

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 экструзионного цеха АО
«КАРБОГЛАСС»

Студент

Е.Г. Олейник

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Л. Спиридонов

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

Тольятти 2021

Аннотация

Выпускная квалификационная работа на тему «Реконструкция системы электроснабжения экструзионного цеха АО «КАРБОГЛАСС» представлена пояснительной запиской на 61 странице и графической частью на 7 листах формата А1. При выполнении данной работы было использовано 29 литературных источников.

В данной ВКР разработан план реконструкции электроснабжения цеха по выпуску сотовых и монолитных листов из поликарбоната.

В основной части пояснительной записки вычислены действующие силовые нагрузки цеха, выбран дополнительный силовой трансформатор, выбраны аппараты защиты, разработана схема переподключения оборудования для рационального и полного его использования.

Сделаны проверки существующих КТП и линий электроснабжения для подтверждения их пригодности для производства.

В заключении сделаны выводы относительно проделанной работы, выбранных устройств и методов реконструкции.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика электроснабжения завода.....	6
1.1 Теоретические основы проектирования систем промышленного электроснабжения.....	6
1.2 Характеристика производственных процессов на заводе.....	9
1.3 Анализ потребителей электрической энергии.....	11
1.4. Список основного и дополнительного оборудования.....	15
2 Проектирование системы электроснабжения.....	20
2.1 Расчет силовых электрических нагрузок.....	20
2.1.1 Методология расчета нагрузок.....	20
2.1.2 Непосредственный расчет нагрузок цеха.....	25
2.2 Расчет токов короткого замыкания.....	30
2.3 Выбор устройств защиты.....	15
2.4 Проверка линий электроснабжения.....	18
3 Выбор силовых трансформаторов.....	52
3.1 Выбор и проверка КТП.....	52
3.2 Расчет и выбор компенсирующих устройств.....	55
Заключение.....	58
Список используемой литературы.....	59

Введение

Актуальность работы состоит в необходимости проектирования новой системы электроснабжения и освещения для производственного экструзионного цеха завода переработки поликарбоната АО «КАРБОГЛАСС» в п. Дорохово Московской области. Необходимость реконструкции системы электроснабжения вызвана невозможностью эксплуатировать оборудование с полной мощностью, в связи с недостатком выделенной мощности. После слияния двух цехов, существующая электрическая сеть не в состоянии обеспечить электропитанием две экструзионные линии, использовать которые приходится поочередно.

Практическая значимость работы состоит в разработке проекта реконструкции электроснабжения, выборе дополнительных трансформаторов, оборудования коммутации и защиты, силовых линий, а также в определении экономической эффективности. Проект составляется для последующего монтажа.

Объектом исследования является экструзионный цех по производству монолитных и сотовых листов из поликарбоната.

Предмет исследования: схемы силовой сети и освещения, линии 0,38 и 10 кВ, силовые питающие трансформаторы, коммутационное оборудование и оборудования для защиты линий, комплекс распределительных устройств, измерительное оборудование и устройства заземления.

Цель работы – разработать проект реконструкции электроснабжения вышеуказанного цеха и выбрать необходимое оборудование.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи [2]:

- провести анализ всех потребителей электроэнергии нашего производства;
- на основании данного анализа рассчитать электрические нагрузки предприятия;

- на основании расчета нагрузок разработать схемы линий электроснабжения 0,38 и 10 кВ;
- подобрать коммутационное оборудование и оборудование защиты;
- разработать план-схему размещения и присоединения (переподключения) оборудования.

Результатом данной работы будет являться разработанный проект реконструкции электроснабжения экструзионного цеха, проверка его по условиям срабатывания защитных аппаратов.

В первом разделе работы рассмотрена общая характеристика производства и существующей системы его электроснабжения, а также выявлены базовые принципы устройства систем электроснабжения промышленных предприятий. Второй раздел посвящен непосредственным расчетам, а именно проектированию кабельных трасс, выбору аппаратов защиты и коммутации, расположения объектов в пространстве. В третьем разделе произведен выбор трансформатора для цеховой КТП и проведен расчет рациональности установки устройств компенсации реактивной мощности.

Выпускная квалификационная работа представлена пояснительной запиской на 61 страницах. При выполнении данной работы было использовано 29 литературных источников. В графической части представлены общая структурная схема электроснабжения цеха, однолинейные расчетные схемы для пяти ВРУ, общий план цеха.

1 Характеристика электроснабжения завода

1.1 Теоретические основы проектирования систем промышленного электроснабжения

«Основные компоненты системы электроснабжения включают сам источник питания, части линий электропередач, ведущих к предприятию, пространство для передачи электрической энергии, распределительные сети и приемники (потребители электроэнергии)» [12].

«Основная часть системы электроснабжения компании включает системы питания и распределения. Питательная система — это линии электропередачи, которые проходят от источника питания к месту потребления энергии. Распределительные системы — это линии передачи электроэнергии, которые подают электричество от приемного пункта к электрооборудованию. Кроме того, сама схема питания может быть радиальной, магистральной или смешанной» [9].

Магистральная схема электропитания представляет собой отдельные линий электропередач, которые соединяются с центральной магистралью в разных точках. Схема массивна, и подходит для крупных, больших потребителей, которые потребляют огромное количество электроэнергии. В другом случае она будет избыточной и затратной [5]. Считается самой надежной схемой электропитания [4].

Радиальные схемы подключения потребителей используют для средних и мелких потребителей. При таком способе подключения распределяются основные точки подключения, к которым уже непосредственно подключаются потребители [3].

Смешанный тип использует комбинирование двух предыдущих [6]. Используется на сложных, многоуровневых объектах.

«Для структурирования и закрепления фундаментальных основ электроснабжения существуют принципы электроснабжения. К ним относят:

бесперебойность, гибкость, экономичность, приближенность к источнику питания, использование высоконадежных магистральных схем» [15].

«Помимо принципов электроснабжения предприятий законодательно закреплены и четкие нормативные требования к электрическим сетям для промышленных объектов. Предусматривается, что на таких объектах источником питания может выступать как электростанция, так и собственная отдельно стоящая трансформаторная подстанция. Отдельная электростанция используется при большом энергопотреблении либо повышенных требованиях к безопасности объекта. Также электростанция необходима при большой удаленности производства от основных электрических сетей.» [16].

Для электроприемников первой и второй категорий предусмотрены особые условия при подключении [8]. Для них необходимо наличие резервирующих источников питания, с целью минимизации или недопущения времени простоя оборудования.

В целях экономии на потерях и повышения надежности питание крупных производств рекомендуется осуществлять при напряжении 110/220 кВ. Для средних по мощности потребителей предусмотрено напряжение 6, 10, 35 кВ. При низких нагрузках допускается питание от 0,4 кВ [1].

Для начала проектирования новой, или реконструкции имеющийся системы электроснабжения необходимо определить следующие параметры:

- особенности и характеристики имеющегося или необходимого оборудования;
- примерная структура и схема системы электроснабжения – размещения оборудования и зданий на местности и их количество;
- система распределения и способ питания потребителей, метод транспортировки электроэнергии;
- определить рациональные уровни напряжения;
- необходимое дополнительное оборудование и технические средства для обеспечения работоспособности и безопасности при дальнейшей эксплуатации оборудования.

При создании проекта будущей электросети, необходимо понимать зачем так необходима данная работа и в чем её значимость [20]. Тут стоит понимать, что качественное и детальное планирование на этапе подготовки избавит от множества проблем при приведении работ по монтажу и последующей эксплуатации оборудования и работы предприятия. Также обезопасит от излишне раздутой сметы и дополнительных ненужных работ.

Однако, проектирование инженерных систем, в том числе и проектирование систем электроснабжения, очень трудоемкая, многофункциональная и требовательная к знаниям задача [9]. Для постоянного развития и совершенствования в ней необходимо изучения и использование современных технологий и понимание в сфере современных тенденций и способов электроснабжения. Для выполнения работ в этой области все чаще требуется знание компьютерной техники и тщательная экономическая проработка.

Для подключения нового потребителя к электрическим сетям необходимо выполнить технические условия. Решение о том, выполнил ли клиент техусловия принимает энергоснабжающая организация в соответствии с Правилами пользования электрической энергией [26].

При построении схем электроснабжения также необходимо руководствоваться следующими второстепенными принципами:

Для питания потребителя выбирается максимально приближенный источник питания соответствующей мощности.

Число ступеней трансформации должно быть минимальным, для уменьшения потерь.

Схемы питания и электрические соединения необходимо выполнять таким образом, чтобы обеспечить максимально возможный уровень надежности соединений, при минимально возможном количестве оборудования, проводников и соединений между ними.

Также стоит учитывать, что электроприемники с параллельных линий рекомендовано осуществлять от разных секций шин на подстанции [19].

1.2 Характеристика производственных процессов на заводе

АО «КАРБОГЛАСС» имеет два производства в Московской области, расположенных в г. Голицыно и поселке Дорохово.

Компания «КАРБОГЛАСС» это один из первых производителей листов сотового поликарбоната на территории Российской Федерации. История производства берет начало в декабре 2006. Именно тогда было запущено производство на первой линии. И уже с января 2007 г. компания выпускает поликарбонат под собственной торговой маркой CARBOGLASS®.

Производство продолжает развиваться усиленными темпами и в настоящее время. Ассортимент и объемы выпускаемой продукции растут с каждым годом, закупается новое оборудование и расширяются производственные площади.

Сегодня сотовый поликарбонат выпускается на трех производственных линиях в городе Голицыно, Московской области и на одной линии в поселке Дорохово. Общая мощность всех экструзионных линий составляет от 1000 до 1200 тонн в месяц.

Помимо производства листов сотового поликарбоната выпускаются поликарбонатные профили, необходимые для монтажа цельных конструкций. Общая производительность по выпуску профилей составляет 62 тонны в месяц.

Совершенно новой сферой деятельности стал запуск проекта по производству модульных систем из поликарбоната. Это фундаментально новое слово в построении легких, крепких и одновременно достаточно светопрозрачных конструкций. Данные системы позволяют создавать поистине невероятные по своей форме и конструкции сооружения, при этом не теряя ни в прочности, ни в теплоизоляционных качествах. Конструкции монтируются по модульному принципу и могут быть демонтированы в последующем. Линия может производить до 80 тонн продукции в месяц.

Летом 2013 года был осуществлен запуск нового типа продукции для предприятия - запущена линия производящая монолитные листы из поликарбоната. Отличаясь от акриловых листов большей прочностью и устойчивостью к негативным факторам внешней среды, данный тип продукции начал быстро завоевывать рынок. Также этому способствовало отсутствие подобной продукции у конкурентов. Производственная мощность линии составляет 400 тонн в месяц.

«Сотовый поликарбонат — это листовый материал, который производится из поликарбоната методом экструзии, что подразумевает расплавление гранул и выдавливание этой массы через особую форму (фильеру), которая определяет строение и конструкцию листа. Уникальная конструкция фильеры и адаптера позволяет получать листы с равномерным распределением толщины стенок и УФ - защитного слоя. Данные особенности производства обуславливают высокую механическую прочность и продолжительный срок службы листа» [22].

АО «КАРБОГЛАСС» для производства продукции использует экструзионные линии компании OMIPA, производства Италия, большинство компонентов из начинки линий изготовлено компанией Siemens. В качестве сырья используется как сырье зарубежных производителей (Styron, Kafrit,), так и отечественных (Казаньоргсинтез).

По состоянию на 2016 год производство АО «КАРБОГЛАСС» относилось к 10 крупнейшим мировым производителям поликарбоната.

Летом 2018 года производство из города Красноярск постепенно было перемещено в Московскую область (п. Дорохово). Суммарная разрешенная мощность на арендованных площадях составляет 1000 кВА. Этого вполне достаточно для полноценного функционирования линий по выпуску монолитного поликарбоната и работы всего вспомогательного оборудования. Однако, к 2019 году перемещение производства из Красноярска было завершено, и была доставлена линия по производству сотового поликарбоната. И хотя мощности 1000кВА уже не хватало для одновременного

функционирования обеих линий, она была подключена к существующей системе электроснабжения для обеспечения возможности выпуска разных видов продукции, хоть и поочередно.

К 2021 году потребность в объемах выпускаемой продукции возросла, и предприятие уже не может довольствоваться лишь одной работающей линией в одночасье. Также в помещениях установлено устаревшее освещение, что влияет на возможность контроля качества выпускаемой продукции и не соответствует санитарным нормам.

Именно исходя из этих требований (возможность одновременного функционирования двух производственных линий и всего вспомогательного оборудования, а также неявность достаточного уровня освещенности) мы и приступим к нашей проектной работе.

1.3 Анализ потребителей электрической энергии

Абсолютно все существующие потребители электрической энергии можно разделить на категории, в зависимости от того, насколько важно для них бесперебойное питание [21].

«К первой категории относятся такие виды электропотребителей, которые в результате своего простоя без электричества могут повлечь опасность либо для жизни людей или безопасности государства, также могут нанести большой материальный ущерб, поломку сложного и дорогого оборудования или нарушения сложного техпроцесса, работы сфер коммунального хозяйства. Проще говоря, всё то повлечет за собой очень серьезные последствия.» [17].

Как правило, первая категория — объекты особой важности, оборонные комплексы, пожарные станции, некоторые объекты жилищного хозяйства. От их функционирования зависит жизнь и здоровье людей.

«В первой категории выделяют особую группу потребителей, электропитание которой должно производиться абсолютно без остановок в

связи с возможностью массовых смертей и несчастных случаев. Потребители первой категории должны питаться от двух независимых резервируемых источников электропитания. Перерыв в электроснабжении допускается лишь на время автоматического включения резервного источника при отключении первого.» [18].

Для особой группы первой категории предусматривается еще и третий источник питания, в качестве которого могут выступать группы аккумуляторных батарей или источник бесперебойного питания. Таким образом питание источников особой группы не должно прекращается ни на секунду.

Вторая категория. «К данной группе относятся потребители, при внезапном отключении электроэнергии которых могут последовать массовое возникновение брака или недоотпуска продукции, длительный простой рабочих, оборудования, техпроцесса, общее нарушению обычной жизнедеятельности большого количества городского и сельского населения.» [18].

Для данной группы также предусмотрено два независимых, взаимно резервирующих источника питания, но время на их переключение допускается больше [9]. Фактически, все так же, как у первой группы, но переключение на резервный источник питания происходит вручную, а не автоматически, значит и время простоя допускается больше.

Третья категория. «Категория, в которую не попали электропотребители первой и второй категории. Для неё допускается осуществления электроснабжения от одного источника, при условии, что на восстановление электропитания после поломки потребуется не более одних суток. Например, для обеспечения электропотребителей третьей категории можно использовать однострансформаторную КТП.» [19].

Следует учитывать, что деление на категории имеет целью разделить все объекты хозяйства, с целью отметить, какие из них самые важные. Увеличение категории тянет за собой и увеличение затрат на постройку и содержание.

С другой стороны, в учреждениях, где надежность действительно очень важна из-за особых обстоятельств, такое усложнение и избыточность играют ключевую роль в предотвращении худших последствий в случае сбоя питания [12].

Рассматриваемое нами производство относится к третьей категории.

Основными потребителями электроэнергии на данном производстве являются две экструзионные линии (в проекте обозначены как №1 и №2). Электропитание линий и дополнительного оборудования, обслуживающего данные линии, производится от существующих ТП №1 и ТП №2, установленных ранее по ТУ от 2014 и 2015 годов.

ТП №1 (№3668) и ТП №2 (№3774) расположены на прилегающей к цеху территории. В цехе расположены вводно-распределительные устройства ВРУ 0,4кВ (ВРУ-1, ВРУ-2 и ВРУ-3), от которых питаются в данный момент производственные линии и дополнительное оборудование.

Питающие сети от ТП №1 и №2 до ВРУ №1, №2 и №3 цеха — существующие и выполнены в земле, в траншее кабелем марки АВББШв-1кв.

Распределительные сети от существующих ВРУ к оборудованию производственных линий приложены кабелем марки ВВГнг-1s на кабельных конструкциях.

На территории, прилегающей к цеху, расположен существующий контур заземления, к которому присоединяются шины PEN существующих ВРУ.

По заданию данного проекта, нагрузки производственной линии №2 отключаются от существующих ТП и подключаются на вновь возводимую ТП 10\0,4 кВ (ТП №3).

ТП №3 будет расположена на прилегающей к цеху территории. Для подключения нагрузок производственной линии №2 в помещении цеха устанавливаются два новых ВРУ (№4 и №5).

Категория электроснабжения -III.

Напряжение питающей сети:

- высокая сторона -10 кВ;

– низкая сторона — 380/220в.

Рассмотрим основные этапы реализации данного проекта. Первое - прокладка питающей кабельной линии ТП №3 (нов.) (ТП №3911) - ВРУ N4 (проект). Марку и сечение кабеля необходимо определить. Кабели прокладываются в земле, в траншее, на глубине 1м от планировочной отметки земли.

Также прокладка питающей кабельной линии ТП N3 (нов.) (ТП №3911) — ВРУ №5(проект). Марку и сечение кабеля также необходимо определить. Кабели прокладываются в земле, в траншее, на глубине 1м от планировочной отметки земли.

Точная привязка ввода кабелей в здание цеха определяются по месту при монтаже после определения возможности прохода кабелей через стену (фундамент) здания. По всей длине в земле кабели прокладываются в трубах ПНД ДКС.

Далее - установка в помещении цеха двух вводно-распределительных устройств 0,4кВ (ВРУ №4 и ВРУ №5), к которым подключаются нагрузки производственной линии №2.

Зоны расположения ВРУ №4 и ВРУ №5 в помещении цеха необходимо обуславливать уже проложенными кабельными трассами к производственной линии №2.

После потребуется отключение нагрузок производственной линии №2 от ВРУ №1, ВРУ №2 и ВРУ №3 и подключение их к проектируемым ВРУ №4 и ВРУ №5. Автоматические выключатели на отключаемых фидерах остаются в качестве технологического резерва.

Кабельные трассы, в данный момент проложенные от ВРУ №1. ВРУ №2, ВРУ №3 к оборудованию производственной линии №2, по возможности, остаются действующими и переподключаются к проектируемым ВРУ №4 и ВРУ №5.

При присоединении шин PEN проектируемых ВРУ №4 и ВРУ №5 к существующему контуру заземления соединение выполняется оцинкованной

стальной полосой 40x4мм². Полоса прокладывается в земле, в траншее.

В проекте предоставлены расчеты мощностей:

- нагрузок производственных линий N1 и N2;
- нагрузок дополнительного оборудования, обслуживающего производственные линии;
- нагрузок общего потребления цеха;
- нагрузок, подключаемых к существующим ВРУ №1, ВРУ №2, ВРУ №3.

Все работы необходимо выполнить в соответствии с ПУЭ, ПТБ и ПТЭ.

1.4. Список основного и дополнительного оборудования

Производственная линия №1 - линия для производства монолитных панелей из поликарбоната методом соэкструзии. Производство Omira extrusion machinery, Италия. Год поставки — 2013. Номер заказа 2013010.

Конструктивно линия состоит из нескольких самостоятельных узлов, каждому из которых требуется электропитание.

Линия состоит из:

- стойки управления терморегуляцией. Предназначена для регулирования и поддержания температуры в заданных параметрах на экструдерах и фильере. Суммарная паспортная мощность — 150 кВт;
- стойки управления линейными двигателями. Предназначена для управления асинхронными двигателями с целью перемещением и регулирования скорости протяжки листа по линии. Суммарная паспортная мощность — 72 кВт;
- экструдер OM 120. Основной рабочий агрегат. Расплавляет и продавливает поликарбонатную массу через фильеру для дальнейшей формовки на линии. Паспортная мощность — 265 кВт;
- экструдер OM 45. Дополнительные экструдер. Необходим для

нанесения на лист защитного слоя для предотвращения негативного влияния ультрафиолетовых лучей или нанесения других добавок. Паспортная мощность — 40 кВт;

- центролиния. Представляет собой ёмкости для нагревания и перекачки воды под большим давлением. Обеспечивает нагрев каландровой группы, которая участвует в формовке листа. Суммарная паспортная мощность — 173 кВт;
- секция продольной резки. Обеспечивает возможность обрезки листа по ширине или разделение листа на несколько частей вдоль. Паспортная мощность — 12,5 кВт;
- секция поперечной резки. Необходима для отделения отдельных листов. Паспортная мощность — 16 кВт.

Суммарная паспортная мощность производственной линии №1 (монолит) составляет 728,5 кВт.

Производственная линия №2 - линия для производства полых панелей из поликарбоната методом соэкструзии. Производство Omipa extrusion machinery, Италия. Год поставки — 2010. Номер заказа 2009217.

Данная линия, как и первая, также состоит из нескольких отдельных блоков:

- экструдер OM 120. Основной рабочий агрегат. Расплавляет и продавлиывает поликарбонатную массу через фильеру для дальнейшей формовки на линии. Паспортная мощность — 200 кВт;
- шкаф управления линейными двигателями, терморегуляцией, отрезной машиной и соэкструдером OM45. Унифицированный агрегат. Отсюда идет все управление процессами нагрева и перемещения листа, а также нанесения защитного ультрафиолетового слоя с помощью вспомогательного экструдера и нарезка листов. Суммарная паспортная мощность — 196 кВт;
- центролиния. Представляет собой ёмкости для нагревания и перекачки воды под большим давлением. Обеспечивает нагрев

калибратора, который участвует в формовке листа. Суммарная паспортная мощность — 177 кВт;

– печь. Здесь проходит процедура повторного нагрева уже сформованного листа для уменьшения внутренних напряжений.

Паспортная мощность — 96 кВт.

Суммарная паспортная мощность производственной линии №2 (сота) составляет 663,0 кВт.

Дополнительное оборудование.

На производстве имеется три чиллера. Предназначены они для охлаждения воды, которая в дальнейшем подается для охлаждения производственной линии и используется для поддержания заданного температурного режима. Производственные линии №1 и №2 комплектуются чиллерами Carrier с паспортной мощностью 70 кВт. Также еще один чиллер мощностью в 35 кВт используется грануляторе.

Также в ходе производства используются воздушные компрессоры, приводящие в ход механизмы на линиях, а также служащие для вспомогательных целей. Всего в цеху 3 компрессора, паспортная мощность которых 7,5 кВт, 22,0 кВт и 12,0 кВт.

Поскольку Производственная линия крайне привередливая к влажности сырья, на линии используется электрическая сушилка фирмы Moretto с бункером объемом в 1,5 тонн для предварительного просушивания сырья, перед подачей на линию. Паспортная мощность — 89,1 кВт.

Вода, поступающая на производство, аккумулируется в гидробаке, откуда с помощью насосов подается на линии. Суммарная мощность насосов — 12 кВт.

Для подачи расходных материалов и возможности обслуживания линий используются 2 электрических подземных крана мощностью 4 и 2,5 кВт.

Отходы и отбраковка при производстве листов из поликарбоната можно использовать повторно. Для этого необходимо их передробить. Для этих целей используется дробильная машина мощностью 100 кВт. Монолитные листы

перед подачей в дробилку предварительно нарезаются на гильотинных ножницах — мощность 10 кВт.

Передробленное сырье направляется на грануляцию, после чего может использоваться повторно. Для этих целей служит экструдер для грануляции производства КНР. Суммарная мощность — 100 кВт.

Суммарная мощность дополнительного оборудования — 534,1 кВт.

Для удобства дальнейших расчетов, занесем известные данные в таблицы 1-3.

Таблица 1 - Паспортная мощность производственной линии №1

Потребитель	Р уст. кВт
Терморегуляция	150,0
Линейные двигатели	72,0
Экструдер ОМ 120	265,0
Продольная резка	12,5
Созэкструдер ОМ 45	40,0
Поперечная резка	16,0
Центролиния	173,0
ИТОГО	728,5

Таблица 2 - Паспортная мощность производственной линии №2

Потребитель	Р уст. кВт
Экструдер ОМ120	200,0
Центролиния	177,0
Терморегуляция и линейные двигатели	196,0
Печь	96,0
ИТОГО	663,0

Таблица 3 - Паспортная мощность доп. оборудования

Потребитель	Р уст. кВт
Чиллер №1	70,0
Эл. сушилка	89,1
Гидробак	12,0
Компрессор №1	7,5
Кран 2 т	4,0
Кран 0.5 т	2,5
Чиллер №2	70,0
Дробилка	100,0
Гильотина	10,0
Компрессор №2	22,0
Станок Китай	100,0
Чиллер №3	35,0
Компрессор №3	12,0
ИТОГО	534,1

В качестве основных проектных требований предъявлены следующие положения:

- необходимость выбора количества и мощности трансформаторных подстанций;
- необходимость выбора сечения и марки используемых кабелей при трассировке линий;
- необходимость выбора аппаратуры коммутации, измерения и защиты линий от токов короткого замыкания;
- необходимость светотехнического расчета, выбора числа и мощности светильников;
- необходимость составления схемы внешнего электроснабжения цеха.

2 Проектирование системы электроснабжения

2.1 Расчет силовых электрических нагрузок

2.1.1 Методология расчета нагрузок

Необходимость расчета электрических нагрузок возникает по двум основным причинам.

Первая: имея представление, какая мощность необходима для используемого оборудования, мы узнаем, какую выделенную мощность нам необходима [14]. Эта цифра будет использоваться при проведении переговоров с энергоснабжающей компанией.

Вторая: расчетная мощность потребителей есть фундаментом для подбора аппаратов коммутации, выбора защитных аппаратов, решения о необходимом сечении проводов [14].

После выполнения расчета электрических нагрузок для всех наших потребителей, мы узнаем суммарную расчетную мощность (расчетный ток). Отталкиваясь от полученной величины, будем проводить последующие просчеты.

Для правильного выполнения расчетов необходимо знать установленную мощность для всех электроприемников и расчетные коэффициенты [7].

Установленная мощность — если оперировать простым языком — установленная мощность есть суммарная мощность всех установленных потребителей электрической энергии. Взять эти значения мы можем из документации на электроприемники или у производителя. Но нельзя считать суммарную установленную мощность фактической мощностью потребления. Чтобы узнать фактические объемы будущего потребления нам необходимо учитывать определенные коэффициенты [23].

К ним относятся коэффициент спроса, коэффициент использования и коэффициент мощности ($\cos \varphi$).

«Коэффициент спроса — это отношение совмещенного получасового максимума нагрузки электроприемников к их суммарной установленной мощности» [18]. Данная величина вводится для понимания того, что все электроприемники не будут работать одновременно, но показывает средний процент использования оборудования.

$$K_c = P_p/P_y; \quad (1)$$

где P_p – расчетная электрическая нагрузка, кВт;

P_y – установленная мощность электроприемников, кВт.

Коэффициент использования — это отношение фактически потребляемой мощности к установленной мощности за определенный период времени [5].

$$K_{\text{и}} = P/P_y; \quad (2)$$

Коэффициент мощности $\cos\varphi$ — это отношение активной мощности, потребляемой нагрузкой к ее полной мощности [24].

$$\cos\varphi = P_y/S; \quad (3)$$

где P_y – активная мощность, кВт;

S – полная мощность, кВА.

Подключая объект к электрической сети, очень важно знать примерную мощность, для представления количества потребляемой электроэнергии, поскольку мощности генерирующих объектов не безграничны, и при превышении данных значений возможны разного рода неисправности и ЧП.

«Определение установленной мощности на законодательном уровне содержится в ст. 3 ФЗ Об электроэнергетике. Установленная мощность представляет электрическую мощность объекта, которые генерирует

(вырабатывает, подает) электроэнергию. Мощность определяется на дату ввода в эксплуатацию объекта производства.» [10].

Говоря простыми словами — значение установленной мощности необходимо для определения технической возможности присоединения к электрическим сетям.

Значение установленной мощности применяется не только к генерирующим объектам, но и непосредственно к потребителям электроэнергии [26].

В применении как к бытовому, так и промышленному электрооборудованию номинальную мощность потребления — это количество электрического тока, потребляемое во время нормальной работы оборудования.

Для расчета установленной мощности необходимо использовать номинальную мощность и активное время работы всех электроустройств [17].

Подобный расчет мощности позволит узнать максимально возможный уровень потребления электричества и даст возможность правильно подобрать устройства защиты и автоматики, которые срабатывают при превышении уровня мощности.

Для расчета используют показатели (параметры) подключенной техники.

Установленная мощность рассчитывается исходя из данных, указанных в паспортах и сопроводительной документации на оборудование, и присваивается производителем [5]. Данное значение позволяет иметь представление о работе оборудования в бесперебойном режиме на долгом промежутке времени.

При применении термина Расчетная мощность, мы имеем ввиду не то количество электрической энергии, которую потребит наше производство по мнению производителя, а фактическое значение в реальной работе, которое может быть как выше, так и ниже, в зависимости от обстоятельств и характера эксплуатации.

Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) — «это параметр, характеризующий искажения формы тока, потребляемого от электросети переменного тока» [9].

«Крайне важный показатель для потребителя электроэнергии. Он в большинстве своем определяет требования к питающей сети. От него зависят потери в проводах и на внутреннем сопротивлении сети.» [10]

«Коэффициент мощности математически можно интерпретировать как косинус угла между векторами тока и напряжения. Поэтому в случае синусоидальных напряжения и тока величина коэффициента мощности совпадает с косинусом угла, на который отстают соответствующие фазы» [11].

«В цепях постоянного тока мощность, впрочем, как и все остальные параметры, не меняет своего значения в течение определенного отрезка времени. Поэтому, при постоянном токе, существует единственное понятие электрической мощности как произведение значений тока и напряжения.» [12].

Для примера, рассчитаем расчётную мощность терморегуляции для производственной линии №1.

$$P_{\text{расч}} = 150_{\text{кВт}} \cdot 0,6 = 90\text{кВт};$$

Значит расчётная мощность терморегуляции составляет 90 кВт.

Дальше необходимо рассчитать расчётную полную мощность. Для этого разделим установленную мощность на $\cos\phi$. Мы используем именно установленную мощность, а не расчетную, поскольку нам нужно знать максимально возможную мощность, для расчета максимальной нагрузки и выбора аппаратов защиты и линий электропередач.

$$S_{\text{расч}} = \frac{150}{0,95} = 157,9\text{кВА};$$

Рассчитаем расчётный ток:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{157,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 240,2\text{А}$$

Значит расчётный ток в линии питания терморегуляции будет составлять 240,2 А. От этого значения мы и будем отталкиваться в наших дальнейших расчётах.

Проведя аналогичные расчеты для других потребителей, занесем данные в таблицы.

Хотя иногда придется отступить от расчетов.

Например, при проведении аналогичных расчетов для экструдера ОМ 120 мы получим:

$$S_{\text{расч}} = \frac{265}{0,94} = 282\text{кВА};$$
$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{расч}}}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{282}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 407\text{А}$$

Но паспортные данные на двигатель Siemens, установленный на экструдере, указывают, что максимальная сила тока двигателя составляет 480 А. Аналогично для экструдера на Производственной линии №2 максимальная сила тока двигателя составляет 350 Ампер. Поэтому, опираться в наших расчетах мы будем именно на эту цифру.

После расчета значений нагрузок для всех электроприемников подсчитаем суммарное потребление и нагрузку на каждую производственную линию, потребление доп. оборудования и суммарную нагрузку всего производства.

Приведем пример для производственной линии №1.

Сложив вместе все расчетные мощности оборудования, получаем цифру в 728,5 кВт суммарной установленной мощности и 793 кВА полной мощности. Исходя из этих значений можем вычислить $\cos\varphi$ в 0,92.

Суммарная максимальная сила тока — 1222,2 А. Учитывая коэффициент спроса в 0,6 расчетная суммарная нагрузка производственной линии №1 — 733,0 А.

2.1.2 Непосредственный расчет нагрузок цеха

Используя методы, приведенные в подразделе 2.1.1 проведем расчеты для всех потребителей производства. Сгруппировав потребителей занесем данные в таблицы 4-7.

Таблица 4 - Расчетные нагрузки производственной линии №1 (монолит)

Потребитель	Р уст. кВт	Р расч. кВт	$\cos \varphi$	S расч. кВА	I расч. А	Точка подкл.
Терморегуляция	150,0	90	0,95	157,9	240,2	ВРУ-1
Линейные двигатели	72,0	43,2	0,85	85,0	130,0	ВРУ-1
Экструдер ОМ 120	265,0	159,0	0,94	282,0	480,0	ВРУ-2
Продольная резка	12,5	7,5	0,85	14,7	22,4	ВРУ-2
Созкструдер ОМ 45	40,0	24,0	0,94	42,6	65,0	ВРУ-2
Поперечная резка	16,0	9,6	0,85	18,8	28,6	ВРУ-2
Центролиния	173,0	103,8	0,9	192,0	292,0	ВРУ-3
ИТОГО	728,5	437,1	-	793	1258,2	-
С учетом $K_c = 0,6$	437,1	437,1	0,92	475,8	755,0	-

Таблица 5 - Расчетные нагрузки производственной линии №2 (сота).

Потребитель	Р уст. кВт	Р расч. кВт	cos φ	S расч. кВА	I расч. А	Точка подкл.
Экструдер ОМ120	200,0	120	0,94	213,0	350,0	ВРУ-4 (проект)
Центролиния	177,0	106,2	0,9	196,6	299,0	ВРУ-4 (проект)
Терморегуляция и линейные двигатели	196,0	117,6	0,9	218,0	331,0	ВРУ-5 (проект)
Печь	96,0	57,6	0,95	101,0	154,0	ВРУ-5 (проект)
ИТОГО	669,0	401,4	-	728,6	1134,0	-
С учетом Kс = 0,6	401,4	401,4	0,92	437,2	680,4	-

Таблица 6 - Расчет потребляемой мощности дополнительного оборудования

Потребитель	Р уст. кВт	Р расч. кВт	cos φ	S расч. кВА	I расч. А	Точка подкл.
Чиллер №1	70,0	56,0	0,9	78,0	118,6	РУ-4
Эл. сушилка	89,1	71,3	0,95	93,7	142,5	РУ-4
Гидробак	12,0	9,6	0,9	13,3	20,2	РУ-4
Компрессор №1	7,5	6,0	0,85	8,8	13,4	РУ-4
Кран 2 т	4,0	3,2	0,9	4,4	6,0	ВРУ-2
Кран 0.5 т	2,5	2,0	0,9	2,8	4,0	ВРУ-2
Чиллер №2	70,0	56,0	0,85	82,4	125,0	РУ-5
Дробилка	100,0	80,0	0,85	117,6	178,3	РУ-5
Гильотина	10,0	8,0	0,85	11,8	18,0	РУ-5
Компрессор №2	22,0	17,6	0,8	27,5	42,0	РУ-5
Станок Китай	100,0	80,0	0,85	117,6	178,3	РУ-6
Чиллер №3	35,0	28,0	0,85	41,2	62,4	РУ-6
Компрессор №3	12,0	9,6	0,8	15,0	23,0	РУ-6
ИТОГО	534,1	427,3	-	614,1	931,7	-
С учетом Kс = 0,8	427,3	427,3	0,88	491,3	745,4	-

Таблица 7 - Общее потребление цеха

Потребитель	Р уст. кВт	Р расч. кВт	cos φ	S расч. кВА	I расч. А
Производственная линия №1	728,5	437,1	0,92	475,8	755,0
Производственная линия №2	669,0	401,4	0,92	437,2	680,4
Доп. оборуд.	534,1	427,3	0,88	491,3	745,4
Освещение	10,0	10,0	0,95	10,5	16,0
Офис	5,0	5,0	0,95	5,3	7,8
ИТОГО	1946,6	1280,8	0,9	1420,1	2204,3
С учетом Kс = 0,9	1751,9	1152,7	-	1278,1	1983,9

Но поскольку наши потребители подключены не все вместе, а сгруппированы по распределительным устройствам и ВРУ, необходимо теперь рассчитать нагрузки для каждой из таких групп.

Рассчитаем нагрузки для ВРУ №1, ВРУ №2, ВРУ №3, ВРУ №4, ВРУ №5, а также РУ-4, РУ-5 и РУ-6. Данные заносятся в таблицы 8 - 15

Таблица 8 - Расчётные нагрузки РУ-4

Потребитель	Р уст. кВт	Р расч. кВт	cos φ	S расч. кВА	I расч. А	Примеч.
Чиллер №1	70,0	56,0	0,9	78,0	118,6	Доп. оборуд.
Эл. сушилка	89,1	71,3	0,95	93,7	142,5	Доп. оборуд.
Гидробак	12,0	9,6	0,9	13,3	20,2	Доп. оборуд.
Компрессор №1	7,5	6,0	0,85	8,8	13,4	Доп. оборуд.
ИТОГО	178,6	142,9	0,92	193,8	294,7	-
С учетом Kс = 0,8	142,9	142,9	-	155,0	235,76	-

Таблица 9 - Расчётные нагрузки РУ-5

Потребитель	Р уст. кВт	Р расч. кВт	cos φ	S расч. кВА	I расч. А	Примеч.
Чиллер №2	70,0	56,0	0,85	82,4	125,0	Доп. оборуд.
Дробилка	100,0	80,0	0,85	117,6	178,3	Доп. оборуд.
Гильотина	10,0	8,0	0,85	11,8	18,0	Доп. оборуд.
Компрессор №2	22,0	17,6	0,8	27,5	42,0	Доп. оборуд.
ИТОГО	202,0	161,6	0,84	239,3	363,3	-
С учетом Kс = 0,8	161,6	161,6	-	191,4	290,6	-

Таблица 10 -Расчётные нагрузки РУ-6

Потребитель	Р уст. кВт	Р расч. кВт	cos φ	S расч. кВА	I расч. А	Примеч.
Станок Китай	100,0	80,0	0,85	117,6	178,3	Доп. оборуд.
Чиллер №3	35,0	28,0	0,85	41,2	62,4	Доп. оборуд.
Компрессор №3	12,0	9,6	0,8	15,0	23,0	Доп. оборуд.
ИТОГО	147,0	117,6	0,85	173,8	263,7	-
С учетом Kс = 0,8	117,6	117,6	-	139,0	211,0	-

Таблица 11 - Расчётные нагрузки ВРУ-1

Потребитель	Р уст. кВт	Р расч. кВт	cos φ	S расч. кВА	I расч. А	Примеч.
Терморегуляция	150,0	90	0,95	157,9	240,2	Линия №1
Линейные двигатели	72,0	43,2	0,85	85,0	130,0	Линия №1
РУ-4	178,6	142,9	0,92	193,8	294,7	Доп. оборуд.
ИТОГО	400,6	320,5	-	436,7	665,0	-
С учетом Kс = 0,8	320,5	320,5	0,92	349,4	532,0	-

Таблица 12 - Расчётные нагрузки ВРУ-2

Потребитель	Р уст. кВт	Р расч. кВт	cos φ	S расч. кВА	I расч. А	Примеч.
Экструдер ОМ 120	265,0	159,0	0,94	282,0	480,0	Линия №1
Продольная резка	12,5	7,5	0,85	14,7	22,4	Линия №1
Созэкструдер ОМ 45	40,0	24,0	0,94	42,6	65,0	Линия №1
Поперечная резка	16,0	9,6	0,85	18,8	28,6	Линия №1
Кран 2 т	4,0	3,2	0,9	4,4	6,0	Доп. оборуд.
Кран 0.5 т	2,5	2,0	0,9	2,8	4,0	Доп. оборуд.
ИТОГО	340,0	205,3	-	365,3	606,0	-
С учетом Kc = 0,8	205,3	205,3	0,92	292,2	484,8	-

Таблица 13 - Суммарная нагрузка ВРУ-3

Потребитель	Р уст. кВт	Р расч. кВт	cos φ	S расч. кВА	I расч. А	Примеч.
Центролиния	173,0	103,8	0,9	192,0	292,0	Линия №1
РУ-5	202,0	161,6	0,84	239,3	363,3	Доп. оборуд.
РУ-6	147,0	117,6	0,85	173,8	263,7	Доп. оборуд.
ИТОГО	522,0	365,4	-	605,1	919,0	-
С учетом Kc = 0,7	365,4	365,4	0,87	423,6	644,3	-

Таблица 14 - Суммарная нагрузка ВРУ-4

Потребитель	Р уст. кВт	Р расч. кВт	cos φ	S расч. кВА	I расч. А	Примеч.
Экструдер ОМ120	200,0	120	0,94	213,0	350,0	Линия №2
Центролиния	177,0	106,2	0,9	196,6	299,0	Линия №2
ИТОГО	377,0	301,6	-	409,6	649,0	-
С учетом Kс = 0,8	301,6	301,6	0,92	328,0	520,0	-

Таблица 15 - Суммарная нагрузка ВРУ-5

Потребитель	Р уст. кВт	Р расч. кВт	cos φ	S расч. кВА	I расч. А	Примеч.
Терморегуляция и линейные двигатели	196,0	117,6	0,9	218,0	331,0	Линия №2
Печь	96,0	57,6	0,95	101,0	154,0	Линия №2
ИТОГО	292	233,6	-	319,0	485,0	-
С учетом Kс = 0,8	233,6	233,6	0,92	255,2	388,0	-

2.2 Расчет токов короткого замыкания

Вычисление токов короткого замыкания производится с целью выбора электрических аппаратов, проверки устойчивости элементов схемы про электродинамическом и термическом и термическом действии токов КЗ и для расчета релейной защиты [28].

«Для вычисления токов коротких замыканий составляется расчетная схема, включающая все элементы, по которым протекают токи к выбранным точкам. На схеме приводятся основные параметры оборудования, которые

потребуется для последующего расчета. По расчетной схеме составляется схема замещения, в которой каждый элемент заменяется своим сопротивлением. Генераторы, трансформаторы, высоковольтные линии и короткие участки распределительных сетей обычно представляются индуктивными сопротивлениями» [25].

При определении токов короткого замыкания используются следующие соотношения:

- для трехфазного тока короткого замыкания, кА:

$$I_K^{(3)} = \frac{V_K}{\sqrt{3}Z_K}; \quad (4)$$

где V_K – линейное напряжение в точке короткого замыкания, кВ;

Z_K – полное сопротивление до точки КЗ, Ом.

- для двухфазного тока короткого замыкания, кА:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_K^{(3)} = 0,87 I_K^{(3)}; \quad (5)$$

- для однофазного фазного тока короткого замыкания, кА:

$$I_K^{(1)} = \frac{V_{K\phi}}{Z_n + \frac{Z_T^{(1)}}{3}}, \quad (6)$$

где $V_{K\phi}$ – фазное напряжение в точке короткого замыкания, кВ;

Z_n – полное сопротивление в петле «фаза-нуль» до точки короткого замыкания, Ом;

$Z_T^{(1)}$ – полное сопротивление трансформатора 1-фазному короткому замыканию, Ом.

- для ударного тока короткого замыкания, кА:

$$i_y = \sqrt{2}K_y I_k^{(3)}; \quad (7)$$

где « K_y – ударный коэффициент» [15].

Ударный коэффициент определяется по графику:

$$K_y = F\left(\frac{R_k}{X_k}\right); \quad (8)$$

Рассмотрим способы определения сопротивления схем замещения.

Для силовых трансформаторов – исходя из данных таблицы 16 или путем расчётов исходя из соотношений:

$$R_T = \Delta P_k \left(\frac{V_{HH}}{S_T}\right)^2 \cdot 10^6; \quad (9)$$

$$Z_T = u_k \frac{V_{HH}^2}{S_T} \cdot 10^4; \quad (10)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}, \quad (11)$$

«где ΔP_k – потери мощности КЗ, кВт» [15];

u_k – напряжение КЗ, %;

V_{HH} – линейное напряжение обмотки НН, кВ;

S_T – полная мощность трансформатора, кВ·А.

Для коммутационных и защитных аппаратов – по таблице 17.
Сопротивления зависят от $I_{н.а}$ аппарата.

Для распределительных ступеней – исходя из данных таблицы 19.

Для кабельных и воздушных линий ЭС и шинопроводов – исходя из соотношений:

$$R_{л} = r_0 L_{л}; \quad (12)$$

$$X_{л} = x_0 L_{л}, \quad (13)$$

где r_0 и x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления, мОм/м;
 $L_{л}$ – протяженность линии, м.

Сопротивления (удельные) для расчета трех- и двухфазных токов короткого замыкания берутся из таблиц 18-20. В случае отсутствия данных, их можно определить также путем расчетов

Сопротивления элементов при высоком напряжении следует сводить к низким, используя следующие формулы:

$$R_{НН} = R_{ВН} \left(\frac{V_{НН}}{V_{ВН}} \right)^2; \quad (14)$$

$$X_{НН} = X_{ВН} \left(\frac{V_{НН}}{V_{ВН}} \right)^2, \quad (15)$$

где $R_{НН}$ и $X_{НН}$ – сопротивления, приведенные к НН, мОм;

$R_{ВН}$ и $X_{ВН}$ – активное и индуктивное сопротивления на стороне ВН, мОм;

$V_{НН}$ и $V_{ВН}$ – напряжения низкое и высокое, кВ.

Таблица 16 – Сопротивление трансформаторов 10/0,4 кВ

Мощность, кВ·А	R_T , мОм	X_T , мОм	Z_T , мОм	$Z_T^{(1)}$, мОм
25	153,9	243,6	287	3110
40	88	157	180	1949
63	52	102	114	1237

Продолжение таблицы 16

Мощность, кВ·А	R_T , мОм	X_T , мОм	Z_T , мОм	$Z_T^{(1)}$, мОм
100	31,5	64,7	72	779
160	16,6	41,7	45	487
250	9,4	27,2	28,7	312
400	5,5	17,1	18	195
630	3,1	13,6	14	129
1000	2	8,5	8,8	81
1600	1	5,4	5,4	54

Таблица 17 – Значение сопротивлений автоматических выключателей, рубильников, разъединителей до 1 кВ

$I_{н.а}$, А	Автомат			Рубильник	Разъединитель
	R_a , мОм	X_a , мОм	$R_{п}$, мОм	R , мОм	R , мОм
50	5,5	4,5	1,3	–	–
70	2,4	2	1	–	–
100	1,3	1,2	0,75	0,5	–
150	0,7	0,7	0,7	0,45	–
200	0,4	0,5	0,6	0,4	–
400	0,15	0,17	0,4	0,2	0,2
600	11,12	0,13	0,25	0,15	0,15
1000	0,1	0,1	0,15	0,08	0,08
1600	0,08	0,08	0,1	–	0,06
2000	11,07	0,08	0,08	–	0,03
2500	0,06	0,07	0,07	–	0,03
3000	0,05	0,07	0,06	–	0,02
4000	0,04	0,05	0,05	–	–

Таблица 18 – Значение переходных сопротивлений на ступенях распределения

Ступень	Место	$R_{ст},$ МОм	Дополнительные сведения
1	Распределительные устройства подстанции	15	Используются при отсутствии достоверных данных о контактах и переходных сопротивлений в сетях, питающихся от цеховых трансформаторов мощностью до 2500 кВ·А включительно
2	Первичные распределительные цеховые пункты	20	
3	Вторичные распределительные цеховые пункты	25	
4	Аппаратура управления электроприемников, получающих питание от вторичных РП	30	

Таблица 19 – Значения удельных сопротивлений кабелей, проводов

S жилы, мм ²	$r_0, \text{МОм/м при } 20^\circ\text{C жилы}$		$x_0, \text{МОм/м}$	
	Al	Cu	Кабель с бумажной поясной изоляцией	Три провода в трубе или кабель с любой изоляцией (кроме бумажной)
	2	3	4	5
1	–	18,5	–	0,133
1,5	–	12,3	–	0,126
2,5	12,5	7,4	0,104	0,116
4	7,81	4,63	0,095	0,107
6	5,21	3,09	0,09	0,1
10	3,12	1,84	0,073	0,099
16	1,95	1,16	0,0675	0,095
25	1,25	0,74	0,0662	0,091
35	0,894	0,53	0,0637	0,088

Продолжение таблицы 19

1	2	3	4	5
50	0,625	0,37	0,0625	0,085
70	0,447	0,265	0,0612	0,082
95	0,329	0,195	0,0602	0,081
120	0,261	0,154	0,0602	0,08
150	0,208	0,124	0,0596	0,079
185	0,169	0,1	0,0596	0,78
240	0,13	0,077	0,0587	0,077

Таблица 20 – Значения удельных сопротивлений комплектных шинопроводов

Параметры	Тип комплектного шинопровода						
	ШМА				ШРА		
I_n, A	1250	1600	2500	3200	250	400	630
$r_0, \text{МОм/м}$	0,034	0,03	0,017	0,015	0,21	0,015	0,01
$x_0, \text{МОм/м}$	0,016	0,014	0,008	0,008	0,21	0,017	0,13
$r_{0п(ф-0)}, \text{МОм/м}$	0,068	0,06	0,034	0,03	0,42	0,3	0,2
$x_{0п(ф-0)}, \text{МОм/м}$	0,053	0,06	0,075	0,044	0,42	0,24	0,26
$z_{0п(ф-0)}, \text{МОм/м}$	0,086	0,087	0,082	0,053	0,59	0,38	0,33

Произведем расчет сопротивлений и занесем полученные данные на схему замещения.

Для системы:

$$I_c = \frac{S_T}{\sqrt{3}V_c} = \frac{630}{1,73 \cdot 10} = 36,42 \text{ A.}$$

Наружная ВЛ АС-3×10/1,8:

$$I_{\text{доп}} = 84 \text{ А};$$

$$x_0 = 0,4 \text{ Ом/км};$$

$$X'_c = x_0 L_c = 0,4 \cdot 3 = 1,2 \text{ Ом};$$

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma S} = \frac{10^3}{30 \cdot 10} = 3,33 \text{ Ом/км};$$

$$R'_c = r_0 L_c = 3,33 \cdot 3 = 10 \text{ Ом}.$$

Сопротивления приводятся к НН:

$$R_c = R'_c \left(\frac{V_{\text{НН}}}{V_{\text{ВН}}} \right)^2 = 10 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 16 \text{ мОм};$$

$$X_c = X'_c \left(\frac{V_{\text{НН}}}{V_{\text{ВН}}} \right)^2 = 1,2 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 1,92 \text{ мОм}.$$

Для трансформатора по справочным данным:

$$R_T = 3,1 \text{ мОм};$$

$$X_T = 13,6 \text{ мОм};$$

$$Z_T^{(1)} = 129 \text{ мОм}.$$

Для коммутационных устройств и кабельных линий данные берем из таблиц 17-19.

Для шинпровода ШМА 1600 исходя из справочных данных:

$$r_0 = 0,03 \text{ мОм/м}; x_0 = 0,014 \text{ мОм/м};$$

$$R_{\text{ш}} = r_0 L_{\text{ш}} = 0,03 \cdot 2 = 0,06 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{ш}} = x_0 L_{\text{ш}} = 0,014 \cdot 2 = 0,028 \text{ Ом}.$$

Для шинпровода ШМА 1250 исходя из справочных данных:

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

$$R_{\text{ш}} = r_0 L_{\text{ш}} = 0,034 \cdot 2 = 0,068 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{ш}} = x_0 L_{\text{ш}} = 0,016 \cdot 2 = 0,032 \text{ Ом}.$$

Для ступеней распределения исходя из справочным данным:

$$R_{c1} = 15 \text{ мОм};$$

$$R_{c2} = 20 \text{ мОм}.$$

$$R_{c3} = 25 \text{ мОм}.$$

Составим чертёж схемы электроснабжения для самого удалённого участка цепи электропитания, которым у нас является дробилка (рисунок 1). После чего, на основании схемы электроснабжения составим схему замещения (рисунок 2).

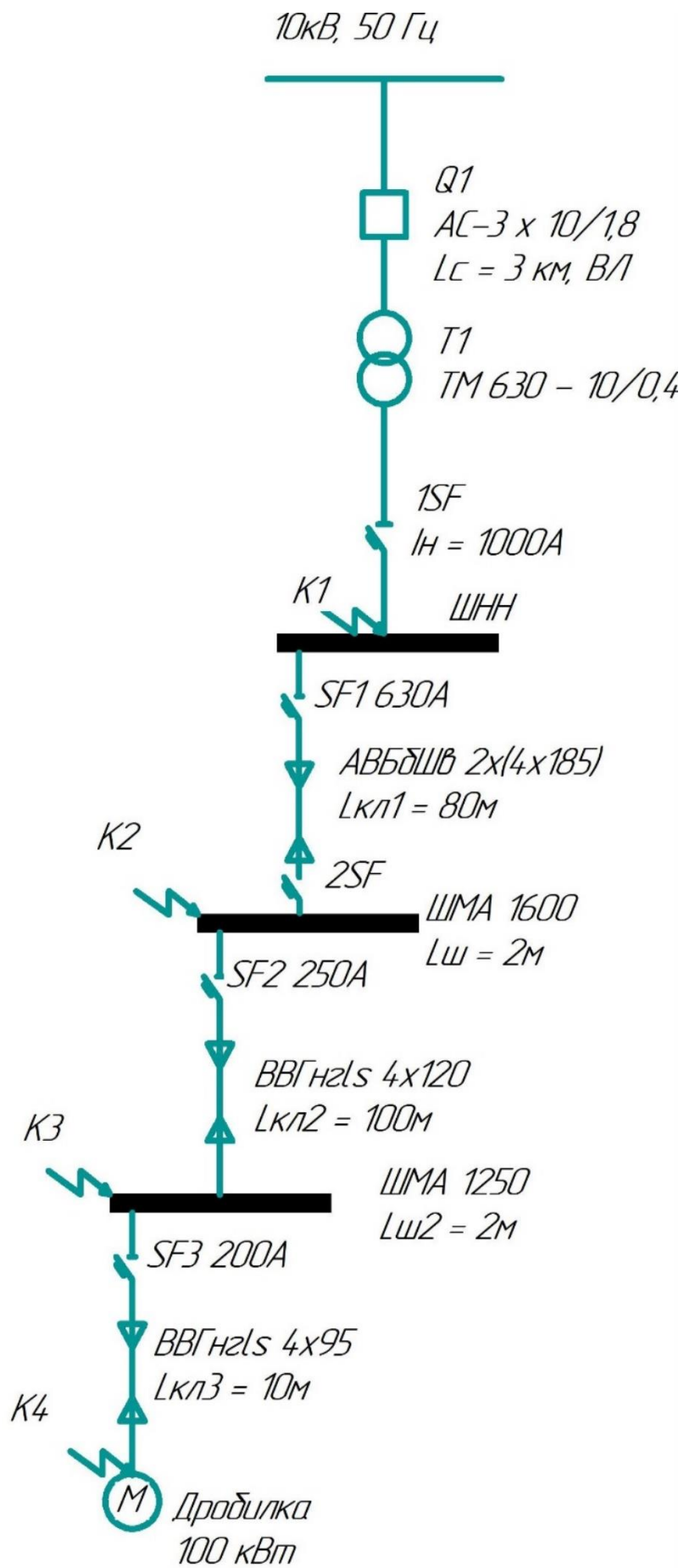


Рисунок 1 – Схема ЭСН

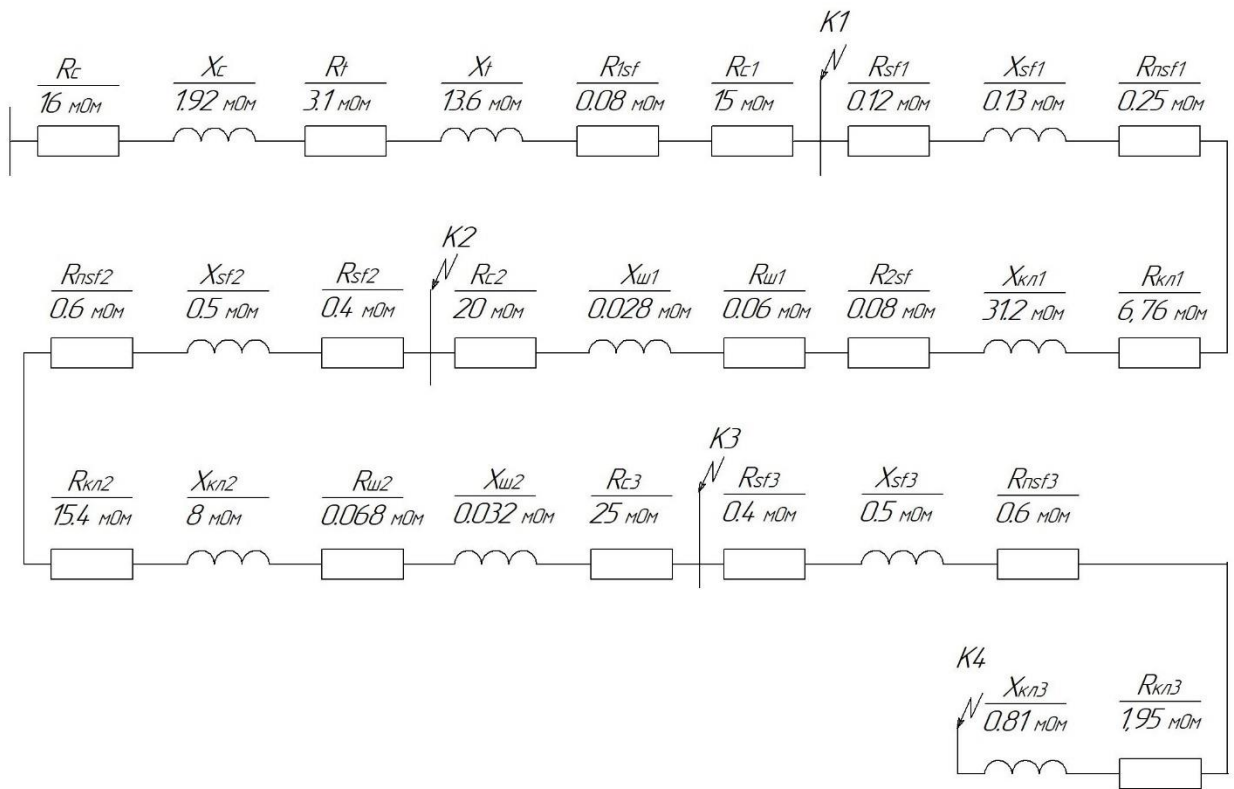


Рисунок 2 – Схема замещения

Схема замещения упрощается, вычисляются эквивалентные сопротивления на участках между точками короткого замыкания и наносятся на схему (рисунок 3):

$$\begin{aligned}
 R_1 &= R_c + R_T + R_{1SF} + R_{c1} = \\
 &= 16 + 3,1 + 0,08 + 15 = 34,18 \text{ МОм}; \\
 X_1 &= X_c + X_T = 1,92 + 13,6 = 15,52 \text{ МОм}; \\
 R_2 &= R_{SF1} + R_{nSF1} + R_{кл1} + R_{ш1} + R_{2SF} + R_{c2} = \\
 &= 0,12 + 0,25 + 6,76 + 0,06 + 0,08 + 20 = 27,27 \text{ МОм}; \\
 X_2 &= X_{SF1} + X_{кл1} + X_{ш} = 0,13 + 31,2 + 0,028 = 31,36 \text{ МОм}; \\
 R_3 &= R_{SF2} + R_{nSF2} + R_{кл2} + R_{ш2} + R_{c3} = \\
 &= 0,4 + 0,6 + 15,4 + 0,068 + 25 = 41,47 \text{ МОм}; \\
 X_3 &= X_{SF2} + X_{кл2} + X_{ш2} = 0,5 + 8 + 0,032 = 8,53 \text{ МОм}. \\
 R_4 &= R_{SF3} + R_{nSF3} + R_{кл3} = 0,4 + 0,6 + 1,95 = 2,95 \text{ МОм};
 \end{aligned}$$

$$X_3 = X_{SF3} + X_{кЛ3} = 0,5 + 0,81 = 1,31 \text{ мОм.}$$

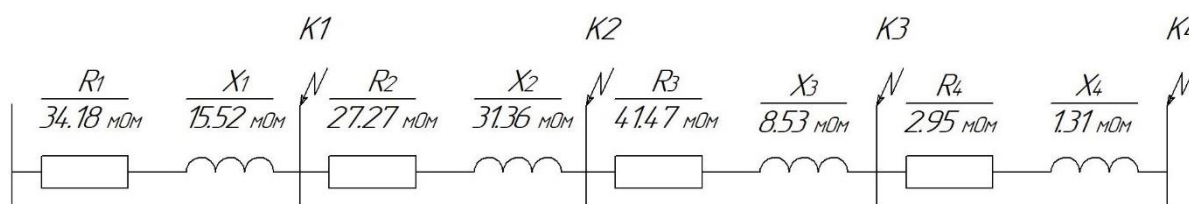


Рисунок 3 – Схема замещения упрощенная

Следует вычислить сопротивления также до каждой точки короткого замыкания и также занести в «Сводную ведомость» (таблица 21):

$$R_{к1} = R_{\text{э}1} = 34,18 \text{ мОм}; X_{к1} = X_{\text{э}1} = 15,52 \text{ мОм};$$

$$Z_{к1} = \sqrt{R_{к1}^2 + X_{к1}^2} = \sqrt{34,18^2 + 15,52^2} = 37,54 \text{ мОм};$$

$$R_{к2} = R_{\text{э}1} + R_{\text{э}2} = 34,18 + 27,27 = 61,45 \text{ мОм};$$

$$X_{к2} = X_{\text{э}1} + X_{\text{э}2} = 15,52 + 31,36 = 46,88 \text{ мОм};$$

$$Z_{к2} = \sqrt{R_{к2}^2 + X_{к2}^2} = \sqrt{61,45^2 + 46,88^2} = 77,3 \text{ мОм};$$

$$R_{к3} = R_{к2} + R_{\text{э}3} = 61,45 + 4,147 = 102,9 \text{ мОм};$$

$$X_{к3} = X_{к2} + X_{\text{э}3} = 46,88 + 8,53 = 55,41 \text{ мОм};$$

$$Z_{к3} = \sqrt{R_{к3}^2 + X_{к3}^2} = \sqrt{102,9^2 + 55,41^2} = 116,87 \text{ мОм};$$

$$R_{к4} = R_{к3} + R_{\text{э}4} = 102,9 + 2,95 = 105,85 \text{ мОм};$$

$$X_{к4} = X_{к3} + X_{\text{э}4} = 55,41 + 1,31 = 56,72 \text{ мОм};$$

$$Z_{к4} = \sqrt{R_{к4}^2 + X_{к4}^2} = \sqrt{105,85^2 + 56,72^2} = 120,09 \text{ мОм};$$

$$\frac{R_{к1}}{X_{к1}} = \frac{34,18}{15,52} = 2,20; \quad \frac{R_{к2}}{X_{к2}} = \frac{61,45}{46,88} = 1,31;$$

$$\frac{R_{к3}}{X_{к3}} = \frac{102,9}{55,41} = 1,86; \quad \frac{R_{к4}}{X_{к4}} = \frac{105,85}{56,72} = 1,87.$$

Определим коэффициенты K_y и q :

$$K_{y1} = F\left(\frac{R_{K1}}{X_{K1}}\right) = F(2,20) = 1,0;$$

$$K_{y2} = F\left(\frac{R_{K2}}{X_{K2}}\right) = F(1,31) = 1,0;$$

$$K_{y3} = F\left(\frac{R_{K3}}{X_{K3}}\right) = F(1,86) = 1,0;$$

$$K_{y4} = F\left(\frac{R_{K4}}{X_{K4}}\right) = F(1,87) = 1,0;$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2} = \sqrt{1 + 2(1,0 - 1)^2} = 1;$$

$$q_2 = q_3 = q_4 = 1.$$

Трех и двухфазные токи коротких замыканий также рассчитываются и заносятся в «Ведомость»:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{V_{K1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 37,54} = 6,16 \text{ кА};$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{V_{K2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 77,3} = 2,84 \text{ кА};$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{V_{K3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 116,87} = 1,88 \text{ кА};$$

$$I_{K4}^{(3)} = \frac{V_{K3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K4}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 120,09} = 1,83 \text{ кА};$$

$$I_{yK1} = q_1 I_{K1}^{(3)} = 6,16 \text{ кА};$$

$$I_{yK2} = q_2 I_{K2}^{(3)} = 2,84 \text{ кА};$$

$$I_{yK3} = q_3 I_{K3}^{(3)} = 1,88 \text{ кА};$$

$$I_{yK4} = q_3 I_{K4}^{(3)} = 1,83 \text{ кА};$$

$$i_{yK1} = \sqrt{2} K_{y1} I_{K1}^{(3)} = 1,41 \cdot 1,0 \cdot 6,16 = 8,67 \text{ кА};$$

$$i_{yк2} = \sqrt{2}K_{y2}I_{к2}^{(3)} = 1,41 \cdot 2,84 = 4 \text{ кА};$$

$$i_{yк3} = \sqrt{2}K_{y3}I_{к3}^{(3)} = 1,41 \cdot 1,88 = 2,65 \text{ кА};$$

$$i_{yк4} = \sqrt{2}K_{y4}I_{к4}^{(3)} = 1,41 \cdot 1,83 = 2,58 \text{ кА};$$

$$I_{к1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2}I_{к1}^{(3)} = 0,87 \cdot 6,16 = 5,36 \text{ кА};$$

$$I_{к2}^{(2)} = 0,87I_{к2}^{(3)} = 0,87 \cdot 2,84 = 2,47 \text{ кА};$$

$$I_{к3}^{(2)} = 0,87I_{к3}^{(3)} = 0,87 \cdot 1,88 = 1,65 \text{ кА};$$

$$I_{к4}^{(2)} = 0,87I_{к4}^{(3)} = 0,87 \cdot 1,83 = 1,59 \text{ кА};$$

Далее следует составить схему замещения для расчета однофазных токов короткого замыкания и определить сопротивления (рисунок 4).

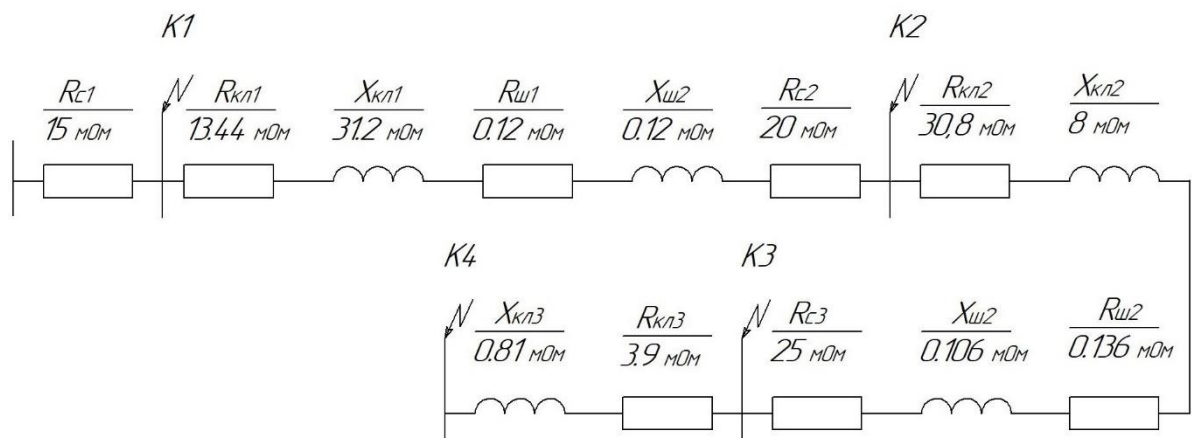


Рисунок 4 – Схема замещения для расчета 1-фазных токов КЗ

Для кабельных линий:

$$R_{кл1} = 2r_0L_{кл1} = 2 \cdot 0,084 \cdot 80 = 13,44 \text{ МОМ};$$

$$X_{кл1} = X_{оп}L_{кл1} = 0,39 \cdot 80 = 31,2 \text{ МОМ};$$

$$R_{пш1} = r_{опш}L_{ш} = 0,06 \cdot 2 = 0,12 \text{ МОМ};$$

$$X_{пш1} = X_{опш}L_{ш} = 0,06 \cdot 2 = 0,12 \text{ МОМ};$$

$$R_{пкл2} = 2r_0L_{кл2} = 2 \cdot 0,154 \cdot 100 = 30,8 \text{ МОМ};$$

$$X_{\text{пкЛ2}} = x_{0\text{п}} L_{\text{кЛ2}} = 0,08 \cdot 100 = 8 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{пш2}} = r_{0\text{пш}} L_{\text{ш}} = 0,068 \cdot 2 = 0,136 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{пш2}} = X_{0\text{пш}} L_{\text{ш}} = 0,053 \cdot 2 = 0,106 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{пкЛ3}} = 2r_0 L_{\text{кЛ2}} = 2 \cdot 0,195 \cdot 10 = 3,9 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{пкЛ3}} = x_{0\text{п}} L_{\text{кЛ2}} = 0,081 \cdot 10 = 0,81 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{п1}} = 15 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{п2}} = R_{\text{с1}} + R_{\text{пкЛ1}} + R_{\text{пш}} + R_{\text{с2}} = 15 + 13,44 + 0,12 + 20 = 48,56 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{п2}} = X_{\text{пкЛ1}} + X_{\text{пш}} = 31,2 + 0,12 = 35,28 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{п2}} = \sqrt{R_{\text{п2}}^2 + X_{\text{п2}}^2} = \sqrt{48,56^2 + 35,28^2} = 60,02 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{п3}} = R_{\text{п2}} + R_{\text{пкЛ2}} + R_{\text{пш2}} + R_{\text{с3}} = 48,56 + 30,8 + 0,136 + 25 = 104,5 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{п3}} = X_{\text{п2}} + X_{\text{пкЛ2}} + X_{\text{пш2}} = 35,28 + 8 + 0,106 = 43,39 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{п3}} = \sqrt{R_{\text{п3}}^2 + X_{\text{п3}}^2} = \sqrt{104,5^2 + 43,39^2} = 113,15 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{п4}} = R_{\text{п3}} + R_{\text{пкЛ3}} = 104,5 + 3,9 = 108,4 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{п4}} = X_{\text{п3}} + X_{\text{пкЛ3}} = 43,39 + 0,81 = 44,2 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{п4}} = \sqrt{R_{\text{п4}}^2 + X_{\text{п4}}^2} = \sqrt{108,4^2 + 44,2^2} = 117,06 \text{ мОм};$$

$$I_{\text{к1}}^{(1)} = \frac{V_{\text{кф}}}{Z_{\text{п1}} + Z_{\text{т}}^{(1)}/3} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{15 + 129/3} = 3,67 \text{ кА};$$

$$I_{\text{к2}}^{(1)} = \frac{V_{\text{кф}}}{Z_{\text{п2}} + Z_{\text{т}}^{(1)}/3} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{60,02 + 129/3} = 2,14 \text{ кА};$$

$$I_{\text{к3}}^{(1)} = \frac{V_{\text{кф}}}{Z_{\text{п3}} + Z_{\text{т}}^{(1)}/3} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{113,15 + 129/3} = 1,41 \text{ кА};$$

$$I_{\text{к4}}^{(1)} = \frac{V_{\text{кф}}}{Z_{\text{п4}} + Z_{\text{т}}^{(1)}/3} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{117,06 + 129/3} = 1,37 \text{ кА};$$

Результаты расчета токов КЗ представлены в «Сводной ведомости токов КЗ» (таблица 21).

Таблица 21 – Сводная ведомость токов КЗ

Точка КЗ	R_k , МОм	X_k , МОм	Z_k , МОм	$\frac{R_k}{X_k}$	K_y	q	$I_k^{(3)}$, кА	i_y , кА	$I_\infty^{(3)}$, кА	$I_k^{(2)}$, кА	$Z_{пн}$, МОм	$I_k^{(1)}$, кА
К1	34,18	15,52	37,54	2,2	1,0	1	6,16	8,67	6,16	5,36	15	3,67
К2	61,45	46,88	77,3	1,31	1,0	1	2,84	4,0	2,84	2,47	60,02	2,14
К3	102,9	55,41	116,87	1,86	1,0	1	1,88	2,65	1,88	1,65	113,15	1,41
К4	105,85	56,72	120,09	1,87	1,0	1	1,83	2,58	1,83	1,59	117,06	1,37

2.3 Выбор устройств защиты

«В электрических сетях напряжением до 1 кВ в качестве аппаратов защиты допустимо применять: автоматические выключатели (автоматы), предохранители и тепловые реле» [13].

Для возможности проведения процедуры выбора аппаратов защиты необходимо знать следующие параметры:

- ток (максимальный и номинальный) в линии, где будет установлен аппарат защиты,
- необходимый тип устройства защиты,
- количество фаз.

Автоматы необходимо выбирать, опираясь на условия:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р}; I_{н.р} \geq I_{дл}; \quad (16)$$

$$V_{н.а} \geq V_c; I_{н.р} \geq 1,25I_{дл}; \quad (17)$$

$$I_{н.р} \geq 1,1I_m, \quad (18)$$

где $I_{н.а}$ – ток автомата, номинальный, А;

$I_{н.р}$ – ток расцепителя, номинальный, А;

$I_{дл}$ – длительный ток в линии, А;

I_m – максимальный ток в линии, А;

$V_{н.а}$ – номинальное напряжение автомата, В;

V_c – напряжение сети, В.

При этом, для линий без ЭД применяется формула (16), с одним ЭД - формула (17) и несколькими ЭД формула (18).

$$K_o \geq \frac{I_o}{I_{н.р}}; \quad (19)$$

где K_o – кратность отсечки;

I_o – ток отсечки, А;

$I_o \geq I_{\partial л}$ – для линии без ЭД;

$I_o \geq 1,2I_n$ – при наличии одного ЭД на линии;

$I_o \geq 1,2I_{пик}$ – условие для линий, имеющих несколько ЭД.

I_n – пусковой ток, рассчитанный по формуле:

$$I_n = K_n I_{н.д}; \quad (20)$$

где K_n – кратность пускового тока. Принимается $K_n = 6,5 \dots 7,5$ – для АД;

$K_n = 2 \dots 3$ – для СД и МПТ;

$I_{н.д}$ – номинальный ток, А.

$I_{пик}$ – пиковый ток, А, определяемый по формуле:

$$I_{пик} = I_{н.нб} + I_m - I_{н.нб}, \quad (21)$$

где $I_{н.нб}$ – пусковой ток наибольшего по мощности ЭД, А;

I_m – максимальный ток на группу, А;

$I_{н.нб}$ – номинальный ток наибольшего в группе ЭД, А.

Зная тип, $I_{н.д}$ и число полюсов автомата, выписывают все каталожные данные.

Для наших целей выбираем автоматические выключатели производства Курского электроаппаратного завода. Наиболее современными являются автоматы серий ВА и АЕ, предохранители серий ПР и ПН, тепловые реле серии РТЛ [7].

Для примера, рассчитаем автоматический выключатель для шкафа управления терморегуляцией и линейными двигателями Производственной линии №2:

$$I_m = 331A(\text{из таблицы 15});$$

Поскольку здесь имеется группа электродвигателей, то

$$I_{н.а} \geq I_{н.р}; \quad (22)$$
$$I_{н.р} \geq 1,1I_m = 1,1 \cdot 331A = 364,1A.$$

Исходя из этого выбираем ВА51-35М3-340010-400А-4000-690АС-УХЛ3 со следующими параметрами:

$$V_{н.а} = 380В;$$
$$I_{н.а} = 400А;$$
$$I_{н.р} = 400А;$$
$$I_{у(п)} = 1,25I_{н.р};$$
$$I_{у(кз)} = 2I_{н.р};$$
$$I_{откл} = 25кА.$$

Аналогично рассчитываются устройства защиты для других потребителей. Данные заносятся в таблицы 21-26

Поскольку ВРУ №1, №2 и №3 уже существуют и имеют установленные аппараты защиты, мы просто проведем проверку соответствия установленных автоматов.

Для примера проведем проверку установленных автоматических выключателей на линиях питающих РУ-5 и РУ-6 от ВРУ №3.

РУ-5. I расч. - 290,6 А.

$$I_{н.а} \geq I_{н.р};$$

$$I_{н.р} \geq 1,1I_M = 1,1 \cdot 290,6\text{А} = 319\text{А}.$$

Установленный ВА 04-36 320А соответствует нашим расчетам.

РУ-6. I расч. - 211,0 А.

$$I_{н.р} \geq 1,1I_M = 1,1 \cdot 211\text{А} = 232,1\text{А}.$$

В данном случае установлен ВА 57-39 500А, который обладает сильно завышенным током отсечки для нашей линии, и не обеспечит должную защиту. Необходимо заменить на ВА 04-36 250А.

2.4 Проверка линий электроснабжения

Линии электроснабжения, которые планируются для установки, должны соответствовать: во-первых — защитным аппаратам, во-вторых - условию:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} I_{y(p)}. \quad (23)$$

Для прокладки внутри помещений с нормальной зоной опасности, если механическое повреждение их маловероятно, мы будем использовать кабель марки ВВГнг LS. Токопроводящая жила медная, ПВХ изоляция оболочки. Обозначение LS означает, что наш кабель не будет распространять горение, даже при групповой прокладке в случае пожара, что крайне важно для помещения где работают люди. Также важно, что этот кабель имеет пониженное газо- и дымовыделение при горении.

$$K_{\text{зщ}} = 1. \quad (24)$$

Особенностью расчетов в данной главе является то, что все линии электроснабжения уже проложены (кроме линии от устанавливаемой подстанции). Даже кабельные линии к новым ВРУ имеют достаточную длину для переподключения. Поэтому проверка кабелей будет заключаться в проверке достаточности сечения водопроводящей жилы, и не будет касаться экономической целесообразности.

Для примера:

- экструдер ОМ120, производственная линия №2. $I_{расч} = 350$ А. Выбирается автомат ВА57-39 400А. Существующая кабельная линия ВВГнг-Is $2 \times (4 \times 120)$ мм². $I_{доп} = 520$ А;
- центролиния, производственная линия №2. $I_{расч} = 299,0$ А. Выбирается автомат ВА57-39 400А. Существующая кабельная линия ВВГнг-Is $2 \times (4 \times 95)$ мм². $I_{доп} = 484$ А;
- терморегуляция и линейные двигатели, производственная линия №2. $I_{расч} = 331,0$ А. Выбирается автомат ВА57-39 400А. Существующая кабельная линия ВВГнг-Is $2 \times (4 \times 120)$ мм². $I_{доп} = 520$ А;
- печь, производственная линия №2. $I_{расч} = 154,0$ А. Выбирается автомат ВА04-36 250А. Существующая кабельная линия ВВГнг-Is $2 \times (4 \times 120)$ мм². $I_{доп} = 520$ А.

Таким образом, несмотря на порой чрезмерное и экономически не обоснованное сечение, все кабельные линии, существующие для Производственной линии №2 соответствуют требованиям.

Проведем аналогичные расчеты для всех потребителей цеха и занесем данные в таблицы 12-26.

Таблица 22 — Выбор автоматов и кабелей для ВРУ-1

Потребитель	I расч. А	Автоматический Выключатель	Марка и сечение кабеля	Примеч.
Терморегуляция	240,2	ВА04-36 250А	ВВГнг-Is 4×150 Iдоп = 305А	Линия №1
Линейные двигатели	130,0	ВА04-36 160А	ВВГнг-Is 4×70 Iдоп = 196А	Линия №1
РУ-4	235,76	ВА04-36 250А	ВВГнг-Is 4×120 Iдоп = 260А	Доп. оборуд.

Таблица 23 — Выбор автоматов и кабелей для ВРУ-2

Потребитель	I расч. А	Автоматический Выключатель	Марка и сечение кабеля	Примеч.
Экструдер ОМ 120	480,0	ВА57-39 500А	ВВГнг-Is 2 х (4×120) Iдоп = 520А	Линия №1
Продольная резка	22,4	ВА04-36 32А	ВВГнг-Is 4×10 Iдоп = 55А	Линия №1
Соэкструдер ОМ 45	65,0	ВА57-35 80А	ВВГнг-Is 4×35 Iдоп = 120А	Линия №1
Поперечная резка	28,6	ВА04-36 32А	ВВГнг-Is 4×10 Iдоп = 55А	Линия №1
Кран 2 т	6,0	ABB 20А	ВВГнг 4×6 Iдоп = 42А	Доп. оборуд.
Кран 0.5 т	4,0	ABB 16А	ВВГнг 4×6 Iдоп = 42А	Доп. оборуд.

Таблица 24 — Выбор автоматов и кабелей для ВРУ-3

Потребитель	I расч. А	Автоматический Выключатель	Марка и сечение кабеля	Примеч.
Центролиния	292,0	ВА04-36 400А	ВВГнг-Is 2× (4×150) Iдоп = 610А	Линия №1
РУ-5	290,6	ВА04-36 320А	ВВГнг-Is 2 х (4×70) Iдоп = 392А	Доп. оборуд.
РУ-6	211,0	ВА04-36 250А	ВВГнг-Is 4×120 Iдоп = 260А	Доп. оборуд.

Таблица 25 — Выбор автоматов и кабелей для ВРУ-4

Потребитель	I расч. А	Автоматический Выключатель	Марка и сечение кабеля	Примеч.
Экструдер ОМ120	350,0	ВА57-39 400А	ВВГнг-Is 2× (4×120) Iдоп = 520А	Линия №2
Центролиния	299,0	ВА57-39 400А	ВВГнг-Is 2× (4×95) Iдоп = 484А	Линия №2

Таблица 26 — Выбор автоматов и кабелей для ВРУ-5

Потребитель	I расч. А	Автоматический Выключатель	Марка и сечение кабеля	Примеч.
Терморегуляция и линейные двигатели	331,0	ВА57-39 400А	ВВГнг-Is 2× (4×120) Iдоп = 520А	Линия №2
Печь	154,0	ВА04-36 250А	ВВГнг-Is 2× (4×120) Iдоп = 520А	Линия №2

3 Выбор силовых трансформаторов

3.1 Выбор и проверка КТП

Подсчитав расчетные мощности всех потребителей (таблицы 27-28), мы теперь можем выбрать трансформатор, необходимый нам для питания новых ВРУ №4 и №5.

Таблица 27 — Расчет мощности на шинах ТП №3 (проектируемая)

Потребитель	Р уст. кВт	Р расч. кВт	cos φ	S расч. кВА	I расч. А
ВРУ №4	377,0	301,6	0,92	328,0	520,0
ВРУ №5	292,0	233,6	0,92	255,2	388,0
Итого С учетом Kс=0,7	669,0	468,3	0,92	509,0	774,3

С учетом того, что для однотрансформаторных подстанций рекомендуемый коэффициент загрузки трансформатора — 0,8-0,9, выбираем трансформатор ТГМ — 630кВА 10/0,4

Проведем проверку.

Коэффициент загрузки трансформатора по расчетной полной мощности:

$$K_{з_{тр}} = 436,8/630 = 0,8$$

Коэффициент загрузки трансформатора по разрешенной мощности:

$$K_{з_{тр}} = 401,4/600 = 0,78$$

Окончательно выбираем трансформатор 630 кВА.

Таблица 28 - Выбор кабелей (Линии 4 и 5)

Линия	Р расч. кВт	І расч. А	Марка кабеля	Сечение	Длинна, м.	Доп. ток, А	U %
Линия 4	301,6	520,0	АВБбШв — 1.0	2× (4×185)	17	708,4	0,31
Линия 5	233,6	388,0	АВБбШв — 1.0	2× (4×185)	60	708,4	1,4

Теперь проведем расчет для двух существующих подстанций, чтобы убедиться в правильности расчетов. Данные берем из таблиц 29-32.

Таблица 29 - Расчет мощности на шинах ТП №1 (существующая)

Потребитель	Р уст. кВт	Р расч. кВт	cos φ	S расч. кВА	І расч. А
ВРУ №3	522,0	365,4	0,87	423,6	644,3
Итого	522,0	365,4	0,87	423,6	644,3

Проведем проверку на коэффициенты загрузки.

Коэффициент загрузки трансформатора по расчетной полной мощности:

$$K_{з,тр} = 423,6/630 = 0,67$$

Коэффициент загрузки трансформатора по разрешенной мощности:

$$K_{з,тр} = 365,4/400 = 0,91$$

Таким образом, трансформатор нас устраивает. Несмотря на низкий коэффициент загрузки, мы практически полностью исчерпываем разрешенную мощность и допустимый ток кабеля.

Таблица 30 - Таблица выбора кабелей (Линия 1)

Линия	Р расч. кВт	І расч. А	Марка кабеля	Сечение	Длина, м.	Доп. ток, А	U %
Линия 1	365,4	644,3	АВБбШВ — 1.0	2х(4×185)	80	708,4	1,7

Таблица 31 - Расчет мощности на шинах ТП №2 (существующая)

Потребитель	Р уст. кВт	Р расч. кВт	cos φ	S расч. кВА	І расч. А
ВРУ №1	400,6	320,5	0,92	349,4	532,0
ВРУ №2	340,0	205,3	0,92	292,2	484,8
Итого С учетом Kс=0,7	740,6	518,4	0,92	563,5	857,1

Проведем проверку на коэффициенты загрузки.

Коэффициент загрузки трансформатора по расчетной полной мощности:

$$K_{з,тр} = 563,5/630 = 0,89$$

Коэффициент загрузки трансформатора по разрешенной мощности:

$$K_{з,тр} = 518,4/600 = 0,86$$

Таким образом, трансформатор нас устраивает.

Таблица 32 - Выбор кабелей (Линии 2 и 3)

Линия	Р расч. кВт	І расч. А	Марка кабеля	Сечение	Длина, м.	Доп. ток, А	U %
Линия 2	320,5	532,0	АВБбШв — 1.0	2× (4×185)	90	708,4	1,73
Линия 3	205,3	484,8	АВБбШв — 1.0	2× (4×185)	90	708,4	1,73

3.2 Расчет и выбор компенсирующих устройств

Также необходимо проверить, поможет ли установка компенсирующих устройств снизить мощность устанавливаемого трансформатора.

Для возможности произвести выбор компенсирующего устройства, нам необходимо знать [27]:

- расчетную реактивную мощность компенсирующего устройства (КУ), планируемого для установки в работу;

- тип КУ;

- номинальное напряжение КУ.

Расчетную реактивную мощность КУ мы можем определить из соотношения:

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_M (tg\varphi - tg\varphi_k), \quad (25)$$

где $Q_{к.р}$ – расчетная мощность КУ, квар;

α – коэффициент, учитывающий повышение $\cos\varphi$ естественным способом, принимается $\alpha = 0,9$;

$tg\varphi, tg\varphi_k$ – коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

Реактивную мощность компенсируем до получения значения $\cos\varphi_k = 0,9 \dots 0,95$.

Задавшись $\cos\varphi_k$ из этого промежутка, определяется $\operatorname{tg}\varphi_k$.

Все значения для расчетов берем из таблиц, рассчитанных ранее.

Значения $\cos\varphi$ и $\operatorname{tg}\varphi$ рассчитаем по формуле

$$\cos\varphi = \frac{P_M}{S_M}, \operatorname{tg}\varphi = \frac{Q_M}{P_M} \quad (26)$$

Таблица 33 — Исходные данные для выбора КУ

Параметр	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_M, \text{кВт}$	$Q_M, \text{квар}$	$S_M, \text{кВ}\cdot\text{А}$
Всего на НН без КУ	0,92	0,43	468,3	199,9	509,0

Определим расчетную мощность КУ. Исходные данные берем из таблицы 33.

Примем $\cos\varphi_k$ за 0,95, тогда $\operatorname{tg}\varphi_k = 0,33$.

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_M (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k) = 0,9 \cdot 468,3 \cdot (0,43 - 0,33) = 42,1 \text{ квар.}$$

Исходя из данных, выберем УК 2-0,38-50 со ступенчатым регулированием по 25 квар, по одной на секцию.

Фактические значения $\operatorname{tg}\varphi_\phi$ и $\cos\varphi_\phi$ определяются после компенсации реактивной мощности:

$$\operatorname{tg}\varphi_\phi = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha \cdot P_M} = 0,43 - \frac{50}{0,9 \cdot 468,3} = 0,05; \quad (27)$$

По $tg\varphi_\phi$ определяем $cos\varphi_\phi$:

$$\begin{aligned}cos\varphi_\phi &= \cos(\arctg\varphi_\phi). \\cos\varphi_\phi &= 0,99.\end{aligned}\tag{28}$$

Теперь необходимо определить, с учетом потерь, расчетную мощность трансформатора [29]:

$$468,3\text{кВт}/0,99 = 473\text{кВт}$$

При требуемом коэффициенте загрузки 0,8 — 0,9 выбираем трансформатор типа ТМЗ 630-10/0,4:

$$K_3 = \frac{S_{\text{HH}}}{N_T \cdot S_T} = \frac{473}{630} = 0,75.$$

Исходя из проведенных расчетов, можно порекомендовать к установке УК 2-0,38-50. а в качестве трансформаторов выбраны ТМЗ 630-10/0,4.

И несмотря на повышение $cos\varphi$ практически до единицы, установка устройств компенсации не в состоянии уменьшить требуемую мощность трансформаторов, следовательно их установка не является рентабельной и необходимой.

Заключение

В выпускной квалификационной работе была разработана система реконструкции электроснабжения экструзионного цеха АО «КАРБОГЛАСС». В результате была спроектирована новая схема линий электропередач и расстановки оборудования цеху, добавлены новые распределительные устройства и увеличена общая разрешенная мощность производства.

Проанализировав характеристики процессов на заводе и изучив всех электропотребителей, были произведены расчеты мощностей оборудования и разработаны методы реконструкции.

Суммарная электрическая нагрузка на сеть предприятия составит 1152,7 кВт, а полная расчетная мощность — 1278,1 кВА, что превышает существующую разрешенную мощность в 1000 кВт, которая получена с двух трансформаторов ТМГ 630 кВА (с разрешенной мощностью в 400 и 600 кВт соответственно).

В качестве дополнительного питающего силового трансформатора был выбран силовой трансформатор ТМГ-630/10.

Рассматривая вопрос компенсации реактивной мощности, мы пришли к выводу, что установка устройств компенсации не является необходимой.

При проведении проверок уже имеющихся аппаратов защиты и силовых линий сделаны выводы о соответствии или не соответствии их требованиям безопасности и строительных норм.

Таким образом, проект электроснабжения экструзионного цеха АО «КАРБОГЛАСС» полностью удовлетворяет современным требованиям и готов к внедрению.

Список используемой литературы

1. Анчарова Т.В., Стебунова Е.Д., Рашевская М.А. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. Вологда : Инфра-Инженерия, 2016. 416 с.
2. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения : электронное учеб.-метод. Пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>
3. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения электронное учеб.-метод. Пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>
4. ГОСТ 32144—2013 Нормы качества электрической энергии, 2013.
5. Злобина И.Г., Казакова Е.Ю., Шестакова Л.А. Электрические станции и подстанции: Учебное пособие к выполнению курсового проекта. Чебоксары. : ЧГУ, 2008. 69 с.
6. Каганов И.Л. Курсовое и дипломное проектирование. 2-е изд. М. : Колос, 2007. 349 с.
7. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: Учебное пособие. М.: КноРус, 2013. 368 с.
8. Козловская В.Б. Электрическое освещение. Справочник. М. : КноРус, 2007. 173 с.
9. Костин В.Н. Электропитающие системы и электрические сети: учебно-методический комплекс (учебное пособие). СПб. : Изд-во СЗТУ, 2007. 154 с.
10. Кудрин Б.И. Электроснабжение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования. М. : ИЦ Академия, 2012. 352 с.
11. Кушкова Е.И. Расчет заземляющих устройств в установках с эффективно-заземленной нейтралью.: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. Киров. : Изд-во ВятГТУ, 2014. 55 с.

12. Маньков В. Д. Защитное заземление и зануление электроустановок: Справочник. М. : Политехника, 2010. 401 с.
13. Маньков В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения. СПб. : Энергия, 2010. 210 с.
14. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок (РД 153-340-03.150-00), М., «Издательство НЦ ЭНАС», 2013 г.
15. Методическое пособие по расчёту компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий. М. : БГПА, 2000. 93 с.
16. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. Вологда : Инфра-Инженерия, 2015. 224 с.
17. Надеин В.Ф. Релейная защита и автоматика. Учебное пособие для вузов. Архангельск : ФГАОУ ВПО САФУ им. Ломоносова, 2015. 98 с.
18. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. СПб. : БВХ-Петербург, 2014. 608 с.
19. Оборудование среднего напряжения / каталог 2012 - Научно – внедренческое общество «ИНОСАТ».
20. Павлович С.Н. Ремонт и обслуживание электрооборудования. Учебное пособие: 4-е изд. Минск : Вышэйшая школа, 2009. 245 с.
21. Панова, А. В. Экономика энергетики: учебное пособие. Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2013. 87 с.
22. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 2007.
23. Правила устройства электроустановок. 7-е издание в редакции 2018 г. – М.: Энергоатомиздат, 2018.
24. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение: Учебное пособие. - М. : РадиоСофт, 2013. 328 с.
25. Типовая емкостная система технического обслуживания и ремонта

металло- и деревообрабатывающего оборудования. М.: Машиностроение, 1988. 254 с.

26. Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей: 3-е издание. М. : изд-во НЦ ЭНАС, 2009. 392 с.

27. Шеховцов В.П. Осветительные установки промышленных и гражданских объектов М. : Форум, 2009. 160 с.

28. Щипакин М.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование: Учебное пособие. СПб. : Лань, 2011. 192 с.

29. Янукович Г.И. Электроснабжение сельского хозяйства. Курсовое и дипломное проектирование: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений по специальности "Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства". Минск : ИВЦ Минфина, 2013. 448 с.