

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический
университет»

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЦЕХА ГРАФИТАЦИИ

Выпускная квалификационная работа бакалавра
по направлению подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение
(по отраслям)

Идентификационный код ВКР: 535

Екатеринбург 2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический
университет»

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:
Заведующая кафедрой ЭС
_____ А.О. Прокубовская
« ____ » _____ 2017 г.

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЦЕХА ГРАФИТАЦИИ

Выпускная квалификационная работа бакалавра
по направлению подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение
(по отраслям)
профиля подготовки «Энергетика»
профилизации «Энергохозяйство предприятий, организаций, учреждений и
энергосберегающие технологии»

Идентификационный код ВКР: 535

Исполнитель:

студент группы ЗЭС-403С

И.В. Карташов

Руководитель:

докт. тех. наук, профессор,
профессор кафедры АЭС УрФУ

В.П. Обоскалов

Нормоконтролер

ст. преподаватель кафедры ЭС

Т.В. Лискова

Екатеринбург 2017

ВВЕДЕНИЕ

Областью к которой относится тема выпускной квалификационной работы «Расчет электрической нагрузки цеха графитации», является проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий.

Проектирование систем электроснабжения велось в централизованном порядке в ряде проектных организаций. В результате обобщения опыта проектирования возникли типовые решения. В настоящее время созданы методы расчета и проектирования цеховых сетей, выбора мощности трансформаторов, методика определения электрических нагрузок, выбора напряжений, сечений проводов и жил кабелей, аппаратов защиты и т.д. [5]

Объектом исследования является цех графитации с установленным оборудованием.

Предметом исследования являются печи графитации мощностью 800 и 900 кВт.

Цель работы: расчет электрических нагрузок цеха графитации.

Задачи работы:

- определить ожидаемые электрические нагрузки;
- выбрать места размещения цеховых и главных распределительных и понизительных подстанций;
- выбрать рациональное число и мощность трансформаторов;
- выбрать сечение проводов и жил кабелей и аппаратов защиты.

Правильное определение ожидаемых нагрузок способствует решению общей задачи оптимизации построения систем внутриводского электроснабжения.

Выбор места размещения цеховых и главных распределительных и понизительных подстанций. Расположение питающих подстанций в соответствующих центрах электрических нагрузок обеспечивает минимальные годовые приведенные затраты. Всякое смещение питающей подстанции из центра электрических нагрузок ведет к повышению этих затрат и повышенному расходу электрической энергии.

Рациональный выбор числа и мощности трансформаторов, а также схем электроснабжения и их параметров ведет к сокращению потерь электроэнергии, повышению надежности и способствует осуществлению общей задачи оптимизации построения систем электроснабжения.

Общая задача оптимизации систем промышленного электроснабжения кроме указанных выше положений включает рациональные решения по выбору сечений проводов и жил кабелей, аппаратов защиты, способов компенсации реактивной мощности и др. [8].

Для улучшения производства и снижения энергозатрат цеха графитации предприятия ООО «Уралморганкарбон» необходимо провести расчет электрической нагрузки цеха и оптимизацию систем промышленного электроснабжения.

1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

1.1. Общие сведения о процессе графитации

У широкого круга углеродных материалов - от ископаемых углей до природного графита - имеется в основе одно и то же образовавшие двумерная плоская углеродная сетка. Процесс превращения двумерной структуры углеродных сеток в трехмерную и составляет процесс графитации.

Рентгенографические исследования естественных графитов, наиболее близких к структуре идеального кристалла графит, показали, что атомы углерода расположены в виде параллельных слоев, расстояние между которыми в предельном случае составляет $0,33526 \pm 0,00002$ мм. В каждой плоскости углеродные атомы образуют сетку правильных шестигранников с расстоянием между атомами 0,142 нм. Различие в способе взаимной укладки плоских шестиугольных сеток относительно друг друга определяет наличие двух типов решетки графита - гексагональной и ромбоэдрической (рисунок 1).

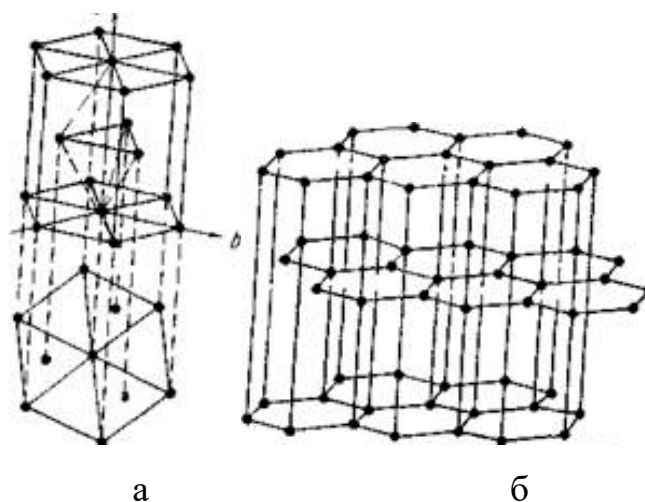


Рисунок 1 – Структура гексагональной (а) и ромбоэдрической (б) форм углерода

Гексагональная структура наиболее распространена и представляет собой решетку, где углеродные атомы в каждой плоскости лежат над и под центрами правильных шестиугольников, находящихся в ниже- и вышерасположенных плоскостях.

Таким образом, один слой сдвигается в горизонтальном направлении по отношению к расположенному выше, на величину, которая равна расстоянию между атомами в слое С-С (0,142 нм).

В ромбоэдрической решетке графита также имеются плоские шестиугольные сетки, которые сдвинуты на величину (-0,142 нм) одного и того же знака. В естественных графитах содержание кристаллов ромбоэдрической модификации может достигать 30%, в искусственных графитах она, как правило, не наблюдается.

Свидетельством большей стабильности гексагональной модификации кристаллов графита является полный переход в нее ромбоэдрического графита при температурах термообработки 2000 - 3000 С.

Графитация, представляющая собой увеличение размеров кристаллов вследствие рекристаллизации, начинается для каждого углеродного сырья при определенной температуре. Для каждой температуры графитация идет очень быстро и до определенного предела.

Гомогенная графитация предполагает протекание процессов графитации в одной твердой фазе и характерна для графитирующихся углеродных материалов при 2300 - 3000 С. Гетерогенная графитация через газовую фазу имеет место при температурах выше 3200°С и характерна для неграфитирующихся веществ. Возможна гетерогенная графитация и через жидкую фазу.

При гомогенной графитации графитирующихся углеродных материалов переходу в состояние трехмерной упорядоченности предшествует рост диаметра слоев путем слияния в слои соседних сеток и присоединения неупорядоченного углерода. Количественно этот рост можно характеризовать величиной диаметра слоя. По данным Франклин, в интервале 1000-2000°С диаметр слоев нефтяных коксов увеличивается с 1,5 до 20 нм, а межслоевое расстояние почти не изменяется. На стадии выше 2000°С рост диаметра слоя замедляется, а уменьшение значительно, что свидетельствует о процессе азимутальной упорядоченности углеродных слоев относительно друг друга, с приближением кристаллической решетки к идеальной структуре.

Эти два процесса сопровождаются третьим - упаковкой гексагональной углеродной сетки в параллельные слои с образованием пакетов различной толщины. Между хорошо графитирующимися углеродными веществами и неграфитирующимися по гомогенному механизму, расположен большой класс материалов, который при одной и той же температуре графитации может иметь совершенно различные значения степени графитации. Даже хорошо графитирующиеся вещества при нагреве до 3600°С и под давлением не достигают межслоевого расстояния, характерного для естественного графита (0,3354 нм). Такой материал, как термическая сажа, достигает при 2500°С определенной степени графитации и далее не меняется.

Предел степени графитации определяется характером и количеством перекрестных химических связей между пакетами углеродных слоев. Чем меньше число поперечных связей, тем выше структурная анизотропия и достигаемая при определенной температуре степень графитации. Таким

образом, графитация характеризуется также постепенным разрывом поперечных химических связей.

Влияние газовой среды на формирование свойств кокса в процессе термообработки хорошо известно. В исходном состоянии коксы имеют структуру пространственного полимера, состоящего из небольших плоских пачек гексагональных слоев углерода, которые соединены мостиками из гетероатомов и функциональных групп. Прокаливание такого вещества в водороде приводит к определенной гидрогенизации его, повышает подвижность системы и ускоряет происходящие в различных температурных интервалах процессы упорядочения и разупорядочения. В то же время, окисление углеродистого вещества на стадии карбонизации, обуславливающее образование поперечных связей, препятствует графитированию.

В промышленной практике используют этот эффект для получения высокопрочных, но плохо графитирующихся углеродных материалов это механохимическая обработка некоксовых и сажепековых композиций, обработка кислородом пеков, идущих на коксование. Наряду с температурой и газовой средой внутренние напряжения играют значительную роль в процессе графитации.

Наиболее удобно связь между напряжением и деформацией с процессом графитации проследить при изучении пироуглеродов. Увеличение предпочтительной ориентации пироуглерода связано с большими изменениями размеров, вызванных 10-16%-ной усадкой перпендикулярно подложке и 4-5%-ным расширением параллельно подложке. Это можно рассматривать как самопроизвольную пластическую деформацию, возникающую за счет самопроизвольно возникающих напряжений. Пластическая деформация при высоких температурах и направленных внешних нагрузках значительно увеличивает скорость графитации.

Так высокоориентированный и хорошо упорядоченный графит можно получать из пироуглерода, осажденного на нагретую подложку путем отжига

осажденного материала при различных силовых воздействиях, включая непосредственную связь материала с подложкой.

Влияние добавок минералов или металлов на процесс графитации известно давно. Особое место среди элементов-катализаторов графитации занимает бор и его соединения. При содержании выше 10% бора большую роль играет механизм растворения и осаждения с участием B_4C . Но так как бор растворяется в значительной степени в графите (до 2,35% при $2350^\circ C$), он может оказывать и непосредственное влияние на параметры решетки графита.

Наличие предпочтительной ориентации и отсутствие перекрестных связей, являются основой, объединяющей все предложенные гипотезы. Использование этих приемов и приводит к понижению температуры превращения углеродного сырья в совершенный графит. То, что в отдельных случаях температура графитации снижается до $1000^\circ C$, говорит о больших технологических возможностях.

Рассмотрение факторов, влияющих на ускорение процесса графитации показывает, что наиболее значительными из них являются влияние давления и карбидообразующих добавок. В технологической практике в последние годы для получения нового класса материалов, содержащего фазу очень совершенного по кристаллической структуре графита, влиянием давления и добавок стали пользоваться совместно. Такой процесс получил название термомеханохимической обработки (ТМХО).

Материалы, полученные методом ТМХО, значительно превосходят по своим физико-механическим свойствам материалы, изготовленные методом термомеханической обработки. Особо следует отметить повышенную плотность, прочность, тепло- и электропроводность этих графитов. Причем, изменяя соотношение добавок, можно в очень широком интервале менять такие свойства как тепло- и электропроводность.

1.2. Технология графитации

Технологическая операция - графитирование углеродистых материалов - является заключительной стадией длительного и многопередельного процесса изготовления всех видов графитированных изделий.

Графитации в основном подвергают заготовки, прошедшие прессование и обжиг. От них они наследуют большую и неравномерную пористость и анизометрию. Однако электропроводность и теплопроводность, а также низкие фрикционные свойства изделия приобретают в процессе графитации. Требования к готовым графитированным изделиям, разумеется, не ограничиваются только этими свойствами. Они должны обладать рядом других качественных показателей очень важных при эксплуатации прочностных характеристик, теплофизических и некоторых химических свойств, которые так же формируются при графитации.

Требования к готовым графитированным материалам разнообразны, а возможности процесса графитации ограничены, и заключаются в воздействии высокой температуры на графитируемые изделия. Поэтому основные направления в организации свойств графитируемых изделий закладываются на разных ступенях технологии при выборе сырья и методов его переработки.

В настоящее время производство почти всех видов графитированных материалов осуществляется по способу Ачесона. В печь одновременно с изделиями загружается резисторный материал (пересыпка), что позволяет увеличить электрическое сопротивление рабочей зоны (керны) печи. Но это мероприятие одновременно изменяет характер нагревания графитируемых материалов. Если по способу Кастнера электрический ток протекает непосредственно через изделие и тепло, выделяемое за счет электроэнергии, равномерно распределено в объеме изделия, то по способу Ачесона основное количество тепла выделяется в пересыпке, а затем за счет теплопередачи происходит нагревание изделия. Нагревание протекает с периферии изделия, в связи с этим в объеме изделия постоянно наблюдаются неодинаковые

температуры, что сопряжено с появлением вредных внутренних напряжений. Уже при создании этого способа была заложена зависимость тепловых процессов, протекающих в печи от электрических характеристик как самого керна, так и всей силовой установки. Процесс графитации следует отнести к категории электротермических. Эти обстоятельства не только определяют специфику процесса, но и трудности как в теоретическом плане, так и в практическом осуществлении технологии.

Формирование керна является важнейшим звеном технологии графитации. Но одновременно этот вопрос является наиболее трудным в его практической реализации, и не все детали его изучены в достаточной степени. Правильное формирование керна не только обеспечивает наибольшую производительность и высокие качества изделий, но позволяет организовать более экономное расходование электроэнергии. Последнее очень важно не только с позиции более низкой себестоимости продукции, но имеет народнохозяйственное значение. Образно говоря, в вопросе формирования керна сконцентрированы все направления специфической технологии графитации. Термин «формирование керна» учитывает технологический регламент, но вместе с тем преследует цель творческого подхода к процессу, более глубокого рассмотрения некоторых аспектов теории и, разумеется, критической оценки практики и некоторых результатов исследований.

Технологу обычно приходится разрешать вопросы формирования керна в условиях действующего предприятия. При проектировании и строительстве печей учитывались вопросы формирования керна, что отражено в конструкции и размерах печи, а также в выборе источников тока. Эти обстоятельства не облегчают, а наоборот, создают трудности для технолога при выборе наилучшего варианта, он должен вписываться в реальные параметры печей и источников тока. При эксплуатации графитировочных цехов продолжительное время изменяется ассортимент изделий, их размеры. Поэтому при каждом новом задании приходится искать оптимальные варианты для керна.

Основные вопросы формирования керна, имеющие решающее значение заключаются в определении оптимальных размеров керна и расстояния между загружаемыми изделиями. Разумеется, нельзя эффективно разрешить эти вопросы, оставив без внимания такие материалы, как пересыпка и теплоизоляционная шихта.

Габариты керна

Под габаритами керна следует понимать его сечение и длину. Определение этих параметров имеет определяющее технологическое и экономическое значение. Эта проблема тесно связана с выбором оптимальных характеристик источников тока, в данном случае печных трансформаторов. Размеры керна определяются параметрами источника тока, питающего печную установку. Следовательно, размеры керна должны быть постоянными, если не меняются параметры силовой установки. Габариты керна должны оставаться постоянными даже при изменении ассортимента изделий, подвергающихся графитации. Однако, объективные причины могут создать такие условия, когда невозможно вписаться в расчетные габариты керна.

Загрузка печи

Способ Ачесона для производства графитированных изделий характеризуется обязательным введением в kern печи резисторных материалов (пересыпки). Введение дополнительного сопротивления в kern печи повышает его омическое сопротивление, но одновременно снижает полезную вместимость рабочего объема печи. Однако при применении пересыпки омическое сопротивление керна возрастает во много раз, что позволяет вести режим графитации при более выгодных электрических параметрах. Это создает условия для ведения режима при более высоких напряжениях, в большей степени используется установленная мощность трансформатора, большее количество электроэнергии потребляется в единицу времени, электрический КПД также возрастает. Значительное сокращение времени на проведение режима графитации приводит к

увеличению производительности печной установки и повышении конечной температуры

Шутирование керна

Графитированные электроды, длина которых достигает 1,7-2,0м должны обладать одинаковым сопротивлением по всей длине. Такая однородность электродов обеспечивает высокий эксплуатационный эффект. Практически этого достигнуть трудно, однако стремятся, чтобы разность свойств между серединой и концами была минимальной. Качество электродов, в основном, определяется электропроводностью; чем выше электропроводность, тем выше допустимая эксплуатационная плотность тока. Следовательно, эксплуатационные качества электродов определяются этой плотностью.

При тщательной укладке керна перепад температур по длине печи незначительный и незакономерный, за исключением участков переходных контактов керн-токоподводы. Измерения показали, что, в этих местах температура может быть на 200 - 250°С выше, чем в остальных. Однако на завершающейся стадии графитации эта разница в температурах почти стирается.

Перепады температур по сечению керна (перпендикулярно продольной оси) наблюдаются и сохраняются на протяжении всего цикла графитации. Объясняется это явление значительной теплопроводностью и теплоемкостью теплоизолирующих материалов, создающих теплообмен с окружающей средой.

Один из способов для выравнивания температуры по сечению керна заключается в том, чтобы при формировании керна создать условия, при которых большая часть тока протекала бы по периферийной части керна, т.е. в создании шунта.

В электротехнике шунтом называют ответвление, включенное параллельно основному проводнику, обычно с той целью, чтобы через основной проводник или прибор шел не весь ток, а только определенная часть его.

Теплоизоляционная шихта

Боковые поверхности керна печи нагреваются до температуры выше 2000°C. Для того, чтобы защитить его от сгорания и больших тепловых потерь, его со всех сторон закрывают теплоизоляционной шихтой. К шихте, предъявляют серьезные требования, и удовлетворить их не просто. Теплоизоляционная шихта должна обладать высокими теплоизоляционными свойствами, низкой электропроводностью и теплоемкостью, хорошей газопроницаемостью, она не должна спекаться. Теплоизоляционная шихта препятствует окислению графитируемых изделий и защищает боковые стенки печи от воздействия высоких температур. Однако следует учитывать, что при увеличении теплоизолирующих свойств или слоя теплоизоляционной шихты удлиняется время на охлаждение и возрастает время, затрачиваемое на цикл работы печи. Для преодоления этого затруднения в системе одной секции печей строят дополнительно одну или две печи.

Шихта для заправки пода

Графитировочные печи сооружают из шамотного огнеупорного кирпича или из жаростойкого бетона. Эти материалы при температурах 1300-1500°C резко снижают свои служебные функции, а при более высоких температурах, которые характерны для графитировочных печей, непригодны для эксплуатации. Следовательно, при этих температурах подина печи в ее первоначальном виде не пригодна для использования. Другие строительные материалы также не пригодны при столь высоких температурах. Остается единственный путь, заключающийся в защите основания пода печи от губительного воздействия высоких температур. Для этого необходимо на поверхности подины создать защитную набойку. Для того, чтобы удовлетворить всем требованиям, предъявляемым к подинной шихте, ее стали готовить из смеси углеродистого порошка и песка.

При загрузке графитировочной печи пространство между рядами загруженных электродов заполняют гранулированным углеродистым материалом (обычно коксом). Этот материал называют пересыпкой (иногда

ее называют керновой пересыпкой). Основная функция пересыпки заключается в увеличении активного электрического сопротивления керна и обеспечении равномерного подвода тока к графитируемым изделиям. Количество пересыпки, вводимой в керн, составляет около 20% объема керна.

Пересыпка, обладая очень высоким удельным электросопротивлением (200-300 кОм), значительно увеличивает общее сопротивление керна.

Если исключить из керна пересыпку, то сопротивление печи будет столь ничтожно, что даже при огромной силе тока мощность печи будет незначительна, и процесс графитации затянется на долгое время. Введение же пересыпки позволит резко увеличить сопротивление керна, что, в свою очередь, создает условия для большей мощности на керне и значительно сократит время кампании графитации. В результате сокращения продолжительности кампании графитации производительность печи возрастет. Введение пересыпки увеличивает электрический КПД печи.

Есть другой аспект целесообразности применения пересыпки. Создаются условия работы при более высоких параметрах трансформатора. При той же силе тока можно применять более высокие напряжения, что позволяет эффективнее использовать мощность трансформатора.

Для приготовления пересыпки используют отходы металлургического кокса, вернее, его мелкие фракции, которые не используются в доменном производстве. Обычно эти материалы называют «коксовым орешком». Для этих коксов характерно высокое содержание зольных примесей

Режим графитации заключается в постепенном нагревании углеродистых заготовок, помещенных в графитировочную печь, до очень высоких температур, при которых заканчивается процесс образования искусственного графита. Практически такими температурами могут быть 2500 – 3000⁰ С. При этом должно соблюдаться одно основное требование: не допустить образования трещин или других каких-либо дефектов в объеме и на поверхности изделия, что связано со скоростью подъема температуры.

Пределные температуры графитации определяются требованиями к готовому продукту, а также сырьевыми материалами, из которых приготовлены полуфабрикаты.

Оптимальные температуры, при которых должны заканчиваться процессы графитации, устанавливаются экспериментально.

Скорость нагревания ограничивается, с одной стороны, опасностью возникновения трещин на изделиях, а с другой - стремлением получить более дешевые изделия. Поэтому, температурный режим должен быть настолько оптимальным, чтобы сохранить изделия от растрескивания и образования внешних дефектов. Некоторые исследователи называют интервал температур от 1300 до 2100 °С критическим, в котором протекают наиболее важные процессы, сопровождаемые усадкой изделий. Рекомендуется этот интервал проходить медленно, со скоростью $\sim 30^\circ\text{C}/\text{ч}$. Если этот интервал пройти с большей скоростью, то усадка в изделиях резко снижается, а, следовательно, снижается плотность и физико-механические свойства.

Организация и выполнение режима графитации чрезвычайно трудная проблема. Сложность заключается не только в выполнении, но и в воспроизведении заданных режимов. Если просмотреть записи режимов графитации для одной и той же печи с одинаковой загрузкой изделиями, пересыпкой и тепловой изоляцией, одинаковыми заданиями на ведение электрических режимов, то можно обнаружить, что они отличаются друг от друга как по длительности процесса, так и по изменениям отдельных характеристик процесса (мощности, сопротивления и др.) и удельному расходу электроэнергии. Очень трудно сформировать керн, но еще труднее воспроизвести свойства пересыпки и теплоизоляционной шихты.

Печная установка графитации относится к нестандартному типу оборудования, каждый раз при строительстве нового или модернизации старого цехов графитации обязательно производят расчеты и проектирование всего комплекса печной установки, учитывая условия, которые закладываются в плановом задании

Графитации подвергают полуфабрикаты (заготовки), прошедшие прессование и обжиг. Однако высокие электро- и теплопроводность изделия приобретают в процессе графитации. Высокая температура является основным фактором для превращения углеродистых заготовок в совершенно иной материал с характерными свойствами натуральных графитов. Характер теплового воздействия на графитируемые изделия заключается в достижении очень высоких температур (выше 2500 °С) при отсутствии окислительной среды, что обеспечивается в современных графитировочных печах. В задачу электротехнического обеспечения входит не только количественное обеспечение электроэнергией. Необходимы устройства, позволяющие регулировать в широком диапазоне подводимую мощность к печи.

В графитировочных печах можно производить высокотермическую обработку кусковых (например, получение термографита) и порошкообразных материалов.

Процесс графитации относится к числу энергоемких производств. Расход электроэнергии в зависимости от вида и размера изделий составляет 3000-6000 на 1 т изделия. Организация и выполнение технологических операций должны преследовать цель максимального сокращения удельных расходов электроэнергии, разумеется не в ущерб качеству изделий.

Графитировочные печи относятся к группе электрических однофазных печей сопротивления прямого нагрева. Сопротивлением служат графитируемые материалы, через которые протекает электрический ток, нагревая их. Поэтому они носят название печей прямого нагрева. Ценность их заключается в том, что в малых объемах печи можно сконцентрировать большие количества энергии, что позволяет создавать температуры, достигающие 3000 °С.

Под термином «электрическая печь» следует понимать весь комплекс печного оборудования, включая собственно печь, трансформатор и электрическую так называемую короткую сеть (вторичный токоподвод), т.е. систему проводников, передающих ток рабочего напряжения от источников питания (трансформатора, генератора и др.) к рабочей зоне электрической

графитировочной печи, где электрическая энергия превращается в тепловую. Некоторые участки короткой сети могут одновременно служить элементами конструкции печи (например, токоподводящие электроды).

Графитировочная печь состоит из корытообразного основания, выложенного из шамотового огнеупора и двух постоянных торцевых стен с проемами для укладки токоподводящих электродных пакетов. Боковые стенки обычно делаются не разборными, но существуют конструкции печей с двумя или одной разборными стенками. Конструкция боковых стенок определяется технологическими условиями и цеховой обстановкой.

Печи этого типа, широко применяют в промышленности. Они могут быть с различными конструктивными решениями токоподводящего пакета электродов, подины, охлаждения печи и др., однако принципиальная конструкция печи остается во всех случаях одной и той же.

Размеры печей для графитации прежде всего зависят от величины загрузки, а, следовательно, и от мощности источников питания. На параметры печей оказывают существенное влияние геометрические размеры графитируемых изделий. Наибольших размеров печи применяют при графитации электродов. В промышленной практике используются печи на загрузку 20-40 т и даже 130-140 т электродов.

Ширина печи - очень важный параметр, потому что определяет не только вместимость печи и сечение керна, но оказывает решающее влияние на характеристику трансформатора, прежде всего его силу тока.

При графитации электродов ширину печи определяет максимальная длина электрода, подлежащего графитации, поскольку его укладывают перпендикулярно оси печи.

Труднее определить оптимальную длину печи. В настоящее время создают печи длиной от 3 до 20 м (длина керна). Более длинные печи при той же мощности трансформатора экономичнее, так как удлинение керна приводит к повышению теплового и электрического коэффициентов полезного действия и, как следствие, к увеличению производительности, уменьшению расхода электроэнергии на 1 т графитированной продукции.

Подина печи

Шамотное основание имеет корытообразную форму, которая набивается специальной смесью из песка и углеродистого материала, целевое значение которой заключается в предохранении шамотного основания печи от воздействия высоких температур. Для строительства графитировочных печей обычно применяют шамотный огнеупор. На практике чаще встречаются печи, собранные из жаростойкого бетона.

Основные требования, предъявляемые к теплоизоляционной шихте, заключаются в том, чтобы она обладала высокими тепло- и электроизоляционными свойствами, и чтобы при высоких температурах она и ее компоненты не плавилась

Чтобы обеспечить нормальный режим графитации, избежать тепловых потерь и утечки тока через подину, перед каждой кампанией следует производить проверку состояния подины и устранять замеченные дефекты. Если обнаружена заграфиченность подины, ее удаляют и набивают новую.

По конструкции подины изготавливают двух видов охлаждаемые и неохлаждаемые. Последние выкладывают сплошным массивом на фундаментном основании. В настоящее время они встречаются только на малых по мощности и производительности печах. Печи с охлаждающимися подинами строят двух видов с естественным и принудительным охлаждением.

Естественное охлаждение подины осуществляется воздухом, протекающим через специальные каналы, которые сооружают под подиной. Каналы располагают поперек печи.

Торцевые и боковые стенки

Торцевая стена - очень важный элемент графитировочной печи, наиболее уязвимая часть печи, что приводит к ее ежегодному ремонту. Она должна быть легкой и, вместе с тем, прочной, надежной в эксплуатации. Основная задача ее заключается в том, чтобы вести в себе токоподводящий электродный пакет. Поэтому при выборе и расчете токоподводящего пакета

следует стремиться к минимальному объему электродов заделываемых в торцевую стенку.

1.3. Печи графитации

Печи графитации (графитировочные печи) относятся к группе электрических однофазных печей сопротивления прямого нагрева. В настоящее время в промышленности используются две характерные конструкции печей графитации: нормальные (прямые) (или печи Ачесона) и П-образные печи. Наибольшее распространение получили нормальные прямые печи, которые различаются по конструктивному оформлению токоподводящего пакета, пода, способу охлаждения печи и т. д. П-образная печь представляет собой две нормальные печи, расположенные рядом и последовательно соединенные. Нормальные печи работают как на переменном, так и на постоянном токе, П-образные печи применяются только на мощных установках, работающих на постоянном токе.

На рисунке 2 показана конструкция нормальной прямой печи графитации. Печь имеет прочное основание в форме прямоугольного корыта (1) и две торцевые стенки (2). В торцевых стенках созданы проемы для укладки токоподводящих электродных пакетов (3), к которым подводится электрический ток от мощных источников. В основание печи (корыто) набивают специальную подину, состоящую из смеси порошкообразных углеродистых материалов и песка. На подготовленную подину загружают изделия (например, электроды) (4), подвергающиеся графитации. Боковые стенки (5) служат для того, чтобы удержать загрузку печи. Эти стенки разборные, их каждую кампанию разбирают и собирают. Используются также печи с неразборными или с одной неразборной стенкой (в зависимости от удобства обслуживания печи при разгрузке и загрузке). Боковые стенки выкладывают из шамотного кирпича (для печей малых размеров) или из блоков жаропрочного бетона для больших печей.

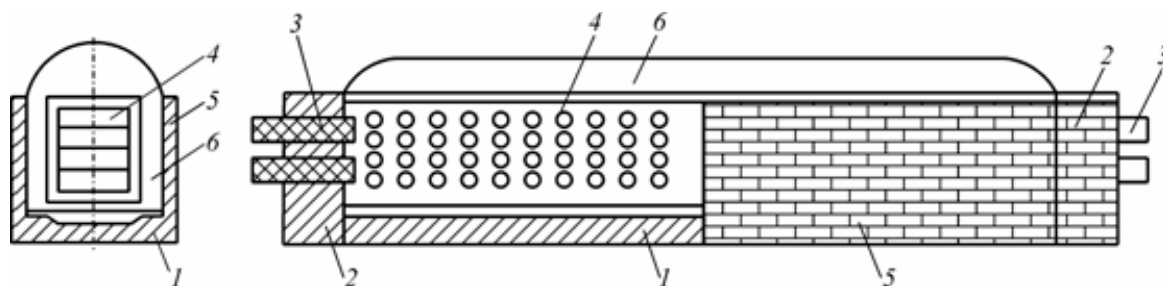


Рисунок 2 –Графитировочная печь нормальная прямая:

1 – подина; 2 – торцевая стенка; 3 – токоподводящие электроды; 4 – заготовки;
5 – боковые стенки; 6 – теплоизоляционная шихта

Электрическая энергия подводится к рабочему объему (керну) при помощи электродов. Токоподводящие электроды, заделанные в торцевую стенку, называют электродным пакетом. Сила тока в современных печах достигает нескольких десятков тысяч ампер, поэтому электродный пакет должен быть составлен из такого числа электродов, чтобы общее их сечение удовлетворяло требованиям по допустимой плотности тока. Чаще всего используются графитированные электроды, так как они обладают высокой электропроводимостью и допускают высокие плотности тока (до 12 A/cm^2). Токопроводящие электроды являются одновременно проводниками электрического тока в печь и проводниками теплоты, идущей из печи, поэтому их орошают водой и устанавливают под небольшим углом, чтобы вода не затекала в стенку. Размеры печи графитации зависят от величины загрузки, а также от геометрических размеров графитируемых изделий. Ниже приведены данные по длине керна и мощности графитировочных печей (таблица 1).

Таблица 1 - Характеристики графитировочных печей

Мощность трансформатора, кВ·А	1250	2100	2950	3900	3000	4000	5000	5000	8000	8000
Длина печи по керну, м	6,5	8,0	12,35	17,0	10,0	10,0	10,0	12,0	16,0	20,0
Удельная мощность, кВ·А/м	195	260	220	230	300	400	500	415	500	400

2. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Расчет электрических нагрузок основного оборудования цеха графитации

Правильное определение электрических нагрузок является основой рационального построения и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий.

Необходимо определить расчетную нагрузку и выбрать основное электротехническое оборудование цеха промышленного предприятия, электроснабжение которого осуществляется по двум кабельным линиям номинального напряжения 10 кВ. В цехе установлена цеховая понизительная подстанция (ЦТП) и следующее оборудование:

1. Горизонтальная высокотемпературная печь графитации марки CJ-ZSM-160, номинальной мощностью 800 (кВт) - 3 шт.

2. Горизонтальная высокотемпературная печь графитации марки CJ-ZSM-190, номинальной мощностью 900 (кВт) - 2 шт.

Упрощенная схема ЦТП и ее связь с главной понизительной подстанцией (ГПП) приведена на рисунке 3[13].

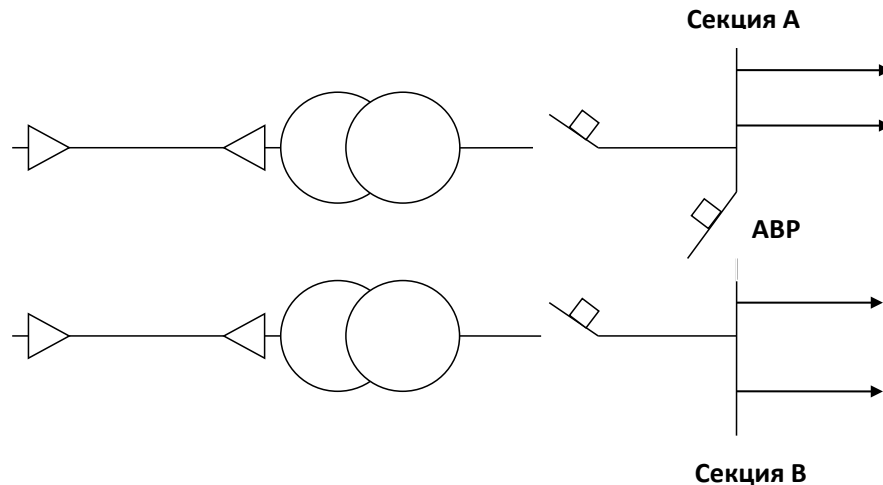


Рисунок 3 - Упрощенная схема ЦТП и ее связь с главной понизительной подстанцией

Расчет нагрузок цеха производится по методу упорядоченных диаграмм [18].

Одним из очень важных этапов при проектировании системы электроснабжения предприятия является определение расчётных нагрузок, а не простое суммирование установленных мощностей.

Расчётная максимальная мощность, которая потребляется электроприёмниками предприятия, всегда меньше суммы номинальных мощностей этих приёмников. Это объясняется неполной загрузкой мощностей электроприёмников, одновременностью их работы, обеспечением условий труда обслуживающего персонала.

От правильной оценки ожидаемых электрических нагрузок зависит степень капиталовложений при организации электроснабжения. Завышение ожидаемых нагрузок ведёт к удорожанию строительства, перерасходу материалов, неоправданному увеличению питающих мощностей.

Занижение нагрузок, либо проектирование электроснабжения без учёта перспективного роста мощности производства может привести к

дополнительным потерям мощности, перегрузке оборудования, либо к необходимости кардинальной перестройке системы электроснабжения.

Для определения расчетных нагрузок наиболее часто используется метод упорядоченных диаграмм.

Метод применим, когда известны номинальные данные всех электроприёмников предприятия с учётом их размещения на территории предприятия.

Пронумеруем электроприемники в цехе.

Все ЭП цеха распределяем по узлам. В узел собираются электроприемники расположенные вблизи друг от друга – в линию, в одном помещении или просто рядом. Причем если электроприемники расположены в линию, то лучше запитать их посредством шинопровода.

Группа электроприемников 1 (ЭП 1) – № 1,2,3.

Группа электроприемников 2 (ЭП 2) – № 4,5.

На основе справочных материалов (приложение А) определяются значения коэффициентов использования активной мощности $K_{на}$ и $\cos\varphi$ (tgφ) для всех электроприемников и заносятся в таблицу 2.

Важное значение в расчетах и при исследовании нагрузок, а также при подсчетах расхода и потерь электроэнергии имеют средняя мощность за наиболее загруженную смену ($P_{см}$ и $Q_{см}$).

Величины ($P_{см}$ и $Q_{см}$) находят по показателям, которые определяют путем простейших обследований нагрузок и проверяют по удельным расходам электроэнергии, известным для большинства производств[7].

Таблица 2 – Расчетные нагрузки цеха

Группа ЭП	Кол-во	P _{ном}		K _и	cosφ	tgφ	P _{см} кВт	Q _{см} к ВАр	P _р кВт	Q _р кВ Ар	S _р кВ А	I _р А
		единич- ная	общая									
ЭП1	3	800	2400	0,75	0,95	0,32	1800	576	2538	633,6	2615	3977
ЭП2	2	900	1800	0,75	0,95	0,32	1350	432	1903	475	1961,4	2983

Итого	5	-	4200	0,75	-	-	3150	1008	4441	1108	4577	6962
-------	---	---	------	------	---	---	------	------	------	------	------	------

Средняя активная мощность за наиболее загруженную смену $P_{см}$ какой-либо группы силовых приемников с одинаковым режимом работы определяется путем умножения суммарной номинальной мощности группы рабочих приемников $P_{ном}$, приведенной для приемников повторно-кратковременного режима (ПКР) работы к ПВ=100%, на их групповой коэффициент использования $K_{и}$ [7].

Средняя реактивная мощность за наиболее загруженную смену $Q_{см}$ для какой-либо группы силовых приемников одинакового режима работы определяется:

1. Путем умножения суммарной номинальной реактивной мощности группы рабочих приемников $Q_{ном}$, приведенной для приемников ПКР к ПВ=100%, на их групповой коэффициент использования.

2. Путем умножения средней активной мощности $P_{см}$ этой группы на $tg\varphi$, соответствующий групповому коэффициенту мощности $cos\varphi$ [7].

Группа электроприемников 1 (ЭП 1)

Определим для первой группы ЭП величины активной и реактивной средней мощности нагрузки за наиболее загруженную смену:

$$P_{см1} = K_{и} \cdot \sum P_{ном} \text{ кВт},$$

где $P_{см1}$ —активная средняя мощность нагрузки за наиболее загруженную смену, кВт;

$\sum P_{н}$ — номинальная активная мощность всех однотипных ЭП, входящих в первый узел, кВт;

$K_{и}$ – коэффициент использования для данной группы ЭП (см. таблицу

1).

$$P_{см1} = 2400 \cdot 0,75 = 1800 \text{ (кВт)};$$

$$Q_{см1} = P_{см1} \cdot tg\varphi \text{ (кВАр)},$$

где $Q_{см}$ — реактивная средняя мощность нагрузки за наиболее загруженную смену,кВАр;

$\text{tg}\varphi$ – соответствует данному коэффициенту мощности характерной нагрузки.

$$Q_{\text{см1}} = 1800 \cdot 0,32 = 576 \text{ (кВАр)}.$$

Расчет активной и реактивной средней мощности нагрузки за наиболее загруженную смену для ЭП других групп ведётся аналогичным образом.

Определим величину показателя силовой сборки для первой группы электроприемников цеха [7].

$$m = \frac{P_{\text{н.мах}}}{P_{\text{н.мин}}}.$$

Общее число ЭП группы 1 составляет 3 элемента ($n=3$), отношение номинальных мощностей наиболее и наименее крупных ЭП в группе составляет 1 ($m=800/800$).

Так как $m < 3$, то эффективное число электроприемников равно их фактическому числу, $n_{\text{эф}}=3$.

Эффективное (приведенное) число ЭП определяется тогда, когда электроприемники в группе имеют разные мощности и режим работы.

Под эффективным числом приемников группы различных по номинальной мощности и режиму работы приемников понимается такое число однородных по режиму работы приемников одинаковой мощности, которое обуславливает ту же расчетную нагрузку, что и данная рассматриваемая группа различных по номинальной мощности и режиму работы приемников.

Показатель силовой сборки для остальных групп определяется аналогично.

Величина эффективного числа ЭП определяет выбор методики расчета нагрузок.

Коэффициент использования является основным показателем для расчета нагрузки.

Коэффициентом использования активной мощности приемника ($K_{\text{и}}$) или группы приемников называется отношение средней активной мощности приемника (или группы их) к ее номинальному значению [9].

Определим значение среднего коэффициента использования для первой группы:

$$K_{и\text{ ср}} = \frac{P_{см1}}{P_{ном1}},$$

где $P_{см}$ – суммарная активная средняя мощность нагрузки за наиболее загруженную смену ЭП первой группы, кВт;

$\sum P_{н1}$ – суммарная активная нагрузка всех ЭП первой группы, кВт.

$$K_{и\text{ ср}} = \frac{1800}{2400} = 0,75.$$

Значение $K_{и.ср.}$, m , $Q_{см}$, $P_{см}$ для остальных групп ЭП определяется аналогичным образом, результаты сведены в таблицу 1.

Расчетная максимальная активная мощность группы ЭП1

$$P_{p1} = K_{ма} \cdot \sum P_{см1} \text{ кВт},$$

где $\sum P_{см1}$ – суммарная активная средняя мощность нагрузки за наиболее загруженную смену ЭП первой группы, кВт.

Коэффициент максимума активной мощности определяется по найденным значениям n_3 и $K_{иа}$, ($K_{ма} = 1,29$) (приложение Б).

Коэффициентом максимума активной мощности $K_{ма}$ называется отношение расчетной, активной мощности к средней нагрузке за исследуемый период времени [9].

$$P_{p1} = 1,29 \cdot 1800 = 2538 \text{ кВт}.$$

Значение расчётного активного максимума нагрузки для ЭП цеха остальных групп определяется аналогичным образом.

Расчетная максимальная реактивная мощность группы находится по формуле:

$$Q_{p1} = K_{мр} \cdot Q_{см1} \text{ кВАр},$$

где $K_{мр}$ – коэффициент максимума реактивной мощности, принимается равным 1,1 при эффективном числе ЭП ≥ 10 ;

$Q_{см1}$ – реактивная средняя мощность нагрузки за наиболее загруженную смену ЭП первой группы, кВАр.

$$Q_{p1} = 1,1 \cdot 576 = 633,6 \text{ кВАр}.$$

Значение расчётного реактивного максимума нагрузки для ЭП цеха остальных групп определяется аналогичным образом.

Расчетная максимальная полная мощность

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \text{ кВА},$$

где P_{p1} – расчетная максимальная активная мощность группы,кВА;

Q_{p1} - расчетная максимальная реактивная мощность группы,кВАр.

$$S_p = \sqrt{2538^2 + 633,6^2} = 2615 \text{ кВА}.$$

Расчётный (максимальный) ток, потребляемый первой группой

$$I_{\max} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n},$$

где S_p - расчетная максимальная полная мощность,кВА;

U_n – номинальное напряжение сети В.

$$I_{\max} = \frac{2615}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 3977 \text{ А}.$$

Значение полной расчётной нагрузки для ЭП цеха остальных групп определяется аналогичным образом.

2.2. Расчет нагрузки цеха с учётом освещения и потерь в трансформаторе

Произведем расчет осветительной нагрузки цеха.

Кроме заданной номинальной силовой нагрузки в цехе имеется освещение, поэтому подсчитаем полную нагрузку цеха с учётом освещения[13].

Освещение будет выполнено лампами типа ДРЛ (таблица3).

Таблица 3 – Расчет осветительной нагрузки цеха

Осветительная нагрузка							Нагрузка цеха с учетом освещения				
P_y д, кВ т	$\cos \varphi$	$\text{tg} \varphi$	K_{co}	F м^2	$P_{\text{уст,к}}$ Вт	$P_{\text{po,к}}$ кВ т	$Q_{\text{po,кВ}}$ Ар	$\sum P_{p(\text{ц}+\text{o})}$ кВт	$\sum Q_{p(\text{ц}+\text{o})}$ кВ Ар	$S_{p(\text{ц}+\text{o})}$ кВ А	$I_{p(\text{ц}+\text{o})}$ А
0,01	0,5	1,4	0,9	50	7,5	7,1	10,25	4448,1	1118,25	4586,5	6976,

5	7	4	5	0		2		2			7
---	---	---	---	---	--	---	--	---	--	--	---

Из справочных материалов (приложение В) выбираем коэффициенты осветительной нагрузки и заносим в таблицу 2.

Установленная мощность осветительной нагрузки цеха:

$$P_{уст\ o} = P_{удо} \cdot F, \text{ кВт},$$

где $P_{удо}$ – удельная мощность освещения, кВт/м²;

F – площадь цеха, м².

$$P_{уст\ o} = 0,015 \cdot 500 = 7,5 \text{ кВт}.$$

Расчетная активная мощность осветительной нагрузки цеха

$$P_{расч\ o} = P_{уст\ o} \cdot K_{со}, \text{ кВт},$$

где $P_{уст\ o}$ – установленная мощность осветительной нагрузки цеха, кВт;

$K_{со}$ – коэффициент спроса осветительной нагрузки.

$$P_{расч\ o} = 7,5 \cdot 0,95 = 7,12 \text{ кВт}.$$

Расчетная реактивная мощность осветительной нагрузки

$$Q_{расч\ o} = P_{расч\ o} \cdot \text{tg}\varphi_{осв}, \text{ кВАр},$$

где $P_{расч\ o}$ – расчетная активная мощность осветительной нагрузки цеха, кВт;

$\text{tg}\varphi_{осв}$ – соответствует данному коэффициенту мощности характерной нагрузки.

$$Q_{расч\ o} = 7,12 \cdot 1,44 = 10,25 \text{ кВАр}.$$

Расчётный максимум активной и реактивной нагрузки цеха с учётом освещения

$$\sum P_{p(\text{ц+o})} = P_{рц} + P_{ро}, \text{ кВт},$$

где $P_{рц}$ – расчетная активная мощность цеха, кВт;

$P_{ро}$ – расчетная активная мощность осветительной нагрузки цеха, кВт.

$$\sum P_{p(\text{ц+o})} = 4441 + 7,12 = 4448,12 \text{ кВт}.$$

$$\sum Q_{p(\text{ц+o})} = Q_{рц} + Q_{ро}, \text{ кВАр},$$

где $Q_{рц}$ – расчетная реактивная мощность цеха, кВАр;

$Q_{ро}$ – расчетная реактивная мощность осветительной нагрузки цеха, кВАр.

$$\sum Q_{p(\text{ц+о})} = 1108 + 10,25 = 1118,25 \text{ кВАр.}$$

Полная расчётная нагрузка цеха с учётом освещения

$$S_{p(\text{ц+о})} = \sqrt{\sum P^2 + \sum Q^2}, \text{кВА},$$

где $\sum P$ – расчётный максимум активной нагрузки цеха с учётом освещения, кВт;

$\sum Q$ – расчётный максимум реактивной нагрузки цеха с учётом освещения, кВАр.

$$S_{p(\text{ц+о})} = \sqrt{4448,12^2 + 1118,25^2} = 4586,5 \text{ кВА.}$$

Расчётный (максимальный) ток, потребляемый ЭП с учётом осветительной нагрузки

$$I_{p(\text{ц+о})} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \text{ А},$$

где S_p – полная расчётная нагрузка цеха с учётом освещения, кВА;

U_n – номинальное напряжение сети, кВ.

$$I_{p(\text{ц+о})} = \frac{4586,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 6976,7, \text{ А.}$$

2.3. Расчет полной силовой нагрузки цеха на напряжение 0,4 кВ

Расчетная силовая активная и реактивная нагрузки на напряжение 0,4 кВ [13].

Для группы ЭП 1

$$P_{p.n} = K_n \cdot P_{\text{уст}}, \text{ кВт},$$

где K_n – коэффициент использования (см. таблицу 1);

$P_{\text{уст}}$ – установленная мощность силового оборудования группы ЭП1, кВт.

$$P_{p.n} = 0,75 \cdot 2538 = 1903,5 \text{ кВт.}$$

$$Q_{p.n} = P_{p.n} \cdot \text{tg} \varphi_n, \text{ кВАр},$$

где $P_{p.n}$ – расчетная силовая активная нагрузка, кВт;

$\text{tg} \varphi$ – соответствует характерному для данного цеха коэффициенту мощности нагрузки.

$$Q_{p.n} = 1903,5 \cdot 0,32 = 609 \text{ кВАр.}$$

Полная силовая нагрузка силового оборудования группы ЭП1

$$S_{pн} = \sqrt{P_{pн}^2 + Q_{pн}^2}, \text{кВА},$$

где $P_{p,н}$ – расчетная силовая активная нагрузка, кВт;

$Q_{pн}$ – расчетная силовая реактивная нагрузки, кВАр.

$$S_{pн} = \sqrt{1903,5^2 + 609^2} = 1998 \text{ кВА}.$$

Активные и реактивные потери в цеховых трансформаторах

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p, \text{кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p, \text{кВАр},$$

где S_p – полная силовая нагрузка силового оборудования группы ЭП1.

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 1998 = 39,96 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 1998 = 199,8 \text{ кВАр}.$$

Результирующие активная и реактивная расчетные нагрузки цеха с учетом потерь в цеховых трансформаторах

$$P_{H\Sigma} = P_{p,н} + \Delta P_T, \text{кВт};$$

$$Q_{H\Sigma} = Q_{p,н} + \Delta Q_T, \text{кВАр};$$

$$S_{pн} = \sqrt{P_{H\Sigma}^2 + Q_{H\Sigma}^2}, \text{кВА},$$

где $S_{p,н}$ – полная расчетная низковольтная нагрузка цеха;

ΔP_T – активные потери в цеховых трансформаторах, кВт;

ΔQ_T – реактивные потери в цеховых трансформаторах, кВАр.

$$P_{H\Sigma} = 1903 + 40 = 1943 \text{ кВт};$$

$$Q_{H\Sigma} = 609 + 199,8 = 808,8 \text{ кВАр};$$

$$S_{pн} = \sqrt{1943^2 + 808,8^2} = 2104,6 \text{ кВА}.$$

Все данные заносим в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчетные нагрузки цеха

Территория предприятия	ГрЭП2	ГрЭП1	Наименование ЭП	
			$P_{уст}$, кВт	Низковольтная нагрузка
-	1903	2538	$P_{уст}$, кВт	
0,75	0,75	0,75	$K_{и}$	

0,9	0,95	0,95	$\cos\varphi_H$	Осветительная нагрузка
0,32	0,32	0,32	$\operatorname{tg}\varphi_H$	
0,015	0,015	0,015	$P_{удо}, \text{Вт}/\text{м}^2$	
500	-	-	$F, \text{м}^2$	
0,95	0,95	0,95	K_{co}	
0,57	0,57	0,57	$\cos\varphi_o$	
1,41	1,41	1,41	$\operatorname{tg}\varphi_o$	
-	1427	1903	$P_{рн}, \text{кВт}$	Низковольтная и осветительная нагрузка с учетом потерь
-	456,6	609	$Q_{рн}, \text{кВАр}$	
7,12	-	-	$P_{po}, \text{кВт}$	
10,25	-	-	$Q_{po}, \text{кВАр}$	
7,12	-	-	$P_{рн}+P_{po}$	
10,25	-	-	$Q_{рн}+Q_{po}$	
0,25	29,96	39,96	$\Delta P_T, \text{кВт}$	
1,25	149,8	199,8	$\Delta Q_T, \text{кВАр}$	
12,5	1498	1998	$S_p, \text{кВА}$	
7,37	1457	1943	$P_{рн}+P_{po}+\Delta P_T$	
11,5	606,4	808,8	$Q_{рн}+Q_{po}+\Delta Q_T$	
14	1578	2104,6	$S_{нн}, \text{кВА}$	

2.4. Определение центра электрических нагрузок

Центр электрических нагрузок определяется как некоторая постоянная точка на генеральном плане промышленного предприятия. В действительности центр смещается, что объясняется: изменениями потребляемой мощности отдельным приемником, цехом и предприятием в целом в соответствии с графиком нагрузки (на стадии проектирования график известен приблизительно, а на стадии эксплуатации постоянно меняется); изменениями сменности и других социально-экономических и экологических условий; развитием предприятия [18].

Имеется ряд математических методов, позволяющих определить условный центр электрических нагрузок (ЦЭН) промышленного предприятия или отдельных его цехов. При отыскании центра электрических нагрузок, например, для размещения распределительной подстанции, используется

план цеха с расположением трансформаторной подстанцией (ТП) и отдельных высоковольтных электроприемников, а при отыскании ЦЭН предприятия средней мощности (для крупного поиска центра не имеет смысла) используется его генеральный план, а в качестве отдельных потребителей рассматриваются цеха предприятия [15].

Наибольшее распространение получил метод, согласно которому если считать нагрузки цеха равномерно распределёнными по площади цеха, то центр нагрузок можно принять совпадающим с центром тяжести фигуры.

Определение центра электрических нагрузок (ЦЭН) производится для выбора места расположения ГПП. На основании построенных картограмм находят координаты условного центра активных электрических нагрузок предприятия, где и находится место расположения источника питания (ГПП). Если по каким-либо причинам (технологическим, архитектурным) нельзя расположить в этом центре источник питания, то его смещают в сторону, где есть реальная возможность его расположения [6].

Для определения центра электрических нагрузок, левый нижний угол периметра предприятия совмещаем с началом координат (по генплану), затем находим координаты центров электрических нагрузок каждого электроприемника [17].

Расчёт производится по формулам:

$$X_0 = \frac{\sum P_{Mi} \cdot X_i}{\sum P_{Mi}}$$

$$Y_0 = \frac{\sum P_{Mi} \cdot Y_i}{\sum P_{Mi}}$$

Определение месторасположения активного ЦЭН

$$X_{ца} = \frac{1943 \cdot 104 \cdot 0,1 + 1457 \cdot 101 \cdot 0,1 + 7,37 \cdot 125 \cdot 0,1}{1943 + 1457 + 7,37} = 10,27;$$

$$Y_{ца} = \frac{1943 \cdot 154 \cdot 0,1 + 1457 \cdot 42 \cdot 0,1 + 7,37 \cdot 100 \cdot 0,1}{1943 + 1457 + 7,37} = 10,59.$$

Результаты расчетов заносим в таблицу 5.

Таблица 5 - Месторасположения активного ЦЭН

№ по плану	Наименование цеха	P_{Σ} , кВт	$X_{0,1}$, м	$Y_{0,1}$, м	$P_{\Sigma} \cdot X$	$P_{\Sigma} \cdot Y$	$X_{цр}$	$Y_{цр}$
1	Гр ЭП1	1943.00	104	154	202072	299222	102,7	105,9
2	Гр ЭП2	1457.00	101	42	147157	61194		
3	Цех	7.37	125	100	921.25	737		

Определение месторасположения реактивного ЦЭН

$$X_{цр} = \frac{808,8 \cdot 104 \cdot 0,1 + 606,4 \cdot 101 \cdot 0,1 + 11,5 \cdot 125 \cdot 0,1}{808,8 + 606,4 + 11,5} = 10,28;$$

$$Y_{цр} = \frac{808,8 \cdot 154 \cdot 0,1 + 606,4 \cdot 42 \cdot 0,1 + 11,5 \cdot 100 \cdot 0,1}{808,8 + 606,4 + 11,5} = 10,59.$$

Результаты расчетов заносим в таблицу 6.

Таблица 6 - Месторасположения реактивного ЦЭН

№ по плану	Наименование цеха	P_{Σ} , кВт	$X_{0,1}$, м	$Y_{0,1}$, м	$Q_{\Sigma} \cdot X$	$Q_{\Sigma} \cdot Y$	$X_{цр}$	$Y_{цр}$
1	Гр ЭП1	808,8	104	154	84115,2	124555,2	102,8	105,9
2	Гр ЭП2	606,4	101	42	61246,4	25468,8		
3	Цех	11,5	125	100	1437,5	1150		
Итого		1426,7	-	-	146799,1	151174		

2.5. Выбор числа и мощности трансформаторов цеха

Правильный технически и экономически обоснованный выбор числа и мощности силовых трансформаторов для главных понизительных и цеховых подстанций промышленных предприятий имеет существенное значение для рационального построения схемы электроснабжения этих предприятий.

Число трансформаторов определяется требованиями надежности электроснабжения. С этих позиций наилучшим является вариант с установкой двух трансформаторов, обеспечивающий практически бесперебойное электроснабжение предприятия или цеха.

Для питания цеховых потребителей служит главным образом комплектные трансформаторные подстанции напряжением 6-10 кВ внутренней (КТП) и наружной (КТПН) установки, их электрооборудование и

токоведущие части находятся в закрытых оболочках. Подстанции состоят из трех блоков: вводного устройства напряжением 6...10кВ (шкафы ВВ-1, ВВ-2, ВВ-3 и ШВВ-3), силового трансформатора (марки ТМ, ТСЗ), распределительного устройства напряжением 0,4 кВ (шкафы КБ-1 - КБ4, КН-1 - КН6, КН-17, КН-20, ШНЛ, ШНВ, ШНС). Из этих блоков, поставляемых заводом, собирают подстанцию. Их выполняют как внутрицеховые подстанции, встраиваемые в здание цеха или в пристроенное к нему помещение. Отдельно стоящие подстанции целесообразно при питании от одной подстанции нескольких цехов, во взрывоопасных помещениях, при невозможности размещения их в цехе по технологическим условиям, они наиболее экономичны по капитальным затратам и эксплуатационным расходам.

Наиболее экономичным типом с точки зрения расхода проводникового материала (цветного металла) и потерь электроэнергии в питающих сетях является внутрицеховая трансформаторная подстанция. Располагаются такие подстанции между опорными колоннами, либо около внутренних или наружных стен здания внутри цеха[13].

К недостаткам применяемых внутрицеховых подстанций относится то, что они занимают дефицитную площадь цеха.

Выбор числа и мощности трансформаторной ЦТП обусловлен величиной и характером электрической нагрузки. При выборе числа и мощности трансформаторов следует добиваться экономически целесообразного режима их работы, обеспечения резервирования питания электроприемников при отключении одного из трансформаторов, стремиться к однотипности трансформаторов; кроме того, должен решаться вопрос об экономически целесообразной величине реактивной нагрузки, передаваемой в сеть напряжения до 1 кВ[17].

Количество цеховых ТП влияет на затраты распределительных устройств 6-20кВ, внутризаводские и цеховые электрические сети.

Однотрансформаторные подстанции применяются при наличии централизованного сервера и при взаимном резервировании трансформатора

по линиям низшего напряжения соседних ТП для потребителей 2 категории, при наличии в сети 380-660 В небольшого количества (20%) потребителей 1 категории при соответствующем построении схемы, а также для потребителей 3 категории при наличии централизованного резерва.

Двухтрансформаторные подстанции рекомендуется применять:

- при преобладании потребителей 1 категории;
- для сосредоточенной цеховой нагрузки и отдельно стоящих объектов общезаводского назначения (насосные и компрессорные станции);
- для цехов с высокой удельной плотностью нагрузки (выше 0,5 - 0,7 кВА/м).

Цеховые ТП с числом трансформаторов более двух экономически нецелесообразны и применяются в виде исключения при надлежащем обосновании: если имеются мощные электроприемники, сосредоточенные в одном месте, если нельзя рассредоточить подстанции по условиям технологии или окружающей среды[21].

Загрузка цеховых трансформаторов зависит от категории надежности электроснабжения электроприемников, от числа трансформаторов и способа резервирования[3].

Рекомендуется применять следующие коэффициенты загрузки (K_3)(приложение Г).

Будем считать, что вся реактивная мощность компенсируется на низкой стороне, а выбор трансформаторов проводим по полной мощности, численно равной активной расчётной мощности, потребляемой цехом. Выбор трансформаторов проводим с учётом того, что перегрузка в дневные часы компенсируется недогрузкой в ночные, вследствие чего допустима формула:

$$S_{\text{тр}} \geq \frac{S_p}{n \cdot K_3},$$

где $S_{\text{тр}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВАр;

S_p – расчётная мощность, потребляемая МЦ, с учётом полной компенсации реактивной мощности, кВА;

n – номинальное количество трансформаторов, в зависимости от категории (для I категории – 2; для II- 2; для III – 1);

K_3 – коэффициент загрузки трансформаторов (для I категории – 0,65; для II- 0,8; для III – 0,9).

Для цеха графитации (II категория) $K_3= 0,8$.

Для группы ЭП 2

Полная мощность группы

$$S_p = \sqrt{P_p'^2 + Q_p'^2}, \text{кВА},$$

где P_p' – сумма номинальных активных мощностей ЭП входящих в группу;

Q_p' – сумма номинальных реактивных мощностей ЭП входящих в группу.

$$S_p = \sqrt{1464,37^2 + 617,9^2} = 1589,8 \text{ кВА};$$

$$P_p' = \sum P_n = 1457 + 7,37 = 1464,37 \text{ кВт};$$

$$Q_p' = \sum Q_n = 606,4 + 11,5 = 617,9 \text{ кВАр};$$

$$S_{\text{тр}} = \frac{1589,8}{2 \cdot 0,7} = 1135 \text{ кВА}.$$

Выбираем тип трансформаторной подстанции 2КТП-ТМ-1600/10/0,4 с номинальной мощностью трансформатора $S_{\text{нтр}} = 1600 \text{ кВА}$ [3].

Экономически оправданная величина реактивной мощности, которую целесообразно передать со стороны 6-10кВ в сеть напряжением до 1кВ без увеличения числа и мощности трансформатора ЦТП определяется, как разница между полной мощностью, передачу которой может обеспечить ЦТП, и обязательной к передаче активной мощностью нагрузки, кВАр:

$$Q_{1p} = \sqrt{(S_{\text{нтр}} \cdot K_3 \cdot N)^2 - (P_p')^2},$$

где Q_{1p} – наибольшая реактивная мощность, которую целесообразно передавать в сеть напряжения до 1 кВ через трансформаторы;

$S_{\text{нтр}}$ – номинальная мощность трансформаторов цеховой ТП;

N – количество трансформаторов.

Величина Q_{1p} является расчетной, поэтому в общем случае допустимая реактивная нагрузка трансформаторов Q_1 не равна ей.

Если при этом оказывается, что $Q_{1p} > Q'_p$ то на ЦТП компенсацию реактивной мощности выполнять не имеет смысла и, следовательно, реактивная нагрузка ЦТП равна расчетной реактивной нагрузке потребителей стороны низкого напряжения.

В противном случае ($Q_{1p} < Q'_p$) требуется установка на стороне низкого напряжения ЦТП дополнительных источников реактивной мощности.

Чаще всего для этих целей применяются батареи конденсаторов (БК) [15].

Для группы ЭП 1

$$Q_{1p} = \sqrt{(2500 \cdot 0,7 \cdot 2)^2 - 1943^2} = 2911 \text{ кВАр.}$$

Так как $Q_{1p} > Q'_p$, компенсацию реактивной мощности выполнять не нужно.

При известных значениях величин активной P_p и реактивной Q_1 мощностей, определяющих нагрузку трансформатора, коэффициент загрузки в нормальном и аварийном режимах определяется как:

$$K_{знр} = \frac{\sqrt{(P'_p)^2 + (Q'_p)^2}}{N \cdot S_{нт}},$$

где P'_p - активная мощность определяющая нагрузку трансформатора, кВт;

Q_1 - реактивная мощность определяющая нагрузку трансформатора, кВАр.

$$K_{знр} = \frac{\sqrt{1943^2 + 808,8^2}}{2 \cdot 2500} = 0,42.$$

$$Q_1 = Q'_p.$$

Для двухтрансформаторных ЦТП

$$K_{зар} = 2K_{знр} = 2 \cdot 0,42 = 0,84.$$

Для однострансформаторных ЦТП коэффициент загрузки в аварийном режиме не определяется [15].

При определении нагрузки линий электропередач, питающих ЦТП необходимо учитывать потери активной и реактивной мощности в трансформаторах.

Приведенные потери (ΔP_T) – потери активной мощности, которые возникают в системе электроснабжения по всей цепочке питания от генераторов электростанций до рассматриваемых трансформаторов из-за потребления трансформаторами реактивной мощности [17].

$$\Delta P_T = N \cdot (\Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}),$$

где N – количество трансформаторов, шт.;

ΔP_{xx} – потери холостого хода трансформатора, кВт;

K_3 – коэффициент загрузки трансформатора;

$\Delta P_{кз}$ – потери при коротком замыкании, кВт.

$$\Delta P_T = 2 \cdot (2,6 + 0,8^2 \cdot 26,5) = 31,17 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_T = \frac{1}{N} \cdot \left(\frac{I_{xx}}{100} \cdot S_{нт} + K_3^2 \cdot \frac{U_{кз}}{100} \cdot S_{нт} \right),$$

где N – количество трансформаторов, шт.;

I_{xx} – ток холостого хода трансформатора, А;

$S_{нт}$ – номинальная полная мощность, кВА;

K_3 – коэффициент загрузки трансформатора;

$U_{кз}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

$$\Delta Q_T = \frac{1}{2} \left(\frac{0,4}{100} \cdot 2500 + 0,8^2 \cdot \frac{6}{100} \cdot 2500 \right) = 41,75 \text{ кВАр.}$$

Нагрузка на стороне высокого напряжения ЦТП определяется из соотношения [17].

Активная нагрузка

$$P'_{p\Sigma} = P'_p + \Delta P,$$

где P'_p – номинальная активная мощность ЭП группы, кВт;

ΔP – потери активной мощности в трансформаторах.

$$P'_{p\Sigma} = 1943 + 31,17 = 1974,17 \text{ кВт.}$$

Реактивная нагрузка

$$Q'_{p\Sigma} = Q'_p + \Delta Q,$$

где Q'_p – номинальная реактивная мощность ЭП группы, кВАр;

ΔQ – потери реактивной мощности в трансформаторах.

$$Q'_{p\Sigma} = 808,8 + 41,75 = 850,55 \text{ кВАр.}$$

Полная нагрузка

$$S'_{P\Sigma} = \sqrt{(P'_{P\Sigma})^2 + (Q'_{P\Sigma})^2},$$

где $P'_{P\Sigma}$ - активная нагрузка на стороне высокого напряжения, кВт;

$Q'_{P\Sigma}$ - реактивная нагрузка на стороне высокого напряжения, кВАр.

$$S'_{P\Sigma} = \sqrt{1974^2 + 850,55^2} = 2149,6 \text{ кВА.}$$

Данные заносим в таблицу 7.

Таблица 7 – Расчет цеховых трансформаторных подстанций

Группа ЭП1	Территория предприятия	Группа ЭП2	Наименование
2	3	2	Категория
1943	1464,37		P'_p , кВт
808,8	617,9		Q'_p , кВАр
2104,6	1589,8		$S_{нп}$, кВА
2КТП ТМГ 11-2500\10\0,4-У1	2КТП-ТМ-1600\10\0,4		Тип трансформатора
2500	1600		$S_{нт}$, кВА
2	2		n, шт.
1x1	1x1		(1x1); (1x2)
0,7	0,7		$K_{загр}$
2911	1695		Q_{1p} , кВАр
-	-		$Q_k = Q_p - Q_{1p}$, квар
-	-		Q_1 , кВАр
0,42	0,49		$K_{з.н.р}$
0,84	0,98		$K_{з.а.р}$
2,6	2,1		ΔP_{xx}
26,5	16,5		$\Delta P_{кз}$
0,4	0,5		I_{xx}
6	6		$U_{кз}$
31,17	20,37		ΔP_T
41,75	27,52		ΔQ_T
1974,17	1484,74		$P_p + P_{осв} + \Delta P_T$, кВт
850,55	645,42		$Q_1 + \Delta Q_T$, кВАр
2149,6	1618,9		S, кВА
-	-		Тип БК

2.6. Расчёт сети напряжением до 1000 В

В этом пункте необходимо выбрать элементы сети 380 В цеха.

Все приёмники в цехе защищаются автоматическими выключателями.

Они разделены по узлам. Данные к расчёту приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Данные электроприемников цеха

Наименование электроприемника	P_n кВт	$\cos\varphi$	КПД %	I_n А
Печь графитации марки CJ-ZSM-160	800	0,95	85	1281
Печь графитации марки CJ-ZSM-190	900	0,95	85	1441

Значение $I_{ном}$ для каждого ЭП определим по формуле [19]

$$I_{ном} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_n \cdot \cos\varphi}, \text{ А,}$$

где $P_{ном}$ – номинальная активная мощность приёмника, кВт;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение сети, кВ;

η – номинальный коэффициент полезного действия %;

$\cos\varphi$ – номинальный коэффициент мощности.

$$I_{ном} = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,95} = 1281 \text{ А.}$$

Автоматические выключатели выбираем по номинальному и пусковому токам приёмника [9]

$$I_y \geq I_{ном}, \text{ А;}$$

$$I_{эм} \geq 1,25 I_{кр}, \text{ А,}$$

где $I_{ном}$ – номинальный ток ЭП, А;

I_y – ток уставки автомата, А;

$I_{эм}$ – ток электромагнитного расцепителя, А;

$I_{кр}$ – наибольший кратковременный (пусковой) ток приёмника, А.

Выбираем ток уставки автомата $I_y = 1300 \text{ А}$.

Наибольший кратковременный ток равен:

$$I_{кр} = 5 I_{ном} = 5 \cdot 1280 = 6405 \text{ А.}$$

Ток электромагнитного расцепителя автомата равен $(3,5,7,12) I_{уст}$.

Таким образом, получаем:

$$I_{ном} = 1600 \text{ А} > I_{ном \text{ ЭП}} = 1281 \text{ А;}$$

$$I_{эм} = 5 \cdot 1600 = 10000 \text{ А} > 1,25 \cdot 6405 = 8006 \text{ А}.$$

Выбираем автоматический выключатель

$$\text{ВА} - 86 - 43 (I_n = 1600 \text{ А}, I_{эм} = 5I_n).$$

Выбор остальной защитной аппаратуры проведём аналогично, результаты расчёта заносим в таблицу 9.

Таблица 9 – Выбор аппаратов защиты и шинопроводов для каждого электроприемника

ЭП на плане	P _н , кВт	I _н , А	I _{кр} , А	1,25 I _{кр} А	Данные автоматов			Данные шинопроводов			
					тип	I _н , А	I _у , А	I _{эм} , А	марка	I _{доп} , А	Длина ШП, м
1; 2; 3	800	1281	6405	8006	ВА	1600	1300	5I _н	ШМА73	1600	19;12;6
4; 5	900	1695	8475	10593	ВА	2500	1700	5I _н	ШМА68П	2500	18;6

Произведем выбор шинопровода, питающего установку [13].

Сечение электросетей должно быть таким, чтобы они не перегревались при любой нагрузке в нормальном рабочем режиме, потери напряжения в них не превышали установленные пределы, а плотность тока соответствовала экономической. Сечение проводов, шин и кабелей напряжение ниже 1000 В по условию нагрева определяют из таблиц в зависимости от расчетного значения длительно допустимой токовой нагрузки при нормальных условиях прокладки.

$$I_{доп} \geq I_y \cdot K_{уст},$$

где $K_{уст} = 1$ – коэффициент, зависящий от типа устройства, защищающего кабель.

Выбираем шинопровод марки ШМА73, $I_{доп} = 1600$ (А) (см. таблицу 8).

2.7. Выбор защитных автоматов и питающих кабелей для распределительных шкафов и шинопроводов

Когда выбирают автомат защиты исходят из того, что его номинальное напряжение должно быть выше или равно номинальному напряжению сети. Определяют также с помощью расчетов максимальную силу тока короткого замыкания в зоне защиты и предельно допустимую силу тока

автоматического выключателя выбирают больше этой величины. Номинальная сила тока расцепителя, кроме того, должна быть несколько больше значения силы тока длительной максимальной нагрузки, иначе автомат будет отключать цепь не только при отклонении силы тока от своего заданного значения, но и при нормальном режиме работы.

Необходимо обеспечить селективность действия автомата. Он должен отключать защищаемого потребителя раньше, чем другие аппараты защиты, расположенные ближе к источнику питания, отключат всю группу потребителей.

В зависимости от используемой сети применяются четырёхполюсные, трехполюсные, двухполюсные и однополюсные автоматические выключатели. Четырёхполюсные и трехполюсные служат для защиты электроприемников трехфазного тока или устанавливаются при трёхфазном вводе. Двухполюсные и однополюсные автоматические выключатели применяются в однофазных электрических сетях [3].

Для цеховых электрических сетей напряжением 380\220 В с заземленной нейтралью применяют комплектные шинопроводы заводского изготовления. Комплектными шинопроводами преимущественно выполняются магистральные схемы питания приемников электроэнергии.

Комплектные шинопроводы бывают магистральные и распределительные [15].

Комплектные шинопроводы (рисунок 4) имеют высокую монтажную готовность, что позволяет вести монтаж цеховой электрической сети к сборке отдельных линий из элементов шинопровода – секций. Секции обычно представляют собой три или четыре шины, которые заключены в оболочку и скреплены самой оболочкой либо специальными изоляторами. В зависимости от исполнения секции бывают прямые, угловые, тройниковые и крестообразные, ответвительные, присоединительные, компенсационные (для компенсации изменения длины) и подгоночные.

В комплект шинопроводов входят коробки с защитной и коммутационно-защитной аппаратурой и с контактами для присоединения питающего кабеля.

Шины шинопроводов выполняют из алюминия или меди. Применяются также шины из алюминиевых сплавов.

Шинопроводы обычно выполняют трех- или четырехпроводными с нулевым или нейтральным проводником. Сечение нулевого проводника может быть равно 25, 50, 75, и 100% сечения фазного проводника.

Нулевые проводники сечением 25 и 50% фазного проводника характерны для магистральных шинопроводов.

Конструкции современных комплектных шинопроводов выполняются электродинамически и термически стойкими[8].

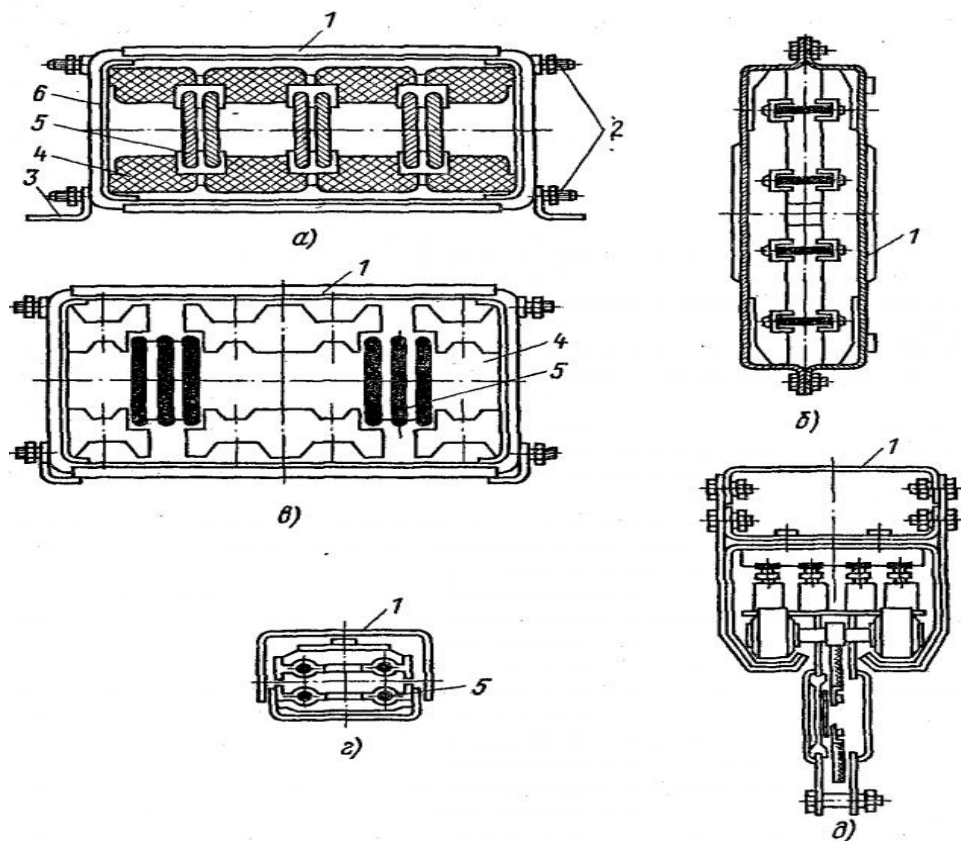


Рисунок 4 - Шинопроводы разных серий: [19]

а - магистральный ШМА, б - распределительный ШРА, в - магистральный постоянного тока ШМАД, г - осветительный ШОС, д - троллейный ШТМ;

1 - крышка, 2 - стяжные болты, 3 - алюминиевые уголки, 4 - изоляторы; 5 - шины, 6 - ядро

Выбираем автоматы, защищающие все приёмники в узле [15].

Максимальный пиковый ток определим по формуле

$$I_{кргр1} = I_{крmax} + (I_{ргр} - I_{нmax}) \cdot K_{и} \cdot K_{м} \text{ А,}$$

где $I_{кр.мах}$ – пусковой ток самого мощного приёмника в группе, А;

$I_{р.узла}$ – расчётный ток узла, А;

$K_{и}$ – коэффициент использования (см. таблицу 1);

$K_{м}$ – коэффициент максимума, (см. таблицу 1).

$$I_{кр гр1} = 6405 + (3977 - 1281) \cdot 0,75 \cdot 1,29 = 9014 \text{ А.}$$

Выбор автоматов и кабелей, защищающих и питающих распределительные шкафы проведём так же, как и для приёмников в отдельности.

Данные заносим в таблицу 10.

Таблица 10 - Выбор аппаратов защиты и шинопроводов для групп электроприемников

№ группы ЭП	Расчетные данные			Данные автоматов			Данные шинопроводов			
	I_p , А	$I_{кр}$, А	$1,25 I_{кр}$, А	тип	I_p , А	$I_{кр}$, А	$1,25 I_{кр}$, А	марка	$I_{доп}$, А	Длина ШП, м
ЭП1	3977	9014	11267	ABB	4500	4000	$3I_H$	ШМА68П	4000	14
ЭП2	2983	9721	12151	ABB	3000	3000	$5I_H$	ШМА - 4	3200	18

2.8. Расчёт токов короткого замыкания в сети 0,38 кВ

Схема к расчёту токов короткого замыкания (к.з.) на 0,4 кВ приведена в приложении Е.

Особенностью расчета токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ является то, что при определении сопротивления цепи к.з. учитываются не только активные и индуктивные сопротивления трансформаторов, кабелей, проводов и шин, но и сопротивление аппаратов (токовых катушек расцепителей автоматических выключателей, первичных обмоток трансформаторов тока, всех переходных контактов короткозамкнутой цепи) [12].

В системах электроснабжения промышленных предприятий электрические сети до 1000 В имеют наибольшую протяженность и большое

количество электрической аппаратуры: трансформаторы тока, контакторы, автоматы и т.д.

Активное сопротивление линий, индуктивное сопротивление трансформаторов тока, катушек автоматов, контакторов, оказывают значительное влияние на короткое замыкание. Если не учитывать все эти факторы, как это делается при расчете токов к.з. в сетях выше 1000 В, то это может привести к большой ошибке, что повлечет за собой неправильный выбор сечений проводов и кабелей и параметров электрической аппаратуры.

Активное сопротивление цепи оказывает большое влияние на апериодическую составляющую тока к.з., которая затухает очень быстро. Промышленные предприятия, как правило, получают питание от мощных энергетических систем, поэтому напряжение на шинах высшего напряжения ГПП промышленного предприятия можно считать постоянным. Это обстоятельство способствует тому, что периодическая составляющая тока к.з. практически не изменяется во времени и остается постоянной от начала до отключения к.з.

Реактивное и активное сопротивление шинопроводов (приложения Ж,И).

$$X_{\text{кл}} = X_0 \cdot l = 0.061 \cdot 14 = 0.854 \text{ мОм};$$

$$r_{\text{кл}} = r_0 \cdot l = 0.83 \cdot 14 = 11.62 \text{ мОм}.$$

Результирующее сопротивление прямой последовательности до точки короткого замыкания рассчитывается по формулам:

$$X_{\text{рез}} = X_{\text{тр}} + X_{\text{ав}} + X_{\text{кл}} = 8,6 + 0,05 + 0,854 = 9,5 \text{ мОм};$$

$$r_{\text{рез}} = r_{\text{тр}} + r_{\text{ав}} + r_{\text{кл}} = 1,8 + 0,1 + 11,62 = 13,5 \text{ мОм},$$

где $X_{\text{тр}}, r_{\text{тр}}$ – реактивное и активное сопротивления цехового трансформатора (приложение Д);

$X_{\text{ав}}, r_{\text{ав}}$ – реактивное и активное сопротивления автомата (приложение К).

Ток трехфазного короткого замыкания

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\text{рез}}^2 + X_{\text{рез}}^2}}, \text{ кА},$$

где $U_{\text{ср}}$ – среднее напряжение сети, кВ;

$r_{\text{рез}}$ – активное результирующее сопротивление прямой последовательности;

$x_{\text{рез}}$ – реактивное результирующее сопротивление прямой последовательности.

$$I_k^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{13,5^2 + 9,5^2}} = 14,01 \text{ кА.}$$

Если ток короткого замыкания в точке к.з. оказался больше, чем $I_{\text{эм}}$ автомата АВ, то автомат отключит ток короткого замыкания, и все остальные автоматы сработают при возникновении короткого замыкания на их участках, ($14,01 \text{ кА} > 13 \text{ кА}$).

Ток двухфазного короткого замыкания

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot I_k^{(3)}, \text{ кА};$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 14,01 = 9,87, \text{ кА.}$$

Ток однофазного короткого замыкания

Эквивалентное сопротивление обратной последовательности принимается равным сопротивлению прямой последовательности.

$$I_k^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ср}}}{\sqrt{(r_1 + r + r_0)^2 + (x_1 + x + x_0)^2}}, \text{ кА};$$

$$I_k^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(9,5 + 9,5 + 1)^2 + (13,5 + 13,5 + 1)^2}} = 20,11 \text{ кА.}$$

Данные заносим в таблицу 11.

Таблица 11 – Расчет токов короткого замыкания

№ ЭП	Вид короткого замыкания		
	Трехфазное	Двухфазное	Однофазное
ЭП1	14,04	ЭП1	14,04
ЭП2	15,41	ЭП2	15,41

3. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

3.1. Техническое описание

Для графитации углеродистых изделий и материалов используют печи, содержащие корпус, туннельную камеру с зонами предварительного нагрева, графитации и охлаждения, загрузочное и разгрузочное устройства.

Недостаток таких печей – низкий срок службы, вследствие осаждения на стенках туннеля зольных компонентов, выделяющихся из графитируемых материалов и изделий, и интенсивного износа графитового нагревателя, работающего в водороде при температуре 2500 – 3000⁰ С.

Известна также печь для графитации углеродистых материалов и изделий, содержащая корпус, туннельную камеру с зонами предварительного нагрева, графитации и охлаждения, устройство для перемещения изделий, выполненное в виде размещенной в камере транспортной ленты из графитированного волокнистого материала, устройство для удаления продуктов термообработки, выполненное в виде волокнистой углесодержащей ленты, размещенной с возможностью продольного перемещения между обрабатываемыми изделиями и стенками камеры.

В этой печи обеспечивается улавливание и удаление зольных компонентов, выделяющихся из графитируемых изделий, однако из-за наличия между изделиями и графитовым нагревателем волокнистой ленты происходит интенсивный износ нагревателя и ленты, что снижает срок службы печи.

Горизонтальные высокотемпературные печи для графитизации CJ-ZSM-130/130/160 и CJ-ZSM-130/130/190, китайской компании Changjianggroupincorporationlimited, которая является лидером на рынке по производству углеродных и углеграфитных материалов, являются более надежными в работе.

Надежность достигается тем, что лента выполнена с возможностью поперечного перемещения и установлена вне зоны графитации.

3.2. Обоснование экономического эффекта

Задачей работы является увеличение объемов производства до трех тысяч тонн, для этого проектом предусмотрена модернизация производства графитизированной продукции путем замены старого моральноустаревшего оборудования на наиболее производительное.

Согласно расчетам для увеличения объемов, нам понадобится 5 печей.

Затраты на капитальные вложения составят 8700000 рублей.

Ежегодная амортизация составит 104400 рублей.

Замена оборудования не влечет изменения затрат на материалы и заработную плату они являются условно постоянными расходами. При том же количестве старого оборудования объем производства достигал 1500 тонн.

Замена электрооборудования снизит энергозатраты на одну тонну произведенной продукции.

Исходные данные даны в таблице 12.

Таблица 12 – Исходные данные

Наименование	Обозначение	Количество
Годовая программа выпуска	$N_{\text{год}}$	3000
Время обработки (на 1 загрузку в печи)	t	26
Кол-во деталей на одну загрузку (норматив.)	-	2
Кол-во деталей на одну загрузку (факт.)	-	1,8
Кол-во загрузок в печь на годовую программу выпуска	-	1500

Годовой фонд времени работы оборудования (номинальный)	F_H	8760
Потери номинального времени работы оборудования на ремонтные работы	k_p	1,5
Нормативный коэффициент загрузки оборудования	k_z	0,9
Коэффициент выполнения норм	$k_{вн}$	1
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$k_{тз}$	0,1
Коэффициент затрат на строительные работы и устройство фундамента оборудования	$k_{стр}$	0,02
Коэффициент на монтаж и освоение оборудования	k_m	0,04
Покупная цена оборудования (печь для графитизации)	$\Pi_{тех}$	1500000
Срок полезного использования печи	СПИ	85
Суммарная мощность оборудования	-	4200
Часовая тарифная ставка рабочих основного производства		
3 разряд	-	96
4 разряд	-	120

3.3. Техничко-экономические расчеты

Определим количество технологического оборудования [3].

Количество технологического оборудования рассчитывают по формуле:

$$q = \frac{t \cdot N_{год}}{F_{об} \cdot k_{вн} \cdot k_z},$$

где t – штучно-калькуляционное время операции, мин;

$N_{год}$ – годовая программа выпуска деталей, шт.;

$F_{об}$ – действительный фонд времени работы оборудования, ч;

$k_{вн}$ – коэффициент выполнения норм времени (по данным предприятия

$k_{вн} = 1,0 \div 1,2$);

k_z – коэффициент загрузки оборудования (по данным предприятия).

$$q = \frac{26 \cdot 1500}{8629 \cdot 1 \cdot 0,9} = 5 \text{ шт.}$$

Действительный годовой фонд времени работы единицы оборудования рассчитывается следующим образом:

$$F_{об} = F_H \cdot \left(1 - \frac{k_p}{100}\right),$$

где F_H – номинальный фонд времени работы единицы оборудования, ч;

k_p – потери номинального времени работы единицы оборудования на ремонтные работы, %.

$$F_{об} = 8760 \cdot \left(1 - \frac{2,4}{100}\right) = 8629 \text{ ч.}$$

Номинальный фонд времени работы единицы оборудования определяется по производственному календарю на текущий год (365 дней в году при непрерывном производстве и четырех сменном режиме работы).

$$F_H = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ ч.}$$

Капитальные вложения в оборудование

Стоимость единицы технологического оборудования устанавливается в зависимости от того, приобретается это оборудование или имеется на заводе.

В случае приобретения нового оборудования его стоимость будет равна:

$$C_{\text{тех}} = C_{\text{тех}} \cdot (1 + k_{\text{тз}} + k_{\text{стр}} + k_{\text{м}}),$$

где $C_{\text{тех}}$ – оптовая цена единицы технологического оборудования, руб./ед.;

$k_{\text{тз}}$ – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, связанные с приобретением оборудования ($k_{\text{тз}} = 0,05 \div 0,1$);

$k_{\text{стр}}$ – коэффициент, учитывающий затраты на строительные работы и устройство фундамента для оборудования (в зависимости от веса и сложности оборудования $k_{\text{стр}} = 0,02 \div 0,08$);

$k_{\text{м}}$ – коэффициент, учитывающий затраты на монтаж и освоение оборудования ($k_{\text{м}} = 0,04 \div 0,06$).

$$C_{\text{тех}} = 1500000 \cdot (1 + 0,1 + 0,02 + 0,04) = 1740000 \text{ руб.}$$

Капитальные вложения в технологическое оборудование

$$K_{\text{тех}} = C_{\text{тех}} \cdot q,$$

где $C_{\text{тех}}$ – стоимость единицы технологического оборудования;

q – количество приобретаемого оборудования.

$$K_{\text{тех}} = 1740000 \cdot 5 = 8700000 \text{ руб.}$$

Норма амортизационных отчислений

Начисление амортизации в отношении объекта амортизируемого имущества осуществляется в соответствии с нормой амортизации, определенной для данного объекта исходя из срока его полезного использования (СПИ). При применении линейного метода сумма амортизации в отношении объекта амортизируемого имущества

рассчитывается как произведение его первоначальной (восстановительной) стоимости и нормам амортизации, определенной для данного объекта исходя из срока полезного использования (1/СПИ). Срок полезного использования объекта оговорен в технических условиях по эксплуатации объекта. Его также определяют исходя из ожидаемого срока физического износа либо устанавливают в соответствии с постановлением Правительства РФ от 1 января 2002 г. «О классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы».

$$H_a = \frac{1}{\text{СПИ}}, \text{ руб.},$$

где СПИ – срок полезного использования оборудования.

$$H_a = \frac{1}{85} = 0,012 \text{ руб.}$$

Данные заносим в таблицу 13.

Таблица 13 – Капитальные вложения в оборудование

Наименование	Обозначение	Количество
Действительный годовой фонд работы оборудования	F _{об}	8629
Кол-во технологического оборудования	q	5
Стоимость единицы технологического оборудования (печи)	C _{тех}	1740000
Капитальные вложения в технологическое оборудование	K _{тех}	8700000
Норма амортизационных отчислений	H _a	0.012

Коэффициент монтажных и транспортных расходов

$$C_{\text{тех}} = 1 + K_{\text{тз}} + K_{\text{стр}} + K_{\text{м}},$$

где K_{тз} – коэффициент транспортно-заготовительных расходов;

K_{стр} – коэффициент затрат на строительные работы и устройство фундамента оборудования;

K_м – коэффициент на монтаж и освоение оборудования.

$$C_{\text{тех}} = 1 + 0,1 + 0,02 + 0,04 = 1,16.$$

Полная стоимость оборудования

$$C_{\text{п}} = C_{\text{тех}} \cdot q, \text{ руб.},$$

где C_{тех} – стоимость единицы технологического оборудования;

q – количество оборудования.

$$C_{п} = 1740000 \cdot 5 = 8700000 \text{ руб.}$$

Годовая сумма амортизации

$$C_{ар} = C_{п} \cdot N_{а}, \text{руб.},$$

где $N_{а}$ – норма амортизационных отчислений.

$$C_{ар} = 8700000 \cdot 0,012 = 104400 \text{ руб.}$$

Данные заносим в таблицу 14.

Таблица 14 – Основные фонды

Наименование основных фондов	Печь для графитизации
Количество оборудования, шт.	5
Оптовая цена, руб.	1500000
Коэффициент монтажных и транспортных расходов	1,16
Полная стоимость ед. оборудования, руб.	1740000
Полная стоимость группы оборудования, тыс.руб.	8700000
Норма амортизационных отчислений	0,012
Годовая сумма амортизации, руб.	104400

Годовые затраты на электроэнергию

$$Z_{эг} = \frac{P_{н} \cdot k_{н} \cdot k_{w} \cdot F_{об}}{\eta \cdot 1} * C_{э}, \text{руб.},$$

где $P_{н}$ – номинальная мощность всех электроприемников, кВт;

$k_{н}$ – средний коэффициент загрузки электродвигателя по мощности ($k_{н} = 0,2 \div 0,4$);

k_{w} – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в сети предприятия ($k_{w} = 1,04 \div 1,08$);

η – коэффициент полезного действия оборудования (по паспорту оборудования);

$C_{э}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.

$$Z_{эг} = \frac{4200 \cdot 0,8 \cdot 1,08 \cdot 8629}{0,85 \cdot 1} * 5 = 184193618,82 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию на 1 тонну продукции

$$Z_{\text{эт}} = \frac{Z_{\text{эг}}}{N_{\text{год}}}, \text{ руб.},$$

где $N_{\text{год}}$ – годовая программа выпуска, т.

$$Z_{\text{эт}} = \frac{184193618,82}{3000} = 61397,87 \text{ руб.}$$

Данные заносим в таблицу 15.

Таблица 15 -Технико-экономические показатели работы участка

Наименование	Количество
Годовой выпуск продукции (т)	3000
Количество печей (шт.)	5
Капитальные вложения (руб.)	8700000
Энергозатраты на тонну продукции (руб.)	61397,87
Годовая амортизация (руб.)	104400

4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ ПО ТЕМЕ «РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК»

Цель практического занятия

Закрепление пройденного теоретического материала, овладение методикой расчета нагрузок и выбора основного электротехнического оборудования системы электроснабжения цеха предприятия, в связи с реконструкцией одного из его участков, посредством ввода дополнительных электроприемников (ЭП) и установкой нового распределительного пункта (РП).

Задание к занятию

Практическое задание состоит из задачи. Варианты задачи сведены в таблицы 1, 2, всего вариантов 10. Учащиеся выполняют задание в соответствии с выданным номером варианта.

Необходимо, определить расчетную нагрузку и выбрать основное электротехническое оборудование цеха промышленного предприятия, электроснабжение которого осуществляется по двум кабельным линиям номинального напряжения 10 кВ. В цехе установлена цеховая понизительная подстанция (ЦТП) с трансформаторами 630 кВА и следующее оборудование:

- станки токарные;
- станки строгальные;
- штамповочные прессы;
- вентиляторы;
- мостовой кран.

Величина тока трехфазного короткого замыкания на шинах высшего напряжения ЦТП составляет 19 кА.

В таблице 16 по вариантам приведены номинальные мощности (кВт) для всех электроприемников, установленных в цехе и продолжительность включения (ПВ) мостового крана, а в таблице 17 – их количество. В расчетах используются данные приведенные в приложениях 1,2 и 3. Помещение цеха сухое, взрыво- и пожаробезопасное, средняя температура воздуха в помещении +25°С, на территории цеха имеются заглубленные кабельные каналы, расстояние до нового РП, при использовании кабельных каналов, 50 м.

Упрощенная схема ЦТП и ее связь с главной понизительной подстанцией (ГПП) приведена на рисунке 5.

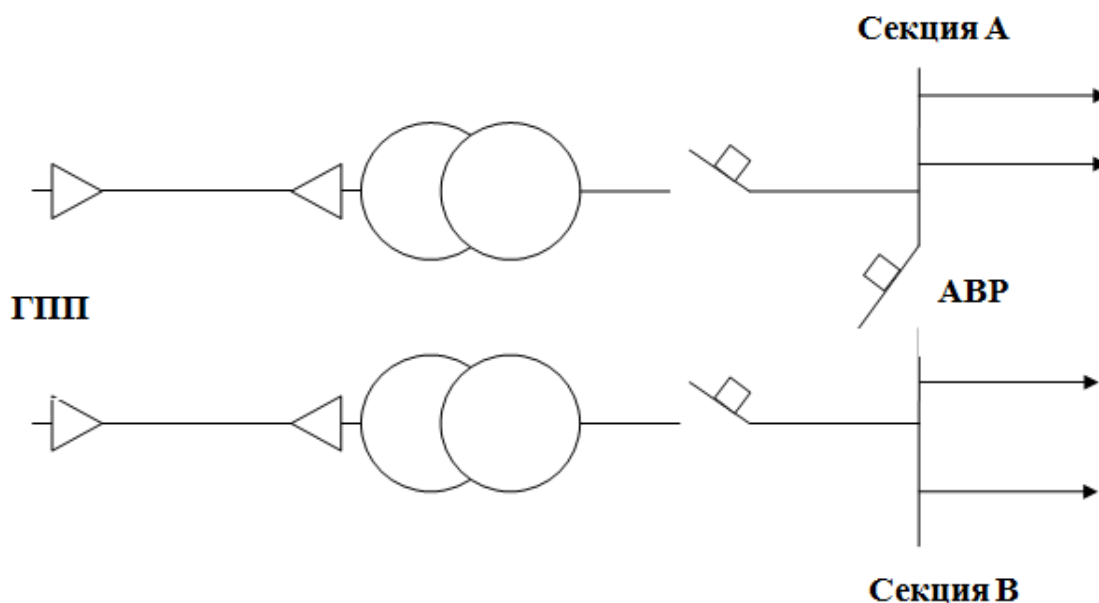


Рисунок 5 - Упрощенная схема цеховой понизительной подстанции

Таблица 16 - Исходные данные к задаче (мощность электроприемников)

Варианты заданий									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9,5	19,2	15,6	19,3	17,2	9,6	19,5	10,5	11,6	6,8
18,5	11	8,4	17,2	16	17,5	10,4	6,4	15,7	12,6
25	19	22,6	7,8	10,5	16,7	24,5	17,2	21,5	15,3
4,5	5	5,5	9,6	6,5	7,8	10,8	5,6	7,5	10,5
32 / 0,41	36,7 / 0,51	30,2 / 0,42	35 / 0,35	30,7 / 0,71	32,5 / 0,52	30,6 / 0,65	25,6 / 0,36	28,5 / 0,75	25,1 / 0,44

Таблица 17 - Исходные данные к задаче (количество электроприемников)

Варианты заданий									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	10	2	3	4	5	1	5	4	2
2	7	6	6	5	3	4	6	7	3
2	3	2	3	8	2	2	2	2	2
12	15	6	7	7	3	11	5	4	2
1	1	1	1	1	1	1	1	2	1

Пример расчета задачи

Перечень предполагаемых к установке ЭП и их параметры:

- станки строгальные $P_{\text{НОМ}} = 18,5 \text{ кВт}$, 2 шт.;
- штамповочные прессы $P_{\text{НОМ}} = 25 \text{ кВт}$, 2 шт.;
- вентиляторы $P_{\text{НОМ}} = 4,5 \text{ кВт}$, 2 шт.;
- мостовой кран $P_{\text{пасп}} = 32 \text{ кВт}$, $ПВ = 0,41$, 1 шт.

Для выбора параметров питающих кабельных линий и оборудования РП необходимо выполнить расчет мощностей и токов ЭП в нормальном режиме, режимах пуска двигателей ЭП и коротких замыканий.

При определении расчетных электрических нагрузок вводимого оборудования используется метод упорядоченных диаграмм.

На основе справочных материалов (приложение А) определяются значения коэффициентов использования активной мощности $K_{\text{иа}}$ и $\cos \varphi / \text{tg} \varphi$ для всех электроприемников и заносятся в таблицу, один из возможных вариантов такой таблицы приведен ниже (таблица 18). Предварительно для электродвигателя мостового крана рассчитывается номинальная мощность, приведенная к продолжительности включения $ПВ = 1$, $P_{\text{НОМ}} = P_{\text{пасп}} \times \sqrt{ПВ}$.

При анализе выделяются две группы электроприемников: группа А с повторно-кратковременным режимом работы ($K_{\text{иа}} < 0,6$); группа Б с продолжительным режимом (в рассматриваемом примере группа Б представлена только вентиляторами), для которой $K_{\text{иа}} \geq 0,6$ и $ПВ = 1$. К группе Б обычно относят электродвигатели насосов, вентиляторов,

нерегулируемых дымососов, шаровых мельниц, печи сопротивления и т.д. Перечисленные электроприемники при вычислении максимальной расчетной нагрузки группы учитываются величиной их средней мощности.

Таблица 18 - Расчет максимальных нагрузок электроприемников

Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Ном. мощность, кВт		$K_{иа}$	$\cos\varphi/\text{tg}\varphi$	$P_{см}, кВт$	$Q_{см}, кВАр$
		единичная	общая				
Г р у п п а А							
Токарные станки	3	7,5	22,5	0,08	0,6	2,0	2,6
Строгальные станки	2	18,5	37	0,16	0,6	5,9	8,0
Штамповочные прессы	2	25	50	0,17	0,65	8,5	9,8
Мостовой кран	1	20,6	20,6	0,1	0,5	2	3,5
Итого по группе А	8	–	130	0,14	–	18,4	23,9
Г р у п п а Б							
Вентиляторы	2	4,5	9	0,6	0,8	5,4	4,05

Величина эффективного числа ЭП $n_э$ определяет выбор методики расчета нагрузок РП по группе А. Общее число ЭП группы А составляет 8 элементов ($n = 8$), отношение номинальных мощностей наиболее и наименее крупных ЭП в группе А составляет 3,33 ($m = 25/7,5 = 3,33$). Общий коэффициент использования $K_{иа}$ группы А:

$$K_{иа} = \frac{P_{см}}{P_{ном}} = \frac{18,4}{130} = 0,14,$$

где $P_{см}$ - максимальная средняя, а

$P_{ном}$ - суммарная номинальная мощности группы А.

При $m > 3$ и $K_{иа} < 0,2$ величина эффективного числа ЭП $n_э$ определяется через относительное значение числа ЭП $n_{э*}$ в следующей последовательности:

– выбирается самый мощный ЭП рассматриваемого узла (двигатель штамповочного прессы мощностью 25 кВт);

– выбираются ЭП, номинальные мощности которых равны половине мощности наибольшего (двигатели приводов строгальных станков - 2 шт., $P_{\text{НОМ}} = 18,5 \text{ кВт}$; штамповочные прессы - 2 шт., $P_{\text{НОМ}} = 25 \text{ кВт}$; мостовой кран - 1 шт., $P_{\text{НОМ}} = 20,6 \text{ кВт}$ или больше ее;

– подсчитываются число таких ЭП n_1 и их суммарная номинальная мощность $P_{\text{НОМ}_1}$ ($n_1 = 5$, $P_{\text{НОМ}_1} = 107,6 \text{ кВт}$);

– находятся относительные значения числа n_{*1} и мощности P_{*1} крупных ЭП по соотношениям: $n_{*1} = n_1/n$ и $P_{*1} = P_{\text{НОМ}_1}/P_{\text{НОМ}}$ ($n_{*1} = 5/8 = 0,625$ и $P_{*1} = 107,6/130 = 0,828$);

– определяется относительное число эффективных ЭП n_{*} с использованием полученных значений n_{*1} и P_{*1} на основе интерполяции ($n_{*} = 0,8$);

– определяется абсолютное число эффективных ЭП, $n_{\text{э}} = n_{*} \times n$ ($n_{\text{э}} = 0,8 \cdot 8 = 6,4$);

– определяется коэффициент максимума активной мощности $K_{\text{ма}}$ (см. приложение Б) по найденным значениям $n_{\text{э}}$ и $K_{\text{на}}$ с использованием интерполяции ($K_{\text{ма}} = 2,6$);

– определяется расчетная максимальная активная мощность группы А $P_{\text{р}}$, $P_{\text{р}} = K_{\text{ма}} P_{\text{см}}$ ($P_{\text{р}} = 2,6 \cdot 18,4 = 47,8 \text{ кВт}$).

Расчетный максимум реактивной мощности находится по формуле:

$$Q_{\text{р}} = K_{\text{мр}} Q_{\text{см}},$$

где коэффициент максимума реактивной мощности $K_{\text{мр}}$ принимается равным 1,1 при эффективном числе ЭП меньше 10 ($Q_{\text{р}} = 1,1 \cdot 23,9 = 26,3 \text{ кВАр}$).

Теперь для всего РП вычисляются расчетные суммарные максимальные активные и реактивные мощности по группам А и Б:

$$P_{\text{р}} = 47,8 + 5,4 = 53,2 \text{ кВт}; \quad Q_{\text{р}} = 26,3 + 4 = 30,3 \text{ кВАр}.$$

Расчетный максимум полной мощности $S_{\text{р}} = 61,22 \text{ кВА}$.

Вопросы для самоконтроля

1. Чем обуславливается местоположение ГПП и цеховых ТП?
2. Что представляет собой картограмма нагрузок?
3. Способы компенсации реактивной мощности.
4. Основные понятия и соотношения токов КЗ.
5. Способы расчетов токов КЗ.
6. Электродинамическое и термическое действие токов КЗ.
7. Какие методы расчета нагрузки применяются при проектировании?
8. Какие потери имеются в трансформаторах и от чего они зависят?
9. Как определяются потери электроэнергии в промышленных электросетях?
10. Почему неравномерность режимов электропотребления осложняет и ухудшает работу электроэнергетических систем?
11. Как зависит работа различных электроприветников от величины напряжения сети?
12. Дайте понятие реактивной мощности, поясните ее физический смысл и особенности в сравнении с активной?
13. Дайте определение расчетной электрической нагрузке?
14. Что такое длительно допустимая нагрузка кабеля? Почему она зависит от способа прокладки кабеля?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из очень важных этапов при проектировании системы электроснабжения предприятия является определение расчётных нагрузок, а не простое суммирование установленных мощностей.

Расчётная максимальная мощность, которая потребляется [электроприёмниками](#) предприятия, всегда меньше суммы номинальных мощностей этих приёмников. Это объясняется неполной загрузкой мощностей электроприёмников, разновременностью их работы, обеспечением условий труда обслуживающего персонала.

От правильной оценки ожидаемых электрических нагрузок зависит степень капиталовложений при организации электроснабжения. Завышение ожидаемых нагрузок ведёт к удорожанию строительства, перерасходу материалов, неоправданному увеличению питающих мощностей.

Занижение нагрузок, либо проектирование электроснабжения без учёта перспективного роста мощности производства может привести к дополнительным потерям мощности, перегрузке оборудования, либо к необходимости кардинальной перестройке системы электроснабжения.

В работе были выполнены расчеты электрических нагрузок цеха графитации методом упорядоченных диаграмм, что является основой рационального построения и эксплуатации систем электроснабжения.

Был сделан выбор рационального места размещения цеховых и главных распределительных и понизительных подстанций, что обеспечивает минимальные годовые приведенные затраты.

Выполнен расчет и выбор числа и мощности трансформаторов, а также схем электроснабжения и их параметров для сокращения потерь электроэнергии, повышения надежности, что способствовало осуществлению общей задачи оптимизации построения систем электроснабжения.

Сделаны расчет и выбор защитной аппаратуры на стороне низкого напряжения, а также шинопроводов питающих группы электроприемников и их же в отдельности.

Были произведены расчеты токов короткого замыкания на низкой стороне и проверка защитной аппаратуры.

Результатом выбора оборудования явилось увеличение объема выпуска продукции до трех тысяч тонн, снижение энергозатрат на одну тонну выпущенной продукции.

В работе был разработан экономический раздел, в котором было дано техническое описание печей графитации, выполнено обоснование экономического эффекта, проведены технико-экономические расчеты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник. Гриф МО РФ. – Москва: Форум, 2016. – 385 с.
2. Барыбин Ю.Г. / Справочник по проектированию электроснабжения. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
3. Зайцев Н. Л. Экономика промышленного предприятия. Учебник. – Москва: Инфра-М, 2012. – 240 с.
4. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: учебное пособие / Э.А. Киреева. – Москва: КНОРУС, 2011. – 368 с.
5. Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. – Москва: Высшая Школа, 2012. – 510 с.
6. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник для студентов ВПО. – Москва: Академия, 2013. – 305 с.
7. Минина Г. П., Копытова Ю. В. Справочник по электропотреблению в промышленности. – Москва: Энергия, 1978. – 235 с.
8. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий. – Москва: Энергия, 2011. – 584 с.
9. Орлова, В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинский и др. Электротехнический справочник: Производство и распределение электрической энергии. – Москва: Энергоатомиздат, 2013. – 223 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. - 6-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 2003.– 269 с.

11. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 2015. – 265 с.
12. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.П. Крючков, Б.Н. Неклепаев, В.А. Старшинов и др.; под ред. И.П. Крюčkова и В.А. Старшинова. – 2-е изд. стер. – Москва: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с.
13. Ристхейн Э. М. Электроснабжение промышленных установок. – Москва: Энергоатомиздат, 1991. – 189 с.
14. Рожкова Л. Д., Козулин В. С. Электрооборудование станций и подстанций. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 182 с.
15. Сербиновский Г.В. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети. – Москва: Энергия, 2012. – 576 с.
16. Сибикин Ю. Д., М.Ю. Сибикин, В.А. Яшков «Электроснабжение промышленных предприятий и установок». – Москва: Высшая Школа, 2012. – 240 с.
17. Сивков А.А., Сайгаш А.С., Герасимов Д.Ю. / Основы электроснабжения. – Москва: Юрайт, 2016 – 173 с.
18. Фролов Ю.М. Основы электроснабжения: учеб. пособие для вузов [Гриф УМО] / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2012.– 480 с.
19. Шеховцов В.П. / Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению.– Москва: Форум. 2011. – 137 с.
20. Эрнст А.Д. Расчет токов короткого замыкания в электрических системах: Учеб. пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009.– 72 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А - Коэффициенты использования и мощности некоторых механизмов и аппаратов промышленных предприятий

Механизмы и аппараты	K _и	cosφ
Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы (мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные, расточные).	0,12—0,14	0,5
То же при крупносерийном производстве.	0,16	0,6
То же при тяжелом режиме работы (штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки).	0,17—0,25	0,65
Поточные линии, станки с ЧПУ	0,6	0,7
Переносный электроинструмент	0,06	0,65
Вентиляторы, эксгаустеры, санитарно-техническая вентиляция	0,6—0,8	0,8—0,85
Насосы, компрессоры, дизель-генераторы и двигатель-генераторы	0,7—0,8	0,8—0,85
Краны, тельферы, кран-балки при ПВ = 25 %	0,06	0,5
То же при ПВ = 40 %	0,1	0,5
Транспортеры	0,5—0,6	0,7—0,8
Сварочные трансформаторы дуговой сварки	0,25—0,3	0,35—0,4
Приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистных барабанов, бегунов и др.	0,2—0,24	0,65
Элеваторы, шнеки, несбалансированные конвейеры мощностью до 10 кВт	0,4—0,5	0,6-0,7
То же, сблокированные и мощностью выше 10 кВт	0,55—0,75	0,7—0,8
Однопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,3	0,6
Многопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,5	0,7
Сварочные машины шовные	0,2—0,5	0,7
Сварочные машины стыковые и точечные	0,2—0,25	0,6

Сварочные дуговые автоматы	0,35	0,5
Печи сопротивления с автоматической загрузкой изделий, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75—0,8	0,95
Печи сопротивления с автоматической загрузкой изделий, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75—0,8	0,95
Печи сопротивления с неавтоматической загрузкой изделий	0,5	0,95
Вакуум-насосы	0,95	0,85

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б - Определение коэффициента максимума по известным значениям K_u и $n_{эф}$

$n_{эф}$	Коэффициент максимума K_M при K_u									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	3,25	2,87	2,42	2,0	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,1	1,04
7	2,88	2,48	2,1	1,8	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,4	1,3	1,2	1,08	1,04
9	2,56	2,2	1,9	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03
10	2,42	2,1	1,84	1,6	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	1,03
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07	1,03
14	2,10	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,20	1,13	1,07	1,03
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07	1,03
20	1,84	1,65	1,5	1,34	1,24	1,2	1,15	1,11	1,06	1,03
25	1,71	1,55	1,40	1,28	1,21	1,17	1,14	1,10	1,06	1,03
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,10	1,05	1,03
35	1,55	1,41	1,30	1,21	1,17	1,15	1,12	1,09	1,05	1,03
40	1,50	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05	1,03
45	1,45	1,33	1,25	1,17	1,14	1,12	1,11	1,08	1,04	1,02
50	1,40	1,30	1,23	1,16	1,13	1,11	1,10	1,08	1,04	1,02
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03	1,02
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,10	1,10	1,09	1,06	1,03	1,02
80	1,25	1,20	1,15	1,11	1,10	1,10	1,08	1,05	1,03	1,02
90	1,23	1,18	1,13	1,10	1,09	1,09	1,08	1,05	1,02	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,10	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02	1,02
120	1,19	1,15	1,12	1,09	1,07	1,07	1,07	1,05	1,02	1,01
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02	1,01
160	1,16	1,13	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	1,01
180	1,16	1,12	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,00

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В - Удельная мощность (плотность) осветительной нагрузки, Вт/м²

Наименование объекта	<i>P_{уд}</i>
Литейные и плавильные цеха	12-19
Механические и сборочные цеха	11-16
Электросварочные и термические цеха	13-15
Инструментальные цеха	15-16
Деревообрабатывающие и модельные цеха	15-18
Блоки вспомогательных цехов	17-18
Инженерные корпуса	16-20
Центральные заводские лаборатории	20-27
Заводы горно-шахтного оборудования	10-13
Освещение территории	0.16

Таблица Г - Коэффициенты спроса осветительных нагрузок

Характеристика помещения	<i>K_{со}</i>
Мелкие производственные здания и торговые помещения	1
Производственные здания, состоящие из отдельных крупных пролетов	0,95
Производственные здания, состоящие из ряда отдельных помещений	0,85
Библиотеки, административные здания, предприятия общественного питания	0,9
Лечебные заведения и учебные учреждения, конторско-бытовые здания	0,8
Складские здания, электрические подстанции	0,6
Аварийное освещение	1,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Д - Коэффициенты загрузки трансформаторов на подстанциях

Характер нагрузки и вид ТП	K _з
При преобладании нагрузок 1 категории на двухтрансформаторных ТП	0,65
При преобладании нагрузки 2 категории на однострансформаторных ТП и взаимном резервировании трансформаторов по связи вторичного напряжения	0,8
При преобладании нагрузок 2 категории и при наличии централизованного (складского) резерва трансформаторов, а также при нагрузке 3 категории	0,9 - 0,93

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица Е - Параметры трансформаторов

Мощность трансформатора, кВА	U _к , %	Сопротивления трансформатора, мОм							
		Δ/Y				Y/Y			
		R ₁ =R ₂	X ₁ =X ₂	R ₀	X ₀	R ₁ =R ₂	X ₁ =X ₂	R ₀	X ₀
160	5.5	16.9	52.4	16.9	52.4	-	-	-	-
250	4.5	9.3	43.0	19.3	43.0	16.6	41.7	150.8	367
400	5.5	9.7	33.8	9.7	33.8	-	-	-	-
630	4.5	10.7	27.0	10.7	27.0	9.4	27.2	96.5	234.9
1000	5.5	5.4	21.3	5.4	21.3	-	-	-	-
1000	4.5	5.9	17.0	5.9	17.0	5.5	17.1	55.6	148.7
1600	6	2.9	13.7	2.9	13.7	3.1	13.6	30.3	96.2
2500	6	1.8	8.6	1.8	8.6	2.4	8.5	19.1	60.6
	8.0	1.9	12.65	1.9	12.65	2.0	12.6	19.1	72.8

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Упрощенная схема к расчету токов короткого замыкания

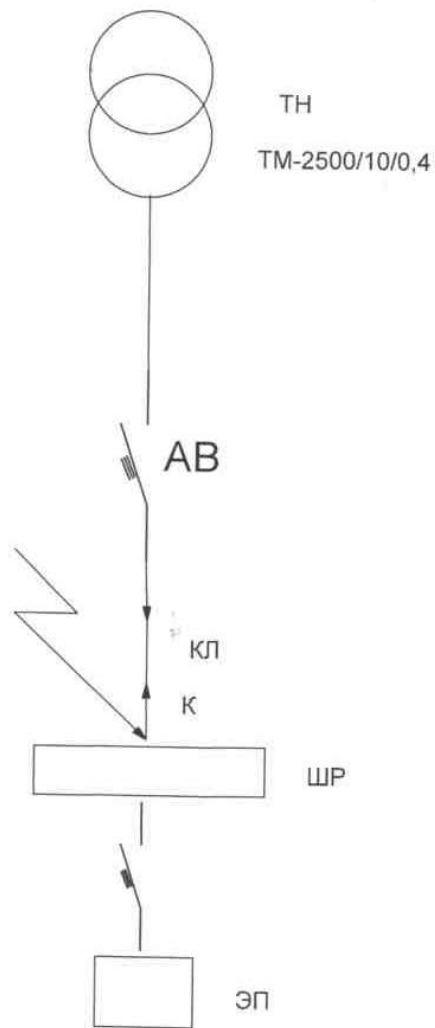


Рисунок Е - Упрощенная схема к расчету токов короткого замыкания

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Таблица Ж - Значения сопротивлений комплектных шинопроводов

Тип шинопровода	Номинальное напряжение, кВ	Номин.ток, А	Сопротивление фазы, мОм/м		Сопротивление нулевого проводника, мОм/м	
			R ₁	X ₁	R ₀	X ₀
ШМА4-1250	0,38/0,66	1250	0,034	0,016	0,054	0,053
ШМА4-1600	0,38/0,66	1600	0,030	0,014	0,037	0,042
ШМА4-3200	0,38/0,66	3200	0,010	0,005	0,064	0,035
ШМА-68Н	0,38/0,66	4000	0,013	0,015	0,007	0,045
ШРА-73	0,38	250	0,210	0,210	0,120	0,210
ШРА-73	0,38	400	0,150	0,170	0,162	0,164
ШРА-73	0,38	630	0,1	0,130	0,162	0,164
КЗШ-0,4	0,38	-	0,024	0,117	0,201	0,572
АДО-0,4	0,5	-	0,0255	0,120	0,211	0,535

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Таблица И - Сопротивление комплектных шинопроводов

Тип комплектного шинопровода при номинальном токе, А														
Параметр	ШМА68П		ШМА 73	ШМА4				ШМ 316	ШРА73			ШРА4		
	2500	4000	1600	1250	1600	2500	3200	1600	250	400	630	250	400	630
Сопротивление на фазу гш. мОм/м	0,02	0,013	0,031	0,034	0,03	0,017	0,015	0,014	0,21	0,15	0,1	0,21	0,15	0,1
Сопротивление на фазу хш, мОм/м	0,02	0,015	0,022	0,016	0,014	0,008	0,007	0,006	0,21	0,17	0,13	0,21	0,17	0,13
Сопротивление петли фаза - нуль гф.н, мОм/м	0,09	0,083	0,126	-	-	-	-	-	0,42	0,3	0,2	-	-	-
Сопротивление петли фаза - нуль хф.н, мОм/м	0,066	0,061	0,098	-	-	-	-	-	0,42	0,24	0,26	-	-	-
Полное сопротивление петли фаза - нуль Zф.н, мОм/м	-	-	-	0,086	0,087	0,082	0,053	0,07	-	-	-	-	-	-

ПРИЛОЖЕНИЕ К

I_n, A	$R_a, \text{МОм}$	$X_a, \text{МОм}$
50	7	4,5
70	3,5	2
100	2,15	1,2
140	1,3	0,7
200	1,1	0,5
400	0,65	0,17
600	0,41	0,13
1000	0,25	0,1

Екатеринбург 2017

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 63 страницах, содержит 5 рисунка, 18 таблиц, 20 источников литературы, а также 9 приложений на 9 страницах.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКИ, НАГРУЗКА, ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ, ТОКОВЕДУЩИЕ МАГИСТРАЛИ.

2.3.Расчет полной силовой нагрузки цеха на напряжение 0,4 кВ.....	31
2.4. Определение центра электрических нагрузок.....	33
2.5. Выбор числа и мощности трансформаторов цеха.....	35
2.6. Расчет сети напряжением до 1000 В.....	42
2.7. Выбор защитных автоматов и питающих кабелей для распределительных шкафов и шинопроводов.....	43
2.8. Расчет токов короткого замыкания.....	46
3.ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	49
3.1.Техническое описание.....	49
3.2.Обоснование экономического эффекта.....	50
3.3.Технико-экономические расчеты.....	51
4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ ПО ТЕМЕ «РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК».....	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	62

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	64
--	-----------

ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	66
--------------------------	-----------

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	67
-------------------	----

ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	68
-------------------	----

ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	69
-------------------	----

ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	70
-------------------	----

ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	71
-------------------	----

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	72
-------------------	----

ПРИЛОЖЕНИЕ И.....	73
-------------------	----

ПРИЛОЖЕНИЕ К.....	74
-------------------	----

ед, в к Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический
университет»

Институт инженерно-педагогического образования

Кафедра электрооборудования и энергоснабжения

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:

Заведующая кафедрой ЭС

_____ А.О. Прокубовская

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЦЕХА ГРАФИТАЦИИ

Выпускная квалификационная работа бакалавра
по направлению подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение

(по отраслям)

профиля подготовки «Энергетика»

специализации «Энергохозяйство предприятий, организаций, учреждений и
энергосберегающие технологии»

Идентификационный код ВКР: 535

Исполнитель:

студент группы ЗЭС-403С

И.В. Карташов

Руководитель:

докт. тех. наук, профессор,
профессор кафедры АЭС УрФУ

В.П. Обоскалов

Нормоконтролер:

ст. преподаватель кафедры ЭС

Т.В. Лискова

отором обоснована