, выбор кабелей питания отдельных ЭП – в таблицу 4.5

Таблица 4.3 – Выбор проводников цеховой сети электроснабжения

| Групповые линии | | | | | | |
|-----------------|--------------------|---------------|----------|--------|--------------------|----------|
| Объект питания | | | Кабель | | | |
| № п/п | Обозначение | $I_{д.р.}, А$ | Марка | п, жил | S, мм ² | $I_d, А$ |
| 1 | СШ №1 РУ ТП - ШРА2 | 250,00 | ВВГнг-LS | 4 | 95 | 255 |
| 2 | СШ №1 РУ ТП - ШРА3 | 250,00 | ВВГнг-LS | 4 | 95 | 255 |
| 3 | СШ №2 РУ ТП - РП1 | 50,00 | ВВГнг-LS | 4 | 10 | 61 |
| 4 | СШ №2 РУ ТП - РП2 | 125,00 | ВВГнг-LS | 4 | 35 | 131 |
| 5 | СШ №2 РУ ТП - РП3 | 31,25 | ВВГнг-LS | 4 | 6 | 46 |
| 6 | СШ №2 РУ ТП - ШРА1 | 250,00 | ВВГнг-LS | 4 | 95 | 255 |
| 7 | СШ №2 РУ ТП - ШРА4 | 156,25 | ВВГнг-LS | 4 | 50 | 165 |

Таблица 4.4 – Результаты выбора распределительных шинопроводов

| Шинопроводы распределительные | | | | |
|-------------------------------|-------------|---------------|-----------------|----------|
| № п/п | Обозначение | $I_{д.р.}, А$ | Марка | $I_d, А$ |
| 1 | ШРА1 | 312,50 | ШРА-4-44-400-У3 | 400 |
| 2 | ШРА2 | 312,50 | ШРА-4-44-400-У3 | 400 |
| 3 | ШРА3 | 312,50 | ШРА-4-44-400-У3 | 400 |
| 4 | ШРА4 | 195,31 | ШРА-4-44-250-У3 | 250 |

Таблица 4.5 – Выбор кабелей питания ЭП

| Питание отдельных приемников | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------|-------|--------------------|---------------------|
| ЭП | | | Кабель | | | |
| № п/п | Наименование | I _{д.р.} , А | Марка | п жил | S, мм ² | I _{д.} , А |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | Контейнероопрокидыватель | 13 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 2 | Автомат погрузочный | 40 | ВВГнг-LS | 4 | 6 | 46 |
| 3 | Транспортер исходного сырья | 5 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 4 | Дробилка | 50 | ВВГнг-LS | 4 | 10 | 61 |
| 5 | Сепаратор №1 | 20 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 6 | Конвейер роликовый №1 | 50 | ВВГнг-LS | 4 | 10 | 61 |
| 7 | Весы электрические | 3 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 8 | Смеситель | 40 | ВВГнг-LS | 4 | 6 | 46 |
| 9 | Машина выдувная | 50 | ВВГнг-LS | 4 | 10 | 61 |
| 10 | Сепаратор №2 | 3 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 11 | Сушилка №1 | 20 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 12 | Стол механизированный | 8 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 13 | Транспортер готового сырья | 25 | ВВГнг-LS | 4 | 2,5 | 26 |
| 14 | Экструдер | 63 | ВВГнг-LS | 4 | 16 | 81 |
| 15 | Конвейер роликовый №2 | 63 | ВВГнг-LS | 4 | 16 | 81 |
| 16 | Конвейер пластинчатый | 6 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 17 | Станок экструзионно-выдувной | 20 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 18 | Сушилка №2 | 13 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 19 | Модуль фасовочный | 8 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 20 | Насос подогревателя | 20 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 21 | Реактор подогревателя | 6 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 22 | Термопластавтомат 1 п. | 13 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 23 | Устройство пневматической подачи | 6 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 24 | Кран-балка с электроталью | 31 | ВВГнг-LS | 4 | 4 | 34 |
| 25 | Зарядный агрегат | 50 | ВВГнг-LS | 2 | 10 | 61 |
| 26 | Компрессор | 25 | ВВГнг-LS | 4 | 2,5 | 26 |
| 27 | Насос водяной | 20 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 28 | Калорифер для обогрева | 31 | ВВГнг-LS | 4 | 4 | 34 |
| 29 | Вентилятор | 125 | ВВГнг-LS | 4 | 35 | 131 |

Продолжение таблицы 4.5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----|----------------------------------|----|----------|---|-----|----|
| 30 | Барaban гальванический | 31 | ВВГнг-LS | 4 | 4 | 34 |
| 31 | Установка фильтрации электролита | 20 | ВВГнг-LS | 4 | 1,5 | 20 |
| 32 | Ванна гальваническая большая | 50 | ВВГнг-LS | 4 | 10 | 61 |
| 33 | Ванна гальваническая малая | 31 | ВВГнг-LS | 4 | 4 | 34 |
| 34 | Ванна колокольная | 40 | ВВГнг-LS | 4 | 6 | 46 |

Таким образом, в соответствии с требованиями [7] и рекомендациями [11] выполнен выбор проводников и защитных аппаратов для питающей сети цеха.

В качестве проводников, соединяющих РУ цеховой ТП с силовыми трансформаторами использованы алюминиевые шины марки АД 31, для внутрицехового электроснабжения решено применить силовой кабель марки ВВГнг-LS с медными жилами и изоляцией из ПВХ пластиката. Применение такого кабеля, помимо прочего, рекомендовано [17].

Также выбраны алюминиевые распределительные шинопроводы марки ШРА-4-44, которые удобно использовать для подключения большого количества ЭП в силу их модульной структуры. Последняя цифра марки означает степень защиты от внешних воздействий (IP 44).

В качестве аппаратов защиты использованы блочные автоматические выключатели марок ВА-88-32, ВА-88-35 и модульные - ВА 47-29. Далее необходимо произвести расчет токов короткого замыкания.

5 Расчет токов короткого замыкания

Наиболее распространенной причиной аварий в сети электроснабжения (с точки зрения протекающих физических процессов) является возникновение электрического контакта в месте, для этого не предназначенном. В электротехнике такое явление называют коротким замыканием (КЗ).

Короткое замыкание может иметь множество причин: начиная с неправильной сборки оборудования и заводского брака изоляции и заканчивая погодными явлениями, износом изоляционных покровов. Однако последствия в каждом из этих случаев схожи. Короткое замыкание приводит к возникновению в сети сверхтоков – значительному превышению током, протекающим в сети ЭСН номинальных значений.

Результатом этого является порча проводников и оборудования, травмы среди личного состава обслуживающего персонала, пожары и иные негативные последствия. В связи с этим своевременное отключение участка сети, на котором произошло короткое замыкание является важнейшей задачей, которая встает при проектировании любой сети ЭСН.

Таким образом, в рамках выпускной квалификационной работы существует необходимость расчета токов короткого замыкания, протекающих в сети ЭСН.

Определение токов короткого замыкания начинается с вычисления параметров рассчитываемой цепи. Типовой расчет токов КЗ в цеховой сети ЭСН выполняется для наиболее мощного приемника, расположенного ближе всего к источнику питания (в данном случае – РУ НН КТП)

Расчеты выполнены в соответствии с методикой, которая описана в [4] на расчеты токов КЗ в сетях на ступени напряжения до 1 кВ. КЗ рассчитываются в трех точках согласно схеме, изображенной на рисунке 5.1

Расчет производим для вентилятора, подключенного к РП 2 как для наиболее мощного и близкого к РУ 0,4 кВ ТП ЭП. Точка К1 расположена на СШ №2 0,4 кВ РУ ТП, К2 – в РП 2, К3 – на клеммах питания ЭП.

– Определение параметров схемы замещения

Первоначально определим длины линий, включенных в расчетную схему:

- Длина жестких шин Т2 – СШ №2 0,4 кВ РУ НН ($L_{ш}$): 4,00 м
- Длина КЛ СШ №2 0,4 кВ РУ ТП – РП 2 ($L_{КЛ1}$): 33,50 м
- Длина КЛ РП4 – ЭП №29 ($L_{КЛ2}$): 6,00 м

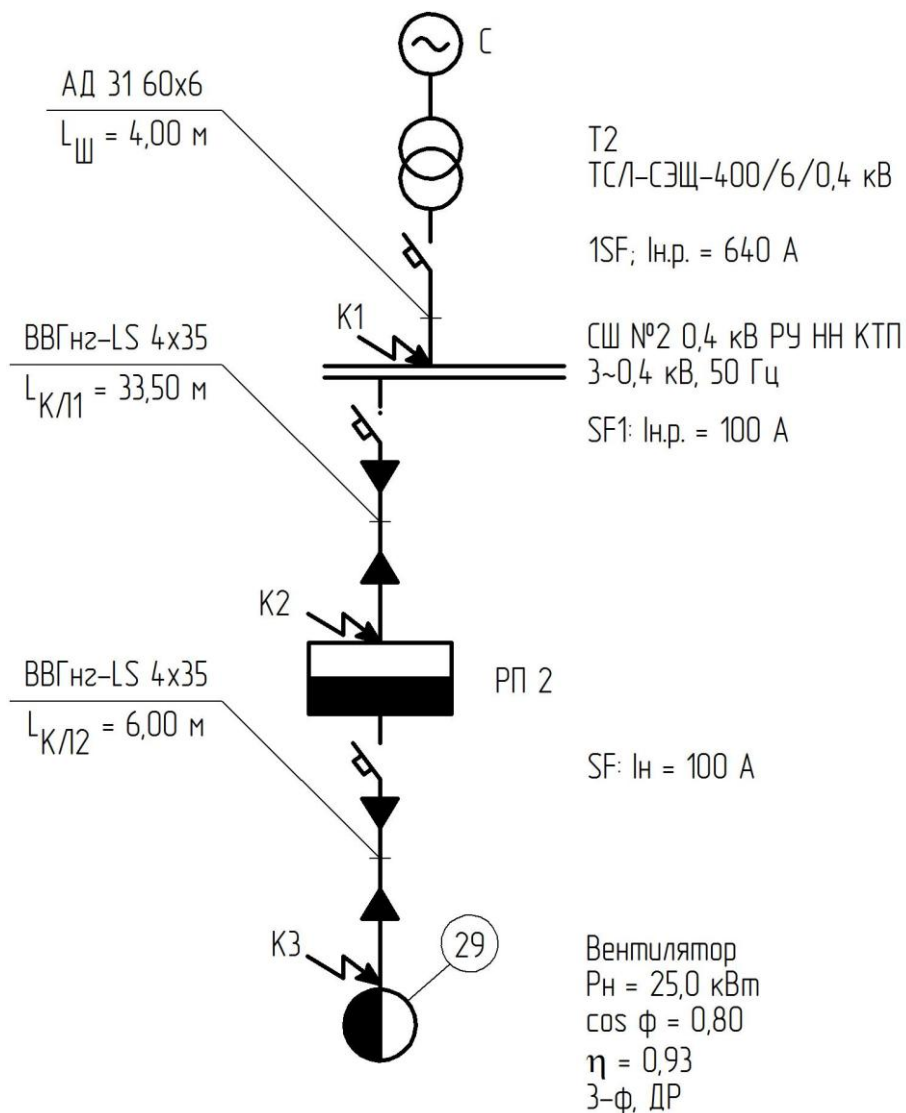


Рисунок 5.1 - Расчетная схема ЭСН

– Произведем формирование схемы замещения по расчетной схеме. Результат изображен на рисунке 5.2.

Выполним расчет параметров схемы замещения. В соответствии с данными, предоставленными ПАО «Предприятие ГАЛЬВАНИК», параметры системы для стороны ВН:

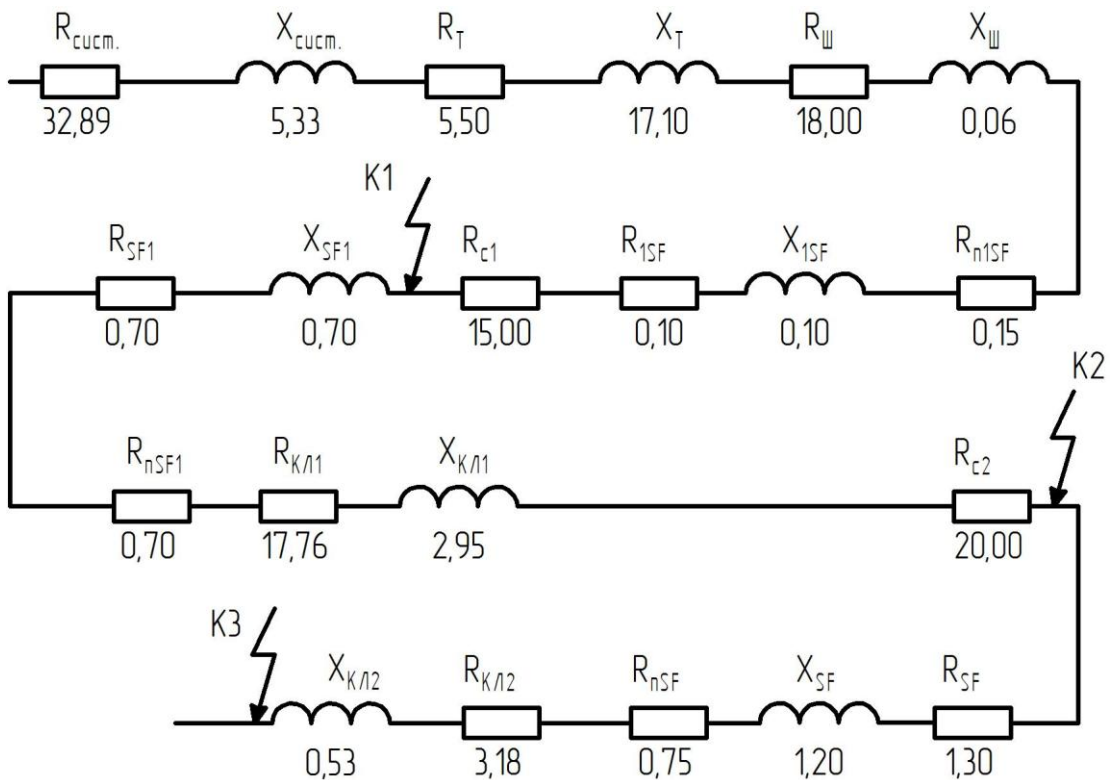


Рисунок 5.2 - Схема замещения расчетной схемы ЭСН

$$X'_c = 1,20 \text{ Ом}$$

$$R'_c = 7,40 \text{ Ом}$$

Сопротивления приводятся к НН:

$$R_c = R'_c \cdot \left(\frac{V_{\text{НН}}}{V_{\text{ВН}}} \right)^2 = 7,40 \cdot \left(\frac{0,4}{6} \right)^2 \cdot 10^3 = 32,89 \text{ мОм} \quad (5.27)$$

$$X_c = X'_c \cdot \left(\frac{V_{\text{НН}}}{V_{\text{ВН}}} \right)^2 = 1,20 \cdot \left(\frac{0,4}{6} \right)^2 \cdot 10^3 = 5,33 \text{ мОм} \quad (5.28)$$

Для трансформатора по [11, с 61]:

$$R_T = 5,50 \text{ мОм}$$

$$X_T = 17,10 \text{ мОм}$$

$$Z_T = 18,00 \text{ мОм}$$

Для автоматов по [11, с 61]:

$$1SF \quad R_{1SF} = 0,10 \text{ мОм}; X_{1SF} = 0,10 \text{ мОм}; R_{н1SF} = 0,15 \text{ мОм}$$

$$SF1 \quad R_{SF1} = 0,70 \text{ мОм}; X_{SF1} = 0,70 \text{ мОм}; R_{нSF1} = 0,70 \text{ мОм}$$

$$SF \quad R_{SF} = 1,3 \text{ мОм}; X_{SF} = 1,2 \text{ мОм}; R_{нSF} = 0,75 \text{ мОм}$$

Для шин алюминиевых (АД 31 60х6):

$$R_{ш} = r_0 \cdot L_{ш} = 0,034 \cdot 4,00 = 0,14 \text{ мОм} \quad (5.29)$$

$$X_{ш} = x_0 \cdot L_{ш} = 0,016 \cdot 4,00 = 0,06 \text{ мОм} \quad (5.30)$$

$$r_0 = 0,034 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,016 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

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

Для КЛ по [11, с 62]:

КЛ1 (ВВГнг-LS 4х35):

$$r_0 = 0,53 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,088 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$R_{КЛ1} = r_0 \cdot L_{КЛ1} = 0,53 \cdot 33,50 = 17,76 \text{ мОм}$$

$$X_{КЛ1} = x_0 \cdot L_{КЛ1} = 0,088 \cdot 33,50 = 2,95 \text{ мОм}$$

КЛ2 (ВВГнг-LS 4х35):

$$r_0 = 0,53 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,088 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$R_{КЛ2} = r_0 \cdot L_{КЛ2} = 0,53 \cdot 6,00 = 3,18 \text{ мОм}$$

$$X_{КЛ2} = x_0 \cdot L_{КЛ2} = 0,088 \cdot 6,00 = 0,53 \text{ мОм}$$

Для ступени распределения по [11, с 62]:

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

Полученные результаты занесем на схему (рисунок 7.2)

Упростим схему замещения, вычислим эквивалентные сопротивления на участках между точками КЗ и нанесем их на схему (рисунок 5.3)

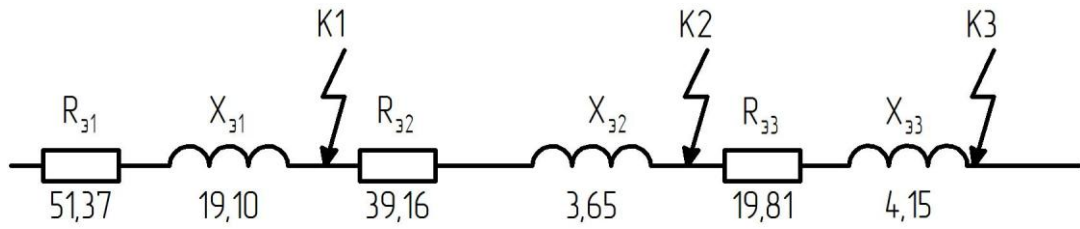


Рисунок 5.3 – Эквивалентная схема замещения

$$R_{\vartheta 1} = R_{\text{сист}} + R_T + R_{\text{ISF}} + R_{\text{nISF}} + R_{\text{III}} + R_{\text{c1}} \quad (5.31)$$

$$R_{\vartheta 1} = 32,89 + 3,10 + 0,10 + 0,15 + 0,14 + 15,00 = 51,37 \text{ мОм}$$

$$X_{\vartheta 1} = X_{\text{сист}} + X_T + X_{\text{ISF}} + X_{\text{III}} \quad (5.32)$$

$$X_{\vartheta 1} = 5,33 + 13,60 + 0,10 + 0,06 = 19,10 \text{ мОм}$$

$$R_{\vartheta 2} = R_{\text{SF1}} + R_{\text{nSF1}} + R_{\text{КЛ1}} + R_{\text{c2}} \quad (5.33)$$

$$R_{\vartheta 2} = 0,70 + 0,70 + 17,76 + 20,00 = 39,16 \text{ мОм}$$

$$X_{\vartheta 2} = X_{\text{SF1}} + X_{\text{КЛ1}} = 0,70 + 2,95 = 3,65 \text{ мОм} \quad (5.34)$$

$$R_{\vartheta 3} = R_{\text{SF}} + R_{\text{nSF}} + R_{\text{КЛ2}} = 1,30 + 0,75 + 17,76 = 19,81 \text{ мОм} \quad (5.35)$$

$$X_{\vartheta 3} = X_{\text{SF}} + X_{\text{КЛ2}} = 1,20 + 2,95 = 4,15 \text{ мОм} \quad (5.36)$$

Вычислим сопротивления до каждой точки КЗ и занесем их в сводную ведомость (таблица 5.1):

$$R_{\text{К1}} = R_{\vartheta 1} = 51,37 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{К1}} = X_{\vartheta 1} = 19,10 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{К1}} = \sqrt{R_{\text{К1}}^2 + X_{\text{К1}}^2} = \sqrt{51,37^2 + 19,10^2} = 54,81 \text{ мОм} \quad (5.37)$$

$$R_{\text{К2}} = R_{\vartheta 1} + R_{\vartheta 2} = 51,37 + 39,16 = 90,53 \text{ мОм} \quad (5.38)$$

$$X_{\text{К2}} = X_{\vartheta 1} + X_{\vartheta 2} = 19,10 + 3,65 = 22,75 \text{ мОм} \quad (5.39)$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{90,53^2 + 22,75^2} = 93,34 \text{ МОм}$$

$$R_{K3} = R_{K2} + R_{\Delta 3} = 90,53 + 19,81 = 110,33 \text{ МОм} \quad (5.40)$$

$$X_{K3} = X_{K2} + X_{\Delta 3} = 22,75 + 4,15 = 26,89 \text{ МОм} \quad (5.41)$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{110,33^2 + 26,89^2} = 113,57 \text{ МОм} \quad (5.42)$$

$$\frac{R_{K1}}{X_{K1}} = \frac{51,37}{19,10} = 2,69 \quad (5.43)$$

$$\frac{R_{K2}}{X_{K2}} = \frac{90,53}{22,75} = 3,98$$

$$\frac{R_{K3}}{X_{K3}} = \frac{110,33}{26,89} = 4,10$$

– Расчет токов короткого замыкания

Определим коэффициенты K_y и q по [11, с 59]:

$$K_{y1} = F \cdot \left(\frac{R_{K1}}{X_{K1}} \right) = F \cdot 2,69 \approx 1 \quad (5.44)$$

$$K_{y2} = F \cdot \left(\frac{R_{K2}}{X_{K2}} \right) = F \cdot 3,98 \approx 1 \quad (5.45)$$

$$K_{y3} = F \cdot \left(\frac{R_{K3}}{X_{K3}} \right) = F \cdot 4,10 \approx 1 \quad (5.46)$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2(K_{y1} - 1)^2} = \sqrt{1 + 2(2,69 - 1)^2} = 1 \quad (5.47)$$

$$q_2 = q_3 = q_1 = 1$$

Определим 3-фазные и 2-фазные токи КЗ и занесем их в таблицу 5.1:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{V_{k1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{0,3810^3}{\sqrt{3} \cdot 54,81} = 4,00 \text{ кА} \quad (5.48)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{V_{k2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{0,3810^3}{\sqrt{3} \cdot 93,34} = 2,35 \text{ кА} \quad (5.49)$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{V_{k3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 113,56} = 1,93 \text{ кА} \quad (5.50)$$

$$I_{yk1} = q_1 \cdot I_{K1}^{(3)} = 4,00 \text{ кА} \quad (5.51)$$

$$I_{yk2} = q_2 \cdot I_{K2}^{(3)} = 2,35 \text{ кА} \quad (5.52)$$

$$I_{yk3} = q_3 \cdot I_{K3}^{(3)} = 1,93 \text{ кА} \quad (5.53)$$

$$i_{yk1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{k1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 4,00 = 5,66 \text{ кА} \quad (5.54)$$

$$i_{yk2} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{k2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 2,35 = 3,32 \text{ кА} \quad (5.55)$$

$$i_{yk3} = \sqrt{2} \cdot K_{y3} \cdot I_{k3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 1,93 = 2,73 \text{ кА} \quad (5.56)$$

$$I_{k1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k1}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,00 = 3,47 \text{ кА} \quad (5.57)$$

$$I_{k2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k2}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,35 = 2,04 \text{ кА} \quad (5.58)$$

$$I_{k3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,93 = 1,67 \text{ кА} \quad (5.59)$$

Таблица 5.1 – Сводная ведомость токов КЗ

| 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 | I _к ⁽¹⁾ , кА |
|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|---|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| К1 | 51,37 | 19,1 | 54,81 | 2,69 | 1 | 1 | 4,0 | 5,6 | 4,00 | 3,4 | 15,0 | 2,7 |
| К2 | 90,53 | 22,75 | 93,34 | 3,98 | 1 | 1 | 2,3 | 3,3 | 2,35 | 2,0 | 71,0 | 1,6 |
| К3 | 110,3 | 26,89 | 113,5 | 4,10 | 1 | 1 | 1,9 | 2,7 | 1,93 | 1,6 | 77,4 | 1,5 |

Составим схему замещения для определения токов однофазного короткого замыкания (рисунок 5.4)

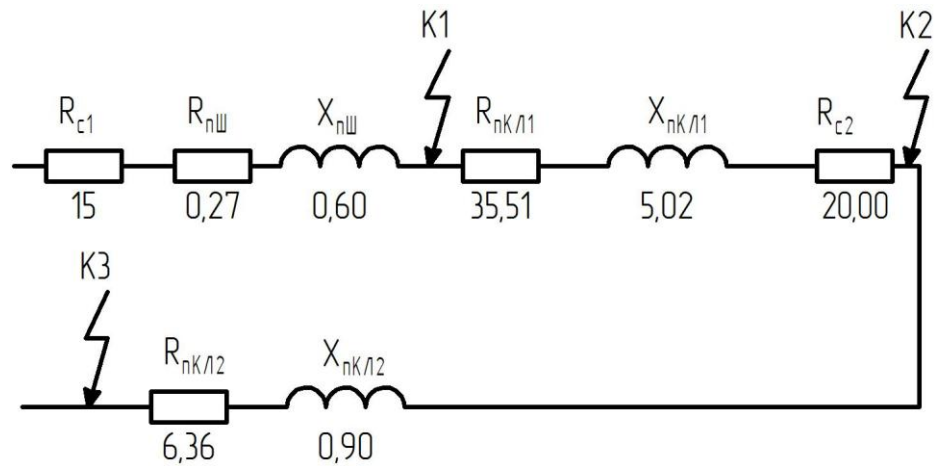


Рисунок 5.4 – Схема замещения для расчета 1-фазных токов КЗ

Для шин алюминиевых:

$$R_{нШ} = 2 \cdot r_{0нШ} \cdot L_{Ш} = 2 \cdot 0,03 \cdot 4,00 = 0,27 \text{ мОм} \quad (5.60)$$

$$X_{нШ} = x_{0нШ} \cdot L_{Ш} = 0,15 \cdot 4,00 = 0,60 \text{ мОм} \quad (5.61)$$

Для кабельных линий:

$$R_{пкЛ1} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{КЛ1} = 2 \cdot 0,53 \cdot 33,50 = 35,51 \text{ мОм} \quad (5.62)$$

$$X_{пкЛ1} = x_{0п} \cdot L_{КЛ1} = 0,15 \cdot 33,50 = 5,02 \text{ мОм} \quad (5.63)$$

$$R_{пкЛ2} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{КЛ2} = 2 \cdot 0,53 \cdot 6,00 = 6,36 \text{ мОм} \quad (5.64)$$

$$X_{пкЛ2} = x_{0п} \cdot L_{КЛ2} = 0,15 \cdot 6,00 = 0,90 \text{ мОм} \quad (5.65)$$

$$Z_{п1} = 15 \text{ мОм}$$

$$R_{п2} = R_{c1} + R_{пкЛ1} + R_{нШ} + R_{пкЛ1} + R_{c2} = 15,00 + 0,27 + 35,51 + 20,00 \quad (5.66)$$

$$R_{п2} = 70,78 \text{ мОм}$$

$$X_{п2} = X_{нШ} + X_{пкЛ1} = 0,60 + 5,02 = 5,62 \text{ мОм} \quad (5.67)$$

$$Z_{п2} = \sqrt{R_{п2}^2 + X_{п2}^2} = \sqrt{70,78^2 + 5,62^2} = 71,00 \text{ мОм} \quad (5.68)$$

$$R_{п3} = R_{п2} + R_{пкЛ2} = 70,78 + 6,36 = 77,14 \text{ мОм} \quad (5.69)$$

$$X_{п3} = X_{п2} + X_{пкЛ2} = 5,62 + 0,90 = 6,52 \text{ мОм} \quad (5.70)$$

$$Z_{п3} = \sqrt{R_{п3}^2 + X_{п3}^2} = \sqrt{77,14^2 + 6,52^2} = 77,42 \text{ мОм} \quad (5.71)$$

$$I_{к1}^{\text{О}} = \frac{V_{кф}}{\frac{Z_{Т}^{\text{О}}}{3} + Z_{п1}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{195}{3} + 15} = 2,75 \text{ кА} \quad (5.72)$$

$$I_{к2}^{\text{О}} = \frac{V_{кф}}{\frac{Z_{Т}^{\text{О}}}{3} + Z_{п2}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{195}{3} + 71,00} = 1,62 \text{ кА} \quad (5.73)$$

$$I_{к3}^{\text{О}} = \frac{V_{кф}}{\frac{Z_{Т}^{\text{О}}}{3} + Z_{п3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{195}{3} + 77,42} = 1,54 \text{ кА} \quad (5.74)$$

Результаты расчета занесем в сводную ведомость токов КЗ (таблица 7.1).

Наибольший ударный в точке К1 составил 5,60 кА при электродинамической стойкости автоматического выключателя ВА-88-32 $I_{\text{max}} = 35$ кА. Максимальное значение ударного тока в точке К2 – 3,32 кА, а в точке К3 – 2,73 кА. Выключатели ВА 47-29 имеют электродинамическую стойкость 4,5 кА, следовательно, способны отключить данные короткие замыкания не разрушившись.

Таким образом произведен расчет токов короткого замыкания, который позволяет определить пригодность выбранного оборудования к эксплуатации в аварийном режиме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы произведено формирование проекта электроснабжения цеха предприятия по изготовлению изделий из пластмассы и гальваники.

Выполнен анализ исходной информации об архитектурных и технологических особенностях производства. Получены и систематизированы данные, касающиеся будущей технологической оснастки цеха, для которого необходимо разработать систему электроснабжения. Выявлено, что при значительном количестве приемников, их отдельные типы имеют небольшую мощность, что снижает расчетную нагрузку на сеть электроснабжения. Для питания основных технологических линий участков производства изделий из пластмассы и гальваники решено использовать распределительные шинопроводы. Питание приемников в отдельных помещениях выполнить от собственных РП согласно плану.

Определен общий ход выполнения дальнейшей работы. Поскольку тема ВКР подразумевает проектирование системы электроснабжения цеха предприятия, рассмотрен общий ход выполнения такого проекта, заложены основные этапы написания выпускной квалификационной работы.

Произведен расчет ожидаемых электрических нагрузок цеха. В частности, определена конфигурация и расчетная мощность системы освещения технологического участка и вспомогательных помещений. Всего используется 195 светильников марки СДП СТС 01-60-107, имеющих суммарную мощность 11,7 кВт.

По методу упорядоченных диаграмм рассчитаны общецеховые нагрузки. Расчетная полная мощность после установки компенсирующего устройства 2хУКМ-0,4-75-У3 составила 435,8 кВА.

В качестве источника питания цеха решено использовать два силовых трансформатора марки ТСЛ-СЭЩ-400/6/0,4 кВ У3, устанавливаемых в корпус КТП наружного размещения. Приведенная стоимость установки силовых

трансформаторов с учетом оплаты годовых потерь мощности составила 299,26 тыс. рублей.

Произведен выбор проводников и защитного оборудования сети электроснабжения. Для соединения силовых трансформаторов с распределительным устройством 0,4 кВ используется четырехполюсный пакет жестких алюминиевых шин марки АД 31 60х6.

Присоединение распределительных пунктов и шинопроводов, а также электрических приемников осуществляется кабелем марки ВВГнг-LS, который производится заводом «Севкабель». В качестве распределительных шинопроводов принято решение применить ШРА-4-44-У3.

Автоматические выключатели производятся российской компанией ИЕК и представлены двумя основными типами. Для сети с расчетными токами, не превышающими 63 А применяются модульные выключатели марки ВА-47-29, а для цепей, где токи выше – аппараты линейки ВА88. Значения уставок аппаратов защиты обеспечивают селективность на протяжении всей сети.

В рамках выпускной квалификационной работы произведен расчет токов короткого замыкания, который подтвердил соответствие выбранных аппаратов защиты условиям сети электроснабжения. Так на участках сети, где установлены выключатели линейки ВА88 ударный ток не превышает 5,60 кА при электродинамической стойкости выключателя 35 кВ, а на участках, защищаемых модульными аппаратами ВА-47-29 ударный ток КЗ не выше 3,32 кА при электродинамической стойкости аппарат защиты 4,5 кА. Это говорит о том, что аппараты способны отключить КЗ, не разрушившись.

Таким образом произведена разработка системы электроснабжения цеха предприятия по изготовлению пластмассовых изделий и гальваники. Цель выпускной квалификационной работы достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 ГОСТ 12965-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения классов напряжения 110 и 150 кВ. М. : Стандартиформ, 1985. 60 с.
- 2 ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. М. : Стандартиформ, 1985. 20 с.
- 3 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. : Стандартиформ, 1969. 91 с.
- 4 ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках М. : Стандартиформ, 1993. 109 с.
- 5 ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М. : Стандартиформ, 2012. 20 с.
- 6 ГОСТ 8.417 - 2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. М. : Стандартиформ, 2002. 33 с.
- 7 ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок М.: Стандартиформ, 2001. 330 с.
- 8 СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. М. Стандартиформ, 2017. 127 с.
- 9 СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. М. : Стандартиформ, 2011. 114 с.
- 10 Салтыков В.М., Стёпкина Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции : Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. Тольятти : ТГУ, 2007. 125 с.
- 11 Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения : учеб. пособие. М. : ИНФРА-М, 2016. 214 с.

12 Длительно-допустимый ток для алюминиевой шины // Официальный сайт ООО «Невская алюминиевая компания». URL: <http://spbalum.ru/manual/alyuminievaya-shina-tok> (дата обращения: 20.05.2019).

13 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: 25.05.2019).

14 ООО «ГАЛЬВАНИТ ЕВРО» // Официальный сайт ООО «ГАЛЬВАНИТ ЕВРО». URL: <https://www.galvanik.ru> (дата обращения: 09.05.2019).

15 Светильник СДП СТС 01-60-107 // Официальный сайт ООО «Свет-ТехСервис» URL: <http://ooo-ctc.ru/светильник-сдп-стс-01-60-107/> (дата обращения: 09.05.2019).

16 Beinarts I., Grunde U., Jacovics A. Distributed multi-sensor real-time building environmental parameters monitoring system with remote data access // De Gruyter Open. 2015. 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, 2019, 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. 2016. № 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. 2017. Vol. 7. PP 487-505.