

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ
по дисциплине
«Электроснабжение промышленных предприятий»

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Профиль подготовки: Электроснабжение
Квалификация выпускника бакалавр
Форма обучения: заочная

Ставрополь, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	5
1	Практическое занятие №1 Определением степени бесперебойности электроснабжения потребителей в цехах по категориям взрыво-, пожаро- и электробезопасности	8
2	Практическое занятие №2. Определение расчетной силовой нагрузки цехов на напряжении 0,4 кВ	17
3	Практическое занятие №3. Определение расчетных нагрузок однофазных электроприемников, пиковых нагрузок и нагрузок подъемно-транспортных устройств	18
4	Практическое занятие №4. Определение расчетных нагрузок высоковольтных электроприемников	24
5	Практическое занятие №5. Расчет осветительной нагрузки цехов и нагрузки освещения территории предприятия	25
6	Практическое занятие №6. Выбор номинальной мощности синхронных двигателей и реактивной мощности, которую могут генерировать СД	27
7	Практическое занятие №7 Определение суммарной расчетной электрической нагрузки завода и выбор трансформаторов на ГПП	28
8	Практическое занятие №8. Изучение режимов работы нейтралей сети	29
9	Практическое занятие №9. Выбор напряжения системы электроснабжения и определение центра электрических нагрузок завода	38
10	Практическое занятие №10 Построение картограммы высоковольтных и низковольтных нагрузок завода	40
	Практическое занятие №11 Выбор схемы и мощности трансформаторов ГПП и определение мощности компенсирующих устройств на стороне выше 1000 В	42
11	Практическое занятие №12. Определение числа и мощности цеховых силовых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности на стороне ниже 1000 В	46
12	Практическое занятие №13. Разработка вариантов схем сети 6-10 кВ	50
	Практическое занятие №14. Выбор сечений воздушных линий и токоведущих жил кабелей линий 0,4-10 кВ	53
13	Практическое занятие №15. Выбор оптимальной схемы электроснабжения завода и разработка однолинейной схемы выбранного варианта сети	58
14	Практическое занятие №16. Расчет токов короткого замыкания и выбор аппаратов защиты и оборудования на ГПП, РП и ТП	67
	Практическое занятие №17. Проверка кабелей по термической стойкости к токам КЗ и выбор сечений экранов кабелей из СПЭ	73

Практическое занятие №18	Защита элементов системы	74
электрообеспечения завода		
Список рекомендуемой литературы		86
Приложение А		87

ВВЕДЕНИЕ

Цель изучения дисциплины – получение теоретических и практических навыков в области оптимального построения, функционирования и развития систем электроснабжения промышленных предприятий, а также методов их проектирования.

Для достижения данной цели решаются следующие задачи:

- ознакомление с теоретическими и методологическими основами проектирования СЭС ПП;
- формирование способности обоснования проектных решений.
- изучение методов оптимизационного анализа систем электроснабжения промышленных предприятий;
- формирование системных и профессиональных компетенций по проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий;
- решение вопросов повышения энергоэффективности с учетом экологических требований;
- систематизация, углубление и расширение теоретических знаний и практических навыков;
- приобретение навыков пользования справочной и научной литературой, ГОСТами, каталогами и типовыми проектами.

В 7 семестре читаются лекции, на практических занятиях решаются задачи, необходимые для выполнения курсового проекта. После изучения дисциплины проводится экзамен.

При проектировании, сооружении и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий необходимо правильно в технико-экономическом аспекте выбрать тип, число и мощность трансформаторных подстанций, виды их защиты, системы компенсации реактивной мощности и способы регулирования напряжений. Это должно решаться с учетом совершенствования технологических процессов производства, роста мощностей отдельных электроприемников и особенностей каждого предприятия, цеха, установки.

В связи с этим, современные системы электроснабжения должны учитывать многочисленные факторы, к числу которых относятся потребляемая мощность и категории надежности питания отдельных элементов, графики нагрузок потребления и их характер, размещение нагрузок, число и мощность подстанции и других пунктов питания, а также требования энергосистемы.

Исходя из вышесказанного актуальной остается проблема проектирования схем электроснабжения промышленных предприятий.

Основной литературой для выполнения ПЗ являются [1-3 и 1-2 дополнительной литературы].

Практическое занятие 1

Определением степени бесперебойности электроснабжения потребителей в цехах по категориям взрыво-, пожаро- и электробезопасности

Целью занятия является изучение способов определения степени бесперебойности электроснабжения потребителей в цехах по категориям взрыво-, пожаро- и электробезопасности.

В результате практического занятия студенты должны получить навыки определения степени бесперебойности электроснабжения потребителей в цехах по категориям взрыво-, пожаро- и электробезопасности.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью определения степени бесперебойности электроснабжения потребителей в цехах по категориям взрыво-, пожаро- и электробезопасности.

Теоретическая часть

При выполнении ПЗ необходимо дать краткую характеристику предприятия, характеристику технологического процесса, всех цехов проектируемого предприятия и выпускаемой продукции. В соответствии с рекомендациями [3,4] необходимо определить категорию бесперебойности питания электроприемников во всех цехах предприятия.

Кроме того, необходимо рассмотреть режимы работы основных производств и требования к надежности электроснабжения, а также дать характеристику источников электроснабжения и общую характеристику электроприемников (ЭП).

Отнесение электроприемников к соответствующей категории должно быть обосновано, а также определено их процентное содержание. При определении категорийности следует помнить, что на всех предприятиях к 1-й категории относят противопожарные насосы и аварийное освещение.

Характер производственной среды предопределяет ряд решений по системе электроснабжения цехов и всего предприятия с точки зрения выбора формы исполнения электрооборудования и конструктивного выполнения электрических сетей и подстанций.

Условия в помещениях, влияющие на выбор конструкции сетей, определяются температурой воздуха, влажностью, наличием агрессивных газов и пыли, возможностью возникновения условий взрыво- или пожароопасности.

Исходными данными для проектирования системы электроснабжения заданного предприятия являются:

- ситуационный план участка или карта района с обозначением места сооружения проектируемой подстанции;
- сведения об источниках питания;
- характеристика потребителей электроэнергии (максимальная нагрузка на шинах вторичного напряжения подстанции, суточные графики нагрузок (летний и зимний);
- сведения о климатических условиях в районе сооружения подстанции;

-технические условия на присоединение.

Важными факторами, влияющими на выбор конструкции сетей и способов их выполнения, являются условия окружающей среды, степень возгораемости строительных материалов и конструкций зданий и сооружений. В соответствии с противопожарными требованиями Строительных норм и правил (СН и П) строительные материалы и конструкции разделяются на три группы по степени возгораемости: негорючие, трудногорючие, горючие. Кроме того, строительные конструкции характеризуются пределом огнестойкости, определяемым временем в часах.

Степень ответственности установки, номинальные токи и напряжение приемников, расстояние от источника питания до потребителя, размещение нагрузки являются определяющими факторами при выборе конструктивного выполнения сети. Большую роль играют также требования технической эстетики.

Для химически активных сред оборудования и материалы должны выбираться с учетом конкретных веществ, применяемых в технологическом процессе производства. Наиболее эффективным средством защиты электроустановок от разрушающего действия химически активных средств является максимально возможное и экономически целесообразное территориальное удаление электрооборудование от источников выделения химических веществ.

В ряде производств применяются вещества, которые могут вызвать опасность пожаров или взрывов. Такие производства могут создавать постоянно или в редких случаях условия в окружающей среде, когда нагретые поверхности, искры или открытый огонь могут вызвать пожар, взрыв и разрушение установки.

Краткая характеристика основных приёмников электроэнергии предприятия даётся по роду тока, напряжению, режиму работы и требованиям, предъявляемым к бесперебойности электроснабжения. При определении требуемой надежности питания приёмников и потребителей электроэнергии указывается, почему данный приёмник или потребитель должен быть отнесён к соответствующей категории.

Для всех ЭП важным показателем является их номинальная мощность. Для электродвигателей номинальные мощности выражаются в киловаттах: для однодвигательных ЭП – P_n , кВт; для многодвигательных – суммарная номинальная мощность – P_n , кВт. Номинальной (установленной) мощностью плавильных электропечей и сварочных установок является мощность питающих их трансформаторов, выраженная в киловольт-амперах (кВА). Это же относится и к трансформаторам преобразовательных и выпрямительных агрегатов.

Основной группой промышленных потребителей электроэнергии являются электродвигатели. В установках, не требующих регулирования скорости в процессе работы, применяются электродвигатели переменного тока: асинхронные с короткозамкнутым или с фазным ротором, синхронные. При напряжении до 1 кВ и мощности до 100 кВт экономически целесообразнее применять асинхронные двигатели, а свыше 100 кВт – синхронные; при напряжении 10 кВ и мощности до 630 кВт – асинхронные двигатели, 450 кВт и

выше – синхронные. Асинхронные двигатели с фазным ротором применяются в мощных электроприводах с тяжелыми условиями пуска.

К общепромышленным установкам относятся вентиляторы, насосы, компрессоры, воздуходувки и т. д. В них применяются асинхронные и синхронные двигатели трехфазного переменного тока частотой 50 Гц напряжением от 380 В до 10 кВ. Диапазон их мощностей различен – от долей киловатта (электродвигатели задвижек, затворов, насосов подачи смазки и т. п.) до десятков мегаватт (воздуходувки доменных печей, кислородные турбокомпрессоры). Основным агрегатам (насосы, вентиляторы) присущ продолжительный режим работы. Электродвигатели задвижек, затворов и т. п. работают в кратковременном режиме. Их коэффициент мощности находится в пределах 0,8–0,85. Синхронные двигатели работают в режиме перевозбуждения.

Данная группа электроприемников относится, как правило, к I категории по надежности электроснабжения. Некоторые вентиляционные и компрессорные установки относятся ко второй категории.

Наиболее многочисленной группой приемников электроэнергии являются металлорежущие станки. Напряжение сети, питающей двигатели станков, 380 или 660 В, частота 50 Гц. На станках, где требуется высокая частота вращения и регулирование скорости, применяют двигатели постоянного тока; в остальных случаях – асинхронные с короткозамкнутым ротором. По надежности электроснабжения станки основных цехов предприятий относят ко II категории, а вспомогательных цехов – к III категории по надежности электроснабжения.

К электротехнологическим установкам относятся электронагревательные и электролизные установки, установки электрохимической, электроискровой и ультразвуковой обработки металлов, электросварочное оборудование. Наиболее распространенной группой электронагревательных установок являются электрические печи сопротивления, которые подразделяются на печи косвенного нагрева и прямого нагрева.

Печи сопротивления получают питание от трехфазных сетей переменного тока частотой 50 Гц, в основном напряжением 380/220 В или на более высокое напряжение через понижающие трансформаторы. Выпускаются печи в одно- и трехфазном исполнении, мощностью до нескольких тысяч киловатт. Характер нагрузки их ровный, однако, однофазные печи для трехфазных сетей представляют несимметричную нагрузку. Коэффициент мощности для печей прямого действия 0,7–0,9, для печей косвенного действия – 1,0. Печи сопротивления относятся ко II категории по надежности электроснабжения.

Индукционные плавильные печи выпускаются со стальным сердечником и без него, мощностью до 4500 кВА. Питание индукционных печей и установок закалки и нагрева осуществляется от трехфазных сетей переменного тока частотой 50 Гц напряжением 380/220 В и выше в зависимости от мощности.

Индукционные плавильные печи без сердечника и установки закалки и нагрева токами высокой частоты получают питание переменным током частотой до 40 МГц от преобразовательных установок, которые, в свою очередь, питаются от сетей переменного тока промышленной частоты.

Печи со стальными сердечниками выпускаются в одно-, двух- и трехфазном исполнении. Коэффициент мощности их колеблется в пределах 0,2–0,8 (у индукционных установок повышенной частоты – от 0,06 до 0,25).

Все перечисленные печи и установки индукционного нагрева относятся к приемникам II категории по надежности электроснабжения.

Дуговые электрические печи по способу нагрева разделяются на печи прямого, косвенного и смешанного нагрева. Дуговые печи получают питание от сетей переменного тока промышленной частоты напряжением до 110 кВ через специальные понижающие печные трансформаторы. Мощности современных дуговых электропечей достигают 100–125 МВА.

В период расплавления шихты возникают частые эксплуатационные короткие замыкания в процессе плавки и бестоковые паузы при выпуске стали и новой загрузке печи, в результате чего в питающих сетях наблюдаются толчковые нагрузки. Нагрузка от однофазных печей несимметричная. Коэффициент мощности 0,85–0,95. В отношении надежности электроснабжения дуговые печи относятся к приемникам первой категории.

Вакуумные электрические печи для выплавки высококачественных сталей и специальных сплавов относятся к приемникам особой группы первой категории, так как перерыв в питании вакуумных насосов приводит к дорогостоящему браку.

Электротехнологические установки, работающие на постоянном или переменном токе частотой, отличной от 50 Гц, питаются от преобразовательных установок, характеристики которых определяются режимом электротехнологической установки. Например, мощности электролизных установок для получения алюминия зависят от их производительности и достигают 150–180 МВА. Питание преобразовательных установок электролиза осуществляется трехфазным переменным током частотой 50 Гц напряжением до 110 кВ (в зависимости от мощности). Нагрузка их равномерная, симметричная. Коэффициент мощности составляет 0,8–0,9. Электролизные установки относятся к приемникам I категории по надежности электроснабжения.

Электросварочное оборудование питается напряжением 380 или 220 В переменного тока промышленной частоты.

Для дуговой сварки на переменном токе применяют сварочные трансформаторы однофазного и трехфазного исполнения. Источником постоянного тока при сварке служат вращающиеся и статические преобразователи.

Для автоматической дуговой сварки под слоем флюса или в защитном газе используют как трансформаторы, так и преобразователи трехфазного исполнения на напряжение 380 В.

Сварочные агрегаты для контактной сварки имеют однофазное исполнение.

Электросварочное оборудование работает в повторно-кратковременном режиме работы. Однофазные сварочные приемники (трансформаторы и другие установки) дают неравномерную нагрузку по фазам трехфазной питающей сети.

Коэффициент их мощности колеблется в пределах 0,3–0,7. Сварочные установки по степени надежности относятся ко II категории.

Электропривод подъемно-транспортных устройств имеет повторно-кратковременный режим работы и относится ко II категории по надежности электроснабжения. На кран-балках и тельферах установлены двигатели с короткозамкнутым ротором, а на мостовых кранах – двигатели с фазным ротором.

В зависимости от характера окружающей среды нормативными документами [7] введена следующая классификация помещений:

Сухие помещения – помещения, в которых относительная влажность не превышает 60 % при 20° С. Сухие помещения называются нормальными, если в них отсутствуют условия, характерные для помещений жарких, пыльных, с химически активной средой или взрывоопасных.

Влажные помещения – помещения, в которых пары или конденсирующаяся влага выделяются лишь временно и в небольших количествах, относительная влажность в которых не превышает 75 % при 20°С.

Сырые помещения – помещения, в которых относительная влажность длительно превышает 75 % при 20°С.

Особо сырые помещения – помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100 % при 20°С (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой).

Жаркие помещения – помещения, в которых температура длительно превышает 30°С.

Пыльные помещения – помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль в таком количестве, что она может оседать на проводах, проникать внутрь машин, аппаратов и т.п. Пыльные помещения подразделяются на помещения с проводящей и непроводящей пылью.

Помещения с химически активной средой – помещения, в которых по условиям производства постоянно или длительно содержатся пары или образуются отложения, действующие разрушающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

Взрывоопасные помещения – помещения (и наружные установки), в которых по условиям технологического процесса могут образоваться взрывоопасные смеси: горючих газов или паров с воздухом или кислородом и с другими газами-окислителями (с хлором); горючих пылей или волокон с воздухом при переходе их во взвешенное состояние.

К невзрывоопасным относятся помещения и наружные установки, в которых сжигается твердое, жидкое или газообразное топливо (печные отделения газогенераторных станций, газовые котельные и др.), технологический процесс которых связан с применением открытого огня или раскаленных частей (открывающиеся электрические и другие печи), либо наружные поверхности имеют температуры нагрева, превышающие температуру самовоспламенения паров и газов в окружающей среде.

Взрывоопасность помещений определяется принятой классификацией – классы В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIa.

К классу В-I относят помещения, в которых в большом количестве выделяются горючие газы или пары, обладающие свойствами, способствующими образованию с воздухом или другими окислителями взрывоопасных смесей при нормальных недлительных режимах работы. Например, при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, при переливании легковоспламеняющихся и горючих жидкостей.

К классу В-Ia относят помещения, в которых отсутствуют взрывоопасные смеси горючих паров или газов с воздухом или другими окислителями, но наличие их возможно только в результате аварий или неисправностей

К классу В-Iб относят те же помещения, что и к классу В-Ia, но имеющие следующие особенности:

- горючие газы обладают высоким нижним пределом взрываемости (15 % и более) и резким запахом при предельно допустимых по санитарным нормам концентрациях (машинные залы аммиачных компрессорных и холодильных абсорбционных установок);
- образование в аварийных случаях в помещениях общей взрывоопасной концентрации по условиям технологического процесса исключается, а возможна лишь местная взрывоопасная концентрация (помещения электролиза воды и поваренной соли);
- горючие газы и легковоспламеняющиеся горючие жидкости имеются в помещениях в небольших количествах, не создающих общей взрывоопасной концентрации, и работа с ними производится без применения открытого пламени. Эти помещения относятся к невзрывоопасным, если работа в них выполняется в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами.

К классу В-Iг относят наружные установки, содержащие взрывоопасные газы, пары, горючие и легковоспламеняющиеся жидкости (газгольдеры, емкости, сливно-наливные эстакады и т.д.), где взрывоопасные смеси возможны только в результате аварии или неисправности. Для наружных установок взрывоопасными считаются зоны: до 20 м по горизонтали и вертикали от эстакад с открытым сливом и наливом легковоспламеняющихся жидкостей; до 3 м по горизонтали и вертикали от взрывоопасного закрытого технологического оборудования и 5 м по вертикали и горизонтали от дыхательных и предохранительных клапанов – для остальных установок. Наружные открытые эстакады с трубопроводами для горючих газов и легковоспламеняющихся жидкостей относят к невзрывоопасным.

К классу В-II относят помещения, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыль или волокна, способные образовать с воздухом и другими окислителями взрывоопасные смеси при недлительных режимах работы (загрузка и разгрузка технологических аппаратов).

К классу В-IIa относят помещения класса В-II, в которых опасные состояния не имеют места, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Пожароопасные помещения – помещения, в которых по технологическому процессу выделяются, применяются или хранятся горючие вещества.

Пожароопасность определяется принятой классификацией – классы П-I, П-II, П-IIa, П-III.

К классу П-I относят помещения, в которых применяются или хранятся горючие жидкости с температурой вспышки выше 45 °С (например, склады минеральных масел, установки по регенерации минеральных масел и т.п.).

К классу П-II относят помещения, в которых выделяются горючие пыль или волокна, переходящие во взвешенное состояние. Возникающая при этом опасность ограничена пожаром (но не взрывом) из-за физических свойств пыли или волокон или из-за того, что содержание их в воздухе по условиям эксплуатации не достигает взрывоопасных концентраций (например, деревообделочные цеха, малозапыленные помещения мельниц и элеваторов).

К классу П-IIa относят производственные и складские помещения, содержащие твердые или волокнистые горючие вещества, причем признаки, перечисленные в П-II, отсутствуют.

К классу П-III относят наружные установки, в которых применяются или хранятся горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 45°С (например, открытые склады минеральных масел), а также твердые горючие вещества (например, открытые склады угля, торфа, древесины).

С точки зрения поражения электрическим током помещения подразделяются на помещения с повышенной опасностью, особо опасные и помещения без повышенной опасности.

Помещения с повышенной опасностью характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- сырости или проводящей пыли;
- токопроводящих полов (металлических, земляных, железобетонных, кирпичных и т.п.)
- высокой температуры;
- возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

Особо опасные помещения характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

- особой сырости;
- химически активной среды;
- одновременного наличия двух или более условий повышенной опасности.

Помещения без повышенной опасности – помещения, в которых отсутствуют условия, создающие «повышенную опасность» и «особую опасность».

Выбор аппаратов по исполнению защиты от окружающей среды. Для предотвращения соприкосновения обслуживающего персонала с токоведущими или подвижными частями и исключения попадания в аппараты инородных тел устанавливаются специальные защитные оболочки. Согласно ГОСТ 14254-

96 защитные свойства оболочки обозначаются буквами IP и двумя цифрами. Первая цифра обозначает степень защиты от прикосновения персонала к опасным деталям аппарата, вторая характеризует защиту от попадания внутрь аппарата инородных предметов и жидкостей. Ниже приводятся защитные свойства некоторых исполнений по ГОСТ 1425496.

IP00. Открытое исполнение. Защита персонала от соприкосновения с токоведущими или подвижными частями отсутствует. Инородные тела могут попадать внутрь аппарата.

IP20. Защищенное исполнение. Оболочка таких аппаратов предохраняет от случайного прикосновения к токоведущим или подвижным частям или от проникновения внутрь аппарата посторонних предметов. Оболочка должна препятствовать соприкосновению с деталями аппарата металлического щупа (диаметр 12 мм, длина 80 мм), шарик диаметром 12 мм не должен проникать внутрь аппарата.

IP22. В дополнение к свойствам исполнения IP20 оболочка защищает от вредного воздействия капель жидкости, падающих на стенку оболочки, наклоненную к вертикали под углом в пределах 150.

IP23. В дополнение к свойствам исполнения IP20 оболочка защищает от дождя, падающего под углом 600 к вертикали.

IP40. Оболочка защищает аппарат от попадания внутрь него мелких предметов диаметром более 1 мм.

IP42. В дополнение к свойствам исполнения IP40 оболочка защищает от воздействия капель жидкости (так же как IP22).

IP44. В дополнение к свойствам исполнения IP40 оболочка защищает от воздействия брызг жидкости, попадающих под любым углом.

IP50. Оболочка аппарата защищает от вредного воздействия пыли (допускается попадание внутрь небольшого количества пыли, не нарушающего нормальной работы аппарата).

IP60. Пылезащищенное исполнение. Оболочка полностью препятствует попаданию пыли.

IP65. Пылеводозащищенное исполнение. В дополнение к свойствам исполнения IP60 оболочка защищает от воздействия струи воды, направленной под любым углом к её поверхности.

IP66. Пылеводонепроницаемое исполнение. В дополнение к свойствам исполнения IP60 оболочка обеспечивает полную защиту от попадания воды внутрь аппарата при воздействии струи под любым углом к поверхности (морское исполнение).

IP67. Герметичное исполнение. В дополнение к свойствам исполнений IP60 оболочка обеспечивает полную герметичность аппарата.

Выбор аппаратов по климатическому исполнению. Воздействия климатических факторов на электрические аппараты в условиях эксплуатации регламентируются ГОСТ 15150-69. Под климатическими факторами внешней среды понимаются температура и влажность окружающего аппарат воздуха, давление воздуха (высота над уровнем моря), солнечное излучение, дождь, ветер, пыль (в том числе и снежная), солевой туман, иней, гидростатическое

давление воды, действие плесневых грибов, содержание в воздухе коррозионно-активных агентов. Нормальные значения климатических факторов внешней среды, принятые для использования в технике, соответствуют данной географической зоне с учетом места размещения аппарата. В технической документации на электрический аппарат всегда оговариваются значения климатических факторов, в пределах

Развернутая характеристика проектируемого предприятия с точки зрения надежности электроснабжения отдельных цехов должна быть представлена в виде таблицы 1.2.

Таблица 1.2 – Характеристика сред и помещений

№	Наименование цехов	Категория	Хар-ка помещений	Классификация помещений		
				Поражение эл. током	Взрывопожароопасность	
					ПУЭ	СНиП
	Склад металла	III	Норм.	повышенная опасность (токопроводящий пол)		
	Механический цех	II	Пыльн.	повышенная опасность (токопроводящий пол)		Д
	Кузнечно-прессовый цех	I	Пыльн., жаркое	особо опасное (токопроводящий пол, высокая температура, пыль)		Г
	Штамповочно-прессовый цех	I	Пыльн., жаркое	особо опасное (токопроводящий пол, высокая температура, пыль)		Г
	Литейный цех	I	Жаркое	особо опасное (токопроводящий пол, высокая температура)		Г
	Пожарное депо	III	Норм.	повышенная опасность (токопроводящий пол)	П-I	Г
	Гараж	III	Влажн.	особо опасное (влажное, токопроводящий пол)	П-I	В

При выполнении данного раздела необходимо воспользоваться рекомендациями [1-3].

Вопросы и задания

Для заданного завода по данным приложения А в соответствии с номером варианта дать развернутую характеристику предприятия с точки зрения надежности электроснабжения и характеристику сред и помещений цехов. Выбрать степени защиты электрооборудования от воздействия окружающей среды для цехов.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Как классифицируются взрывоопасные помещения?
2. Как классифицируются помещения в зависимости от характера окружающей среды?
3. Как классифицируются помещения в зависимости от пожароопасности?
4. Какие помещения относятся к особо опасным?

5. На сколько зон подразделяют области со взрывоопасным горючим газом, паром и туманом?

6. Категории помещений в отношении опасности поражения людей электрическим током?

Повышенный уровень

1. Какими символами обозначаются различные виды взрывозащит?

2. Требуется ли усиленная рабочая изоляция наличия заземления?

3. Каким документом регламентируется степень защиты IP?

4. Как делятся электроустановки в соответствии с защитой их от атмосферных воздействий?

Список литературы, рекомендуемый к использованию:

Более подробные сведения по данной теме изложены в [1 - 3].

Практическое занятие 2

Определение расчетной силовой нагрузки цехов на напряжении 0,4 кВ

Целью занятия является получение навыков определения силовой нагрузки потребителей на различных уровнях СЭС.

В результате практического занятия студенты должны научиться определять силовую нагрузку цехов на напряжении 0,4 и 6-10 кВ.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков определения расчетной силовой нагрузки цехов на напряжении 0,4 кВ

Теоретическая часть

Нагрузка потребителей задана суммарным значением без указания числа и мощности отдельных приемников, поэтому в соответствии с рекомендациями [1-2], максимальная расчетная нагрузка определяется по формуле [1]:

$$P_p = K_c \cdot P_{\text{ном}}, \quad (1.1)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.2)$$

где $P_{\text{ном}}$ – суммарная установленная мощность цеха, принимаемая по заданию на ВКР;

K_c – средний коэффициент спроса для приемников, учитывающий неодновременность включения, неравномерность загрузки, к.п.д. потребителей.

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности электроприемников, соответствующий средневзвешенному значению $\cos \varphi$ данного цеха.

Для примера рассмотрим определение расчётной нагрузки термического цеха с установленной мощностью 820 кВт:

$$P_p = 0,6 \cdot 820 = 492 \text{ кВт}; \quad Q_p = 492 \cdot \operatorname{tg}(0,75) = 433,9 \text{ квар};$$

Результаты расчета силовых нагрузок цехов предприятия необходимо представить в виде таблицы 1.1.

Таблица 1.1 – Пример представления результаты определения расчетных электрических нагрузок предприятия на напряжении 0,38 кВ

№ п/п	Наименование цеха	P_n , кВт	K_c	$\cos \varphi$	P_r , кВт	Q_r , квар
1	Механический	398	0,3	0,8	119,4	89,55
2	Термический	820	0,6	0,75	492	433,90
Итого НН		5753		-	2728,9	2312,87

Вопросы и задания

Определить расчетные нагрузки цехов на напряжении 0,4 кВ для заданного предприятия.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. В чем различие между коэффициентом спроса и коэффициентом использования?
2. В каких случаях рассчитывается расчетная нагрузка с использованием коэффициента спроса?
3. Что такое расчетная электрическая нагрузка?
4. Какие существуют методы определения расчетных нагрузок предприятия?
5. Какова нагрузочная способность кабелей при перегрузках?
6. По каким признакам формируются характерные группы электроприемников?
7. От каких параметров зависит коэффициент расчетной нагрузки K_p ?
8. Учитывается ли мощность освещения территории предприятия при расчете нагрузки?

Повышенный уровень

1. По каким документам определяется коэффициент спроса?
2. Чему равна постоянная времени нагрева для различных элементов системы электроснабжения?
3. От чего зависит расчетный коэффициент для определения нагрузки группы электроприемников?
4. Как учесть потери мощности при определении расчетных нагрузок?

Список литературы, рекомендуемый к использованию

Более подробные сведения по данной теме изложены в [1 - 3].

Практическое занятие № 3

Определение расчетных нагрузок однофазных электроприемников, пиковых нагрузок и нагрузок подъемно-транспортных устройств

Целью занятия является получение навыков определения силовой нагрузки

однофазных электроприемников, пиковых нагрузок и нагрузок подъемно-транспортных устройств

В результате практического занятия студенты должны научиться определять силовое нагрузки однофазных электроприемников, пиковых нагрузок и нагрузок подъемно-транспортных устройств

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков определение расчетных нагрузок однофазных электроприемников, пиковых нагрузок и нагрузок подъемно-транспортных устройств

Теоретическая часть

При определении расчетной нагрузки цеха или другого узла питания необходимо учесть наличие однофазных электроприемников.

Электрические нагрузки ЭП однофазного тока должны быть распределены равномерно по фазам.

Однофазные ЭП, включенные на фазные и линейные напряжения и распределенные по фазам с неравномерностью не выше 15% по отношению к общей мощности трехфазных и однофазных электроприемников в группе, учитываются как трехфазные электроприемники той же суммарной мощности. Если неравномерность превышает 15%, условная трехфазная номинальная мощность принимается равной утроенной величине нагрузки наиболее загруженной фазы.

При наличии одного однофазного ЭП и включении его на фазное напряжение он учитывается как эквивалентный трехфазный ЭП номинальной мощностью:

$$p_n = 3p_{н.о}; \quad q_n = 3q_{н.о},$$

где $p_{н.о}$, $q_{н.о}$ – активная и реактивная мощности однофазного ЭП.

При включении однофазного ЭП на линейное напряжение он учитывается как эквивалентный ЭП номинальной мощностью

$$p_n = \sqrt{3}p_{н.о}; \quad q_n = \sqrt{3}q_{н.о}.$$

При наличии группы однофазных ЭП они должны быть распределены по фазам. Далее определяется нагрузка каждой фазы от однофазных ЭП суммированием установленной мощности однофазных ЭП, подключенных на фазное напряжение, и мощности однофазных ЭП, подключенных на линейное напряжение, с использованием коэффициентов приведения нагрузок к одной фазе по формулам:

$$P_{нА(о)} = \sum p_{нА} + \sum p_{нАВ} P_{(АВ)А} + \sum p_{нАС} P_{(АС)А}, \text{ кВт};$$

$$P_{нВ(о)} = \sum p_{нВ} + \sum p_{нАВ} P_{(АВ)В} + \sum p_{нВС} P_{(ВС)В}, \text{ кВт};$$

$$P_{нС(о)} = \sum p_{нС} + \sum p_{нАС} P_{(АС)С} + \sum p_{нВС} P_{(ВС)С}, \text{ кВт},$$

где $\sum p_{нА}$, $\sum p_{нВ}$, $\sum p_{нС}$ – суммарная мощность однофазных ЭП на фазное напряжение, запитанных соответственно от фаз A , B и C ; $p_{нАВ}$, $p_{нАС}$, $p_{нВС}$ – номинальные мощности однофазных ЭП на линейное напряжение, подключенных соответственно к фазам A и B , A и C , B и C ; $p_{(АВ)А}$, $p_{(АВ)В}$, $p_{(АС)А}$, $p_{(АС)С}$, $p_{(ВС)В}$, $p_{(ВС)С}$ – коэффициенты приведения по активной мощности (в скобках

указаны фазы, от которых запитан однофазный ЭП, за скобкой – фаза, для которой определяется нагрузка). Значения коэффициентов приведения однофазных нагрузок по активной мощности представлены в таблице.

Таблица – Коэффициенты приведения однофазной нагрузки, включенной на линейное напряжение, к нагрузке, отнесенной к одной фазе

Коэффициенты приведения	Коэффициент мощности нагрузки, $\cos\varphi$								
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,8	0,9	1,0
$p_{(AB)A}, p_{(BC)B}, p_{(AC)C}$	1,4	1,17	1,0	0,89	0,84	0,8	0,72	0,64	0,5
$p_{(AB)B}, p_{(BC)C}, p_{(AC)A}$	-0,4	-0,17	0	0,11	0,16	0,2	0,28	0,36	0,5

Затем определяется общая мощность трехфазных и однофазных ЭП каждой фазы:

$$P_{нА} = P_{нА(о)} + \frac{\sum P_{н3}}{3}, \text{ кВт};$$

$$P_{нВ} = P_{нВ(о)} + \frac{\sum P_{н3}}{3}, \text{ кВт};$$

$$P_{нС} = P_{нС(о)} + \frac{\sum P_{н3}}{3}, \text{ кВт},$$

где $\sum P_{н3}$ – суммарная установленная мощность трехфазных ЭП узла питания, кВт.

Рассчитывается неравномерность загрузки фаз ($\Delta P_{нр}$):

$$\Delta P_{нр} = \frac{P_{н \max} - P_{н \min}}{P_{н \min}} \cdot 100, \%,$$

где $P_{н \max}$, $P_{н \min}$ – соответственно номинальные мощности максимально и минимально нагруженной фазы.

При неравномерности нагрузки фаз не более 15 % однофазные ЭП учитываются при расчете нагрузок как эквивалентная группа трехфазных ЭП с той же суммарной номинальной мощностью.

В случае превышения указанной неравномерности номинальная мощность эквивалентной группы трехфазных ЭП принимается равной тройному значению мощности наиболее нагруженной фазы:

$$P_{н(о)} = 3P_{н \max(о)}, \text{ кВт}.$$

Пиковый, или ударной, нагрузкой называется максимально возможная нагрузка одного или группы электроприемников длительностью в доли или нескольких секунд. Такие нагрузки возникают при пусках или самозапусках двигателей трехфазного и постоянного тока, работающих в крановых, тяговых, прокатных приводах, а также при эксплуатационных коротких замыканиях, характерных для электросварки и дуговых печей.

Величину пикового тока используют при выборе устройств защиты и их уставок, в расчетах колебаний напряжения и при проверке самозапуска двигателей.

С достаточной для практических расчетов точностью групповой пиковый ток

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск.нб}} + (I_{\text{раб.мах}} - k_{\text{И}} I_{\text{ном.дв.нб}}),$$

где $I_{\text{пуск.нб}}$ ~ наибольший пусковой ток двигателя в группе; $I_{\text{раб.мах}}$ -расчетный максимальный ток всех электроприемников, питающихся от данного элемента; $I_{\text{ном.дв.нб}}$ – номинальный ток двигателя с наибольшим пусковым током; $k_{\text{И}}$ - коэффициент использования для графика нагрузки этого двигателя.

Пиковая нагрузка (ток или мощность) характеризуется величиной, длительностью и частотой повторения.

Пиковой нагрузкой для одиночного электроприемника может быть:

- пусковой ток асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором или синхронного двигателя. Он определяется по паспортным данным двигателя и при отсутствии таких данных принимается равным 5- кратному номинальному;

- пусковой ток асинхронного двигателя с фазным ротором или двигателя постоянного тока. При отсутствии точных данных принимается равным не менее 2,5-кратного номинального;

- пиковый ток печных и сварочных трансформаторов, который должен приниматься по паспортным данным. При отсутствии таких данных принимается равным не менее 3-кратного номинального без приведения к ПВ=100%;

- пиковая мощность отдельно работающих машин контактной электросварки. При отсутствии паспортных данных принимается равной 3-кратной номинальной;

- пиковый ток при включении мощных (500 и 1000 Вт) ламп накаливания и ртутных дуговых ламп, достигающий 12-кратного номинального, но имеющий малую длительность (не более 0,01 с). Пиковый ток для группы асинхронных двигателей определяется следующим образом:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пускмах}} + I_{\text{р}} - k_{\text{Имах}} I_{\text{номмах}},$$

где $I_{\text{пускмах}}$ – пусковой ток наибольшего двигателя;

$I_{\text{р}}$ – расчетный ток группы двигателей;

$I_{\text{номмах}}$ и $k_{\text{Имах}}$ – номинальный ток и коэффициент использования наибольшего двигателя в группе.

При самозапуске электродвигателей за пиковый ток принимается суммарный пусковой ток всех двигателей, участвующих в самозапуске. Для группы одновременно работающих машин контактной сварки расчетные и пиковые нагрузки определяются по специальной методике

Расчетная мощность одного ПТУ принимается равной сумме номинальных мощностей двух наиболее мощных электроприводов, приведенных к ПВ = 100 %

$$P_{\text{р}} = P_{\text{н1}} \sqrt{ПВ_1} + P_{\text{н2}} \sqrt{ПВ_2},$$

где $P_{\text{н1}}$, $P_{\text{н2}}$ - номинальные мощности двух наиболее мощных электроприводов

при паспортной продолжительности включения ПВ₁ и ПВ₂.

Если электропривод приводится двумя одновременно включаемыми электродвигателями, его номинальная мощность принимается равной сумме номинальных мощностей электродвигателей, приведенных к ПВ = 100 %.

Расчетный ток, являющийся основанием для выбора сечения гибкого токоподвода или троллей по условию их нагрева, а также тока токоъемника

$$I = \frac{P_p}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi}.$$

Коэффициент мощности для крановых электродвигателей с фазовым ротором следует принимать $\cos \varphi = 0,6$ ($\operatorname{tg} \varphi = 1,33$), а для электродвигателей с короткозамкнутым ротором (ПТУ небольшой грузоподъемности) $\cos \varphi = 0,5$ ($\operatorname{tg} \varphi = 1,73$).

Расчет электрической нагрузки нескольких ПТУ, питающихся от общих троллей, производится на форме Ф636-92.

Расчет производится для каждого тролля.

В графе 1 указываются назначение ПТУ, его грузоподъемность, паспортная продолжительность включения. Данные однотипных ПТУ записываются в одну строку.

В графах 3 и 4 приводятся номинальные мощности электродвигателей при паспортных ПВ, т.е. не приведенные к ПВ = 100 %.

Коэффициент использования принимается по справочным материалам. При проведении обследований действующих производств по электропотреблению ПТУ среднестатистические значения $K_{\text{и}}$ должны определяться по номинальным мощностям крановых электроприводов при их паспортных ПВ.

Далее расчет выполняется аналогично расчету питающих сетей напряжением до 1 кВ.

Пример расчета электрических нагрузок ПТУ.

Таблица – Результаты определения расчетных нагрузок ПТУ

Исходные данные							Расчетные величины			Эффективное число ЭП n_{Σ}	Коэф. расчетной нагрузки K_p	Расчетная мощность			Расчетный ток, А I_p
По заданию технологов				По справочным данным			$K_{и}^*$ $P_{н}$	$K_{и}^*P_{н}$ $*tgf$	$p_{н}^{**}$ $2*n$			kB P_p	kB A_p Q_p	kB A S_p	
Наименование ЭП	Количество ЭП шт. n	Номинальная (установленная) мощность, кВт		Коэф. использования $K_{и}$	Коэф. реактивной мощности										
		одно го ЭП $p_{н}$	общая $P_{н} = n*p_{н}$		$\cos f$	$tg f$									
Пример расчета электрических нагрузок ПТУ															
Троллей 1ТР Краны	4	80	320	0.20	0.6	1.3	64		2560						

Исходные данные						Расчетные величины			Эффективное число ЭП n _э	Коэф. расчетной нагрузки K _р	Расчетная мощность			Расчетный ток, А I _р				
По заданию технологов			По справочным данным			K _и * P _н	K _и *P _н *tg f	p _н ** 2*n			кВ т P _р	кВ Ар Q _р	кВ А S _р					
Наименование ЭП	Количество ЭП шт. n	Номинальная (установленная) мощность, кВт		Коэф. использования K _и	Коэф. реактивной мощности													
		одно го ЭП p _н	общая P _н = n*p _н		cos f										tg f			
заливочные 160/32 тн ПВ-40 % 2 шт.	2 2 4 2	44 30 14 7	88 60 56 14		0 	3 	17,6 12 11,2 2,8		0 3872 1800 784 98									
Итого	14		538	0,20			108	144	32154	9	1,43	154	158	220	334			
Троллей 2ТР Кран мостовой 40 тн ПВ-25 % 2 шт.	2 2 4 2	45 20 14 7	90 40 56 14	0,20 0,20	0,60 0,60	1,33 1,33	18 8 11,2 2,8	23,9 10,6 14,9 3,7	4050 800 784 98									
Кран мостовой 20 тн ПВ-25 % 1 шт.	1 2 1	28 14 4	28 14 4	0,10	0,50	1,73	5,6 2,8 2,8 0,8	7,4 3,7 3,7 1,1	784 196 98 16									
Кран мостовой 10 тн ПВ-25 % 2 шт.	2 2	10 7 4	20 14 8						2,0 1,4 0,8	3,5 2,4 1,4	200 98 32							
Итого	21		302				0,185			56	76	7156	12	1,38	77	76	108	164
Троллей 3ТР Кран мостовой 20 тн ПВ-25 % 1 шт.	1 1 1	40,0 25,0 4,0					0,20	0,60										

Исходные данные					Расчетные величины			Эффективное число ЭП n ₃	Коэф. расчетной нагрузки K _p	Расчетная мощность			Расчетный ток, A I _p		
По заданию технологов			По справочным данным		K _и * P _н	K _и *P _н *tg f	p _н ** 2*n			кВ т P _p	кВ Ар Q _p	кВ А S _p			
Наименование ЭП	Количество ЭП шт. · n	Номинальная (установленная) мощность, кВт		Коэф. использования K _и										Коэф. реактивной мощности	
		одного ЭП p _н	общая P _н = n*p _н											cos f	tg f
Итого										33			99		

Вопросы и задания

Изучить методику определения однофазных нагрузок, пиковых нагрузок и нагрузок подъемно-транспортных устройств и ответить на вопросы ПЗ.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Какие методы определения расчетных нагрузок однофазных электроприемников Вам известны?
2. Как рассчитать расчетную нагрузку однофазного приемника включенного на фазной напряжение?
3. Как рассчитать расчетную нагрузку однофазного приемника включенного на линейное напряжение?
4. Как определяется средняя нагрузка отдельных фаз?
5. Какая нагрузка называется пиковой?
6. Как учесть при расчете нагрузки повторности включения?
7. Чему равно значение коэффициента мощности для крановых электродвигателей с электродвигателями с короткозамкнутым ротором?
8. Как определяется значение коэффициента использования при расчете высоковольтной нагрузки?

Повышенный уровень

1. Для каких целей используются пиковые нагрузки?
2. Как считается расчетный ток для гибкого токоподвода?
3. Чему равно значение коэффициента мощности для крановых электродвигателей с фазовым ротором?

4. Изложите методику определения пиковой нагрузки

Рекомендуемая литература

Определение расчетных нагрузок однофазных электроприемников подробно изложены в [1-3], [1-2 доп].

Практическое занятие №4

Определение расчетных нагрузок высоковольтных электроприемников

Целью занятия является получение навыков определения силовой нагрузки электроприемников напряжением выше 1000 В.

В результате практического занятия студенты должны научиться определять расчетные нагрузки электроприемников напряжением выше 1000 В.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков определения нагрузок однофазных электроприемников, пиковых нагрузок и нагрузок подъемно-транспортных устройств.

Теоретическая часть

Расчетная нагрузка электроприемников напряжением выше 1 кВ, принимается равной средней мощности. Тогда расчетная нагрузка силовых приемников цеха определяется из соотношений:

$$P_{расчВН} = \sum_1^G k_{Иг} p_{номг}; \quad (1.6)$$

$$Q_{расчВН} = \sum_1^G k_{Иг} p_{номг} \cdot tg \varphi_g,$$

где $p_{номг}$ – активная установленная (номинальная) мощность g -го электроприемника высшего напряжения, принимаемая по исходным данным; $tg \varphi$ – соответствует характерному для приемников данной группы средневзвешенному значению коэффициента мощности; $k_{Иг}$ – коэффициент использования g -го электроприемника напряжением выше 1 кВ [1].

Результаты расчетов необходимо представить в виде таблицы 1.5.

Таблица 1.5 – Результаты расчета высоковольтной нагрузки

Наименование цеха	Руст кВт	cos φ	Силовая нагрузка		
			кс	Рр кВт	Qp квар
Компрессорная 10 кВ СД	1100	0,85	0,8	880	-744,76

Вопросы и задания

Изучить методику определения расчетных нагрузок высоковольтных электроприемников и ответить на вопросы ПЗ.

Вопросы к практическому занятию.

Базовый уровень

1. Какая нагрузка называется расчетной?
 2. . Как снимаются и строятся графики нагрузки предприятия в условиях эксплуатации?
 3. Как определяется максимальная нагрузка предприятия при проектировании и в условиях эксплуатации?
 4. Как определяется коэффициент использования и какие факторы он учитывает?
 5. Как определить число часов использования максимума нагрузки?
- Объяснить смысл и область применения ТМ.

6. Как определить коэффициент реактивной мощности? Его разновидности смысл и область применения?

Повышенный уровень

1. Как определяется средневзвешенное значение коэффициента мощности? Где и для чего используется $\cos\varphi_{CB}$.

2. Каковы основные нормативные документы, регламентирующие порядок определения расчетных нагрузок?

3. Чему равна постоянная времени нагрева для различных элементов системы электроснабжения?

4. Как учесть потери мощности при определении расчетных нагрузок?

5. Как определить коэффициент использования?

Список литературы, рекомендуемый к использованию

Более подробные сведения о способах определения силовых расчетных нагрузок представлена в [1-3].

Практическое занятие 5

Расчет осветительной нагрузки цехов и нагрузки освещения территории предприятия

Целью занятия является получение навыков расчета осветительной нагрузки цехов и территории предприятия.

В результате практического занятия студенты должны определять величину осветительной нагрузки цехов и территории предприятия

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков расчета осветительной нагрузки цехов и нагрузки освещения территории предприятия.

Теоретическая часть

Активная расчетная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по удельной нагрузке и коэффициенту спроса:

$$P_{расчОН} = K_{сОН} P_{удОН} F_{ц}, \quad (1.14)$$

где $P_{удОН}$ – удельная осветительная нагрузка на единицу площади цеха, Вт/м², [1];

$F_{ц}$ – площадь пола цеха, определяемая по генплану, м²;

$K_{сОН}$ – коэффициент спроса осветительной нагрузки [1].

Газоразрядные лампы на предприятии используются как основные источники света (составляют примерно 75 % от общей мощности осветительной нагрузки), обеспечивающие нормальную работу производства, для них реактивная мощность определяется по формуле

$$Q_{расчОН} = 0,75 P_{расчОН} \operatorname{tg} \varphi_{ОН}, \quad (1.15)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{ОН} = 0,33$ [1].

Для освещения наружной территории завода значения удельной осветительной нагрузки и коэффициента спроса принимаются равными $P_{уд} = 3 \text{ Вт/м}^2$, $k_c = 1$.

Ориентировочно считается, что освещается треть наружной территории завода:

$$P_{ро\text{ наруж}} = \frac{(F_{зав} - F_{\Sigma ц}) k_c P_{уд}}{3}, \quad (1.7)$$

где $F_{зав}$ - площадь завода, м^2 ;

$F_{\Sigma ц}$ - суммарная площадь всех цехов, м^2 .

Вопросы и задания

Рассчитать осветительную нагрузку цехов и территории заданного предприятия

Вопросы к практическому занятию.

Базовый уровень

1. От чего зависит величина осветительной нагрузки?
2. Как определяется удельная осветительная нагрузка территории?
3. Назовите источники света и их номинальные параметры
4. Опишите принцип действия ламп накаливания.
5. В чем проявляются особенности и недостатки ламп накаливания?
6. Какие требования предъявляются к аварийному освещению?
7. Какие лампы можно использовать для аварийного освещения?
8. Как рассчитать осветительную нагрузку цехов и территории заданного предприятия?

Повышенный уровень

1. Какие типы газоразрядных ламп низкого давления Вам известны?
2. Назовите преимущества и недостатки люминесцентных ламп
3. В чем разница в расчетах рабочего и аварийного освещения?
4. Как суммируется силовая и осветительная нагрузки?

Список литературы, рекомендуемый к использованию

Более подробные сведения о расчетах нагрузок освещения территории можно получить в [1-3].

Практическое занятие 6

Выбор номинальной мощности синхронных двигателей и реактивной мощности, которую могут генерировать СД

Целью занятия является получение навыков выбора номинальной мощности синхронных двигателей и реактивной мощности, которую могут генерировать СД в зависимости от загрузки по активной мощности.

В результате практического занятия студенты должны уметь выбирать номинальной мощности синхронных двигателей и рассчитывать реактивную

мощности, которую могут генерировать СД в зависимости от загрузки по активной мощности.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков выбора номинальной мощности синхронных двигателей и реактивной мощности, которую могут генерировать СД.

Теоретическая часть

Мощность СД выбирается по номинальному напряжению, скорости вращения с учетом коэффициента загрузки.

Каждый установленный синхронный двигатель может потенциально являться источником реактивной мощности в зависимости от его предварительной загрузки по активной мощности.

Мощность синхронного двигателя выбирается с учетом коэффициента загрузки и обеспечения требуемого уровня надежности электроснабжения.

Для СД определяется максимальная реактивная мощность, которую СД может генерировать. Значения реактивной мощности, которую можно получить от СД, зависят от его загрузки активной мощностью и относительного напряжения на зажимах двигателя:

$$Q_{CD} = \frac{K_{zQCD} P_{ном\Sigma CD} \operatorname{tg} \varphi_{CD}}{\eta_{CD}} \quad (1.13)$$

где $P_{ном\Sigma CD}$ – суммарная установленная мощность группы СД;

$\operatorname{tg} \varphi_{CD}$, η_{CD} – номинальные значения коэффициента реактивной мощности и КПД;

K_{zQCD} – коэффициент наибольшей допустимой нагрузки СД по реактивной мощности, зависящий от типа двигателя, относительного напряжения и коэффициента загрузки по активной мощности.

Синхронные двигатели нормальных серий изготавливаются с «опережающим» $\cos \varphi_{CD} = 0,9$ ($\operatorname{tg} \varphi_{CD} = 0,48$) независимо от реактивной мощности, которую предприятие может использовать. При расчете суммарной реактивной нагрузки потребителей для СД, работающих с «опережающим» коэффициентом мощности, величина Q_{CD} берется со знаком минус.

От чего зависит величина реактивной мощности генерируемой СД?

Вопросы и задания

В соответствии с заданной мощностью высоковольтной нагрузки, необходимо выбрать количество, тип и реактивную мощность СД, которую он может генерировать.

Вопросы к практическому занятию.

Базовый уровень

1. Как выбирается мощность СД, если задана необходимая мощность нагрузки?
2. От чего зависит величина реактивной мощности генерируемой СД?

3. От чего зависит коэффициент наибольшей допустимой нагрузки СД по реактивной мощности?

4. Какой cosφ имеют синхронные двигатели нормальных серий?

Повышенный уровень

1. Как определить коэффициент наибольшей допустимой нагрузки СД по реактивной мощности?

2. В каком случае СД может вырабатывать реактивную мощность?

3. В каких диапазонах изменяются коэффициенты полезного действия СД?

Список литературы, рекомендуемый к использованию

Более подробные сведения по данному вопросу можно получить в [1-3].

Практическое занятие 7

Определение суммарной расчетной электрической нагрузки завода

Целью занятия является получение навыков определения суммарной расчетной электрической нагрузки завода.

В результате практического занятия студенты должны научиться определять расчетную электрическую нагрузку завода.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков определения суммарной расчетной электрической нагрузки завода.

Теоретическая часть

Расчетные полная, активная и реактивная мощности промышленного предприятия (ПП) $S_{расч ПП}$, $P_{расч ПП}$, $Q_{расч ПП}$, отнесенные к шинам вторичного напряжения главной понижающей подстанции, определяются по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов по выражениям:

$$P_{расч ПП} = (\sum P_{расч НН} + \sum P_{расч ВН}) K_{0max} + \sum P_{расч ОН} + \Delta P_m + \Delta P_\Delta; \quad (1.16)$$

$$Q_{расч ПП} = (\sum Q_{расч НН} + \sum Q_{расч ВН} - \sum Q_{СД}) K_{0max} + \sum Q_{расч ОН} + \Delta Q_m;$$

$$S_{расч ПП} = \sqrt{(P_{расч ПП})^2 + (Q_{расч ПП})^2}.$$

где $P_{расч НН}$, $P_{расч ВН}$, $Q_{расч НН}$, $Q_{расч ВН}$ – силовая нагрузка ЭП до и выше 1 кВ ;

$P_{расч ОН}$, $Q_{расч ОН}$ – осветительная нагрузка;

ΔP_m , ΔQ_m , ΔP_Δ – потери мощности в трансформаторах цеховых подстанций и цеховых сетях напряжением до 1 кВ

K_{0max} – коэффициента одновременности максимумов силовой нагрузки [1].

Вопросы и задания

Определить суммарную активную, реактивную и полную расчетную нагрузку заданного предприятия.

Вопросы к практическому занятию.

Базовый уровень

1. Каким должен быть коэффициент загрузки СД чтобы он мог вырабатывать реактивную мощность?
2. Из каких составляющих складывается расчетная нагрузка промышленного предприятия?
3. От чего зависит величина расчетной нагрузки территории завода?
4. Как определяется удельная осветительная нагрузка территории?
5. От чего зависит величина реактивной мощности, генерируемой СД?
6. Как определяется удельная осветительная нагрузка территории?
7. Почему реактивная мощность, генерируемая СД, вычитается из нагрузки предприятия?

Повышенный уровень

1. От чего зависит величина коэффициента одновременности максимумов силовой нагрузки?
2. Как учитываются в расчетной нагрузке предприятия потери активной и реактивной мощности?
3. От каких факторов зависит коэффициент одновременности максимумов силовой нагрузки предприятия?

Список литературы, рекомендуемый к использованию

Более подробные сведения об определении расчетной электрической нагрузки завода можно получить в [1-3].

Практическое занятие № 8 ***Изучение режимов работы нейтралей сети***

Целью занятия является получение навыков выбора режимов работы нейтралей сети.

В результате практического занятия студенты должны научиться выбирать режимы работы нейтралей сети.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью изучения режимов работы сети при различных способах подключения нейтралей.

Теоретическая часть

Способ заземления нейтрали сети является достаточно важной характеристикой. Он определяет:

- ток в месте повреждения и перенапряжения на неповрежденных фазах при однофазном замыкании;
- схему построения релейной защиты от замыканий на землю;
- уровень изоляции электрооборудования;
- выбор аппаратов для защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений (ограничителей перенапряжений);
- бесперебойность электроснабжения;

- допустимое сопротивление контура заземления подстанции;
- безопасность персонала и электрооборудования при однофазных замыканиях.

В настоящее время в мировой практике используются следующие способы заземления нейтрали сетей среднего напряжения (термин «среднее напряжение» используется в зарубежных странах для сетей с диапазоном рабочих напряжений 1-69 кВ):

- изолированная (незаземленная);
- глухозаземленная (непосредственно присоединенная к заземляющему контуру);
- заземленная через дугогасящий реактор;
- заземленная через резистор (низкоомный или высокоомный).

В России, согласно п.1.2.16 последней редакции ПУЭ, введенных в действие с 1 января 2003 г., «...работа электрических сетей напряжением 3-35 кВ может предусматриваться как с изолированной нейтралью, так и с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор». Таким образом, сейчас в сетях 6-35 кВ в России формально разрешены к применению все принятые в мировой практике способы заземления нейтрали, кроме глухого заземления. Отметим, что, несмотря на это, в России имеется опыт применения глухого заземления нейтрали в некоторых сетях 35 кВ (например, кабельная сеть 35 кВ электроснабжения г. Кронштадта).

Изолированная нейтраль. Режим изолированной нейтрали достаточно широко применяется в России. При этом способе заземления нейтральная точка источника (генератора или трансформатора) не присоединена к контуру заземления. В распределительных сетях 6-10 кВ России обмотки питающих трансформаторов, как правило, соединяются в треугольник, поэтому нейтральная точка физически отсутствует. ПУЭ ограничивает применение режима изолированной нейтрали в зависимости от тока однофазного замыкания на землю сети (емкостного тока). Компенсация тока однофазного замыкания на землю (использование дугогасящих реакторов) должна предусматриваться при емкостных токах:

- более 30 А при напряжении 3-6 кВ;
- более 20 А при напряжении 10 кВ;
- более 15 А при напряжении 15-20 кВ;
- более 10 А в сетях напряжением 3-20 кВ, имеющих железобетонные и металлические опоры на воздушных линиях электропередачи, и во всех сетях напряжением 35 кВ;
- более 5 А в схемах генераторного напряжения 6-20 кВ блоков «генератор–трансформатор».

Вместо компенсации тока замыкания на землю может применяться заземление нейтрали через резистор (резистивное) с соответствующим изменением логики действия релейной защиты.

Исторически режим изолированной нейтрали был первым режимом заземления нейтрали, использовавшимся в электроустановках среднего напряжения. Его достоинствами являются:

- отсутствие необходимости в немедленном отключении первого однофазного замыкания на землю;
- малый ток в месте повреждения (при малой емкости сети на землю).

Недостатками этого режима заземления нейтрали являются:

- возможность возникновения дуговых перенапряжений при перемежающемся характере дуги с малым током (единицы–десятки ампер) в месте однофазного замыкания на землю;
- возможность возникновения множественных повреждений (выход из строя нескольких электродвигателей, кабелей) из-за пробоев изоляции на других присоединениях, связанных с дуговыми перенапряжениями;
- возможность длительного воздействия на изоляцию дуговых перенапряжений, что ведет к накоплению в ней дефектов и снижению срока службы;
- необходимость выполнения изоляции электрооборудования относительно земли на линейное напряжение;
- сложность обнаружения места повреждения;
- опасность электропоражения персонала и посторонних лиц при длительном существовании замыкания на землю в сети;
- сложность обеспечения правильной работы релейных защит от однофазных замыканий, так как реальный ток замыкания на землю зависит от режима работы сети (числа включенных присоединений).

Кроме того, значительное число повреждений трансформаторов напряжения типа НТМИ-6(10), ЗНОЛ-6(10), ЗНОМ-35 в отечественных сетях 6–35 кВ с изолированной нейтралью при однофазных замыканиях на землю также связано с состоянием нейтрали сетей среднего напряжения. Недостатки режима работы с изолированной нейтралью весьма существенны, а такое достоинство, как отсутствие необходимости отключения первого замыкания, достаточно спорно. Так, всегда есть вероятность возникновения второго замыкания на другом присоединении из-за перенапряжений и отключения сразу двух кабелей, электродвигателей или воздушных линий. Такое развитие событий в эксплуатации не так редко, как кажется на первый взгляд. Именно по этой причине во многих странах, таких, как США, Канада, Англия, Австралия, Бельгия, Португалия, Франция и другие, отказ от режима изолированной нейтрали произошел еще в 40–50-х годах прошлого века. Как видно из таблицы 1, в настоящее время из промышленно развитых стран режим изолированной нейтрали применяют только Италия, Япония и Финляндия. Причем в Италии сейчас рассматривается возможность перехода к работе с заземлением через дугогасящий реактор, а в Японии – с заземлением через резистор. В России до последнего времени режим изолированной нейтрали был закреплён в ПУЭ. Именно этим объясняется сложившееся положение, когда даже в сетях с высоковольтными электродвигателями, где защита от однофазных замыканий выполнена с действием на отключение без выдержки времени, применяется режим изолированной нейтрали.

Нейтраль, заземленная через дугогасящий реактор Она также достаточно часто применяется в России. Этот способ заземления нейтрали, как

правило, находит применение в разветвленных кабельных сетях промышленных предприятий и городов. При этом способе нейтральную точку сети получают, используя специальный трансформатор (рис.2). С точки зрения исторической последовательности возникновения этот способ заземления нейтрали является вторым. Он был предложен немецким инженером Петерсеном в 20-х годах прошлого столетия (в европейских странах дугогасящие реакторы называют по имени изобретателя «Petersen coil» – катушка Петерсена). Достоинствами этого метода заземления нейтрали являются:

- отсутствие необходимости в немедленном отключении первого однофазного замыкания на землю;
- малый ток в месте повреждения (при точной компенсации – настройке дугогасящего реактора в резонанс);
- возможность самоликвидации однофазного замыкания, возникшего на воздушной линии или ошиновке (при точной компенсации – настройке дугогасящего реактора в резонанс);
- исключение феррорезонансных процессов, связанных с насыщением трансформаторов напряжения и неполнофазными включениями силовых трансформаторов.

Недостатками этого режима заземления нейтрали являются:

- возникновение дуговых перенапряжений при значительной расстройке компенсации;
- возможность возникновения множественных повреждений при длительном существовании дугового замыкания в сети;
- возможность перехода однофазного замыкания в двухфазное при значительной расстройке компенсации;
- возможность значительных смещений нейтрали при недокомпенсации и возникновении неполнофазных режимов;
- возможность значительных смещений нейтрали при резонансной настройке в воздушных сетях;
- сложность обнаружения места повреждения;
- опасность электропоражения персонала и посторонних лиц при длительном существовании замыкания на землю в сети;
- сложность обеспечения правильной работы релейных защит от однофазных замыканий, так как ток поврежденного присоединения очень незначителен.

В России режим заземления нейтрали через дугогасящий реактор применяется в основном в разветвленных кабельных сетях с большими емкостными токами. Кабельная изоляция в отличие от воздушной не является самовосстанавливающейся. То есть, однажды возникнув, повреждение не устранится, даже несмотря на практически полную компенсацию (отсутствие) тока в месте повреждения. Соответственно для кабельных сетей самоликвидация однофазных замыканий как положительное свойство режима заземления нейтрали через дугогасящий реактор не существует.

При дуговом характере однофазного замыкания скважность воздействия перенапряжений на изоляцию сети ниже, чем при изолированной нейтрали, но и

здесь существует возможность возникновения множественных повреждений. В последние десятилетия сети 6-10 кВ разрослись, а мощность компенсирующих устройств на подстанциях осталась той же, соответственно значительная доля сетей среднего напряжения сейчас работает с существенной недокомпенсацией. Это ведет к исчезновению всех положительных свойств сетей с компенсированной нейтралью. Отметим дополнительно, что дугогасящий реактор компенсирует только составляющую промышленной частоты тока однофазного замыкания. При наличии в сети источников высших гармоник последние могут содержаться в токе замыкания и в некоторых случаях даже усиливаться.

Применение режима с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор, в таких странах, как Финляндия, Швеция, отличается от российского. В этих странах он применяется в сетях с воздушными линиями, где его применение наиболее эффективно. Кроме того, в этих странах существует значительное сопротивление грунта, состоящего в основном из скальных пород, и режим заземления нейтрали через дугогасящий реактор позволяет обнаруживать однофазные замыкания через значительные переходные сопротивления 3-5 кОм. Применение режима заземления нейтрали через дугогасящий реактор в таких странах, как Германия, Австрия, Швейцария, носит в некоторой степени традиционный характер (выше уже говорилось о немецком инженере – изобретателе этого способа). Тем не менее и в этих странах этот режим заземления нейтрали применяется в основном в сетях с воздушными линиями. В сетях среднего напряжения зарубежных промышленных предприятий используется резистивное заземление нейтрали.

Нейтраль, заземленная через резистор (высокоомный или низкоомный) Этот режим заземления используется в России очень редко, только в некоторых сетях собственных нужд блочных электростанций и сетях газоперекачивающих компрессорных станций. В то же время, если оценивать мировую практику, то резистивное заземление нейтрали – это наиболее широко применяемый способ.

Таблица 1 – Способы заземления нейтрали в странах мира

Страна	Принятое напряжение	Способ заземления нейтрали			
		Изолированная	Через дугогасящий реактор	Через резистор	Глухое
Россия	6–35 кВ	+	+		
Австралия	11–12 кВ			+	+
Канада	4–25 кВ			+	+
США	4–25 кВ			+	+
Испания			10–30 кВ	+	+
Италия	10–20 кВ	+			
Португалия	10–30 кВ			+	
Франция	12–24 кВ			+	
Япония	6,6 кВ	+		+	

Германия	10–20 кВ		+		
Австрия	10–30 кВ		+		
Бельгия	6,3–17 кВ			+	
Великобритания	11 кВ			+	+
Швейцария	10–20 кВ		+		
Финляндия	20 кВ	+	+		

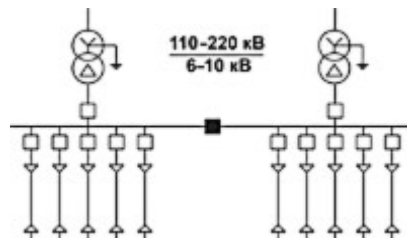


Рисунок – Схема двухтрансформаторной подстанции с изолированной нейтралью

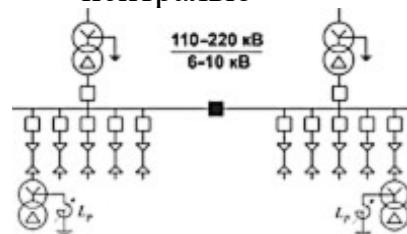


Рисунок – Схема двухтрансформаторной подстанции с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор

Резистор в отечественных сетях 6-10 кВ может включаться так же, как и реактор, в нейтраль специального заземляющего трансформатора.

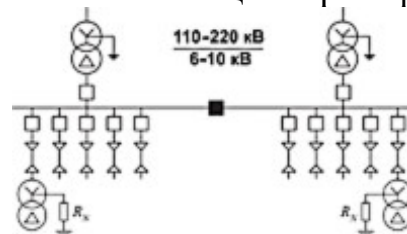


Рисунок – Схема двухтрансформаторной подстанции с нейтралью, заземленной через резистор

Возможны и другие варианты включения резистора, когда нейтраль заземляющего трансформатора наглухо присоединяется к контуру заземления, а резистор включается во вторичную обмотку, собранную в разомкнутый треугольник, либо используется однообмоточный трансформатор (фильтр нулевой последовательности) с соединением обмотки ВН в зигзаг.

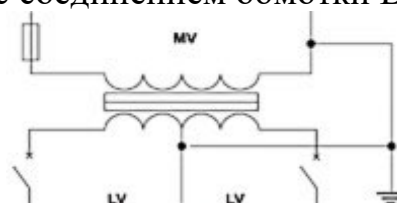


Рисунок 4 – Варианты включения резистора в нейтраль сети 6-10 кВ

Возможны два варианта реализации резистивного заземления нейтрали: высокоомный или низкоомный.

При высокоомном заземлении нейтрали резистор выбирается таким образом, чтобы ток, создаваемый им в месте однофазного повреждения, был равен или больше емкостного тока сети. Например, согласно нормам французской сетевой компании Electricite de France, ток, создаваемый резистором, должен быть в два раза больше емкостного тока сети. Это гарантирует отсутствие дуговых перенапряжений при однофазных замыканиях. Как правило, суммарный ток в месте повреждения при высокоомном заземлении нейтрали не превышает 10 А. То есть высокоомным заземлением нейтрали является такое заземление, которое позволяет не отключать возникшее однофазное замыкание немедленно. Соответственно высокоомное заземление нейтрали может применяться только в сетях с малыми собственными емкостными токами до 5-7 А. В сетях с большими емкостными токами допустимо применение только низкоомного заземления нейтрали. При низкоомном заземлении нейтрали используется резистор, создающий ток в пределах 10-2000 А. Величина тока, создаваемого резистором, выбирается исходя из нескольких конкретных условий: стойкость опор ВЛ, оболочек и экранов кабелей к протеканию такого тока однофазного замыкания; наличие в сети высоковольтных электродвигателей и генераторов; чувствительность релейной защиты. В Electricite de France низкоомный резистор выбирается таким образом, чтобы ток однофазного замыкания в воздушных сетях не превышал 300 А, а в кабельных 1000 А.

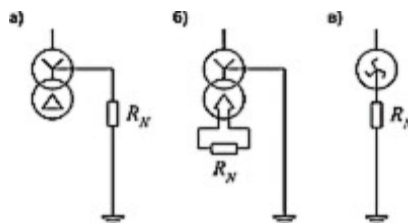


Рисунок – Североамериканский трансформатор потребителя

Согласно бельгийским нормам ток однофазного замыкания лимитируется величиной не более 500 А. При наличии в сети высоковольтных электродвигателей Electricite de France ограничивает ток в месте замыкания величиной 20 А (в случае необходимости допускается увеличение до 50 А). Эта норма связана с недопустимостью выплавления стали статора электродвигателя при однофазном замыкании. Похожие ограничения для сетей с высоковольтными электродвигателями были приняты при разработке устройств резистивного заземления нейтрали и в России. Например, такие заводы, как «Самарский Электроцит», «Московский Электроцит», выпускают ячейки заземления нейтрали, в которых используются резисторы, создающие активный ток 35-38 А (100 Ом для сетей 6 кВ и 150 Ом для сетей 10 кВ).

Некоторое отличие представляет практика низкоомного резистивного заземления нейтрали англоязычных стран. Так, в США типовым решением является применение резистора, создающего ток 400 А, в том числе и для сетей с высоковольтными электродвигателями.

Достоинствами резистивного заземления нейтрали являются:

- отсутствие дуговых перенапряжений высокой кратности и многоместных повреждений в сети;
- отсутствие необходимости в отключении первого однофазного замыкания на землю (только для высокоомного заземления нейтрали);
- исключение феррорезонансных процессов и повреждений трансформаторов напряжения;
- уменьшение вероятности поражения персонала и посторонних лиц при однофазном замыкании (только для низкоомного заземления и быстрого селективного отключения повреждения);
- практически полное исключение возможности перехода однофазного замыкания в многофазное (только для низкоомного заземления и быстрого селективного отключения повреждения);
- простое выполнение чувствительной и селективной релейной защиты от однофазных замыканий на землю, основанной на токовом принципе.

Недостатками резистивного режима заземления нейтрали являются:

- увеличение тока в месте повреждения;
- необходимость в отключении однофазных замыканий (только для низкоомного заземления).

Отсутствие дуговых перенапряжений при однофазных замыканиях и возможность организации селективной релейной защиты являются неоспоримыми преимуществами режима резистивного заземления нейтрали. Именно эти преимущества способствовали широкому распространению такого режима заземления нейтрали в разных странах.

Глухозаземленная нейтраль

Как уже было сказано, в отечественных сетях 6-35 кВ не используется. Этот режим заземления нейтрали широко распространен в США, Канаде, Австралии, Великобритании и связанных с ними странах. Он находит применение в четырехпроводных воздушных сетях среднего напряжения 4-25 кВ. В качестве примера на рисунке приведен участок сети 13,8 кВ в США. Как видно из рисунка, воздушная линия на всем своем протяжении и ответвлениях снабжена четвертым нулевым проводом. Концепция построения сети заключается в том, чтобы максимально сократить протяженность низковольтных сетей напряжением 120 В. Каждый частный дом питается от собственного понижающего трансформатора 13,8/0,12 кВ, включенного на фаз-ное напряжение. На рисунке показан такой однофазный трансформатор потребителя с заземленной средней точкой обмотки НН. Основная воздушная линия делится на участки секционирующими аппаратами – реклоузерами. Трансформаторы каждого отдельного потребителя и ответвления от линии защищаются предохранителями. На отпайках от линии используются отделители, обеспечивающие отключение в бестоковую паузу. Этот способ заземления нейтрали не используется в сетях, содержащих высоковольтные электродвигатели. Токи однофазного замыкания в этом случае достигают

нескольких килоампер, что недопустимо с позиций повреждения статора электродвигателя (выплавление стали при однофазном замыкании).

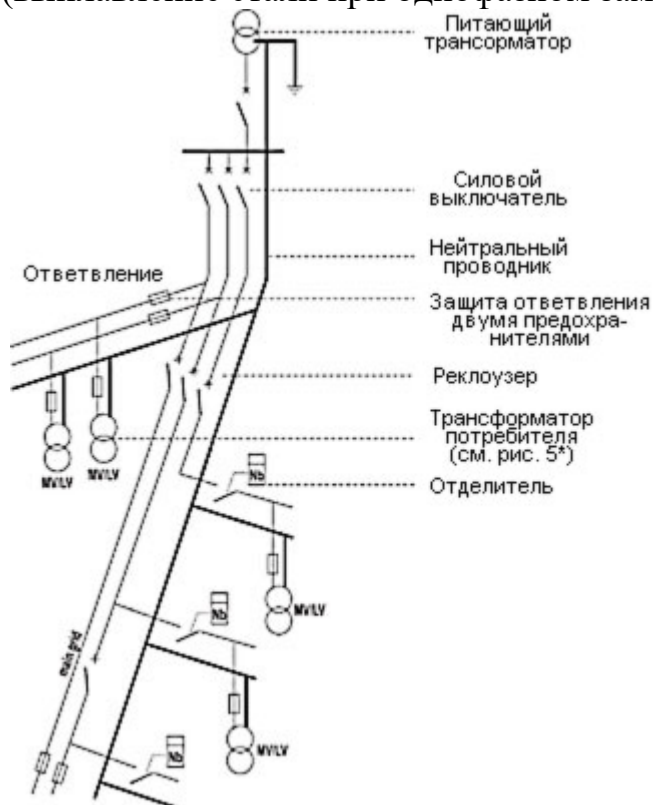


Рисунок – Схема воздушной четырехпроводной распределительной сети 4-25 кВ США

Применение глухого заземления нейтрали в сетях среднего напряжения в России вряд ли необходимо и вероятно в обозримом будущем. Все отечественные линии 6-35 кВ трехпроводные, а трансформаторы потребителей трехфазные, то есть сам подход к построению сети существенно отличается от зарубежного. Указанный выше случай глухого заземления нейтрали в кабельной сети 35 кВ, питающей г. Кронштадт, является исключением. Такое решение было сознательно принято проектным институтом в связи с тем, что ток однофазного замыкания в этой сети составляет около 600 А. Компенсация в данном случае малоэффективна, а надежных высоковольтных низкоомных резисторов на момент реализации решения в России не существовало.

К сожалению, в России жесткие нормативные требования ПУЭ в отношении применения только изолированной нейтрали не позволяли до последнего времени использовать заземление нейтрали через резистор. Даже сейчас, после внесения изменений в ПУЭ, проектные институты продолжают закладывать в новые объекты старую идеологию. По-видимому, необходимы совместные усилия заказчиков, производителей оборудования и проектных институтов для изменения существующей ситуации. В заключение следует отметить, что режим заземления нейтрали в сети среднего напряжения должен выбираться в каждом конкретном случае с учетом следующих факторов:

- уровня емкостного тока сети;
- допустимого тока однофазного замыкания, исходя из

разрушений в месте повреждения;

- безопасности персонала и посторонних лиц;
- допустимости отключения однофазных замыканий с позиций непрерывности технологического цикла;
- наличия резерва;
- типа и характеристик используемых защит.

Однако в любом случае выбор должен делаться между заземлением нейтрали через дугогасящий реактор, высокоомным или низкоомным заземлением, а режим изолированной нейтрали должен быть полностью исключен.

Вопросы и задания.

Изучите способы подключения и последствия использования различных режимов работы нейтралей сети и ответить на вопросы ПЗ.

Вопросы к практическому заданию

Базовый уровень

1. Какова причина возникновения перемежающейся дуги при однофазном замыкании на землю в системах с изолированной нейтралью?
2. При каком индуктивном сопротивлении дугогасящей катушки ток однофазного замыкания на землю будет наименьшим?
3. Каков режим работы нейтрали в сети 6-10 кВ промышленного предприятия?
4. Каков режим работы нейтрали в сети 6-10 кВ промышленного предприятия?
5. Какой режим работы нейтрали сети целесообразно использовать в сети 6-10 кВ при применении кабелей из сшитого полиэтилена?

Повышенный уровень

1. На какие параметры оказывает влияние режим работы нейтрали сети?
2. Как изменяться токи КЗ при разземлении нейтралей сети?
3. Каковы требования ПУЭ к режимам работы нейтралей сети?
4. Как влияет емкостное сопротивление элементов сети относительно земли на величину тока однофазного замыкания на землю в сетях с глухозаземленной нейтралью?
5. По какой причине в системах с резонансно-компенсированной нейтралью нельзя снизить ток замыкания на землю до нуля?
6. Как от режима работы нейтрали зависит электробезопасность?

Список литературы, рекомендуемый к использованию

Более подробные сведения по данному вопросу можно получить в [1-3].

Практическое занятие 9

Выбор напряжения системы электроснабжения и определение центра электрических нагрузок завода

Целью занятия является получение навыков определения центра электрических нагрузок завода и выбора номинальных напряжений на различных уровнях СЭС.

В результате практического занятия студенты должны получить навыки определения центра электрических нагрузок завода и выбора номинальных напряжений на различных уровнях СЭС.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков выбора напряжений системы электроснабжения и определения центра электрических нагрузок завода.

Теоретическая часть

При выборе номинального напряжения внешнего участка сети принимаются во внимание существующее напряжение возможных источников питания РСК, расстояние от этих источников до предприятия и нагрузка предприятия в целом.

Рациональное напряжение можно определить аналитическим путем с помощью эмпирической формулы [1]:

$$U = 16\sqrt[4]{P \cdot l}, \quad (1.17)$$

где P – передаваемая максимальная мощность МВт,

l – расстояние от точки подключения линии до подстанции км.

Выбор напряжения питающих и распределительных сетей зависит от мощности, потребляемой предприятием, его удаленности от источника питания, напряжения источника питания (особенно для небольших и средних предприятий), количества и единичной мощности электроприемников (электродвигатели, электропечи, преобразователи и др.).

Напряжение 10 и 6 кВ широко используют на промышленных предприятиях: на средних по мощности предприятиях – для питающих и распределительных сетей; на крупных предприятиях – на второй и последующих ступенях распределения электроэнергии.

В соответствии с [11] сети промышленных предприятий от пункта приема электроэнергии до РП и ТП рекомендуется выполнять на напряжении 10 кВ. Применение напряжения 6 кВ в качестве распределительного следует ограничивать. Напряжение 6 кВ допускается применять только в тех случаях, если на предприятии значительное количество электроприемников с номинальным напряжением 6 кВ.

Для нахождения ЦЭН завода и размещения подстанции необходимо найти условный центр электрических нагрузок. Подстанцию следует располагать как можно ближе к этому центру. Это позволяет снизить расход электроэнергии, уменьшить расход проводникового материала за счет сокращения протяженности кабельных линий и приближения высокого напряжения к центру потребления электрической энергии.

Найдем вначале координаты центров электрических нагрузок цехов. Границы предприятия совпадают с осями X и Y . Центры электрических нагрузок

цехов находятся в их центре, так как по условию, вся нагрузка распределена равномерно по площади цехов.

Для определения ЦЭН воспользуемся методикой определения центра тяжести однородных, плоских фигур сложной формы. Учитывать третью координату Z не имеет смысла, так как потребители электрической энергии размещены примерно на одном уровне.

Координаты центров электрических нагрузок в этом случае находим по формуле:

$$x = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{\sum F_i}, \quad y = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{\sum F_i} \quad (1.18)$$

где F_i – площадь;

(x_i, y_i) – координаты центра i -й геометрической фигуры.

Определим координаты центра электрических нагрузок по выражениям:

$$x_{\text{ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^{11} P_{Pi} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{11} P_{Pi}}, \quad y_{\text{ЦЭН}} = \frac{\sum_{i=1}^{11} P_{Pi} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{11} P_{Pi}} \quad (1.19)$$

Вопросы и задания

Выбрать номинальные напряжения внешнего и внутреннего электроснабжения предприятия и определить центр нагрузок для заданного предприятия.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. С какой целью выполняется определение условного центра электрических нагрузок?
2. Как определить место центра электрических нагрузок предприятия?
3. К какую сторону следует сместить место расположения ГПП, если в центре нагрузок расположен цех/
4. В каких случаях можно использовать формулу Стилла для выбора номинального напряжения.

Повышенный уровень

1. Как построить зону рассеяния центра электрических нагрузок?
2. Почему следует ограничивать применение на промпредприятиях напряжения 6 кВ?

Список литературы, рекомендуемый к использованию

Более подробные сведения о способах определения центра электрических нагрузок завода и выбора номинальных напряжений на различных уровнях СЭС можно получить в [1,7].

Практическое занятие 10

Построение картограммы высоковольтных и низковольтных нагрузок завода

Целью занятия является получение навыков построения картограммы высоковольтных и низковольтных нагрузок завода.

В результате практического занятия студенты должны освоить методики картограммы высоковольтных и низковольтных нагрузок завода.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков построения картограммы высоковольтных и низковольтных нагрузок завода.

Теоретическая часть

Картограммой называют план, на котором изображена средняя интенсивность распределения нагрузок приемников электроэнергии. Составим картограмму нагрузок предприятия. Для ее построения на плане указывают в соответствующем масштабе электрическую нагрузку в виде кругов, площадь которых равна нагрузке цеха

$$P_i = m \cdot \pi \cdot r_i^2, \quad (1.20)$$

где $m = \text{const}$, кВт/м²;

r_i – радиус круга в выбранном масштабе, м.

Определим масштаб построения картограммы нагрузок. Выбираем максимальную мощность нагрузки цеха: $P_{\text{MAX}} = P_{11} = 640,9$ кВт и выбираем произвольный радиус $r = 28$ м, тогда

$$m = \frac{P_{\text{MAX}}}{\pi \cdot r^2} = \frac{640,9}{\pi \cdot 28^2} = 0,26 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}.$$

В качестве центра круга выбирают центр электрической нагрузки (ЦЭН) приемника, а радиус для каждого определяем, как

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{m \cdot \pi}}, \quad (1.21)$$

Сектор осветительной нагрузки определяется по формуле:

$$\alpha_o = 360 \cdot \frac{P_{\text{Р.ОН}}}{P_{\text{Р.ВН}} + P_{\text{Р.НН}} + P_{\text{Р.ОН}}}, \quad (1.22)$$

Сектор нагрузки высокого напряжения определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{ВН}} = 360 \cdot \frac{P_{\text{Р.ВН}}}{P_{\text{Р.ВН}} + P_{\text{Р.НН}} + P_{\text{Р.ОН}}}, \quad (1.23)$$

Пример изображения картограммы нагрузок представлен на рисунке 1.1.

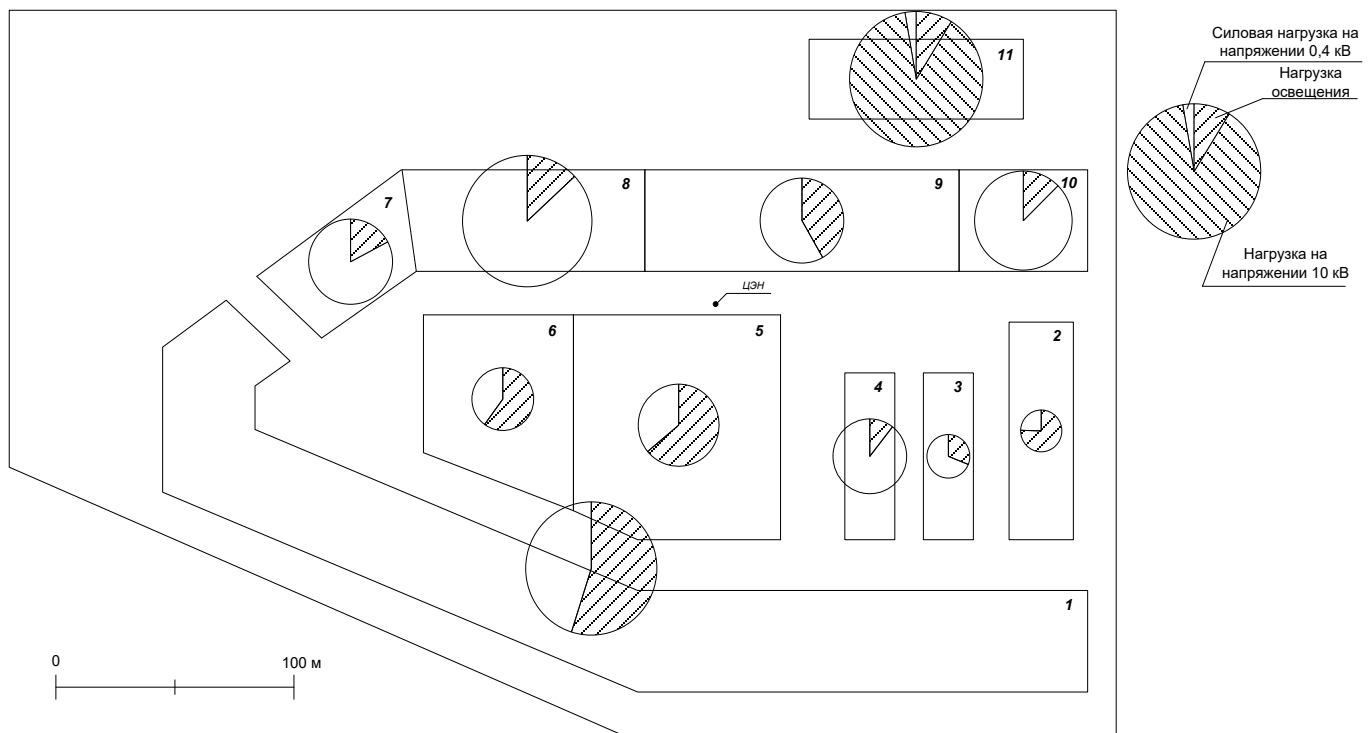


Рисунок 1.1 – Картограмма электрических нагрузок завода электротехнической промышленности

Вопросы и задания

Изучить методику построения картограммы высоковольтных и низковольтных нагрузок завода. Построить картограмму нагрузок для заданного завода.

Вопросы к практическому занятию.

Базовый уровень

1. Как выбирается масштаб для построения картограммы нагрузок?
2. Как рассчитать величину сектора осветительной нагрузки?
3. Как на картограмме представляется высоковольтная нагрузка?
4. Как построить картограмму нагрузок для заданного завода?
5. Как на картограмме выделяется силовая и осветительная нагрузка?

Повышенный уровень

1. В каком случае картограмма строится по активной мощности, а в каком по полной?
2. В каких целях используют картограмму нагрузок?

Рекомендуемая литература

Более подробные сведения о построении картограммы высоковольтных и низковольтных нагрузок завода можно получить в [1-3].

Практическое занятие 11

Выбор схемы и мощности трансформаторов ГПП и определение мощности компенсирующих устройств на стороне выше 1000 В

Целью занятия является получение навыков выбора схемы ГПП, мощности трансформаторов и определения мощности компенсирующих устройств на стороне выше 1000 В.

В результате практического занятия студенты должны освоить методики выбора схемы и мощности трансформаторов ГПП и определения мощности компенсирующих устройств на стороне выше 1000 В.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков выбора схемы и мощности трансформаторов ГПП и определения мощности компенсирующих устройств на стороне выше 1000 В.

Теоретическая часть

Обычно для питания ГПП используют схемы моста – 4Н.

Основой построения схемы электроснабжения цехов являются следующие факторы:

- а) напряжение сети;
- б) уровень электрических нагрузок;
- в) требования к надежности электроснабжения;
- г) экономичность;
- д) простота и удобство обслуживания;
- ж) конструктивные особенности здания или цеха.

Надежность электроснабжения регламентируется Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) и Строительными нормами и правилами (СниП). Выбор схемы должен быть подкреплен экономическим обоснованием и целесообразностью той или иной схемы электроснабжения. Для электроприемников 1 категории необходимо обеспечить устройство АВР в схеме электроснабжения.

Цеховые сети по конструктивному выполнению подразделяют на сети выполняемые:

- а) комплектными шинопроводами;
- б) кабелями и проводами в коробах, на лотках и на кабельных конструкциях;
- в) кабелями и изолированными проводами в трубах;
- г) кабелями и изолированными проводами, проложенных на элементах строений.

Электроснабжение потребителей цеха осуществляют с помощью радиальных, магистральных и смешанных схем питания.

Рекомендуется применять радиальные схемы для ответственных и мощных потребителей, магистральные схемы – при наличии потребителей небольшой мощности, смешанные схемы – при наличии потребителей различной мощности.

Вопрос канализации электроэнергии в цехе необходимо решать с учетом технологического процесса производства, планировкой здания, условий окружающей среды.

Рекомендуется применять магистральные и радиальные шинопроводы типа ШМА и ШРА.

Необходимо предусмотреть защиту незащищенных проводов к выключателям, щиткам, аппаратам до высоты не менее 1,5 м от уровня пола с помощью металлического гофрированного кожуха или металлических труб.

Распределительные пункты (щиты) надо выбирать в соответствии с количеством подключаемых электроприемников и их мощностью.

Осветительную сеть цеха рекомендуется выполнять отдельными линиями от РУ-0,4 кВ подстанции по магистральной или распределительной схеме. Подключение светильников выполнять через групповые щитки, устанавливать их в местах доступных для обслуживания.

Для осветительной сети можно использовать шинопровод типа ШОС.

Расчет электрической сети должен производиться с учетом следующих основных положений:

1. Провода, кабели, шины не должны перегреваться при прохождении расчетного тока нагрузки сверх допустимого значения.

2. Отклонения напряжения на зажимах электроприемников должны находиться в допустимых пределах по ГОСТ 13109.

3. Снижения напряжения, вызванные кратковременными изменениями нагрузки, не должны превышать значений, установленных вышеуказанным ГОСТ, и вызывать нарушения работы действующих электроприемников.

4. Механическая прочность проводов, кабелей и шин должна быть не ниже допустимой для данного вида электрической сети.

5. При выборе схемы и расчетах питающих сетей целесообразно учитывать экономические факторы, характеризующиеся наименьшими приведенными затратами.

6. Распределение допустимых потерь напряжения по участкам внутренней сети целесообразно производить из условия наименьших затрат проводниковых материалов учетом п. 5.

7. Аппараты защиты должны обеспечивать защиту всех участков сети от КЗ, а в некоторых случаях, предусмотренных ПУЭ, и от перегрузки. Кроме того, эти аппараты не должны срабатывать при кратковременных повышении токов нагрузки, возможных при нормальных режимах работы сети. Аппараты защиты должны по возможности работать избирательно, т. е. обеспечивать селективное отключение поврежденного участка.

Исходными данными для расчета сети являются электрические нагрузки, определение которых было рассмотрено выше.

Расчетные токи трансформаторных подстанций определяются в наиболее загруженную смену (для цехов) и в период максимума нагрузки.

Основными требованиями при выборе числа трансформаторов ГПП являются: надежность электроснабжения потребителей, а также минимум приведенных затрат на трансформаторы. Надежность электроснабжения потребителей II категории обеспечивают резервами, вводимым автоматически или действиями дежурного персонала.

Применяются двух трансформаторные подстанции, которые экономически более целесообразны чем подстанции с одним или большим числом трансформаторов.

Мощность трансформаторов ГПП определяется активной нагрузкой предприятия и реактивной мощностью, передаваемой от системы в период максимума нагрузок. Мощность трансформаторов выбирается такой, чтобы при

выходе из работы одного из них, второй воспринял основную нагрузку подстанции с учетом допускаемой перегрузки в послеаварийном режиме и возможного временного отключения потребителей III категории.

В соответствии с существующей практикой проектирования номинальную мощность трансформаторов на ГПП $S_{ном.т.ГПП}$ рекомендуется выбирать из условия допустимой перегрузки в послеаварийных режимах до 60-70 %, на время максимума общей суточной продолжительностью не более 6 часов в течение не более 5 суток, т. е. по условию

$$S_{ном.т.ГПП} \geq \frac{S_{расч.ГПП}}{1,6 \div 1,7}. \quad (1.24)$$

По расчетным значениям определяем ближайшие стандартные мощности трансформаторов, которые должны обеспечивать полное электроснабжение завода, без ограничения электроснабжения нагрузки потребителей III-ей категории.

Определим коэффициент загрузки трансформаторов нормальном и послеаварийном режимах:

$$K_z = \frac{S_{РГПП}}{2 \cdot S_{номТ ГПП}}; K_{зав} = \frac{S_{РГПП}}{S_{номТ ГПП}}; \quad (1.25)$$

Потери активной и реактивной мощностей трансформаторов ГПП при их раздельной работе (т.е. в нормальном режиме работы) определяются по формулам:

$$\Delta P_T = (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_z^2) \cdot n, \quad (1.26)$$

$$\Delta Q_T = \left(\frac{I_{xx}}{100} \cdot S_n + \frac{U_k \cdot S_p^2}{100 \cdot S_n} \right) \cdot n$$

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

$\Delta P_{кз}$ – потери мощности короткого замыкания, кВт;

S_p – фактическая или расчетная нагрузка трансформатора, кВА;

$S_{ном.т}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

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

U_k – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

Годовые потери электроэнергии для трехфазного двухобмоточного трансформатора определяются по выражению:

$$\Delta W_T = n \cdot \left(T \cdot \Delta P_{xx} + K_z^2 \cdot \tau \cdot \Delta P_{кз} \right), \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (1.27)$$

где n – количество трансформаторов;

$T = 8760$ ч – число часов работы трансформатора в течение года;

τ – время наибольших потерь, ч/год, которое определяется в зависимости от T_{max} или по формуле:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{max}}{10000} \right)^2 \cdot 8760 \quad (1.28)$$

где T_{max} – среднее значение числа часов использования максимума нагрузки

предприятием в году, ч/год, задается по отраслям промышленности и определяется в задании на проектирование.

Мощность КУ выше 1 кВ определяется исходя из баланса реактивной мощности на границе балансового разграничения с сетевой компанией.

$$Q_p \leq Q_{\Sigma} + Q_{сд} + Q_{нк} + Q_{кв}.$$

Экономическая реактивная мощность определяется по формуле:

$$Q_{\Sigma} = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\Sigma},$$

где P_p – активная расчетная мощность предприятия;

$\operatorname{tg} \varphi_{\Sigma}$ – коэффициент реактивной мощности, принимаемый равным 0,5 для сети 110 кВ согласно приказа № 380 от 23.06.2015 года.

Если значение $\operatorname{tg} \varphi_{\Sigma}$ меньше нормируемого значения на напряжении 110 кВ, то следовательно, не требуется установка КУ на шинах 10 кВ.

Вопросы и задания

Изучить методику выбора КУ на напряжении выше 1000 В. Для заданного завода выбрать схемы, мощности трансформаторов ГПП и определить мощности компенсирующих устройств на стороне выше 1000 В.

Вопросы к практическому занятию.

Базовый уровень

1. Как изменяются потери активной мощности при компенсации реактивной мощности?
2. Как изменяются потери напряжения при компенсации реактивной мощности?
3. Как изменяется полный ток в линии при компенсации реактивной мощности?
4. Каковы основные принципы размещения КУ в системах электроснабжения промышленных предприятий?
5. Как влияет установка КУ на параметры режима?
6. Как изменяются потери активной мощности при компенсации реактивной мощности?
7. Опишите принцип действия силовых конденсаторов, как источника реактивной мощности?
8. В каких местах электрической сети целесообразна установка КУ?

Повышенный уровень

1. Какие факторы определяют выбор схемы электроснабжения ГПП?
2. Какие схемы используются для включения статических конденсаторов в сеть.
3. Как регулируется мощность батарей конденсаторов?
4. Каковы особенности использования КРМ в сетях с резкопеременной и вентильной нагрузкой.
5. Как определяется суммарная мощность КУ в максимум и минимум нагрузки системы?

Рекомендуемая литература

Более подробные сведения о выборе схемы, мощности трансформаторов ГПП и определении мощности компенсирующих устройств на стороне выше 1000 В. можно получить в [1-3].

Практическое занятие 12

Определение числа и мощности цеховых силовых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности на стороне ниже 1000 В

Целью занятия является получение навыков определения числа и мощности цеховых силовых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности на стороне ниже 1000 В.

В результате практического занятия студенты должны получить навыки определения числа и мощности цеховых силовых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности на стороне ниже 1000 В.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков определения числа и мощности цеховых силовых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности на стороне ниже 1000 В.

Теоретическая часть

Число цеховых ТП непосредственно влияет на величину капитальных вложений в распределительные устройства напряжением 10 кВ, внутризаводские и цеховые электрические сети, на потери электроэнергии. Уменьшение числа ТП, приводящее к увеличению их единичной номинальной мощности, позволяет уменьшить число выключателей распределительного устройства РУ ГПП, суммарную длину линий, а также потери электроэнергии и напряжения в сети 10 кВ. Но надо иметь в виду, что стоимость сетей напряжением 0,4 кВ и потери в них при этом возрастают. Увеличение же числа ТП снижает затраты на цеховые сети.

Уменьшению потерь электроэнергии способствует также приближение ТП к центру размещения цеховых потребителей, поэтому целесообразно применять преимущественно внутрицеховые подстанции. В цехах с агрессивной атмосферой (литейный, сварочный, гальванический цеха) необходимо применять трансформаторы с усиленной изоляцией, защищенного исполнения, а располагать их следует в отгороженных от цехового пространства помещениях.

При выборе числа и единичной мощности цеховых трансформаторов необходимо принимать во внимание целый ряд факторов [6]:

- категории надежности электроснабжения потребителей;
- плотность нагрузки в цехе или на участке, занимаемом группой цехов;
- суммарную величину нагрузки цеха.

Помимо этого необходимо стремиться к рациональной загрузке трансформаторов ТП (I категория – $K_3 = 0,65-0,7$, II – $K_3 = 0,7-0,8$ и III – $K_3 = 0,8-0,95$). Не следует допускать, чтобы длина линий на напряжении 0,4 кВ превышала 200 м – это может привести к превышению потерь напряжения в

сети над допустимыми.

При удельной плотности более 0,2-0,3 кВА/м² [6] и мощности цеха свыше 3000-4000 кВА целесообразно применять цеховые трансформаторы мощностью 1600-2500 кВА. При более низких значениях указанных параметров применяют трансформаторы мощностью 400 – 1000 кВА.

Число типономиналов ограничивают до одного- двух с целью облегчения создания складского резерва трансформаторов.

Анализ расчетных данных, приведенных в таблице 1.5 показывает, что средняя плотность цеховой нагрузки по заводу составляет 1,16 кВА /м², и лишь в цехах 1, 6, 7 и 16 она превышает 0,2 кВА/м², но их суммарные мощности ниже 3000 кВА. В то же время принадлежность цехов 1, 6, 7 и 16 к потребителям I категории требует обеспечения их питания от двухтрансформаторных ТП (т. е. число трансформаторов должно быть четным).

Ряд цехов с более низкой плотностью нагрузки относится ко II категории и тоже требует резервирования, но с ручным переключением. Учитывая взаимное расположение цехов на территории завода, наметим к использованию трансформаторы двух типономиналов: 1000 кВА и 630 кВА.

На число ТП влияет степень компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ цеховых подстанций. Оценим предварительно минимальное $N_{\text{мин.}}$ (без компенсации) и максимальное $N_{\text{макс.}}$ (полная компенсация) количество цеховых трансформаторов в целом по предприятию при единичной мощности их 1000 кВ (без учета ТП 10/6 кВ для питания СД в компрессорной).

$$N_{\text{мин.}} = \frac{P_{\text{расч.НН}}}{k_3 S_{\text{ном.Т}}}, \quad N_{\text{мин.}} = \frac{S_{\text{расч.НН}}}{k_3 S_{\text{ном.Т}}}, \quad (1.32)$$

где k_3 – средний коэффициент загрузки с учетом категории потребителей по надежности электроснабжения. Т. к. более 80% потребителей относятся преимущественно к I-II категории, то примем $k_3 = 0,7$, тогда

$$N_{\text{мин.}} = \frac{3405,2}{0,8 \cdot 1000} = 4,3 \approx 4 \text{ шт.}; \quad N_{\text{макс.}} = \frac{3821,5}{0,8 \cdot 1000} = 6 \text{ шт.}$$

По поверхностной плотности нагрузки, равной 0,3 кВА/м², принимаем мощность трансформаторов равной 1000 и 1600 кВА.

Выбор средств компенсации реактивной мощности и мощности компенсирующих устройств на стороне с напряжением 0,4 кВ осуществляется следующим образом: определяется мощность низковольтных батарей конденсаторов (БНК), устанавливаемых в сети до 1 кВ, по критерию выбора минимального числа цеховых ТП, определяется реактивная мощность синхронных двигателей.

Для каждой группы цеховых трансформаторов одинаковой мощности определяется минимальное их число, необходимое для питания активной расчетной нагрузки:

$$N_T = \frac{P_{\text{РН}}}{K_{3T} \cdot S_T}, \quad (1.33)$$

где P_{PH} – активная расчетная нагрузка до 1 кВ данной группы цеховых трансформаторов;

K_{3T} – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов;

S_T – единичная мощность цеховых трансформаторов.

Наибольшее значение реактивной мощности, которое может быть передано через трансформаторы в сеть до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(1,1 \cdot S_T \cdot N_T \cdot K_{3T})^2 - P_{PH}^2} \quad (1.34)$$

Мощность низковольтных батарей конденсаторов (БНК), устанавливаемых в сети до 1 кВ:

$$Q_{НК} = Q_{PH} - Q_T \quad (1.35)$$

Если $Q_{НК} < 0$, то БНК не требуются.

Результаты расчетов количества и мощности цеховых трансформаторов должны быть представлены в виде таблиц 1.9 и 1.10.

Таблица 1.9 – Результаты выбора трансформаторов на подстанциях

	№ цеха	P, кВт	Q, квар	S, кВА	K _з
ТП1 2*1600	2	492	433,9032	656	0,6
	1	119,4	89,55	149,25	
	5	390	343,95	80	
	7	70	71,41	100	
	6	540	405	100	
	ОН	45,224	11,19	46,5885	
	ΔS_{xx}	6,6	38	38,5689	
	$\Delta S_{нн}$	6,05	33	33,55	
	Итого по ТП	1671,42	1426,716	2197,53	
ТП2 2*1000	9	68	42,14262	80	0,80
	3	105	92,6013	140	
	12	164	218,6667	273,333	
	8	136,5	139,2579	195	
	11	90	67,5	112,5	
	4	250	220,4793	333,333	
	10	304	188,4023	357,647	
	ОН	86,41	21,38	89,01	
	ΔS_{xx}	4,9	28	28,4255	
	$\Delta S_{нн}$	5,15	24,5	25,0354	
	Итого по ТП	1213,96	1042,937	1600,44	

Вопросы и задания

Изучить методику расчета необходимой мощности КУ на напряжении 10 кВ и определить числа и мощности цеховых силовых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности на стороне ниже 1000 В.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Как определить коэффициент загрузки цеховых трансформаторов при питании потребителей различных категорий?
2. Как определить ПС от которой питается освещение территории?
3. Как учитывается осветительная нагрузка при расчете загрузки трансформаторов?
4. Как рассчитывается плотность силовой нагрузки?
5. При какой плотности нагрузки целесообразно использовать трансформаторы мощностью 1000 кВА?
6. При какой плотности нагрузки целесообразно использовать трансформаторы мощностью 1600 кВА?
7. При какой плотности нагрузки целесообразно использовать трансформаторы мощностью 2500 кВА?
8. Сколько типоминималов силовых трансформаторов целесообразно использовать при разработке СЭС?

Повышенный уровень

1. Трансформаторы каких типов используют в сетях промышленных предприятий.
2. При какой плотности нагрузки целесообразно использовать трансформаторы мощностью 1000 кВА?
3. Как рассчитать наибольшее значение реактивной мощности, которое может быть передано через трансформаторы в сеть до 1 кВ?
4. Как определить мощность низковольтных батарей конденсаторов?
5. Как округляется рассчитанное количество цеховых трансформаторов?

Рекомендуемая литература

Более подробные сведения по данному вопросу можно получить в [1-3].

Практическое занятие 13

Разработка вариантов схем сети 6-10 кВ

Целью занятия является получение навыков разработки вариантов схем сети с номинальным напряжением 6-10 кВ.

В результате практического занятия студенты должны получить навыки разработки вариантов схем сети с номинальным напряжением 6-10 кВ.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков разработки конкурентоспособных вариантов схем сети 6-10 кВ.

Теоретическая часть

Характерной особенностью схем внутризаводского распределения электроэнергии является большая разветвленность сети и наличие большого количества коммутационно-защитной аппаратуры, что оказывает значительное влияние на технико-экономические показатели и на надежность схемы

электроснабжения. Схемы внутризаводского распределения электроэнергии имеют ступенчатое построение. Считается нецелесообразным применение схем с числом ступеней более 2 – 3, так как в этом случае усложняется коммутация и защита сети.

Схема распределения электроэнергии связана с технологической схемой объекта. Питание приемников электроэнергии разных параллельных технологических потоков осуществляется от разных секций шин одной подстанции. Это необходимо для того, чтобы при аварии не останавливать оба технологических потока. Взаимосвязанные технологические аппараты должны присоединяться к одному источнику питания, при исчезновении питания все приемники электроэнергии одновременно обесточиваются.

Условный центр электрических нагрузок является символическим центром потребления энергии всего предприятия. Питающие подстанции должны располагаться по возможности ближе к ЦЭН, однако РП, осуществляющие распределение электроэнергии без ее трансформации, должны располагаться на границе электроснабжаемого участка и ближе к источнику питания. Это позволяет избежать обратных перетоков мощности и тем самым сократить длину кабельных линий, питающих промышленное предприятие, и потери в них.

Схемы электроснабжения промышленных предприятий делятся на внешние и внутренние и выбираются из соображения надежности, экономичности и безопасности завода.

Большая часть электроприемников проектируемого завода относится к потребителям первой и второй категорий.

При выборе наилучшего варианта схемы проведем анализ существующих схем электроснабжения.

Схемы электроснабжения промышленных предприятий делятся на внешние и внутренние и выбираются из соображения надежности, экономичности и безопасности завода.

При построении схем электроснабжения исходят из раздельной работы линий, так как при этом снижается ток КЗ, упрощается схема первичной коммутации и релейной защиты.

Внутризаводское распределение электроэнергии выполняется по радиальной, магистральной или смешанной схеме.

Выбор схемы определяется категорией надежности потребителей электроэнергии их территориальных размещений, особенностями режимов работы.

Радиальная схема работы осуществляет питание цеховых подстанций непосредственно от источника питания или распределительного пункта. Такие схемы надежны, просты в эксплуатации, дают возможность применения быстродействующей защиты и автоматики. Недостатком радиальных схем является большое количество используемой высоковольтной аппаратуры, что значительно удорожает строительную часть распределительного устройства и увеличивает капитальные затраты.

Магистральные схемы распределения электроэнергии принимают в том случае, когда потребителей много и радиальные схемы нецелесообразны. Основное преимущество магистральной схемы заключается в сокращении звеньев коммутации. Такие схемы целесообразно применять при расположении подстанций на территории

предприятия, близком к линейному, что способствует сокращению числа коммутаций.

Недостатком магистральных схем является более низкая надежность по сравнению с радиальными.

Смешанная схема представляет собой совокупность магистральных и радиальных схем электроснабжения.

Пример разработки вариантов выполнения схем внутреннего электроснабжения приведен на рисунках 1.3 и 1.4.

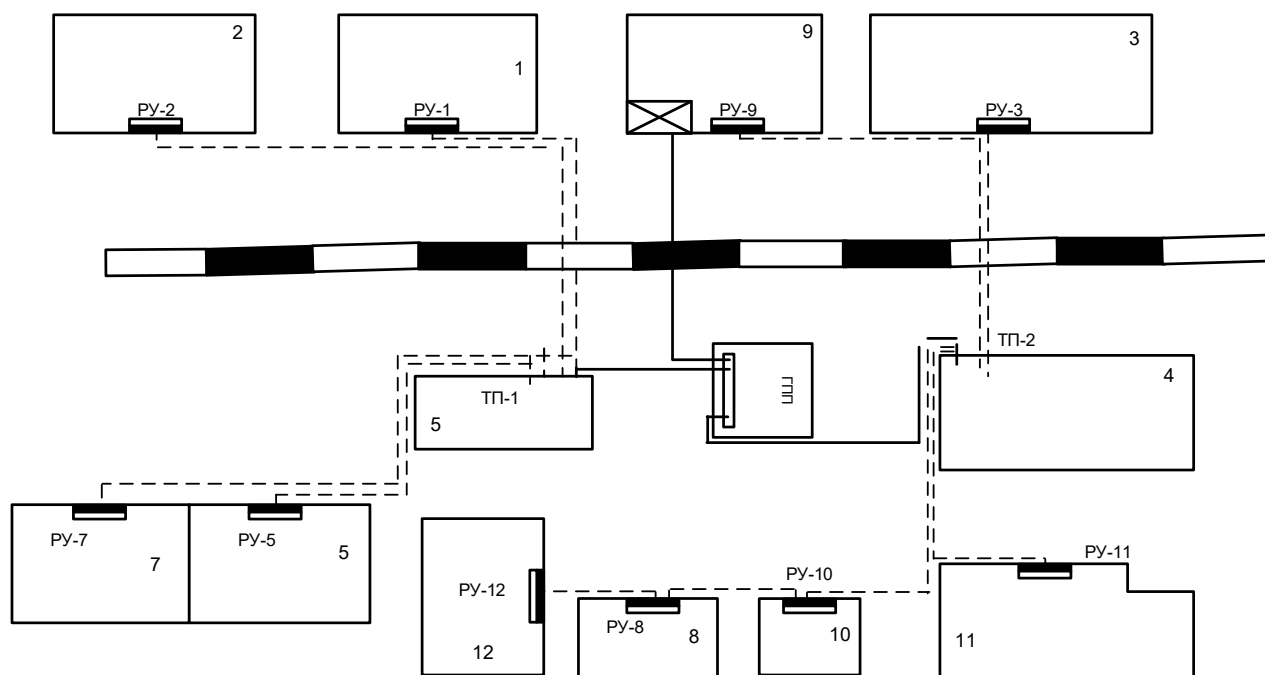


Рисунок 1.3 – Схема электроснабжения по первому варианту

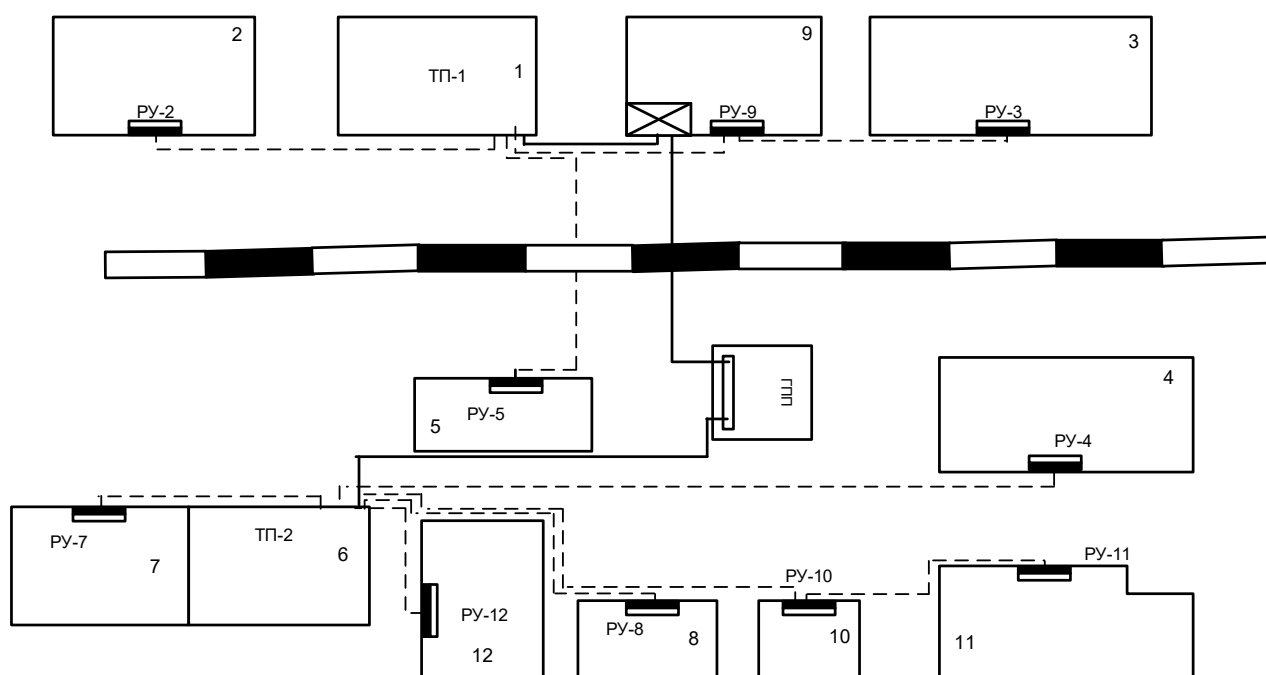


Рисунок 1.4 – Схема электроснабжения по второму варианту

Вопросы и задания

Для заданного предприятия разработать два варианта выполнения схем сети с номинальным напряжением 6-10 кВ.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. В каких случаях целесообразно использовать радиальные, а в каких магистральные схемы?
2. Как следует прокладывать трассы кабельных линий?
3. Как определяется количество ячеек, отходящих от ГПП на низком напряжении?
4. К каких цехам целесообразно располагать цеховые ТП?
5. Как располагаются ТП в цехах?
6. В каких случаях используют отдельно стоящие ТП?
7. В каких случаях применяются кабельные линии?
8. Какие существуют способы прокладки кабелей?
9. В чем состоят преимущества и недостатки кабельных линий по сравнению с воздушными?
10. Какими условиями определяется выбор способа прокладки кабеля?
11. Чем конструктивно отличаются кабели 10 кВ и 110 кВ?
12. Какие применяются типы кабельных муфт?
13. В каких случаях целесообразнее применять воздушные линии, кабельные линии и токопроводы?
14. Для ЭП какой категории предусматривается использование петлевых и радиальных двухлучевых сетей?
15. Какие ПС называют ПС глубокого ввода?
16. В каком случае целесообразно использовать радиальные и радиальные с резервированием схемы?
17. В каком случае целесообразно использовать магистральные схемы?
18. Каковы достоинства и недостатки магистральных схем?
19. В каких случаях целесообразно использовать блочные схемы.
20. Какие способы резервирования Вам известны?

Повышенный уровень

1. Какие принципы положены в основу выбора вариантов сети?
2. Как конструктивно устроены жесткие и гибкие токопроводы?
3. Какие факторы влияют на выбор схемы распределительной сети напряжением 0,4 кВ?
4. При каких факторах целесообразна установка РП?
5. От каких параметров зависит выбор типовых схем ГПП?
6. Каковы принципы построения сети, обеспечивающих требования надежности и минимума приведенных затрат?

Список литературы, рекомендуемый к использованию

Описание принципов разработки вариантов схем электроснабжения подробно изложено в [1-3].

Практическое занятие 14

Выбор сечений воздушных линий и токоведущих жил кабелей линий 0,4-10 кВ

Целью занятия является получение навыков выбора сечений токоведущих жил кабелей линий 0,4-10 кВ.

В результате практического занятия студенты должны освоить методики выбора сечений токоведущих жил кабелей линий 0,4-10 кВ.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков выбора сечений воздушных линий и токоведущих жил кабелей линий 0,4-10 кВ

Теоретическая часть

Как показано на рисунке 1 кабель СПЭ марки АПвП состоит из следующих элементов:

1. Многопроволочная токопроводящая жила из алюминия (А);
2. Экран по жиле из экструдированного полупроводящего сшитого полиэтилена;
3. Изоляция из сшитого полиэтилена (Пв);
4. Экран по жиле из экструдированный полупроводящего сшитого полиэтилена;
5. Экструдированное полупроводящее заполнение;
6. Слой обмотки полупроводящим полотном
7. Медный экран и отдельный слой из электропроводящих лент;
8. Межфазное заполнение из мелонаполненной невулканизированной резиновой смеси;
9. Наружная оболочка из полиэтилена (П).

Конструкция кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена представлены на рисунке 1.



а)

б)

Рисунок 1– Конструкция кабеля АПвП 10кВ (а) и 0,4 кВ (б)

Основная область применения – прокладки в земле (в траншеях), если кабель защищен от механических повреждений. Кабель предназначен для эксплуатации в земле независимо от степени коррозионной активности грунтов.

Сеть 0,4 кВ также выполнена силовыми кабелями марки АПвП. Токопроводящая жила кабеля выполнена из алюминия. Конструкция кабеля АПвП 0,4 кВ представлена на рисунке 1.21 (б).

Прокладку кабеля разрешается начинать только при наличии проекта производства работ (ППР), с учетом настоящих рекомендаций и действующих нормативных документов:

- СНиП 3.05.06.-85 «Электротехнические устройства»;
- Правила устройства электроустановок».

Кабели на напряжения до 10 кВ прокладывают на глубине 0,7 м от планируемой отметки при глубине траншеи 0,8 м. На дно траншеи насыпают слой песка или чистой земли, не содержащей камней толщиной не менее 0,1 м.

Все кабели номинальным напряжением свыше 1 кВ, проложенные в траншеях, должны иметь защитные покрытия из красного кирпича или бетонных плит, положенных на слой земли или песка толщиной 0,1 м. При глубине траншеи 1–2 м и напряжении до 10 кВ защита кабелей кирпичом необязательна. СНиП установлено предельное количество кабелей в одной траншее – не более шести, устройство траншей с большим числом кабелей является не экономичным. Ширина траншеи определяется количеством, сечением и марками кабелей.

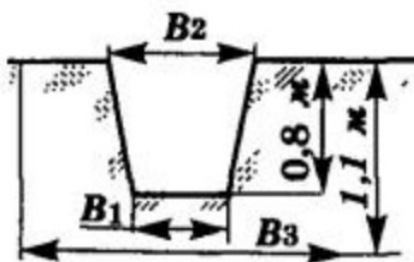


Рисунок – Размеры траншеи для прокладки кабеля 1–10 кВ:
B1 – на дне траншеи; B2 – у поверхности земли; B3 – зона отвода

Допускается совместная прокладка силовых и контрольных кабелей в одной траншее. При этом расстояние между крайними контрольным и силовым кабелем должно быть не менее 100 мм.

Между силовыми кабелями расстояние в свету должно быть не менее 100 мм.

Кабель укладывается в траншее «змейкой» с небольшим запасом, составляющим 1,5–2% общей длины траншеи, на случай возможных смещений почвы и температурных деформаций кабеля в разное время года. В месте установки соединительной муфты предусматривают расширение траншеи для устройства петли запаса и возможности вырезки поврежденной муфты и замены.

При параллельной прокладке кабелей в плоскости расстояние по горизонтали в свету между кабелями отдельной кабельной линии должно быть не менее величины наружного диаметра прокладываемого кабеля.



Рисунок – Прокладка кабеля в траншее

Вводы кабелей в здания, кабельные сооружения и другие помещения должны быть выполнены в асбоцементных, бетонных, керамических или пластмассовых трубах. Концы труб должны выступать в траншею из стены здания или фундамента (при наличии отстойки за линию последней) не менее чем на 0,6 м, и иметь уклон в сторону траншеи.

При прокладке кабелей вдоль зданий параллельно линии застройки расстояние от фундаментов зданий до ближайшего кабеля устанавливается не менее 600 мм.

Для защиты кабелей в местах пересечений с дорогами, инженерными сооружениями и естественными препятствиями, а также для изготовления кабельных блоков, должны быть применены трубы. Случаи, когда требуется прокладка кабеля в трубах, перечислены в ПУЭ. Трубы должны быть выполнены из асбоцементного, керамического, пластмассового или иного немагнитного изоляционного материала. Трубы должны быть уложены прямолинейно.

Экран кабеля должен быть заземлен на обоих концах линии. Заземление должно обеспечивать отведение токов короткого замыкания (т.е. должна быть обеспечена достаточная проводимость заземляющего проводника, экран и заземляющий проводник не должны иметь разрывов и участков с высоким электросопротивлением). Желательно также дополнительное заземление экрана по длине линии.

Выбор сечений ВЛ осуществляется в соответствии с требованиями ПУЭ. Наибольший ток одной цепи линии $I_{нб}$ рассчитывается по мощности, протекающей по линии в режиме наибольших нагрузок по выражению:

$$I_{нб} = \frac{S_{прив}}{n_{\text{ц}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}},$$

Расчетную токовую нагрузку определим по выражению:

$$I_p = \alpha_i I_{нб(5)},$$

где $I_{нб(5)}$ – наибольший ток одной цепи линии на пятый год ее эксплуатации; α_i – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки по годам эксплуатации линии

за расчетный период.

Для линии 110 кВ значение α_i , принимается равным 1,05, что соответствует наиболее часто встречающимся темпам роста нагрузки.

Сечение проводников выбираем по экономической плотности тока. Плотность тока, зависит от числе часов использования максимума нагрузки

Выбранные сечения ВЛ должны быть проверены по нагреву, короне, механической прочности и допустимой потере напряжения.

Выбор сечения кабельных линий на напряжении 6-10 кВ производим по экономической плотности тока в зависимости от металла провода и числа часов использования максимума нагрузки по формуле [17]:

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_p}{j_{\text{ЭК}}}, \quad (1.36)$$

где I_p – расчетный ток, А, определяется по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}},$$

n – число кабелей;

$j_{\text{ЭК}} = 1,7 \text{ А/мм}^2$ – экономическая плотность тока для кабеля с алюминиевыми жилами;

S_p – полная расчетная нагрузка ТП с учетом потерь в трансформаторах 10/0,4 кВ.

Например, для участка от ГПП до ТП1: $I_{\text{ТП1}} = \frac{3200}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 88,08 \text{ А},$

$$F_{\text{ЭКТП13}} = \frac{88,08}{1,7} = 51,81 \text{ мм}^2$$

В послеаварийном режиме ток определяется как:

$$I_p^{\text{П/АВ}} = \frac{S_p^{\text{П/АВ}}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}; \quad (1.38)$$

$$I_p^{\text{П/АВ}} = \frac{3200}{1 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 176,16 \text{ А}.$$

Выбираем сечение кабеля равное 50 мм^2 с допустимым током 175 А [21].

Сечение округляем до ближайшего (большого или меньшего) стандартного с учетом технических ограничений, а также исходя из анализа удельной стоимости 1 км ВЛ.

Выбранные сечения проверяются по нагреву в нормальном и послеаварийном режимах, по механической прочности, по короне и допустимой потере напряжения.

Для проверки по длительно допустимому нагреву определим допустимый ток по нагреву с учетом поправки на температуру воздуха.

Например, для провода АС 185:

$$I_{\text{допА2}} = 510 \cdot 1,05 = 535,5 \text{ А}.$$

где $k_T = 1,05$ для средней июльской температуры Урала;

$I_{\text{дл. доп}}$ – допустимый длительный ток для неизолированных проводов марок АС-

150 равный 510 А.

Для двухцепных радиально-магистральных линий ток послеаварийного режима определяется по выражению: $I_{нб\ ав} = 2 \cdot I_{нб}$:

Потери напряжения в кабельных линиях 6-10 кВ:

$$\Delta U_{\text{н}} = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_{\text{ном}}}; \quad (1.41)$$

где Р - поток активной мощности по участку, кВт;

Q поток реактивной мощности по участку, квар;

R – активное сопротивление кабеля, Ом;

X – реактивное сопротивление кабеля, Ом.

Задание

Выбрать сечение двухцепной воздушной линии длиной 30+NB км, с номинальным напряжением 110 кВ, если известно, что по линии протекает максимальная активная мощность равная 10_NB МВт, и реактивная, равная 5+NB Мвар.

Освоить методику, выбрать и проверить сечений ВЛ для заданного предприятия.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Какие конкурирующие факторы имеют место при выборе площади сечения по экономическим соображениям?
2. Как производится выбор площади сечения проводников линий по нормативной экономической плотности тока?
3. Исходя из каких условий находится расчетный ток, по которому выбираются площади сечения проводников по экономическим соображениям?
4. Как определяются потери напряжения в СЭС?
5. Что такое допустимая потеря напряжения?
6. Как проверяются выбранные сечения кабелей по допустимой потере напряжения?
7. В каких сетях и почему выбор проводников линий производят по допустимой потере напряжения?
8. Какие условия должны соблюдаться при выборе проводников линий по условиям их нагревания?
9. Как изменяется допустимая плотность тока в зависимости от площади сечения проводника?

Повышенный уровень

1. Какому экономическому критерию соответствует экономическая плотность тока?
2. Как можно определить продолжительность использования максимума нагрузки?
1. Какие требования ГОСТ 13109-97 предъявляет к допустимым отклонениям напряжения?
2. В чем состоят недостатки применения нормативной

экономической плотности при выборе площади сечения проводников линий?

3. В чем сущность выбора площади сечения проводников по экономическим интервалам нагрузки?

4. Как определить граничное значение тока, при котором целесообразно переходить от одной площади сечения проводников к другой?

Рекомендуемая литература

Более подробные сведения по данному ПЗ изложены в [1-3].

Практическое занятие 15

Выбор оптимальной схемы электроснабжения завода и разработка однолинейной схемы выбранного варианта сети

Целью занятия является получение навыков выбора оптимальной схемы электроснабжения завода.

В результате практического занятия студенты должны освоить методики выбора оптимальной схемы электроснабжения завода.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков выбора оптимальной схемы электроснабжения завода и разработки однолинейной схемы сети.

Теоретическая часть

Выбор оптимального варианта обосновывается путем составления показателей сравнительной экономической эффективности по конкурирующим вариантам. Таким показателем является чистый дисконтируемый доход (ЧДД).

Для сравнения вариантов в большинстве случаев ЧДД подсчитывается по каждому намеченному варианту, и лучшим вариантом считается тот, для которого чистый дисконтированный доход наибольший:

$$ЧДД_i = \sum_{t=1}^n \frac{D_{ti} - I_{ti} - K_{ti}}{(1 + E)^t} \Rightarrow \max,$$

где i - номер варианта; D_{ti} - суммарный доход в год t ; I_{ti} - издержки в год t с учетом амортизационных отчислений; T – расчетный срок; .

В данном случае рассматриваются технически взаимозаменяемые варианты с одинаковым энергетическим эффектом, которые удовлетворяют требованиям одинаковой пропускной способности, одинаковой надежности и т.д.

В этом случае D_{ti} оказывается одинаковым, и поэтому от критерия ЧДД по формуле (1.22) можно перейти к затратному критерию минимума дисконтированных затрат:

$$Z = \sum_{t=1}^T \frac{I_{ti} + K_{ti}}{(1 + E)^t} \rightarrow \min.$$

где I_{ti} – ежегодные эксплуатационные издержки в t -м году;

K_{it} – капитальные вложения, осуществляемые в t -м году (если капитальные вложения носят единовременный характер, то учитываются только на нулевом или «прединвестиционном» шаге расчетного периода т.к. капитальные вложения, как правило, предшествуют реализации проекта); E – норма дохода на капитал (норма дисконта).

T – расчетный период проекта (жизненный цикл). В нашем случае, в соответствии с заданием, расчетный период проекта равен 5 годам, однако расчеты выполнены за расчетный срок 19 лет, что соответствует сроку полной амортизации основной части производственных фондов.

В общем случае, для оценки инвестиционной привлекательности проектов норму дисконта рассчитывают по следующей формуле:

$$E = \frac{1+r}{1+i} + p - 1,$$

где r – рыночная стоимость капитала (средний процент за кредит на текущий год, который на сегодняшний момент находится в интервале $0,15 \div 0,17$);

i – объявленные правительством темпы инфляции на текущий год, приняты равными 10%;

p – поправка на риск.

Выбор оптимального варианта капиталовложений в реальных условиях ограниченности средств происходит при использовании критериев сопоставимой прибыли. Однако если речь пойдет о нахождении оптимального варианта развития энергетической системы, обеспечивающего в течение всего периода оптимизации одинаковый экономический эффект, то может быть использован критерий затратного типа, т.е. критерий производственных затрат.

Следует обратить внимание на то, что для выбора оптимального варианта вполне достаточно, если критерий будет содержать только те компоненты сопоставимых производственных затрат, которые будут различными для разных вариантов. Компоненты производственных затрат, имеющие в различных вариантах одинаковые размеры, не оказывают влияния на принятие решения. Поэтому излишне определять их и включать в критерий принятия решения

Выбор оптимального обосновывается путем составления показателей сравнительной экономической эффективности по конкурирующим вариантам. Таким показателем являются приведенные затраты:

$$Z = E_n \cdot K + И \text{ тыс. руб.}$$

где $E_n = 0,22$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

K – капиталовложения, тыс. руб.

$И$ – ежегодные издержки, тыс. руб.

Наиболее экономичен вариант с наименьшими приведенными затратами. При определении сравнительной экономической эффективности учитываются только капиталовложения и издержки, не повторяющиеся в сравнительных вариантах. Не учитываются стоимость низковольтных сетей, стоимость ТП и РП, стоимость потерь энергии в трансформаторе распределительной сети.

Капитальные затраты определяем по реальным показателям стоимости.

Капитальные затраты на установку высоковольтной аппаратуры:

$$K_{АП} = (n_{вв\ яч} \cdot k_{вв\ яч} + n_{лин\ яч} \cdot k_{лин\ яч}) . \quad (1.47)$$

Капитальные затраты на установку силовых трансформаторов:

$$K_T = (n_{тр} \cdot k_{тр}) \quad (1.48)$$

Капитальные затраты на установку конденсаторных батарей:

$$K_{ку} = (n_{ку} \cdot k_{ку})$$

Капитальные затраты на установку силового оборудования:

$$K_{ОБ} = K_{тр} + K_{АП} + K_{ку} \quad (1.49)$$

Большое распространение в технико-экономическом анализе при сравнении вариантов электросетевых объектов получили укрупненные показатели стоимости, которые рассчитываются на основе проектно-сметных данных и опыте строительства и сравнительно просто (без выполнения сметно-финансовых расчетов) позволяют определять капитальные вложения в электроэнергетические объекты.

В настоящее время укрупненные показатели стоимости приводятся в соответствующих источниках в базисных ценах, сложившихся на 01.01.2000.

Определение стоимости строительства в текущем уровне цен осуществляется с применением индексов пересчета стоимости в текущий уровень цен. Индексы представляют собой отношение стоимости продукции, работ или ресурсов в текущем уровне цен к стоимости в базисном уровне цен.

Индексы цен публикуются в письмах Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на сайте «Федерального центра ценообразования в строительстве и промышленности строительных материалов» <http://www.faufccs.ru/>.

Суммарные капиталовложения на сооружение сети K_{Σ} складываются из суммы капиталовложений по отдельным понижающим подстанциям $K_{nc\ i}$, и линиям $K_{лэн\ i}$ электрической сети:

$$K_{\Sigma} = \sum_i K_{лэн\ i} + \sum_i K_{nc\ i} ,$$

Капиталовложения на сооружение линии электропередачи в базисных ценах $K_{лэн}^{2000}$ длиной $l_{лэн}$ определяются в зависимости от ее номинального напряжения, количества трехфазных цепей на опоре, материала опор, марок провода по укрупненным показателям стоимости 1 км воздушных линий в базисных ценах $k_{0\ лэн\ 2000}$, приведенным в [7] и таблице П.6.1:

$$K_{лэн}^{2000} = (1 + \alpha_{лэн}) \cdot k_{0\ лэн\ 2000} \cdot l_{лэн} ,$$

где $\alpha_{лэн} = 0,2$ – коэффициент учитывающий затраты, сопутствующие строительству, которые составляют:

3,3% – временные здания и сооружения (ГСН 81-05-01-2001);

5,0-6,0% – прочие работы и затраты;

2,6-3,18% – содержание службы заказчика-застройщика, строительный контроль (Методические рекомендации по расчету норматива затрат на содержание службы заказчика-застройщика ОАО «ФСК ЕЭС»);

7,5-8,5% – проектно-изыскательские работы, затраты на проведение

экспертизы проектной документации и авторский надзор (при осуществлении нового строительства – 8%).

Капитальные вложения на сооружение линии электропередачи в текущем уровне цен рекомендуется определять с учетом структуры затрат и с применением индексов цен рекомендованных к применению в текущем квартале, утвержденные в письме Минстроя РФ.

$$K_{лэн}^{20XX} = K_{лэн}^{2000} \cdot c3_{\%с-м}^{лэн} \cdot u_{с-м}^{лэн} + K_{лэн}^{2000} \cdot c3_{\%прочие}^{лэн} \cdot u_{\%прочие}^{лэн},$$

где 20XX – год строительства; $c3_{\%с-м}^{лэн}$, $c3_{\%прочие}^{лэн}$ – составляющие стоимости 1 км линии электропередачи на строительно-монтажные и прочие работы и затраты, приведенные в [7] и таблице П.6.2; $u_{с-м}^{лэн}$ – индекс изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ по видам строительства, определяемых с применением федеральных единичных расценок (приложение № 1 к письму Минстроя РФ – воздушная прокладка кабеля с алюминиевыми жилами без учета НДС) в зависимости от округа строительства; $u_{\%прочие}^{лэн}$ – индекс изменения сметной стоимости прочих работ и затрат (приложение № 4 к письму Минстроя РФ – электроэнергетика (строка 2) без учета НДС).

Капиталовложения на сооружение понижающей подстанции $K_{пс}^{2000}$ в базисных ценах складываются из суммарной стоимости устанавливаемых трансформаторов (автотрансформаторов) на подстанции $\sum K_{тр}$, суммарной стоимости распределительных устройств всех классов напряжения подстанции $\sum K_{р\gamma\Sigma}$, постоянной части затрат на сооружение подстанции $\sum K_{пост пс}$, суммарной стоимости ячеек выключателей на источнике питания проектируемой электрической сети $\sum K_{выкл}$; суммарной стоимости устанавливаемых на подстанции компенсирующих устройств $\sum K_{ку}$:

$$K_{пс}^{2000} = (1 + \alpha_{пс}) \cdot (\sum K_{тр} + \sum K_{р\gamma\Sigma} + \sum K_{пост пс} + \sum K_{выкл} + \sum K_{ку}),$$

$\alpha_{пс}$ – коэффициент, учитывающий затраты, сопутствующие строительству, которые составляют: 1,5-2 % – временные здания и сооружения; 8,5-9,0% – прочие работы и затраты; 2,6-3,18% – содержание службы заказчика-застройщика, строительный контроль (Методические рекомендации по расчету норматива затрат на содержание службы заказчика-застройщика ОАО «ФСК ЕЭС»); 7,5-8,5% – проектно-изыскательские работы и авторский надзор (при осуществлении нового строительства - 8%). Принимаем $\alpha_{пс} = 0,2$.

Капитальные вложения на сооружение понижающей подстанции в текущем уровне цен рекомендуется осуществлять с учетом структуры затрат и с применением индексов цен рекомендованных к применению в текущем квартале, утвержденные в письме Минстроя РФ.

$$K_{пс}^{20XX} = K_{пс}^{2000} \cdot c3_{\%с-м}^{пс} \cdot u_{с-м}^{пс} + K_{пс}^{2000} \cdot c3_{\%об}^{пс} \cdot u_{об}^{пс} + K_{пс}^{2000} \cdot c3_{\%прочие}^{пс} \cdot u_{\%прочие}^{пс},$$

где 20XX – год строительства; $c3_{\%с-м}^{пс}$, $c3_{\%об}^{пс}$, $c3_{\%прочие}^{пс}$ – составляющие стоимости строительства подстанций (%) на строительно-монтажные работы, оборудование и прочие работы и затраты,

u_{c-m}^{nc} – индекс изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ по видам строительства;

$u_{об}^{nc}$ – индекс изменения сметной стоимости оборудования (приложение № 5 к письму Минстроя РФ – электроэнергетика (строка 2) без учета НДС);

$u_{\%прочие}^{nc}$ – индекс изменения сметной стоимости прочих работ и затрат (приложение № 4 к письму Минстроя РФ – электроэнергетика (строка 2) без учета НДС).

Суммарные капиталовложения в n_m однотипных трансформаторов, устанавливаемых на подстанции, определяются в зависимости от их номинального напряжения и номинальной мощности по укрупненным показателям стоимости понижающих трансформаторов $K_{mp\ 2000}$:

$$\sum K_{mp} = \sum n_{mi} \cdot K_{mp\ 2000\ i},$$

укрупненные показатели стоимости линейных регулировочных трансформаторов.

Суммарные капиталовложения в распределительные устройства всех классов напряжения подстанции (как правило, на вновь проектируемых подстанциях число распределительных устройств не превышает трех – РУВН, РУСН и РУНН) складываются из стоимости распределительного устройства каждого класса напряжения:

$$\sum K_{py\Sigma} = \sum K_{py\ вн} + \sum K_{py\ сн} + \sum K_{py\ нн}.$$

Капиталовложения в распределительное устройство одного класса напряжения понижающей подстанции, состоящего из $n_{яч}$ ячеек выключателей, определяются в зависимости от его номинального напряжений и типа применяемых выключателей по укрупненным показателям стоимости ячейки выключателя $K_{выкл\ 2000}$:

$$\sum K_{py} = \sum K_{выкл\ 2000} \cdot n_{яч}.$$

Постоянная часть затрат $\sum K_{пост\ пс}$ определяется в зависимости от номинального напряжения распределительных устройств подстанции и схемы распределительного устройства высшего напряжения по укрупненным показателям стоимости постоянной части затрат:

$$\sum K_{пост\ пс} = \sum K_{пост\ пс\ 2000\ i}.$$

Суммарная стоимость ячеек выключателей на источнике питания проектируемой электрической сети $\sum K_{выкл}$ определяется аналогично капиталовложениям в распределительное устройство одного класса напряжения понижающей подстанции по выражению в зависимости от количества выключателей.

Суммарные капиталовложения устанавливаемых на подстанции батарей конденсаторов $\sum K_{ку}$, определяется в зависимости от номинальной реактивной мощности КУ по укрупненным показателям стоимости.

Базовая укрупненная стоимость шунтовой конденсаторной батареи 10(6)

кВ единичной мощностью 1 Мвар в ценах 2000 года составляет 274 тыс. руб.

Стоимость ежегодных потерь электроэнергии определяется по формуле

$$I_{\Pi} = \Delta W \cdot \beta_{\Pi}, \quad (1.51)$$

где β_{Π} – стоимость 1 кВт ч потерь электроэнергии принята равной 0,0005487 тыс руб за кВт ч на напряжении 6 кВ, а на напряжении 0,4 кВ - 0,00089.

Составляющие расчета приведенных затрат представляются в виде таблицы 1.22.

Таблица 1.22 – Результаты технико-экономического сравнения вариантов

	К _{кл} ВН тыс руб	К тр, тыс руб	К _{кл} НН тыс руб	Сум К	И _{кл}	И _{тр}	И _{пот}	З
вар1	78,78	2260	2058,72	4397,51	49,16	133,34	195,97	1345,93
вар2	145,44	2600	638,86	3384,30	18,03	153,4	167,43	1083,42

Разница в приведенных затратах между рассматриваемыми вариантами составляет:

$$\delta = \frac{(1345,93 - 1083,4)}{1395,43} \cdot 100 = 24,2\%.$$

Для дальнейшего рассмотрения принимаем вариант №2.

Однолинейная схема сети комплектуется из комплектных распределительных устройств серий 300 и 200 и комплектных трансформаторных ПС промышленного типа. Пример представления разработанной однолинейной схемы сети представлен на рисунке 1.1.

Приемниками собственных нужд подстанции являются оперативные цепи, электродвигатели систем охлаждения трансформаторов, освещение, электроподогрев коммутационной аппаратуры ВН и шкафов, установленных на открытом воздухе, связь, сигнализация, система пожаротушения, система телемеханики и т.д. Мощность потребителей СН невелика, поэтому они присоединяются к сети 380/220 В, которая получает питание от понижающих трансформаторов.

Устанавливаем 2 трансформатора собственных нужд мощностью [20]:

$$S_{\text{тсн}} = S_{\text{н.т}} \cdot 0,5\%.$$

$$S_{\text{тсн}} = 16000 \cdot 0,005 = 80,0 \text{ кВА}.$$

Принимаем к установке ТМ-100/10, который присоединяется к шинам 10 кВ через предохранители, так как $S_{\text{тсн}} < 200 \text{ кВА}$.

Ток предохранителя:

$$I_{\text{п}} = \frac{S_{\text{тис}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5,782 \text{ А}.$$

Устанавливаем предохранитель типа: ПКТ-101-20-31,5У3.

РП укомплектован камерами типа КСО-285 и выполнен двухсекционным на напряжении 10 кВ. На каждой секции сборных шин РП установлены трансформаторы напряжения, служащие для подключения измерительных приборов учета, контроля электроэнергии и релейной защиты.

В цехах используются комплектные трансформаторные подстанции промышленного типа Чиркинского трансформаторостроительного завода со шкафами УВН КТП типа ШВВ-2-1. На низкой стороне используются шкафы ШНВ-2 УЗ с вводными и секционными выключателями ВА55 -41 с ТТ на вводе и между секциями 1000/5 и на отходящих линиях 400/5, в PEN проводнике 800/5. В качестве низковольтных комплектных устройств используются панели распределительные ЩРО-94.

В цехах для приема и распределения электроэнергии используются шкафы распределительные ПР-8503, шкафы ввода и учета электроэнергии ПР 8804 Дивногогорского завода низковольтной аппаратуры и щитки распределительные ЩРО 8505 ЗАО ПК «ИЗНУ».

Соединение силового трансформатора с КРУ - 10 кВ выполнено комплектный токопровод ТЗК-10-1600-51. Все расчетные и каталожные данные приведены в таблице 1.19.

Таблица 1.19 – Выбор комплектного токопровода

Расчетные данные	Каталожные данные ТЗК-10-1600
U=10кВ	U _{ном} =10кВ
I _{макс} =55,05 А	I _{ном} =1600А
i _y =37,4 кА	i _{дин} =51 кА

Выбор изоляторов не производим, т.к. они комплектны с токопроводом.

В цеховых ТП применяем комплектные трансформаторные подстанции. На стороне низшего напряжения цеховых трансформаторных подстанций выбираем автоматические выключатели для низковольтных распределительных устройств. Принимаем к установке распределительное устройство КТП общепромышленные (собственных нужд), представляющее собой трансформаторные подстанции внутренней (УЗ) установки с автоматическими выключателями серии "Электрон", предназначенные для приема электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 гц, напряжением 10 кВ, преобразования в электроэнергию напряжением 0,4 кВ и ее распределения.

Выбор оборудования низковольтных распределительных пунктов (0,4 кВ) осуществляется по токам нагрузки в нормальном и утяжеленном режимах.

Вопросы и задания

На основании технико-экономического сравнения выбрать оптимальную схему электроснабжения завода и разработать для него однолинейную схему сети.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Как определяются средние удельные дисконтированные затраты по капиталовложениям в элементы СЭС?
2. Чему равна цена вакуумного выключателя?
3. От чего зависит стоимость 1 км кабеля СПЭ различных сечений?
4. Чему равна цена силовых трансформаторов различной мощности?
5. Чему равна цена батарей конденсаторов различной мощности?
6. Чему равна цена элегазового выключателя напряжением 110 кВ?
7. Как цена кабеля СПЭ зависит от сечения экрана?
8. В каких случаях на ГПП и РП используют КРУ?
9. Какие коммутационные аппараты используют для подключения БСК?
10. Какие коммутационные аппараты используют для подключения цеховых ТП?
11. Как делятся КРУ по конструктивному исполнению?
12. Какие недостатки КРУ выкатного исполнения Вам известны?
13. Какие элементы входят в состав КТПБ?
14. Как внутри РУ прокладываются цепи собственных нужд, вспомогательные цепи ,освещения и обогрева?
15. На какие группы делятся КРУ?
16. Опишите конструкции выкатных и стационарных КРУ. Приведите назначение и классификацию КТП

17. Опишите конструктивное исполнение и особенности размещения КТП 6-10 кВ

18. Как обозначается на принципиальной схеме щит освещения?

19. Как определяются потери холостого хода трансформаторов в сети 6-10 кВ?

20. В чем заключается различие приведенных и дисконтированных затрат?

Повышенный уровень

1. В чем заключается различие приведенных и дисконтированных затрат?

2. Как влияет выбор значений расчетного периода и нормы дисконта на дисконтированные затраты элементов СЭС?

3. Сформулируйте принципы составления математических зависимостей затрат на этапе ТЭО и принятые допущения?

4. Почему при увеличении мощности трансформаторов ТП уменьшается оптимальная степень КРМ на НН?

5. На основании каких документов принимается стоимость потерь электроэнергии на различных уровнях напряжения?

6. В чем разница между КСО серии 300 и КСО серии 200?

7. В каких случаях используют КРУ, а в каких КСО?

8. В каких случаях РП размещают в отдельных помещениях?

9. Перечислите факторы, влияющие на выбор местоположения РП 6-10 кВ.

10. Перечислите факторы, определяющие расположение подстанций.

Рекомендуемая литература

Основной литературой к данному ПЗ являются [1,7].

Практическое занятие 16

Расчет токов короткого замыкания и выбор аппаратов защиты и оборудования на ГПП, РП и ТП

Целью занятия является получение навыков расчета токов короткого замыкания и выбора аппаратов защиты и оборудования на ГПП, РП и ТП.

В результате практического занятия студенты должны освоить методики расчета токов короткого замыкания и выбора аппаратов защиты и оборудования на ГПП, РП и ТП..

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков расчета токов короткого замыкания и выбора аппаратов защиты и оборудования на ГПП, РП и ТП.

Теоретическая часть

Расчет токов короткого замыкания проводится для выбора

отключающих аппаратов и проверки условий устойчивости элементов схемы по термическому и электродинамическому действию токов короткого замыкания (КЗ), а также при расчете релейной защиты.

Составим схему замещения для расчета токов КЗ на стороне 10 кВ, которая путем преобразования сводится к такому виду, чтобы между источником питания и точкой короткого замыкания находилось только одно результирующее сопротивление. Схема замещения приведена на рисунке 1.5.

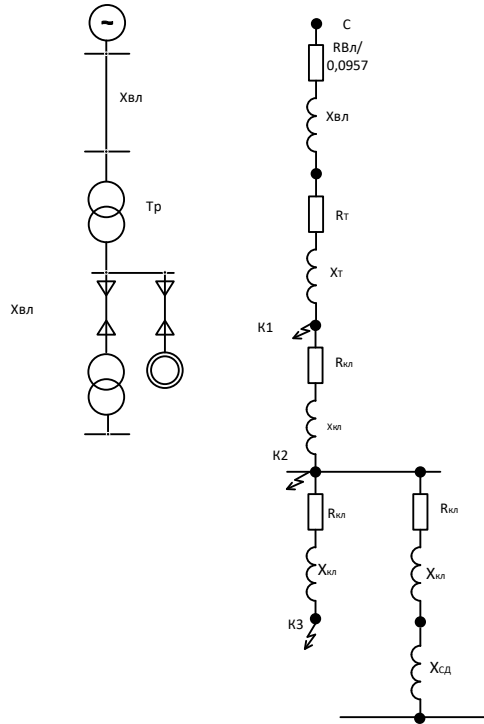


Рисунок 1.5 – Исходная схема и схема замещения

Исходя из того, что расчетные токи КЗ находятся на двух разных ступенях напряжения, расчет будем выполнять в относительных единицах, для чего за базисную мощность принимаем $S_B = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; за базисные напряжения принимаем $U_{B1} = 115$, $U_{B2} = 10,5 \text{ кВ}$. Определяем базисный ток:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (1.52)$$

$$I_{B1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,026 \text{ кА} \quad I_{B2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5,51 \text{ кА}.$$

Определим сопротивление элементов схемы замещения в относительных единицах.

$$\text{Для системы примем } R_C = 0, \text{ а } X_C = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 25 \cdot 115} = 0,02 \text{ о.е.}$$

Для воздушной двухцепной линии Л1:

$$R_{*Л} = R_{уд} \cdot L \cdot \frac{S_B}{2 \cdot U_{CP.H}^2} = 0,422 \cdot 60 \cdot \frac{100_B}{2 \cdot 115^2} = 0,191 \text{ о.е.},$$

$$X_{*Л} = X_{уд} \cdot L \cdot \frac{S_B}{2 \cdot U_{CP.H}^2} = 0,444 \cdot 60 \cdot \frac{100_B}{2 \cdot 115^2} = 0,202 \text{ о.е.}$$

Для трансформаторов на ГПП:

$$R_T = \frac{22 \cdot 100}{1000 \cdot 2,5 \cdot 2,5 \cdot 2} = 0,176 \text{ о.е.} \quad X_T = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{2,5 \cdot 2} = 2,1 \text{ о.е.}$$

Для синхронных двигателей:

$$X_{сд}'' = \frac{X_d''}{S_{номсд}} \cdot \frac{S_б}{1,6} = \frac{0,2 \cdot 100}{1,6} = 12,5 \text{ о.е.} \quad R_{сд} = 0,15 \cdot 0,2 = 0,03 \text{ о.е.}$$

Для кабельной линии к СД:

$$R_{*Л} = R_{уд} \cdot L \cdot \frac{S_B}{U_{CP.H}^2} = 0,025 \cdot \frac{100}{10,5 \cdot 10,5} = 0,0224 \text{ о.е.},$$

$$X_{*Л} = X_{уд} \cdot L \cdot \frac{S_B}{U_{CP.H}^2} = 0,01932 \cdot \frac{100}{10,5 \cdot 10,5} = 0,005 \text{ о.е.}$$

Для кабельной линии к цеху:

$$R_{кц} = 0,025 \cdot \frac{100}{2 \cdot 10,5 \cdot 10,5} = 0,0298 \text{ о.е.}, \quad X_{кц} = 0,00552 \cdot \frac{100}{2 \cdot 6,3^2} = 0,0229 \text{ о.е.}$$

Суммарное активное сопротивление до точки К1 равно 0,457 о.е., а суммарное индуктивное 14,83. Соотношение X/R больше 3, следовательно активным сопротивлением можно пренебречь.

Значение тока КЗ в точке К1 равно:

$$I_{К1} = \frac{I}{X_{\Sigma 1}} = \frac{5,51}{0,457} = 12,06 \text{ кА.}$$

Определяем суммарное сопротивление со стороны системы и со стороны синхронного двигателя до точки К2:

$$X_{\Sigma C} = 13,58 \text{ о.е.}, \quad X_{\Sigma CД} = 12,5 \text{ о.е.}$$

Определяем токи в точке К2 отдельно от системы и от синхронного двигателя:

$$I_{CК2} = \frac{1}{X_{\Sigma C}} I_{\phi 2} = \frac{1}{1,05} \cdot 5,51 = 5,21 \text{ кА.}$$

$$I_{CДК2} = \frac{1}{X_{\Sigma CД}} I_{\phi 2} = \frac{1}{12,5} \cdot 5,51 = 0,44 \text{ кА.}$$

Суммарный ток в точке К2.

$$I_{К2} = I_{CК2} + I_{CДК2} = 5,21 + 0,44 = 5,66 \text{ кА}$$

Определяем с помощью коэффициентов распределения результирующее сопротивление до точки К3:

$$X_{ЭКВ2} = \frac{X_{\Sigma C} \cdot X_{\Sigma CД}}{X_{\Sigma C} + X_{\Sigma CД}} = \frac{1,055 \cdot 12,51}{1,055 + 12,512} = 0,973 \text{ о.е.}$$

$$K_{P1} = \frac{X_{ЭКВ2}}{X_{\Sigma C}} = \frac{0,973}{1,055} = 0,922 ; \quad K_{P2} = \frac{X_{ЭКВ2}}{X_{\Sigma CД}} = \frac{0,973}{12,505} = 0,078.$$

$$X_{PE33} = X_{ЭКВ2} + X_{Л2} = 0,922 + 0,0229 = 0,996$$

$$X_{PE313} = \frac{X_{ЭKB2}}{X_{\Sigma C}} = \frac{0,996}{0,922} = 1,08 ; \quad X_{PE323} = \frac{X_{ЭKB3}}{X_{\Sigma CD}} = \frac{0,996}{0,078} = 12,8.$$

Определим токи, кА, в точке КЗ отдельно от системы и от синхронного двигателя:

$$I_{C\ K3} = \frac{1}{X_{PE313}} I_{\phi 2} = \frac{1}{1,08} \cdot 5,51 = 5,098 \text{ кА}.$$

$$I_{CD\ K3} = \frac{1}{X_{PE323}} I_{\phi 2} = \frac{1}{12,8} \cdot 5,51 = 0,43 \text{ кА}.$$

Суммарный ток КЗ в точке КЗ:

$$I_{K3} = 5,098 + 0,43 = 5,529 \text{ кА}.$$

Определяем ударный ток в точке К1. Находим ударный коэффициент по кривой [2] в зависимости от соотношения X_{Σ} / R_{Σ} :

Определяем ударный ток в точке К2 и КЗ.

$$i_{y\phi 2} = 1,41 \cdot 5,53 \cdot 1,8 = 14,03 \text{ кА}.$$

В связи с тем, что источником питания является энергосистема, то периодическая составляющая трехфазного тока в момент КЗ $I_{\Pi r} = I_{\Pi 0}$.

Расчеты для остальных цеховых подстанций выполнены аналогичны, результаты должны быть представлены в виде таблице 1.23.

Таблица 1.23 – Результаты расчета токов короткого замыкания на шинах 0,4 кВ

Точки КЗ	X_{Σ} , мОм	K_y	I_{K3} , кА	i_y , кА
ГПП-ТП1	1,08	1,8	2,8	7,1
ГПП-ТП2	1,068	1,8	2,8	7,11

Расчет токов КЗ необходим для проверки защитных аппаратов по отключающей способности, проверки защит по чувствительности действия и шинопроводов (ШМА, ШРА) по термической и электродинамической стойкости.

С этой целью рассчитываются токи трехфазного короткого замыкания ($I_K^{(3)}$) на выходе защитных аппаратов, токи однофазного КЗ ($I_K^{(1)}$) в конце защищаемой зоны аппарата защиты, ток трехфазного КЗ и ударный (i_y) в начале шинопровода.

При расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать:

- 1) индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;
- 2) активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;
- 3) активные сопротивления различных контактов и контактных соединений;
- 4) значения параметров синхронных и асинхронных

электродвигателей.

При расчетах токов КЗ рекомендуется учитывать:

1) сопротивление электрической дуги в месте КЗ;
 2) изменение активного сопротивления проводников короткозамкнутой цепи вследствие их нагрева при КЗ;

3) влияние комплексной нагрузки (электродвигатели, преобразователи, термические установки, лампы накаливания) на ток КЗ, если номинальный ток электродвигателей нагрузки превышает 1,0 % начального значения периодической составляющей тока КЗ, рассчитанного без учета нагрузки.

Токи КЗ рекомендуется рассчитывать в именованных единицах.

Следует использовать шкалу средних номинальных напряжений: 37; 24; 20; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ.

Сопротивления всех элементов схемы замещения выражать в миллиомах.

При электроснабжении электроустановки от энергосистемы через понижающий трансформатор начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ в килоамперах без учета подпитки от электродвигателей рассчитывают по формуле:

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ср.НН}}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}},$$

где $U_{\text{ср.НН}}$ – среднее номинальное напряжение сети, в которой произошло короткое замыкание, В; $r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ – соответственно суммарное активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности цепи до точки КЗ, мОм.

Значение периодической составляющей тока однофазного КЗ от системы в килоамперах рассчитывают по формуле

$$I_{\text{к}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} U_{\text{ср.НН}}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}},$$

где $r_{0\Sigma}$ и $x_{0\Sigma}$ – суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивление нулевой последовательности относительно точки КЗ, мОм.

Для определения суммарных сопротивлений до точки КЗ необходимо составить расчетную схему, на которой приводятся технические характеристики цехового трансформатора (тип, схема соединения обмоток, номинальная мощность, номинальные напряжения обмоток, напряжение КЗ трансформатора и мощность потерь при КЗ), марка кабелей, сечения и длины линий, типы и номинальные токи коммутационно-защитных аппаратов, точки КЗ.

Элегазовый выключатель проверяется по следующим условиям:

- по номинальному напряжению установки;
- по отключающей способности тока короткого замыкания;

- по электродинамической стойкости;
- по длительному току;
- по термической стойкости.

Ток, протекающий через выключатель, определим по формуле:

$$I_p = \frac{S_{pТП}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}},$$

где $S_{pТП}$ – полная расчетная мощность ТП;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение.

На противостояние тепловому импульсу тока короткого замыкания по следующему отношению:

$$B_k \leq I_{np.\tau}^2 \cdot t_\tau,$$

где B_k – тепловой импульс тока короткого замыкания по расчету;

$I_{np.\tau}$ – предельный ток термической стойкости по каталогу;

t_τ – длительность протекания этого тока.

В результате прямых ударов молний в провода, опоры либо перекрытий воздушных промежутков, на ЛЭП возникают волны перенапряжения. Эти волны перенапряжений доходят до подстанции и вызывают кратковременное перенапряжение на оборудовании. Также могут вызывать повреждение изоляции.

Для предотвращения от перенапряжений используются нелинейные ограничители перенапряжений.

Заземлители нейтрали типов ЗОН-110М-ГУХЛ1, ЗОН-110Б-ГУХЛ1, ЗОН-110-ИТ1 предназначены для заземления нейтралей силовых трансформаторов, имеющих в нейтрали трансформатор тока для защиты от замыканий на землю.

Вопросы и задания

Рассчитать токи короткого замыкания в СЭС завода и выбрать оборудование ПС.

Заполнить таблицы с указанием условий выбора выключателей, автоматических выключателей, разъединителей, ограничителей перенапряжения, трансформаторов тока и напряжения, заземлителей нейтралей, предохранителей

Таблица – Вид электрооборудования

Условие выбора

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Какие условия принимаются при составлении расчетной схемы

электроустановок напряжением до 1 кВ?

2. Перечислите способы ограничения токов КЗ.

3. Какая точка на расчетной схеме электроустановки выбирается в качестве расчетной?

4. Как выбираются и пересчитываются базисные условия для различных ступеней напряжения электроэнергетической системы?

5. Зависит ли результат расчета тока КЗ от выбора базисных условий?

6. Назовите отличия принципиальной схемы, расчетной схемы и схемы замещения.

7. На чем основаны точное и приближенное приведения параметров элементов коротко замкнутой цепи в схемах замещения?

8. Что такое коэффициенты распределения? Объясните их физическую сущность.

9. Преобразование и упрощение эквивалентных схем.

10. По каким параметрам выбираются все электрические аппараты?

11. Какие виды проверок по условиям КЗ применяются в электроустановках напряжением выше 1 кВ?

12. Какие виды проверок по условиям КЗ применяются в электроустановках напряжением до 1 кВ?

Повышенный уровень

1. Какие сопротивления учитываются при расчете токов КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ?

2. Из какого условия при расчете токов КЗ допускается исходить при питании электрической сети напряжением до 1 кВ через понижающий трансформатор?

3. Как происходит выбор расчетного момента возникновения КЗ?

4. От чего зависит значение и характер изменения апериодической составляющей тока КЗ?

5. Почему в сетях до 1 кВ рассчитывается наименьший из токов однофазного КЗ?

6. Объясните сущность расчетных кривых,

от каких параметров они зависят?

7. Какое время принимается в качестве расчетной продолжительности КЗ при проверке электрических аппаратов и проводников на термическую стойкость при КЗ

8. При каких условиях обеспечивается надежная селективность последовательно включенных предохранителей?

Рекомендуемая литература

Более подробные сведения по данному вопросу можно получить в [1 - 5].

Практическое занятие 17.

Проверка кабелей по термической стойкости к токам КЗ и выбор сечений экранов кабелей из СПЭ

Целью занятия является получение навыков проверки кабелей по термической стойкости к токам КЗ и выбор сечений экранов кабелей из СПЭ.

В результате практического занятия студенты должны освоить методику проверки кабелей по термической стойкости к токам КЗ и условия выбора сечений экранов кабелей из СПЭ.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков проверки кабелей по термической стойкости к токам КЗ и выбора сечений экранов кабелей из СПЭ.

Теоретическая часть

Проверка сечений по термической стойкости проводится после расчетов токов КЗ, тогда минимальное термически стойкое токам КЗ сечение кабеля определяется как:

$$F_{\text{КЗ MIN}} = \frac{I_{\text{по}} \cdot \sqrt{t_{\text{п}}}}{K_{\text{T}}},$$

где $I_{\text{по}}$ – установившееся значение тока КЗ, А;

$t_{\text{п}}$ – приведенное время КЗ, принимаем по [4] равным 0,065;

K_{T} – температурный коэффициент, учитывающий ограничение допустимой температуры нагрева жил кабелей, принимаем по [12]
 $K_{\text{T}} = 65 \text{ A} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$.

Задание

Освоить методику проверки сечений кабелей и экранов на стойкость к протеканию токов КЗ и выбрать сечения экранов кабелей 6-10 и 0,4 кВ.

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. С какой целью выполняется проверка сечений по термической стойкости?

2. Как выбираются сечения экранов кабелей?

Повышенный уровень

1. Чему равно приведенное время КЗ?
2. Как выбираются места заземления экранов?

Рекомендуемая литература

Более подробные сведения по данному вопросу можно получить в [1 - 5].

Практическое занятие 18.

Защита элементов системы электроснабжения завода

Целью занятия является получение навыков выбора релейной защиты и автоматических выключателей

В результате практического занятия студенты должны получить навыки выбора автоматических выключателей и оборудования ПС.

Актуальность практического занятия обусловлена необходимостью получения навыков выбора средств релейной защиты элементов системы электроснабжения завода.

Теоретическая часть

Электроэнергетические системы характеризуются непрерывностью во времени производства и потребления электроэнергии, быстротечностью протекания электромагнитных возмущающих воздействий, возникающих при повреждениях электрооборудования. В таких условиях надлежащее качество и надежность электроснабжения могут быть обеспечены только при применении устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗА). Устройства РЗА предназначены для быстрой автоматической локализации поврежденного электрооборудования или линии системы электроснабжения, автоматического восстановления напряжения на неповрежденных участках и предотвращения ненормальных режимов.

Для распределительных сетей промышленного предприятия предусмотрены устройства релейной защиты от междуфазных замыканий и от однофазных замыканий на землю. Наиболее распространенным видом защиты является максимальная токовая защита (МТЗ). От междуфазных замыканий защиту рекомендуется выполнять в двухфазном исполнении и включать её в одни и те же по всей сети данного напряжения для отключения в большинстве случаев двойных замыканий на землю только одного места повреждения. В зависимости от чувствительности защита может быть выполнена одно-, двух- или трехрелейной.

Замыкание на землю одной фазы в сетях с изолированной нейтралью или нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор, не является аварийным режимом. Поэтому защиту выполняют действующей на сигнал, и только когда это необходимо по требованиям безопасности, на отключение. В сетях простой конфигурации допускается применение только одного

общего устройства избирательной сигнализации, контролирующего состояние изоляции в системе данного напряжения. В протяженных сетях сложной конфигурации необходимо также предусматривать избирательную защиту на каждом присоединении.

В сетях напряжением до 1 кВ защиту выполняют плавкими предохранителями и автоматическими выключателями, снабженными устройствами релейной защиты в виде токовой отсечки, МТЗ или двухступенчатой токовой защиты.

Согласно ПУЭ на силовых трансформаторах ГПП устанавливают следующие виды защиты [13]:

- продольная дифференциальная защита без выдержки времени для защиты от повреждения на выводах трансформатора и от внутренних повреждений;
- МТЗ на стороне 110 кВ для защиты от внешних коротких замыканий, с независимой выдержкой времени, с комбинированным пуском по напряжению, отключает вводы 10 кВ и включает короткозамыкатель;
- МТЗ от перегрузок в однофазной однорелейном исполнении с действием на сигнал на стороне 110 кВ и двухрелейном исполнении на стороне 10 кВ;
- газовая защита для защиты от повреждений внутри трансформатора, сопровождающихся выделением газа, и от понижения уровня масла, может действовать на отключение и на сигнал.

Для защиты трансформатора от многофазных замыканий в обмотках и на выводах, устанавливается продольная дифференциальная защита. Защищаемая зона определяется местами установки трансформаторов тока. Для того чтобы в зону защиты входили вводы силового трансформатора с высокой стороны (110 кВ) устанавливают выключатель, и дифференциальная защита выполняется на трансформаторах тока, встроенных в выключатель напряжением 110 кВ ГПП. Для компенсации угловой погрешности трансформатора тока на стороне 110 кВ обмотки собираются в «треугольник», а на стороне 10 кВ – в «звезду».

Дифференциальная защита осуществляется с применением реле тока, обладающих улучшенной отстройкой от бросков намагничивающего тока, переходных и установившихся токов небаланса.

При возникновении электрических повреждений в обмотках маслонаполненных трансформаторов и на вводах внутри их баков обычно образуются пары масла и возникает интенсивное перемещение масла из бака в расширитель. Это явление используют для защиты трансформатора от всех видов повреждений внутри бака, защиту выполняют при помощи газового реле, устанавливаемого на трубопроводе между баком и расширителем трансформатора.

При незначительных повреждениях в трансформаторе, при слабом газообразовании, газы вытесняют часть масла, и уровень его в реле понижается. Это приводит к увеличению силы действующей вниз за счет

увеличения масла в чашке, в результате чего замкнутся контакты реле и замкнется цепь сигнализации.

При коротком замыкании в трансформаторе возникает сильное газообразование. Сила потока газа, воздействует на лопасть, заставляя чашку реле повернуться, тем самым, замыкая контакты реле действующего на отключение трансформатора.

Релейная защита трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций включает в себя следующие виды:

- защита от межфазных коротких замыканий на стороне высшего напряжения;
- защита от однофазных замыканий на стороне низкого напряжения;
- от перегрузки;
- газовая защита для защиты от повреждений внутри трансформатора.

Для защиты от межфазных коротких замыканий на стороне высшего напряжения устанавливают предохранители (в случае применения выключателей нагрузки), а также максимальная токовая защита, иногда по условию обеспечения селективности, устанавливается токовая отсечка. От перегрузки устанавливается максимальная токовая защита.

Для защиты от однофазных замыканий на стороне низкого напряжения – автоматические выключатели или специальная защита нулевой последовательности, установленная в нулевом проводе на стороне 0,4 кВ.

Кабельные линии электропередач, имея большую протяженность, подвержены различным видам повреждений. Кабельные линии, проложенные в земле, могут повреждаться из-за ухудшения условий охлаждения, коррозии оболочек кабеля, осадки при земляных работах. Эти повреждения могут вызвать короткое замыкание между фазами или на землю. Защита от однофазных замыканий на землю должна устанавливаться с действием на сигнал.

В соответствии с ПУЭ на одиночных кабельных линиях 10 кВ с односторонним питанием должны предусматриваться следующие устройства релейной защиты [13]:

- защита от многофазных замыканий без выдержки времени (токовая отсечка);
- МТЗ с выдержкой времени, согласованной со смежным участком;
- защита от замыканий на землю.

Для кабельных линий напряжением выше 1 кВ применяют МТЗ и ТО, ниже 1 кВ – предохранители и автоматические выключатели. Для защиты отходящих линий устанавливаются автоматические выключатели. На отходящих линиях с шин ТП устанавливаются автоматические выключатели серии ВА-СЭЩ-АС08.

Согласно ПУЭ на асинхронном двигателе в РП устанавливают следующие виды защиты [13]:

- защита от многофазных замыканий на линейных водах и в обмотке статора;
- защита от однофазных замыканий на землю на

линейных выводах и в обмотке статора;

- защита от токов перегрузки;
- защита от потери питания и понижения напряжения.

Защита от многофазных замыканий устанавливается на всех без исключения синхронных и асинхронных электродвигателях и предназначена для отключения электродвигателя при многофазных в КЗ в его обмотке статора и на линейных выводах (т. е. тех выводах, к которым подключена питающая линия, соединяющая электродвигатель с выключателем).

Защита от перегрузки устанавливается в случаях, когда возможны технологические перегрузки электродвигателей или тяжелые условия пуска и самозапуска (время пуска более 20 с). Устанавливают максимальную токовую защиту с действием на сигнал.

От однофазных замыканий на землю на линейных выводах обмотки статора защита применяется в случае, если ток срабатывания защиты превышает 10 А для электродвигателей мощностью до 2 МВт и 5 А для электродвигателей мощностью выше 2 МВт. Устанавливается токовая защита нулевой последовательности или токовая направленная защита нулевой последовательности.

Для электродвигателей номинальной мощностью до 4000 кВт применяется токовая двухрелейная отсечка без выдержки времени с реле, включенными на фазные токи. Для электродвигателей номинальной мощностью 4000 кВт и более применяется продольная дифференциальная токовая защита без выдержки времени. Эта же защита; может применяться на электродвигателях меньшей мощности, если применение токовой отсечки не обеспечивает требуемой чувствительности, а со стороны нулевых выводов обмотки статора имеются или могут быть установлены трансформаторы тока. На распределительном пункте устанавливаем защиту для двигателей

Для обеспечения бесперебойности электроснабжения потребителей первой и второй категорий предусмотрим установку АВР.

Устройство автоматического ввода (включения) резерва (АВР) предназначено для бесперебойного электроснабжения потребителей электроэнергии при отключении рабочего источника питания, путем подключения к резервной линии питания. Устройство АВР обеспечивает автоматическое восстановление основного питания при восстановлении рабочего источника питания. АВР широко используются в системах электроснабжения на промышленных предприятиях, объектах связи и транспорта для обеспечения надежности электроснабжения потребителей I – и II –й категории. Устройство АВР предусматривается:

- на ГПП в секционной переемычке на стороне 10 кВ;
- на ЦТП в секционной переемычке на стороне 0,4 кВ;
- в цехе в переемычке между РП.

Понятие «электрический аппарат» охватывает очень обширный круг всевозможных устройств, применяемых в быту, промышленности и энергетике. В данном учебном пособии речь идет об электрических аппаратах, устанавливаемых в основном потоке электрической энергии, т.е. в потоке от её источников до электрических

приемников. Эти аппараты относятся к классу электрических аппаратов распределительных устройств и выбираются по следующим признакам: напряжению, функциональному назначению, номинальному току, по исполнению защиты от окружающей среды, по климатическому исполнению. После выбора по указанным признакам электрические аппараты проверяются на термическое и динамическое действия токов коротких замыканий, т.е. на термическую и динамическую устойчивость.

Номинальное напряжение аппарата, указанное в его паспорте, соответствует уровню его изоляции, причем нормально всегда имеется некоторый запас электрической прочности, позволяющий аппарату неограниченно длительное время работать при напряжении на 10-15% выше номинального. Это напряжение называют максимальным рабочим напряжением аппарата. Так как отклонения напряжения в условиях эксплуатации обычно не превышают 1015% номинального, то при выборе аппаратов по напряжению достаточно выполнить условие

$$U_{ном.у} \leq U_{нома},$$

где $U_{ном.у}$ – номинальное напряжение установки,

$U_{нома}$ – номинальное напряжение аппарата.

Обычно, исходя из условия электробезопасности организации работ, электрические аппараты по номинальному напряжению разделяют на две группы: аппараты низкого напряжения (с номинальным напряжением до 1000 В) и высокого напряжения (с номинальным напряжением более 1000 В).

Выбор аппаратов по функциональному назначению реализуется на этапе обоснования электрических схем и рассмотрен в разделе 3, когда на основании соответствующих условий и требований применяются коммутационные аппараты, защитные либо защитно-коммутационные.

Выбор по номинальному току. Номинальный ток $I_{ном.а}$ аппарата это ток, который при номинальной температуре окружающей среды может проходить по аппарату неограниченно длительное время и при этом температура наиболее нагретых частей его не превышает длительно допустимых значений.

Правильный выбор аппарата по номинальному току обеспечивает отсутствие опасных перегревов частей аппарата при его длительной работе в нормальном режиме. Для этого необходимо, чтобы максимальный действующий рабочий ток цепи (расчетный ток) I_p за время $t > 3T_0$ не превышал номинального тока аппарата $I_p \leq I_{нома}$.

Согласно стандартам номинальную температуру среды (воздуха), окружающей электрические аппараты, принимают равной 35°C.

Если расчетная температура окружающей среды $\Theta_{о.с.}$ отличается от номинальной, то следует вычислить длительно допустимый ток аппарата для расчетных условий охлаждения при $\Theta_{о.с.} > 35^\circ\text{C}$.

$$I_\Theta =$$

$$I_{нома} \quad \Theta_{доп} - \Theta_{о.с.},$$

$$\Theta_{доп} - 35$$

где $\Theta_{доп}$ – наименьшая допустимая температура отдельных частей аппарата. При $\Theta_{о.с.} < 35^{\circ}\text{C}$ ток I/Θ можно повысить относительно $I_{ном.а}$ на $0,005 I_{ном.а}$ на каждый градус понижения температуры, но всего не более чем на $0,2 I_{ном.а}$.

Выбор аппаратов по исполнению защиты от окружающей среды. Для предотвращения соприкосновения обслуживающего персонала с токоведущими или подвижными частями и исключения попадания в аппараты инородных тел устанавливаются специальные защитные оболочки. Согласно ГОСТ 14254-96 защитные свойства оболочки обозначаются буквами IP и двумя цифрами. Первая цифра обозначает степень защиты от прикосновения персонала к опасным деталям аппарата, вторая характеризует защиту от попадания внутрь аппарата инородных предметов и жидкостей. Ниже приводятся защитные свойства некоторых исполнений по ГОСТ 14254-96.

IP00. Открытое исполнение. Защита персонала от соприкосновения с токоведущими или подвижными частями отсутствует. Инородные тела могут попадать внутрь аппарата.

IP20. Защищенное исполнение. Оболочка таких аппаратов предохраняет от случайного прикосновения к токоведущим или подвижным частям или от проникновения внутрь аппарата посторонних предметов. Оболочка должна препятствовать соприкосновению с деталями аппарата металлического щупа (диаметр 12 мм, длина 80 мм), шарик диаметром 12 мм не должен проникать внутрь аппарата.

IP22. В дополнение к свойствам исполнения IP20 оболочка защищает от вредного воздействия капель жидкости, падающих на стенку оболочки, наклоненную к вертикали под углом в пределах 15° .

IP23. В дополнение к свойствам исполнения IP20 оболочка защищает от дождя, падающего под углом 60° к вертикали.

IP40. Оболочка защищает аппарат от попадания внутрь него мелких предметов диаметром более 1 мм.

IP42. В дополнение к свойствам исполнения IP40 оболочка защищает от воздействия капель жидкости (так же как IP22).

IP44. В дополнение к свойствам исполнения IP40 оболочка защищает от воздействия брызг жидкости, падающих под любым углом.

IP50. Оболочка аппарата защищает от вредного воздействия пыли (допускается попадание внутрь небольшого количества пыли, не нарушающего нормальной работы аппарата).

IP60. Пылезащищенное исполнение. Оболочка полностью препятствует попаданию пыли.

IP65. Пылеводозащищенное исполнение. В дополнение к свойствам исполнения IP60 оболочка защищает от воздействия струи воды, направленной под любым углом к её поверхности.

IP66. Пылеводонепроницаемое исполнение. В дополнение к свойствам исполнения IP60 оболочка обеспечивает полную защиту от попадания воды

внутри аппарата при воздействии струи под любым углом к поверхности (морское исполнение).

IP67. Герметичное исполнение. В дополнение к свойствам исполнений IP60 оболочка обеспечивает полную герметичность аппарата.

Выбор аппаратов по климатическому исполнению. Воздействия климатических факторов на электрические аппараты в условиях эксплуатации регламентируются ГОСТ 15150-69. Под климатическими факторами внешней среды понимаются температура и влажность окружающего аппарат воздуха, давление воздуха (высота над уровнем моря), солнечное излучение, дождь, ветер, пыль (в том числе и снежная), солевой туман, иней, гидростатическое давление воды, действие плесневых грибов, содержание в воздухе коррозионно-активных агентов. Нормальные значения климатических факторов внешней среды, принятые для использования в технике, соответствуют данной географической зоне с учетом места размещения аппарата.

Номинальные токи расцепителей выбирают по длительному расчетному току линии:

$$I_{Н.р} \geq I_p$$

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя ($I_{ср.э}$) проверяется по пиковому току линии $I_{кр}$:

$$I_{ср.э} \geq K_H I_{кр}$$

где K_H — коэффициент надежности отстройки отсечки от пикового тока, учитывающий: наличие апериодической составляющей в пиковом токе; возможный разброс тока срабатывания отсечки относительно уставки; некоторый запас по току. Значения K_H принимаются в зависимости от типа автомата. При отсутствии таких данных можно принять: $K_H = 1,25 \dots 1,5$.

Селективность срабатывания последовательно включенных автоматических выключателей обеспечивается в тех случаях, когда их защитные характеристики не пересекаются. При отсутствии защитных характеристик каждый автомат на схеме сети по мере приближения к ИП должен иметь номинальный ток расцепителя не менее чем на ступень выше, чем предыдущий.

Основными видами защит электрических сетей и электроприемников напряжением до 1 кВ являются защиты от перегрузки и токов короткого замыкания (КЗ). Защита от токов КЗ должна осуществляться для всех электрических сетей и электроприемников.

В качестве аппаратов защиты применяются автоматические выключатели и предохранители.

Для защиты электродвигателей от перегрузки и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз, применяются также тепловые реле магнитных пускателей.

Выбор аппаратов защиты (предохранителей, автоматов) выполняется с учетом следующих основных требований:

1. Номинальный ток и напряжение аппарата защиты должны соответствовать

расчетному длительному току и напряжению электрической цепи.

2. Номинальные токи расцепителей автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей необходимо выбирать по возможности меньшими по длительным расчетным токам с округлением до ближайшего большего стандартного значения.

3. Аппараты защиты не должны отключать установку при кратковременных перегрузках, возникающих в условиях нормальной работы, например, при пусках электродвигателей.

4. Время действия аппаратов защиты должно быть по возможности меньшим, и должна быть обеспечена селективность (избирательность) действия защиты при последовательном расположении аппаратов защит в электрической цепи.

5. Ток защитного аппарата (номинальный ток плавкой вставки, номинальный ток или ток срабатывания расцепителя автомата) должен быть согласован с допустимым током защищаемого проводника.

6. Аппараты защиты должны обеспечивать надежное отключение в конце защищаемого участка двух- и трехфазных КЗ при всех видах режима работы нейтрали сетей, а также однофазных КЗ в сетях с глухозаземленной нейтралью.

Надежное отключение токов КЗ в сети напряжением до 1 кВ обеспечивается в том случае, если отношение наименьшего однофазного расчетного тока КЗ ($I_{\text{кз}}^1$) к номинальному току плавкой вставки предохранителя ($I_{\text{н.вст}}$) или расцепителя автоматического выключателя ($I_{\text{н.р}}$), имеющего обратозависимую от тока характеристику, будет не менее 3, а во взрывоопасных зонах соответственно:

$$\frac{I_{\text{кз}}^1}{I_{\text{н.вст}}} \geq 4; \quad \frac{I_{\text{кз}}^1}{I_{\text{н.р}}} \geq 6$$

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсечку), для автоматов с номинальным током до 100 А кратность тока КЗ относительно уставки тока мгновенного срабатывания (I) должна быть не менее 1,4, а для автоматов с номинальным током более 100 А — не менее 1,25.

Однако в сетях, защищаемых только от токов КЗ (не требующих защиты от перегрузки), за исключением протяженных сетей, допускается не выполнять расчетной проверки кратности токов КЗ к токам защитных аппаратов, если обеспечено согласование защитного аппарата с допустимым током защищаемого проводника.

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя определяется по величине длительного расчетного тока (I_p):

$$I_{\text{н.вст}} \geq I_p,$$

и по условию перегрузок пиковыми токами

$$I_{\text{н.вст}} \geq \frac{I_n}{\alpha}$$

где I_n — пиковый (максимальный кратковременный) ток; α — коэффициент кратковременной тепловой перегрузки; $\alpha = 2,5$ — для легких пусков с длительностью пуска до 5 с, а также при редких пусках (насосы, вентиляторы, станки и т. п.) и при защите магистрали; $\alpha = 2$ — для тяжелых условий пуска, а также при частых (более 15 раз в час) пусках (краны, дробилки, центрифуги и т. п.); $\alpha = 1,6$ — для ответственных электроприемников. При выборе предохранителя для одиночного электроприемника в качестве I_p принимается его номинальный ток I_n , а в качестве I_n — пусковой ток $I_{пуск}$.

Для линий, питающих группу электроприемников, максимальный пиковый ток определяется:

$$I_n = I_{пуск} + I_p$$

где $I_{пуск}$ — пусковой ток электроприемника или группы одновременно включаемых электроприемников, при пуске которых кратковременный ток линии достигает наибольшей величины; I_p — длительный расчетный ток, определяемый без учета рабочего тока пускаемых электроприемников.

При отсутствии данных о количестве одновременно пускаемых электроприемников пиковый ток линии может быть определен по формуле:

$$I_n = i_{n,max} + (I_p - k_{и} I_{нп})$$

где $i_{n,max}$ — наибольший пусковой ток электроприемника группы; I_p — расчетный по нагреву ток группы электроприемников; $I_{нп}$ — номинальный ток электроприемника с наибольшим пусковым током; $k_{и}$ — коэффициент использования электроприемника с наибольшим пусковым током.

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя, защищающего ответвление к сварочному аппарату, выбирается из соотношения:

$$I_{н.вст} \geq 1,2 \cdot i_{нс} \sqrt{ПВ},$$

где $i_{нс}$ — номинальный ток сварочного аппарата при паспортной продолжительности включения (ПВ).

Выбранные плавкие вставки должны обеспечивать также селективность (избирательность) срабатывания. Это значит, что при КЗ на каком-либо участке сети должна перегореть плавкая вставка предохранителя только этого поврежденного участка. В общем случае защита считается селективной, когда характеристики срабатывания аппаратов защиты, последовательно расположенных в цепи с учетом зон разброса характеристик, не пересекаются.

Учитывая, что разница во времени срабатывания плавких вставок с ростом тока КЗ и в области больших токов КЗ уменьшается, а также тот фактор, что с многократным повторением циклов нагрева время срабатывания предохранителя высшей ступени может уменьшаться, для обеспечения селективности срабатывания каждый предохранитель на схеме сети по мере приближения к ИП должен иметь плавкую вставку не менее чем на две ступени выше, чем предыдущий.

Вопросы и задания

Рассчитать токи электроприемников и выбрать плавкие предохранители в распределительном шкафу, схема которых приведена на рисунке.

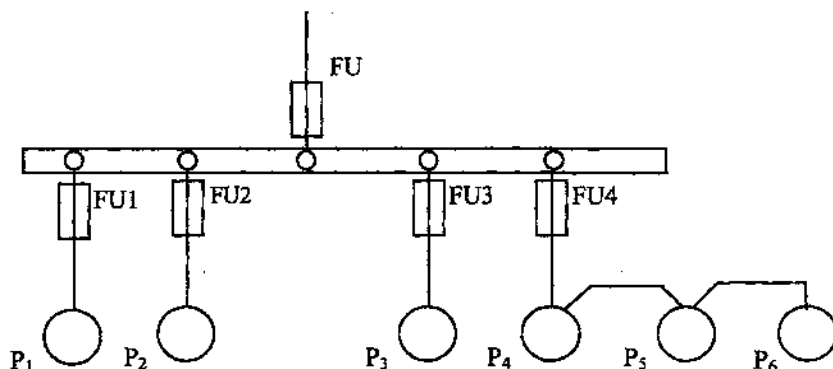


Рисунок - Схема распределительной сети

Таблица – Исходные данные

№ вар.	P_1 ,	P_2 , кВт	P_3 , кВт	P_4 , кВт	P_5 , кВт	P_6 , кВт	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\cos\varphi_3$	$\cos\varphi_4$	$\cos\varphi_5$	$\cos\varphi_6$	K_c
1	19,6	17,3	3,7	4,3	11,0	9,3	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
2	18,1	14,0	7,3	2,5	16,0	21,0	0,8	0,7	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8
3	13,0	19,3	9,2	4,3	7,8	5,9	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,85
4	7,3	14,2	7,0	2,1	23,2	4,5	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,9	0,85
5	9,2	7,3	1Д	0,75	14,5	28,0	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,85
6	4,0	13,5	7,2	3,0	9,8	19,3	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
7	17,5	9,2	3,0	2,2	7,3	8,4	0,6	0,6	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8
8	3,5	7,1	5,3	2,3	6,1	19,5	0,8	0,7	0,8	0,7	0,6	0,6	0,8
9	8,4	21,3	7,5	4,0	14,6	3,4	0,7	0,6	0,8	0,8	0,6	0,7	0,8
10	11,6	25,3	3,6	0,75	9,3	2,2	0,8	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,85
И	10,3	16,1	7,4	3,1	4,9	9,5	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,8	0,85
12	17,1	6,3	0,75	0,75	5,7	20,4	0,8	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,85
13	4,0	9,3	2,8	1,7	17,1	14,0	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,6	0,8
14	12,8	7,3	4,1	0,8	19,3	6,5	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8
15	14,5	14,5	10,0	4,1	7,5	2,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8

Вопросы к практическому занятию

Базовый уровень

1. Как выбираются автоматические выключатели?
2. Для защиты каких сетей применяются автоматические выключатели?
3. Какие виды расцепителей Вы знаете?
4. Как выбираются плавкие предохранители?
5. Для защиты каких сетей применяются плавкие предохранители?
6. Какие аппараты не проверяются применяются в электроустановках напряжением выше 1кВ?

7. Какие аппараты не проверяются применяются в электроустановках напряжением до 1кВ?

8. При каких условиях обеспечивается надежная селективность последовательно включенных предохранителей?

9. Какая защита является наиболее распространенной на промышленных предприятиях?

10. Какие защиты устанавливаются на силовых трансформаторах ГПП?

11. Какие средства защиты используются для защиты от перенапряжений?

12. Как выбираются плавкие вставки предохранителей и уставки автоматов?

13. Для чего строится карта селективности?

14. Как обеспечивается селективность защиты?

15. Какое время принимается в качестве расчетной продолжительности КЗ при проверке электрических аппаратов и проводников на термическую стойкость при КЗ?

Повышенный уровень

1. При каких условиях обеспечивается надежная селективность последовательно включенных предохранителей?

2. Какие виды проверок по условиям КЗ применяются в электроустановках напряжением выше 1кВ ?

3. Какие виды проверок по условиям КЗ применяются в электроустановках напряжением до 1кВ?

4. Какое время принимается в качестве расчетной продолжительности КЗ при проверке электрических аппаратов и проводников на термическую стойкость при КЗ?

5. Какие средства защиты применяют от однофазных замыканий на стороне низкого напряжения?

6. Какие защиты используются для защиты синхронных и асинхронных электродвигателей?

7. С какой целью применяется устройство АВР?

8. При каких условиях обеспечивается надежная селективность последовательно включенных предохранителей?

Рекомендуемая литература

Более подробные сведения по данному вопросу можно получить в [1 - 5].

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Лыкин, А. В. Математическое моделирование электрических систем и их элементов : Учебное пособие / Лыкин А. В. – Новосибирск :

Новосибирский государственный технический университет, 2013. – 227 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. – ISBN 978-5-7782-2262-5

2. Стрельников, Н. А. Электроснабжение промышленных предприятий / Н.А. Стрельников. - Новосибирск : НГТУ, 2013. - 100 с. - ISBN 978-5-7782-2193-2,

3. Сибикин, Ю. Д. Основы электроснабжения объектов / Ю.Д. Сибикин. - М.|Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 328 с. - ISBN 978-5-4458-5750-1

Дополнительная литература

1. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – Москва : РадиоСофт, 2014. – 328 с. : ил. ; 21. – Библиогр.: с. 326-327. – ISBN 978-5-93037-208-3

2. Справочник по проектированию электрических сетей / [И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро] ; под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 376 с. : ил. – Библиогр.: с. 370-373. – ISBN 978-5-4248-0049-8

3. Шлейников, В. Б. Электроснабжение промышленных предприятий : практикум : учебное пособие / В.Б. Шлейников ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» ; Кафедра электроснабжения промышленных предприятий, 1. – Оренбург : ОГУ, 2012. – 99 с. : табл., схем. – <http://biblioclub.ru/>. – Библиогр.: с. 97.

Студентам предлагается выполнить курсовой проект по одной из следующих тем:

1. Электроснабжение завода цветной металлургии.
2. Электроснабжение авиазавода.
3. Электроснабжение цементного завода.
4. Электроснабжение меланжевого комбината.
5. Электроснабжение химзавода.
6. Электроснабжение мясокомбината.
7. Электроснабжение цементного завода.
8. Электроснабжение завода продольнострогальных станков.
9. Электроснабжение электроаппаратного завода.
10. Электроснабжение завода среднего машиностроения.
11. Электроснабжение вагоностроительного завода.
12. Электроснабжение моторного завода.
13. Электроснабжение котельного завода.
14. Электроснабжение машиностроительного завода.
15. Электроснабжение ремонтно-механического завода.
16. Электроснабжение комбината «Химволокно».
17. Электроснабжение геофизического оборудования.
18. Электроснабжение машиностроительного завода.
19. Электроснабжение механического завода.
20. Электроснабжение механического завода.
21. Электроснабжение завода сельскохозяйственного машиностроения.
22. Электроснабжение завода химических препаратов.
23. Электроснабжение котельного завода.
24. Электроснабжение механического завода.
25. Электроснабжение ремонтно-механического завода.

1
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ЗАВОДА ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Цех электролиза	150	5 - 100	14000
2	Цех регенерации	80	1 - 30	1700
3	Разливочный цех	30	5 - 50	880
4	Склад глинозема	30	10 - 30	370
5	Компрессорная:			
	а) 0,4 кВ	10	10 - 30	250
	б) синхр. двигат. 6 кВ	4	720	2880
6	Насосная:			
	а) 0,4 кВ	12	10 - 30	300
	б) синхр. двигат. 6 кВ	8	500	4000
7	Литейный цех	60	1 - 50	1800
8	Кузнечно-механический цех	40	10 - 80	550
9	См. данные цеха			
10	Котельная	40	1 - 80	800
11	Склад горючего	3	10	30
12	Склад хлорной извести	5	5-10	40
13	Энергоцех	40	1 - 40	350
14	Заводоуправление, столовая	30	1 - 30	350
15	Гараж автомашин	15	1 - 20	150

II
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ АВИАЗАВОДА

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Цех черного литья	120	20 - 100	2800
2	Цех цветного литья			
	а) эл. дуг. печи 5 т	2	по каталогу	по каталогу
	б) 0,4 кВ	80	10 - 20	1600
3	Цех обработки блоков двигателей	50	1,0 - 50	1200
4	Цех обработки поршней	100	1 - 28	720
5	Цех сборки и испытаний двигателей	50	5 - 100	2100
6	Штамповочный цех двигателей самолета	80	5 - 120	1800
7	Термический цех	100	1 - 80	1300
8	Инструментальный цех	50	1 - 40	500
9	Цех сборки самолетов	100	2 - 80	1400
10	См. данные цеха			
11	Компрессорная:			
	а) 0,4 кВ	10	10 - 40	250
	б) синх. двиг. 10 кВ	4	1000	4000
12	Заводоуправление, ЦЗЛ	50	1 - 100	800
13	Цех стального литья:			
	а) 0,4 кВ	100	1 - 100	2500
	б) электродуговые печи 10 т	4	по каталогу	по каталогу

III
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ЦЕМЕНТНОГО ЗАВОДА

Номер по Плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощ- ность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Отделение первич. дробления	15	10 – 30	310
2	Отделение втор. дроб- ления	11	10 – 50	270
3	Отделение сырьевых мельниц	60	20 – 50	2200
4	Шлакосушильное от- деление	16	5 - 40	350
5	Холодный конец печ- ного отдел.	35	20 – 150	2150
6	Горячий конец печно- го отделения	29	50 – 150	1850
7	Объединенный склад	30	10 – 80	1920
8	Отделение цементных мельниц	20	10 - 100	1250
9	Компрессорная, 10 кВ	4	1250	5000
10	Цементные силосы и упаковоч- ная	15	20 - 80	690
11	Отделение силосов сырьевой муки	20	14-100	1250
12	См.данные цеха			
13	Котельная	45	10 - 80	1370
14	Материальный склад	14	3,8 - 28	126
15	Цех сортировки и хра- нения мелющих тел	10	5 – 14	80
16	Столовая	35	1 - 30	580
17	Заводоуправление	35	1 - 20	200
18	Гараж	23	1 - 10	125

IV
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ МЕЛАНЖЕВОГО КОМБИНАТА

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощ- ность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Прядильный цех	250	1 - 40	4500
2	Ткацкий цех № 1	200	10 - 50	3800
3	Ткацкий цех № 2	200	1 - 50	4000
4	Красильный цех	100	3 - 40	4000
5	Котельная	50	10 - 20	1800
6	Механический цех	30	1 - 50	550
7	Электроремонтный цех	25	3,8 - 20	350
8	См. данные цеха			
9	Центральный склад	10	3 - 20	70
10	Заводоуправление	40	1 - 40	350
11	Гараж	20	1 - 20	280
12	Насосная			
	а) 0,4 кВ	20	1 – 25	150
	б) синхр. двигат 6 кВ	4	750	3000

V
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ХИМЗАВОДА

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Заводоуправление, столовая	30	1 - 40	420
2	Цех хлора и каустика	100	10 - 100	2800
3	Компрессорная:			
	а) 0,4 кВ	20	1 - 28	150
	б) синхр. двигат. 6 кВ	4	1250	5000
4	Цех хлорофоса	100	1 - 40	2100
5	Материальный склад	10	1 - 10	52
6	Насосная:			
	а) 0,4 кВ	10	10 - 20	100
	б) синхр. двигат. 6 кВ	2	1000	2000
7	Цех метилхлорида № 1	50	1 - 40	1600
8	Цех метилхлорида № 2	50	1 - 40	1700
9	Котельная	90	1 - 80	590
10	См. данные цеха			
11	Склад готовой продукции	6	1,0 - 14	50
12	Цех сульфата аммония № 1	40	1 - 28	50
13	Цех сульфата аммония № 2	50	1 - 80	1680
14	Цех сжигания газов	30	10 - 50	840
15	Цех синильной кислоты № 2	40	7 - 40	1090
16	Цех сульфата аммония № 2	30	1 - 50	900

VI
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ МЯСОКОМБИНАТА

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Колбасный завод	130	1 - 50	2800
2	Гофтера	25	1 - 28	450
3	Холодильник № 1	20	20 - 80	950
4	Завод первич. обработки продуктов	70	10-40	2100
5	Лайвоток	20	1 - 20	200
6	Завод технических фабрикатов	50	3 - 40	1100
7	Завод сыворотки	30	3 - 28	450
8	ЦВХУ:			
	а) 0,4 кВ	40	10 - 50	1300
	б) синхр. двигат. 10 кВ	4	1000	4000
9	Конденсатная	20	1 - 40	370
10	Институт научно-исслед.	30	1 - 40	500
11	Машиносчетная станция	20	10 - 30	240
12	Холодильник № 2	20	10 - 50	600
13	Заводоуправление	20	1 - 10	120
14	Ремонтно-механический цех	30	1 - 20	350
15	Энергоцех	20	10 - 40	370
16	См. данные цеха			
17	Прачечная	15	1 - 20	150

VII
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ЦЕМЕНТНОГО ЗАВОДА

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Насосная станция	6	40 - 120	480
2	Заводоуправление	15	1 - 40	180
3	Столовая	30	1 - 40	210
4	Цех хранения мелющихся тел	10	1 - 10	40
5	Ремонтно-механический цех	30	1 - 30	350
6	См. данные цеха			
7	Цех обжига	100	1 - 150	7000
8	Электрофильтры к печам	10	10 - 150	600
9	Склад клинкера	20	1 - 30	290
10	Цех дробления гипса	40	10 - 20	500
11	Цементный склад	15	10 - 50	280
12	Электрофильтры к барабану	4	20 - 25	85
13	Компрессорная			
	а) 0,4 кВ	10	10 - 20	150
	б) синхр. двигат. 10 кВ	4	1250	5000
14	Цех помола:			
	а) 0,4 кВ	35	10 - 100	2000
	б) синхр. двигат. 10 кВ	4	1000	4000
15	Сырьевой цех:			
	а) 0,4 кВ	25	10 - 100	1400
	б) синхр. двигат. 10 кВ	4	1500	6000
16	Склад известняка	10	1 - 40	170
17	Котельная	30	1 - 80	350
18	Цех первичного дробления	20	1 - 150	620
19	Химводоочистка	7	10	70
20	Цех вторичного дробления	20	1 - 150	510

VIII
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ЗАВОДА
ПРОДОЛЬНОСТРОГАЛЬНЫХ СТАНКОВ

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Механический цех мелких станков	300	1 - 40	4500
2	Механический цех крупных станков	100	1 - 80	2500
3	Механический цех уникальных станков	40	1 - 150	2800
4	См. данные цеха			
5	Сборочный цех	50	1 - 50	800
6	Чугунолитейный цех	150	1 - 20	4000
7	Цех цветного литья	50	1 - 80	1500
8	Заготовительно-сварочный цех	50	1 - 80	800
9	Термический цех	30	1 - 80	970
10	Компрессорная:			
	а) 0,4 кВ	15	10 - 80	300
	б) синхр. двигат. 10 кВ	4	1250	5000
11	Модельный цех	30	1 - 30	180
12	Заводоуправление, столовая	40	1 - 40	350
13	Главный магазин	10	1 - 10	50
14	Электроцех	30	1 - 40	200

IX
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОАППАРАТНО-
ГО ЗАВОДА

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Цех магнитных станций	280	1 - 100	6500
2	Заготовит. сварочный цех	200	10 - 100	8200
3	Цех пластмасс	100	1 - 120	2100
4	Цех нормалей	70	1 - 50	1850
5	Аппаратный цех	100	10 - 80	1700
6	Штамповочный цех	100	10 - 100	3800
7	Цех асбоцементных плит	50	10 - 40	850
8	Склад готовой продукции	15	1 - 20	85
9	Склад металлических отходов	15	1 - 14	70
10	Гальванический цех	50	10 - 40	1200
11	См. данные цеха			
12	Станция нейтрализации	10	10	100
13	Очистка кислотной канализации	3	10	30
14	Насосная	8	40 - 100	560
15	Столовая	30	1 - 40	270
16	Электроцех	25	1 - 40	150
17	Заводоуправление	20	1 - 20	130
18	Градиная	2	10 - 20	30
19	Склад кислот	2	10	20
20	Компрессорная:			
	а) 0,4 кВ	15	10 - 40	200
	б) синхр. двигатели 6 кВ	4	720	2880

X
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ЗАВОДА СРЕДНЕГО
МАШИНОСТРОЕНИЯ

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Цех металлопрокатный	75	5 - 100	1800
2	Механосборочный цех	150	2 - 70	1400
3	Литейный цех:			
	а) 0,4 кВ	100	20 - 120	2800
	б) эл. дуговые печи 10 т	2	см. по каталогу	см. по каталогу
4	Котельная	30	5 - 60	850
5	Кузнечно-прессовый цех	85	10 - 100	250
6	См. данные цеха			
7	Компрессорная:			
	а) 0,4 кВ	10	10 - 50	200
	б) синхр. двигат. 6 кВ	3	750	2250
8	Термический цех	150	1 - 150	2100
9	Механический цех	40	1 - 40	830
10	Заготовительно-сварочный	90	1 - 50	850
11	Склад	20	1 - 15	200
12	Заводоуправление, столовая	35	2 - 40	350
13	Транспортный цех	20	1 - 20	170

XI
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНОГО
ЗАВОДА

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Обливочный цех	30	0,57-20,9	200,1
2	Цех колесных пар	58	0,6-95	770,6
3	Ремонтно-механический цех	65	0,5-291,8	1520
4	Механический цех	135	0,4-223,1	2290,2
5	Вагоносборочный цех № 1	62	0,6-63,8	920,2
6	Малярный цех	13	0,96-62	210,5
7	Вагоносборочный цех № 2	16	0,9-29,2	191,7
8	Полускатнотележный цех	104	0,55-74,3	2130,2
9	Ремонтно-заготовительный цех	89	0,4-208	1600,2
10	Кузнечно-прессовой цех	48	0,5-30	580,4
11	Бытовой корпус	20	1-20	130
12	Блок вспомогательных устройств	70	1-40	320
13	Деревообрабатывающий цех	101	0,6-61	1140,2
14	Компрессорная	10	10-50	200
15	Административный корпус	20	1-20	150

XII
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ МОТОРНОГО ЗАВОДА

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Главный корпус:			
	а) Механическое отделение	750	2-70	11600
	б) Кузнечное отделение	185	10-100	2750
	в) Механосборочное отделение	300	2-70	4860
2	Лабораторно-бытовой корпус	70	2-40	654
3	Инструментально-механич. цех	80	1-40	2240
4	Транспортный цех	60	1-20	707
5	Компрессорная:			
	а) 0,4 кВ	10	10-50	250
	б) СД 6 кВ	4	12-50	5000
6	Ремонтно-механический цех	50	1-40	1450
7	Сварочно-сборочное отделение	50	1-80	1045
8	Деревообрабатывающий цех	40	1-30	450
9	Электроремонтный цех	30	1-10	260
10	Заготовительный и термич. цех	50	10-40	860
11	Администр.-бытовой корпус	35	2-40	350
12	Сталелитейный цех			
	а) 0,4 кВ	100	20-120	2880
	б) дуговые печи 10 т.	2	см. по каталогу	см. по каталогу
13	Кузнечно-прессовое отделение	120	10-100	1060
14	Цех ширпотреба	20	1-40	340
15	Цех консервации и комплектации	90	1-50	1895
16	Заводоуправление и проходная	35	2-10	290
17	Цех топливной аппаратуры	300	1-40	4852
18	Экспериментальный цех	35	1-40	445
19	Гальванический участок	25	1-10	250
20	Склад готовой продукции	20	1-15	140

XIII
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ КОТЕЛЬНОГО ЗАВОДА

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., Р _н	Суммарная, Р _н
1	Заводоуправление	20	1-10	31,7
2	Котельный цех 1	150	5-100	1660
3	Котельный цех 4	200	5-100	2260
4	Котельный цех 6	130	5-100	1320
5	Аэродинамический цех			
	а) 0,4 кВ	20	10-40	320
	б) СД 6 кВ	3	800	2400
6	Паросиловой цех	50	5-50	1450
7	Котельный цех 5	220	5-100	2420
8	Кузнечно-прессовой цех	120	10-80	1460
9	Арматурный цех	75	5-100	1720
10	Компрессорная	40	10-30	900
11	Инструментальный цех	100	3-40	1285
12	Котельный цех 2	280	5-100	2800
13	Автомобильный цех	45	3-30	480
14	Литейный цех	200	20-500	12280
15	Ремонтный цех	70	3-30	920
16	Тарный цех	50	3-30	720
17	Турбокомпрессорная:			
	а) 0,4 кВ	30	10-40	480
	б) СД 6 кВ	5	630	3150
18	Котельный цех 3	400	5-100	4960
19	Котельный цех 7	80	5-100	800
20	Механический цех	40	5-50	617,3

XIV
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., Р _н	Суммарная, Р _н
1	Сталелитейный:			
	а) 0,4 кВ	100	20-120	2800
	б) электродуговые печи 10 т.	4	см. по каталогу	см. по каталогу
2	Термообрубный цех	100	20-120	7853
3	Ремонтно-инструментальный цех	120	5-20	4297
4	Механосборочный цех	250	1-40	17611
5	Механический цех	150	5-20	2790,1
6	Склад крепителей	2	6	12
7	Шлакоудаление	2	24	48
8	Скрапоразделочный цех	26	5-24,7	381
9	Склад ГСМ и ЛВЖ	2	8	16
10	Склад стройматериалов	2	4	8
11	Компрессорная:			
	а) 0,4 кВ	20	1-28	150
	б) 6 кВ	6	570	3420
12	Склад масел	4	5	20
13	Кислородная станция	15	13,3	199,5
14	Склады ДОЦ и ИЗЛ	40	3-30	908
15	Модельный цех	17	1-44,1	580
16	Насосная станция перекачки			
	а) 0,4 кВ	10	1-20	100
	б) 6 кВ	2	1000	2000
17	Столовая	20	2,8-10	159,6
18	Заводоуправление	30	1-5	15
19	Цех безрельсового транспорта	25	1-8,7	208,8
20	Проходная	5	1-3	9

XV
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ РЕМОНТНО-МЕХАНИЧЕСКОГО
ЗАВОДА

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Литейный цех	73	5-100	2369,1
2	Главный корпус	136	1-150	6956,5
3	Механический цех	53	1-40	1513,8
4	Котельная	32	10-120	1825,9
5	Блок вспомогательных цехов	35	1-40	1007,9
6	Компрессорная 1	14	10-80	464,5
7	Компрессорная 2	14	10-80	464,5
8	Насосная 1	40	1-30	729,5
9	Насосная 2	35	1-45	1247,2
10	Административно - бытовой корпус	6	1-40	204,8
11	Склад ОКС	6	1-14	50
12	Склад угля	5	1-12	46
13	Склад лакокрасочных материал.	7	1-16	48
14	Склад мшашалита	4	1-10	36
15	Склады	8	1-12	41

XVI
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ КОМБИНАТА «ХИМВОЛОКНО»

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Главный материальный склад	10	1-14	60
2	Цех рекуперации	80	1-80	1600
3	Бензохранилище	4	1-14	40
4	Участок лакировки	100	1-40	4000
5	Целлофановый цех	40	1-80	1200
6	Химически цех № 1	50	1-50	1600
7	Гараж	20	1-28	260
8	Склад готовой продукции	10	3-20	80
9	Штапельное производство	200	1-50	4000
10	Цех кристаллизации	30	1-50	380
11	Компрессорная № 1			
	а) 0,4 кВ	20	1-28	150
	б) СД 6 кВ	2	1000	2000
12	Механический цех	30	1-40	600
13	Заводоуправление	40	1-40	380
14	Цех эластик	20	1-150	2100
15	Компрессорная № 2			
	а) 0,4 кВ	80	1-40	200
	б) СД 6 кВ	2	1000	2000
16	Химический цех № 2	50	1-80	1700
17	Кислотный цех	40	1-50	1000
18	Корпус бытовой	20	1-5	20
19	Вискозно-корд. производство	48	10-28	1230
20	Роторный корпус	30	1-40	360

XVII
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ЗАВОДА ГЕОФИЗИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Заводоуправление	30	1-17	210
2	Цех сборки	100	5-147	4700
3	Цех метрологии	40	5-250	6000
4	Гальваника	60	10-225	1500
5	Кузнечный цех	60	10-275	10500
6	Заготовительно - сварочный цех	200	10-200	20200
7	Штамповочный	50	5-176	3800
8	Ремонтно-механический цех	102	5-160	1635
9	Электроцех	50	3-170	3500
10	Энерго-механическая служба	42	5-219	5000
11	Литейный цех	10	10-650	3500
12	Очистные сооружения	10	10-170	700
13	Компрессорная	25	5-250	2000
14	Намоточный цех	4	5-30	80
15	Склад ОМТС	6	5-20	60
16	Гараж	10	3-28	180
17	Овощехранилище	5	5-20	60

XVIII
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО
ЗАВОДА

Номер по Плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Кузнечно-прессовый цех	169	1,1-150	11764
2	Механосборочный цех	240	1,1-157	18703
3	Литейный цех	225	1,1-150	16164
4	Металлопрокатный цех	360	0,6-145,7	22937
5	Инструментальный цех	86	1,1-10	379
6	Заводоуправление	201	0,6-6,6	661
7	Цех консервации и упаковки	173	0,6-10,1	836
8	Заготовительно-сварочный цех	68	0,6-30	785
9	Термический цех	287	1,1-150	27532
10	Механический цех	135	0,6-41	2276
11	Автотранспортный цех	17	0,6-3,6	220
12	Инженерный корпус	167	0,3-15	726
13	Котельная	49	0,4-108	934
14	Компрессорная:			
	а) 0,4 кВ	15	2,2-52	273
	б) 10 кВ	3	400	1200
15	Насосная оборотного водоснабжения	20	6-92	1929
16	Насосно-фильтровальная станция	30	1,1-20	221
17	Насосная производственного оборотного водоснабжения	34	6-40	549
18	Градиная	1	90	90
19	Станция очистки масел	15	7,75-54	373
20	Склад химикатов	2	4	8
21	Склад ГСМ и ЛВЖ	16	1,6-20	94
22	Склад готовой продукции	12	0,5-7,2	25
23	Блок складов	17	4,2-7,5	43
24	Столовая	20	3,7-53	297

XIX
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ МЕХАНИЧЕСКОГО ЗАВОДА

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Механосборочный цех	557	1-60	10160
2	Бытовые помещения	10	1-10	51,3
3	Заводоуправление	15	0,5-5	68,9
4	Механический цех	228	1-30	2709
5	Опытно-экспериментальный цех	205	10-100	4962
6	Цех сварки биметаллов	261	1,5-100	6150
7	Цех новых материалов	324	10-170	7020
8	Блок складов	26	3-35	114,8
9	Открытый склад	1	40,5	40,5
10	Автокомпрессорная станция 10 кВ:	10	1-28	150
	а) 0,4 кВ	2	см. по каталогу	см. по каталогу
	б) СД 10 кВ			
11	Кислородно-газификационная станция	2	1,5-20	41,5
12	Очистные сооружения вод	7	20-75	198,3
13	Насосная ст. оборотного водоснабж-я	9	10-100	211,6
14	Авт. насосная станция противопожарного водоснабжения	2	75	177
15	Овощехранилище	5	1-10	27,7
16	Градирия № 1	2	1-10	22
17	Градирия № 2	2	1-10	22
18	Столовая	32	5-80	330,7

XX
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ МЕХАНИЧЕСКОГО ЗАВОДА

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Цех режущего инструмента	149	1-34	2523
2	Цех эксплуатационного инструмента	200	1-80	2004
3	Инструментальный цех	190	2-51	1637
4	Электроремонтный цех	447	1-40	1860
5	Модельно-кокильный цех	250	3-40	1506
6	Ремонтно-механический цех	81	3-60	600
7	Административно-бытовой корпус	315	1-31	2340
8	Блок складов	100	2-40	871
9	Цех нестандартного оборудования	56	1-40	203,3
10	Столовая	23	2-53	192,6

XXI
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ЗАВОДА
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., Р _н	Суммарная, Р _н
1	Электроцех	30	1-10	380
2	Инструментальный цех	60	1-10	1000
3	Цех термообработки	50	1-40	1800
4	Цех нестандартного оборудования	30	1-40	400
5	Токарно-автоматный цех	250	2-70	2470
6	Сборочный цех	60	2-70	800
7	Штамповочный цех	150	5-40	2000
8	Компрессорная:			
	а) 0,4 кВ	10	10-50	450
	б) 6 кВ	4	1250	5000
9	Гальванический цех	250	1-20	4344
10	Механический цех	150	2-70	2600
11	Заводоуправление	50	1-10	160
12	Столовая - бытовая	35	1-20	320
13	ЦЗЛ - бытовые	50	1-10	300
14	Кузнечно-прессовый цех	150	10-100	3800
15	Склады	20	1-10	60
16	Тарный цех	30	1-20	200
17	Литейный цех:			
	а) 0,4 кВ	100	20-120	2800
	б) дуговые печи 5 т.	2	см. по каталогу	см. по каталогу

XXII
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ЗАВОДА ХИМИЧЕСКИХ
ПРЕПАРАТОВ

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., Р _н	Суммарная, Р _н
1	Цех №1	150	1-50	4200
2	Цех №2	60	1-50	1000
3	Цех №3	100	1-50	3500
4	Ремонтно-механический	52	0,12-90	730
5	Электроцех	20	0,12-10	150
6	Котельная	20	1-50	280
7	Компрессорная			
	а) 0,4 кВ	10	10-50	200
	б) 6 кВ	3	550	1650
8	Цех №8	10	1-50	600
9	Цех обессоливания	10	1-10	50
10	Цех столярный	20	3,8-10	50
11	Кислородная станция	20	5,5-20	100
12	Цех водоснабжения	15	1-20	150
13	ЦЗЛ	3	3	9
14	КИПиА	5	1-5,5	40
15	Гараж	10	1-5,5	50
16	Столовая	10	1-5,5	30
17	Заводоуправление	10	0,7-3,8	50
18	Склады	10	0,7-3,8	70
19	ОТК здравпункт	3	3	9
20	Цех вторичного дробления	20	1 - 150	510

XXIII
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ КОТЕЛЬНОГО ЗАВОДА

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Склад ГСМ	15	1-10	70
2	Склад вспомогательный	5	1-4	10
3	Склад тарного хранения	7	1-5	30
4	Автотранспортный цех	25	15-17	250
5	Склад цемента	30	3-10	250
6	Корпус 21-ЦМС	50	3-10	200
7	Инженерно-лабораторный корпус	40	3-10	250
8	Заводоуправление	30	1-7	100
9	Корпус административно-бытовой	30	1-10	160
10	Комбинат общественного питания	30	1-10	160
11	Овощехранилище	15	1-7	30
12	Склад арматуры	10	3-7	90
13	Кислородная станция	10	3-70	200
14	Градирня	6	3-7	40
15	Станция газификации	15	3-10	200
16	Корпус тарный	30	2,5-20	160
17	Корпус 3-Западный	300	1,5-30	3000
18	Склад тарного хранения ²	40	3-10	250
19	Корпус 4-КПЦ	200	1-10	600
20	Литейный цех	160	1-160	2500
21	Склад мазута	20	3-7	70
22	Испытательная станция	25	1-70	300
23	Склад готовой продукции	30	3-7	100
24	Корпус 2-Восточный	250	3-70	1200
25	Корпус 1-Главный	300	3-160	5000
26	Заготовительный цех	50	3-30	800

XXIV
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ МЕХАНИЧЕСКОГО ЗАВОДА

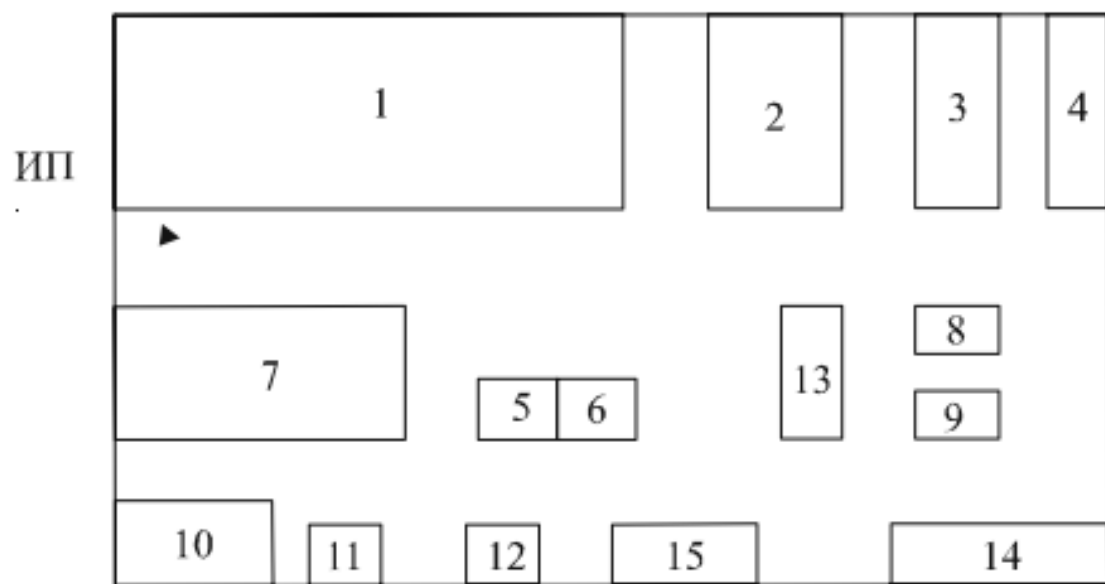
Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Электроцех	50	0,6-30	380
2	Инструментальный цех	95	1,5-28	1000
3	Цех термообработки	40	15-80	1800
4	Цех нестандартного оборудования	27	15-20	400
5	Токарно-автоматный цех	210	1,6-28	2470
6	Сборочный цех	38	0,6-30	800
7	Штамповочный цех	100	1,6-50	2000
8	Механический цех	1777	1-30	2600
9	Гальванический цех	120	1,5-200	2344
10	Компрессорный цех	6	77	450
11	Кузнечный цех	137	2,5-90	3800
12	Литейный цех	76	0,6-170	1689
13	Тарный цех	20	1-30	200
14	Склады	6	1-20	60
15	Заводоуправление	21	0,6-18	160
16	Столовая	32	1-14	320
17	Бытовые ЦЗЛ	29	1-20	300
18	Проходная			

XXV
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ РЕМОНТНО-МЕХАНИЧЕСКОГО
ЗАВОДА

Номер по плану	Наименование цехов и нагрузок	Количество эл. приемников	Установленная мощность, кВт	
			Одного эл. прием., P_n	Суммарная, P_n
1	Литейный цех	73	1-120	2270
2	Штамповочный цех	100	10-100	2000
3	Гальванический цех	120	10-40	2340
4	Механический цех № 2	86	1-30	970
5	Кузнечно-прессовый цех	137	1-80	3800
6	Механический цех № 1	53	1-90	1420
7	Электроремонтный цех	92	1-40	1100
8	Компрессорная № 1: а) 0,4 кВ	20	1-28	150
	б) СД 10 кВ	4	1250	5000
9	Компрессорная № 2: а) 0,4 кВ	20	1-28	150
	б) СД 10 кВ	4	1250	5000
10	Насосная № 1	40	10-160	730
11	Насосная № 2	35	10-200	1200
12	Административно-бытовой корпус	36	1-40	390
13	Склады	6	1-20	60

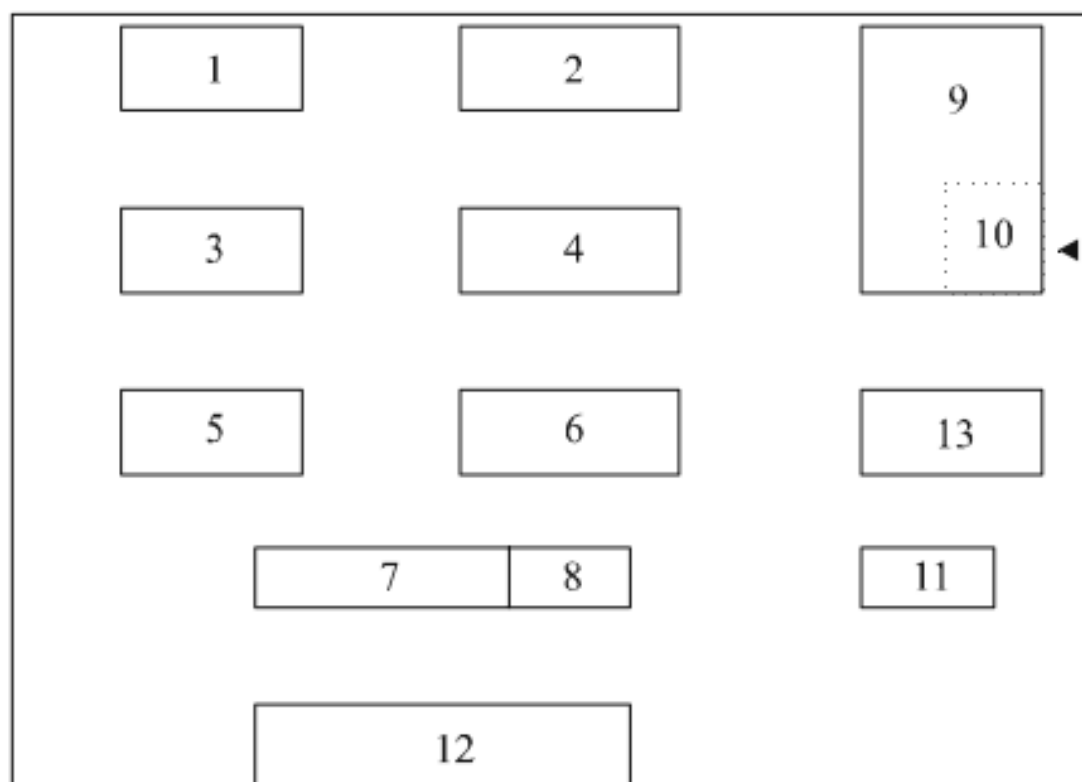
ГЕНЕРАЛЬНЫЕ ПЛАНЫ ЗАВОДОВ

I



Масштаб 1:5000

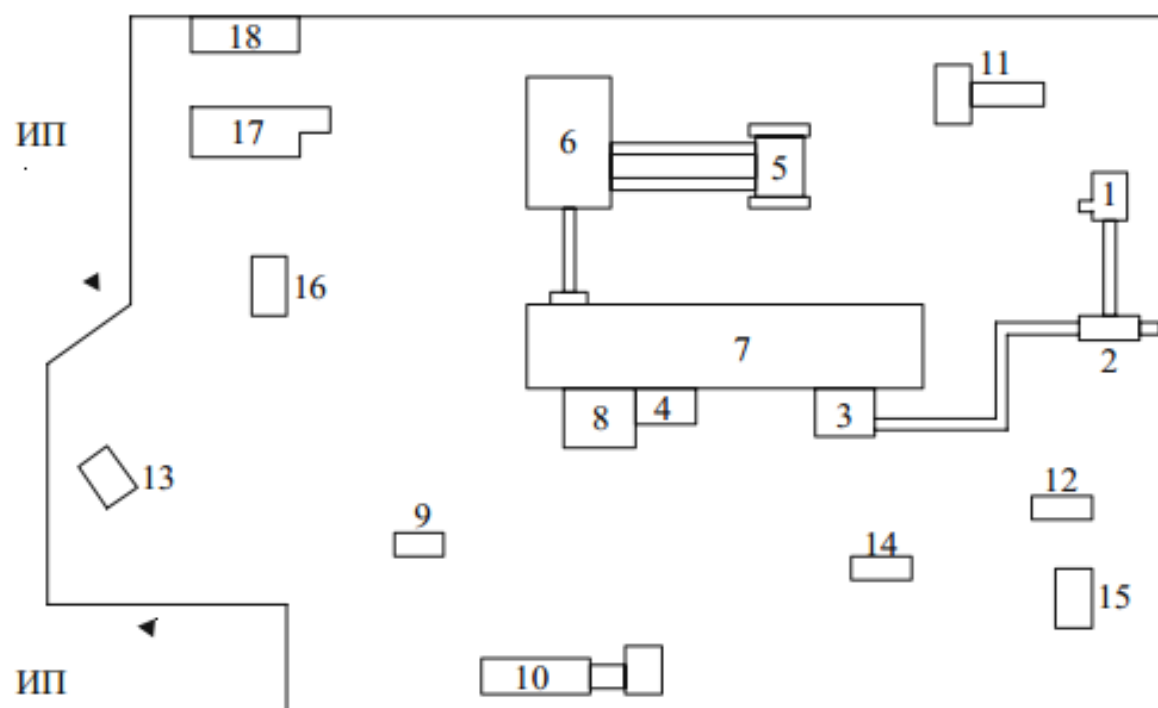
II



ИП

Масштаб 1:5000

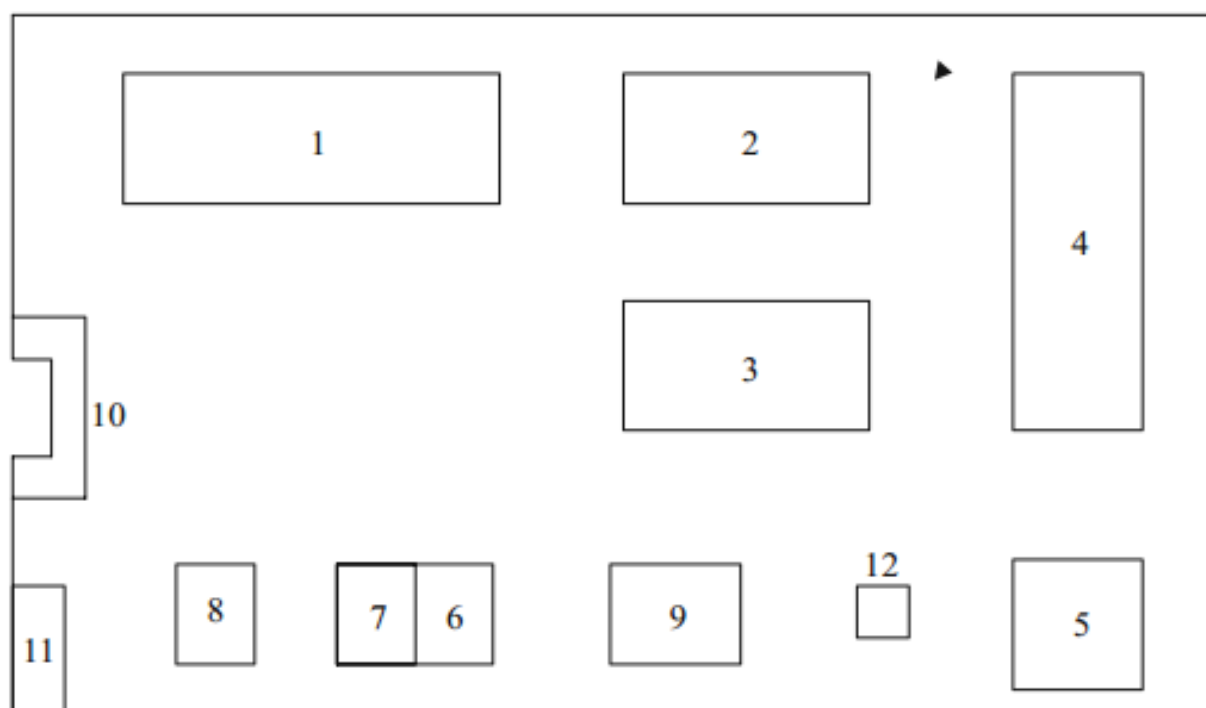
III



Масштаб 1:10000

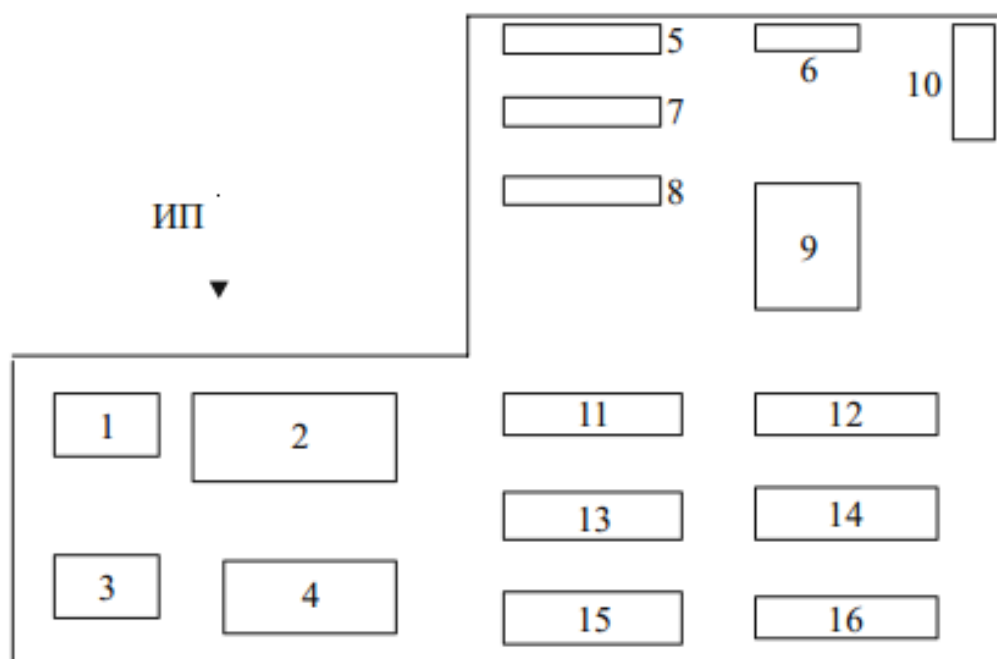
IV

ИП



Масштаб 1:5000

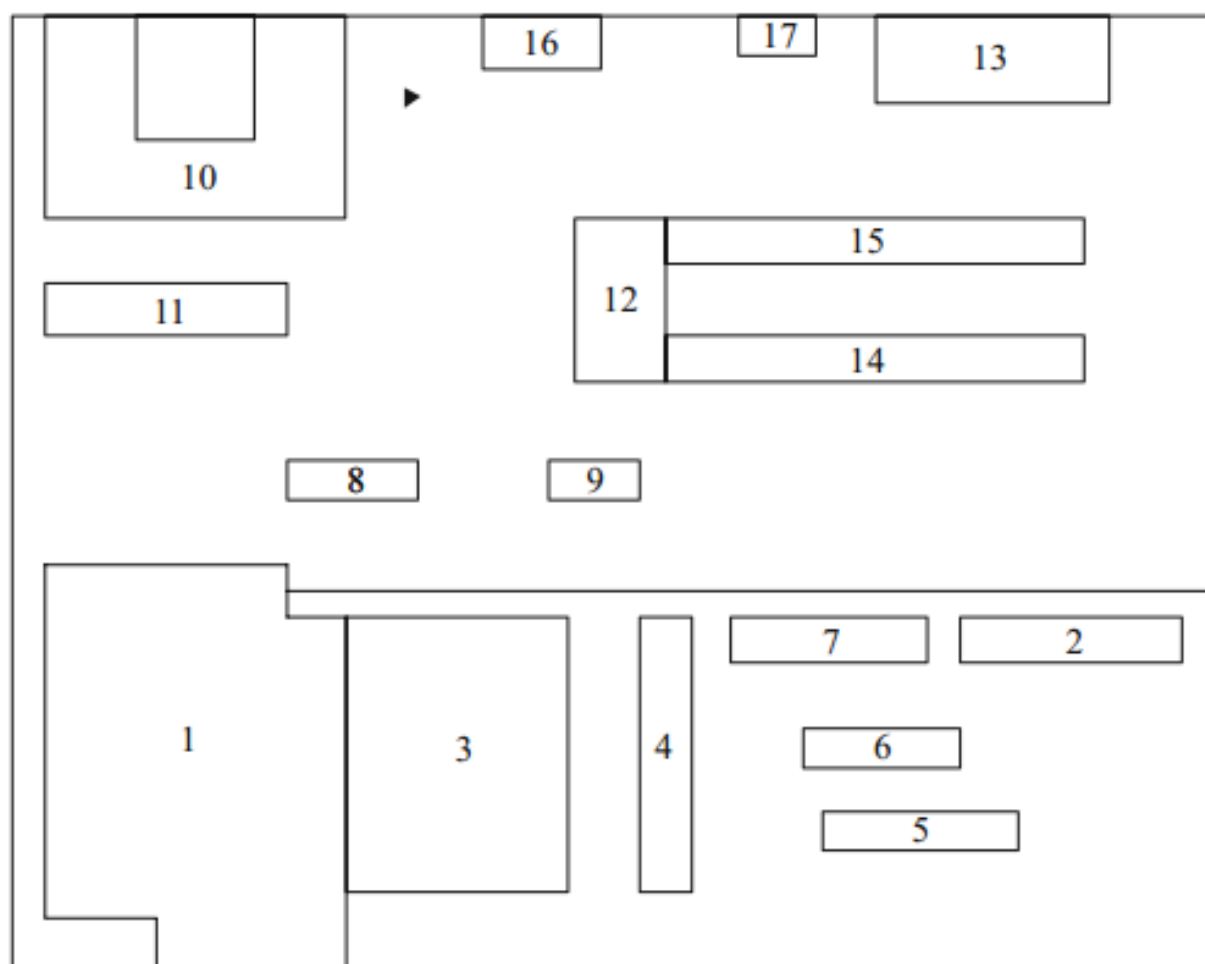
V



Масштаб 1:5000

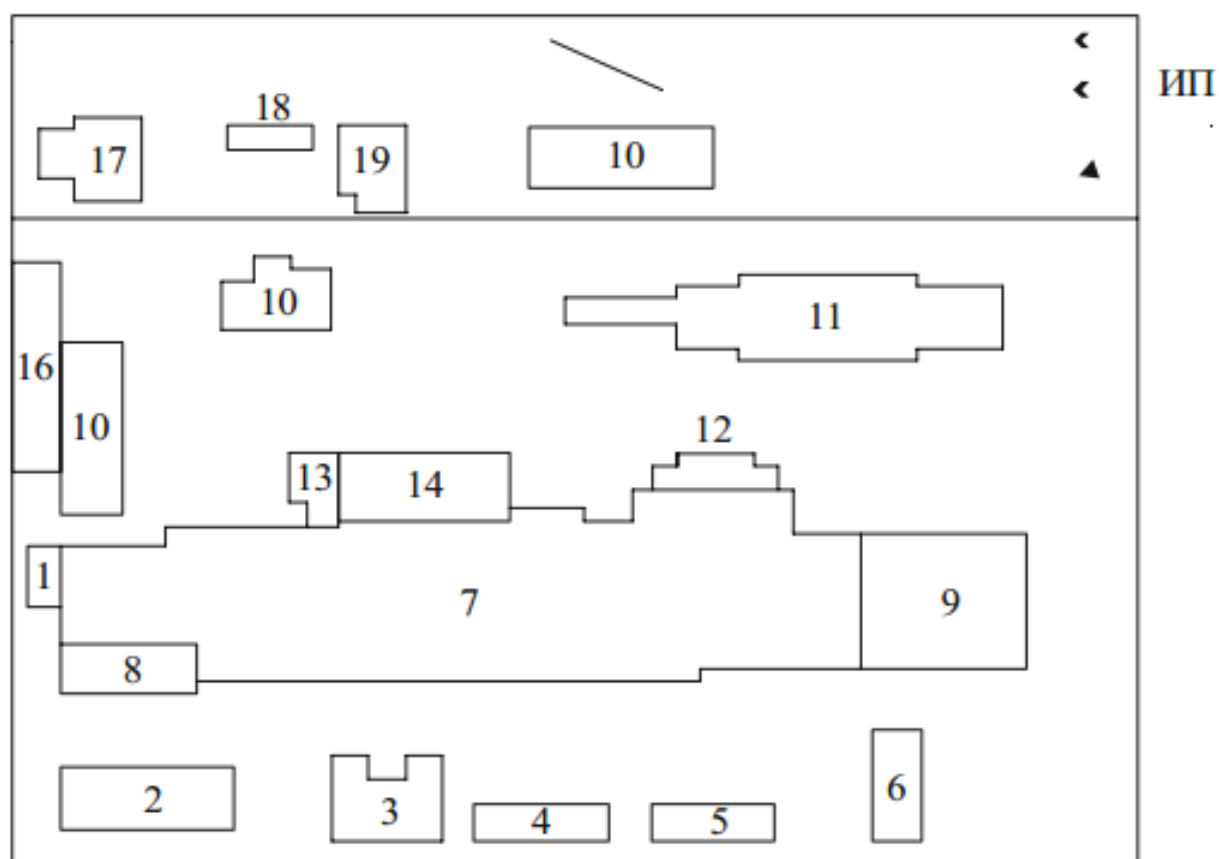
ИП

VI



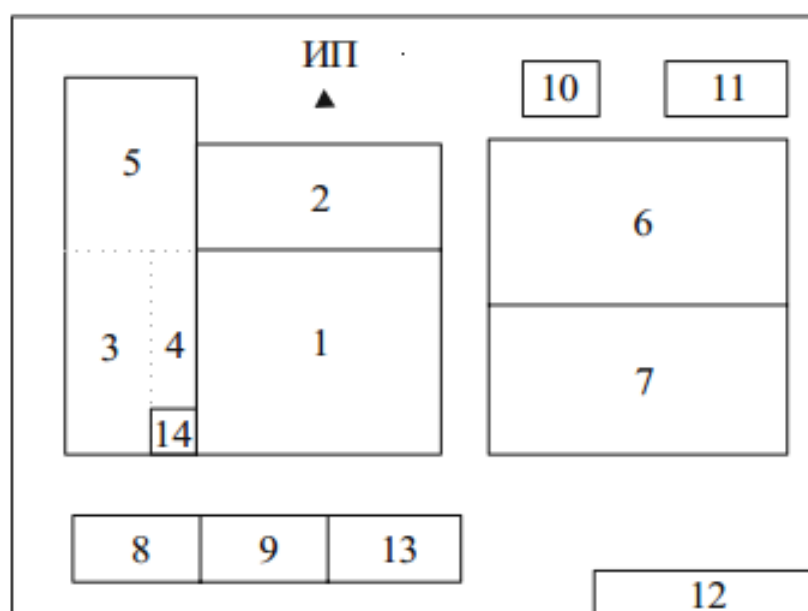
Масштаб 1:5000

VII



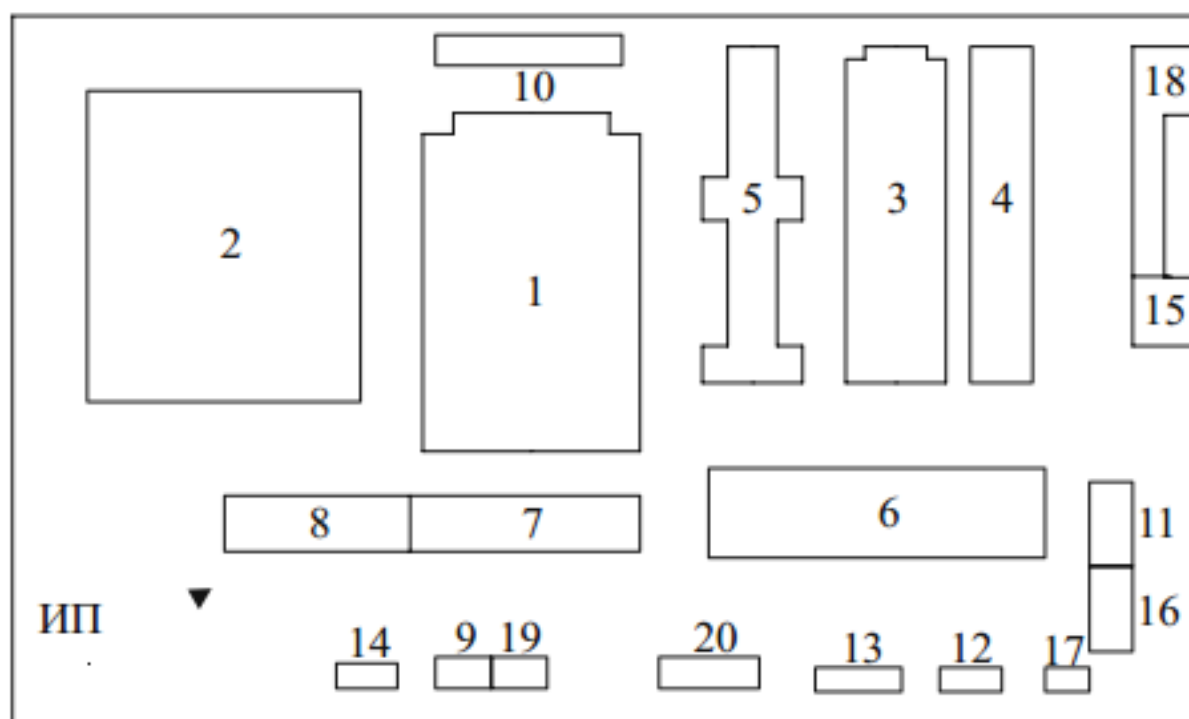
Масштаб 1:5000

VIII



Масштаб 1:5000

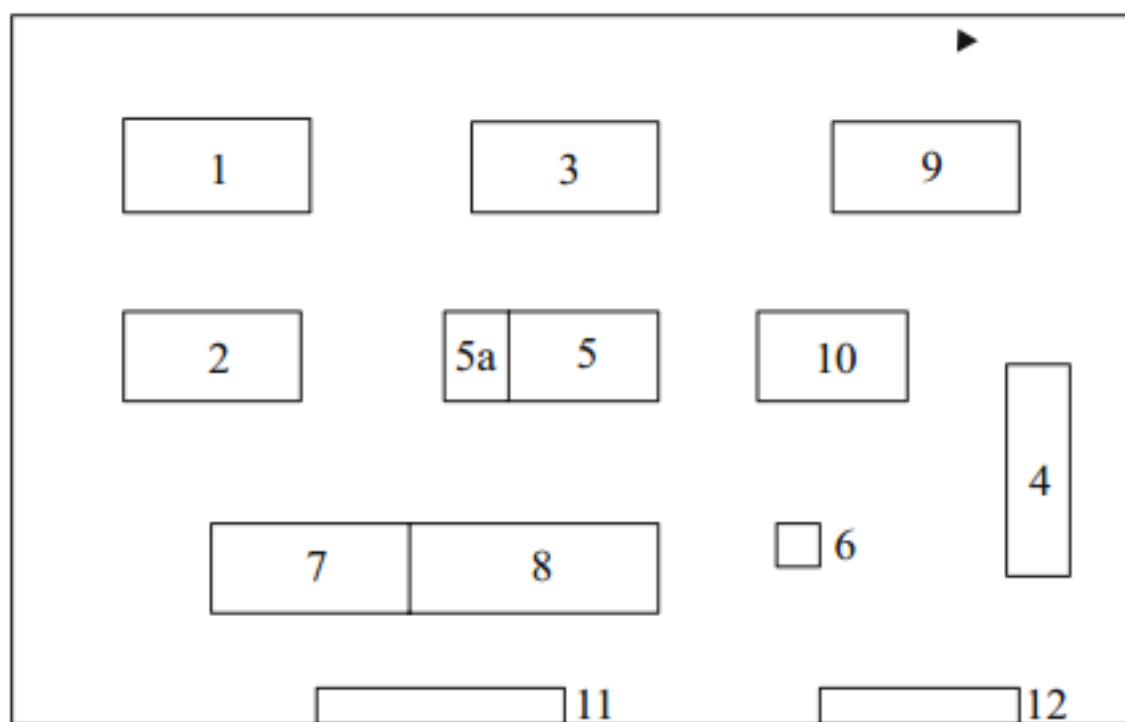
IX



Масштаб 1:5000

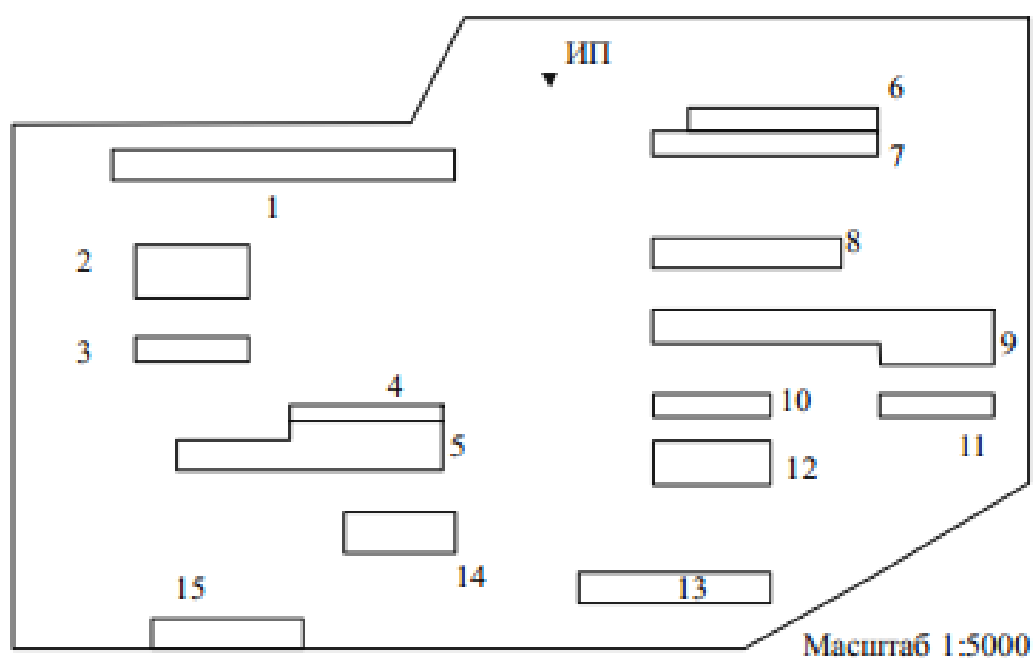
X

ИП

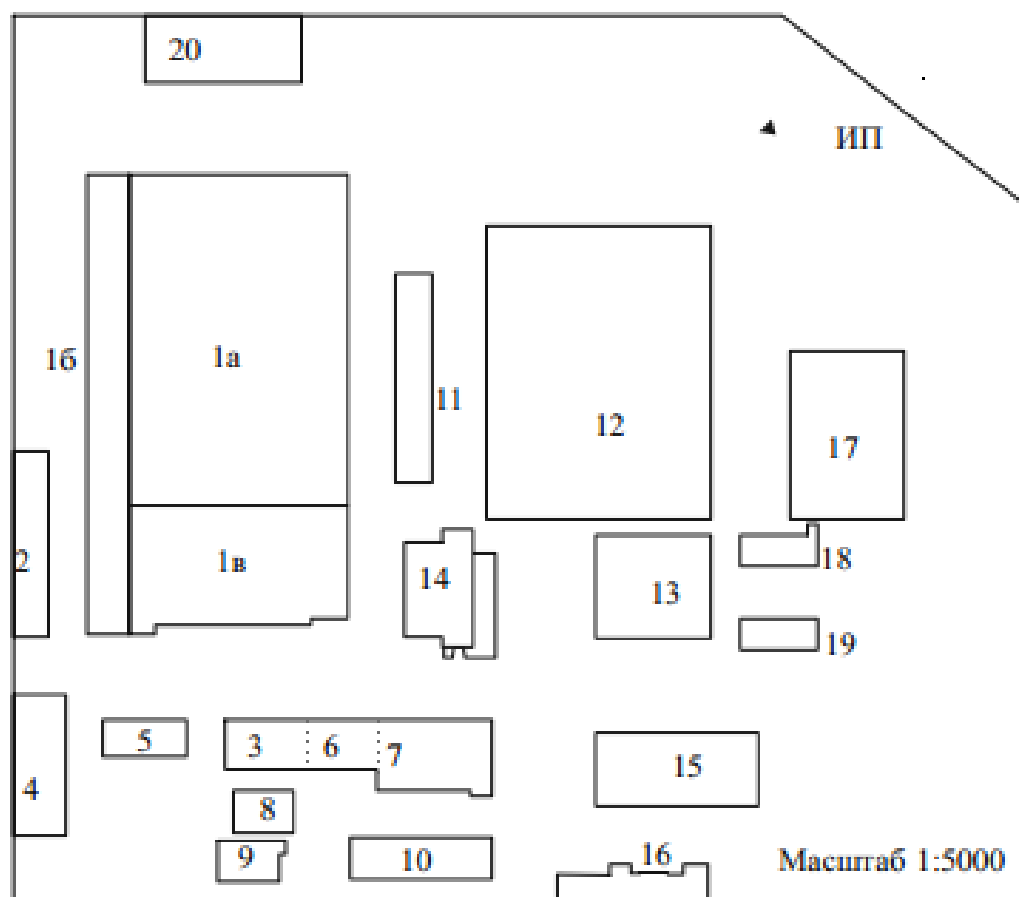


Масштаб 1:5000

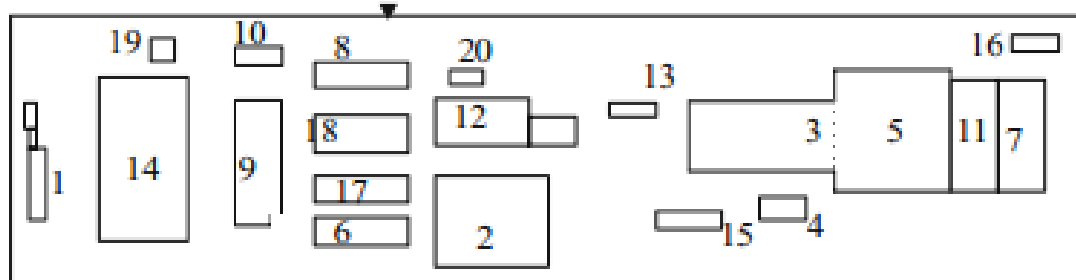
XI



XII



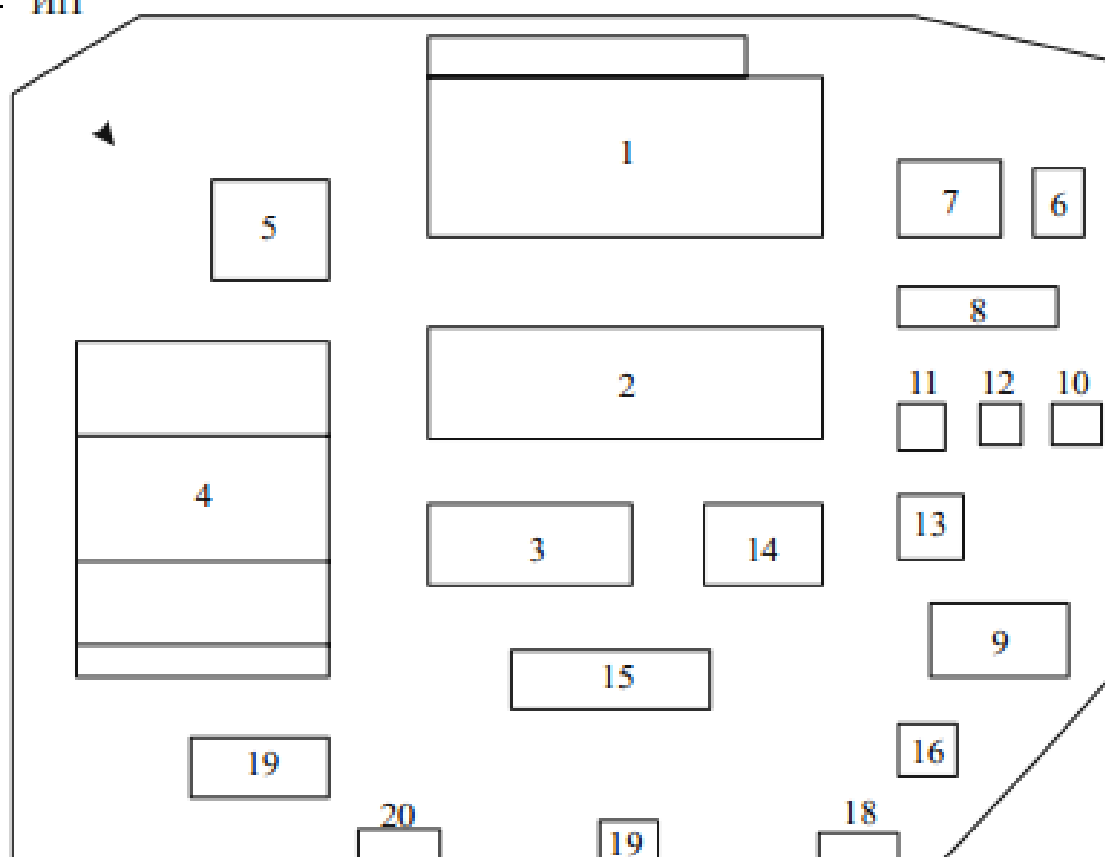
ИП XIII



Масштаб 1:10000

XIV

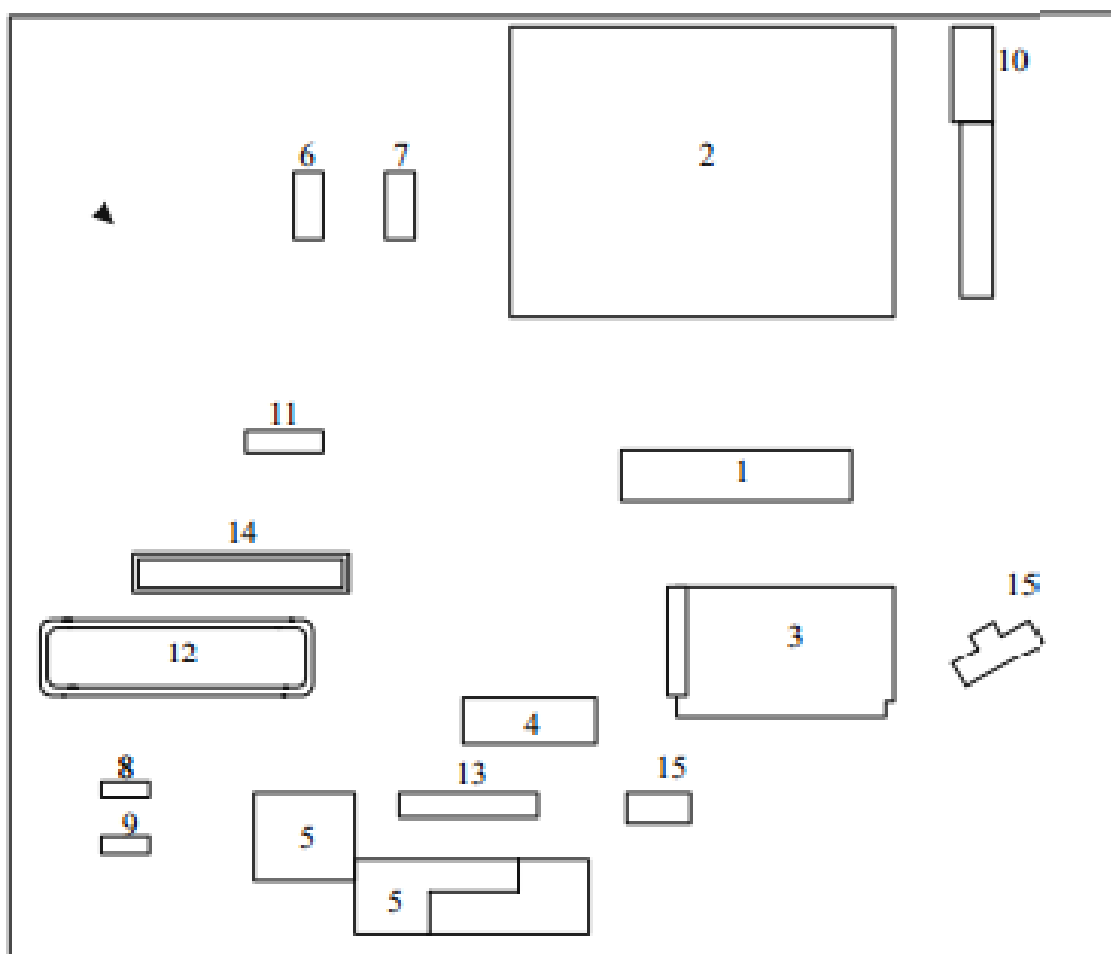
ИП



Масштаб 1:5000

XV

ИП



Машираб 1:5000

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Гринь А.И.

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Лабораторный практикум

13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки: «Электроснабжение»

Квалификация выпускника

Бакалавр

Ставрополь, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Исследование режимов работы нейтралей источников и приемников и приемников электроэнергии в сетях 0,4 – 10 кВ промпредприятий.....

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Исследование режимов работы электрооборудования при симметричной нагрузке

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 - Исследование режимов работы электрооборудования при несимметричной нагрузке

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 - Исследование влияния характера нагрузки на режим работы электрооборудования

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 «Изучение современного электрооборудования: Конструкции ГПП, РП, ТП».

Приложение

Введение

Настоящее учебное пособие предназначено для проведения лабораторного практикума по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий» у студентов, обучающихся по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Лабораторный практикум рассчитан на закрепление и расширение знаний, полученных при изучении наиболее трудоёмких и сложных теоретических разделов дисциплины.

Для достижения данной цели решаются следующие задачи:

- ознакомление с теоретическими и методологическими основами проектирования СЭС ПП;
- формирование способности обоснования проектных решений.
- изучение методов оптимизационного анализа систем электроснабжения промышленных предприятий;
- формирование системных и профессиональных компетенций по проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий;
- решение вопросов повышения энергоэффективности с учетом экологических требований;
- систематизация, углубление и расширение теоретических знаний и практических навыков;
- приобретение навыков пользования справочной и научной литературой, ГОСТами, каталогами и типовыми проектами.

Методические рекомендации разработаны в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования, рабочим учебным планом и рабочей программой дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий». Выполнение лабораторной работы включает в себя: подготовку к лабораторному занятию,

проведение эксперимента и обработку экспериментального материала с оформлением отчёта.

Каждый студент должен заранее подготовиться к выполнению лабораторной работы, для этого необходимо:

- изучить соответствующие разделы по учебнику или конспекту лекций;
- по материалам указаний к лабораторным работам ознакомиться с объектом исследования, регулирующей и измерительной аппаратурой.

Перед началом работы студент должен ответить на ряд вопросов, касающихся её выполнения; и получить разрешение руководителя занятий приступить к проведению эксперимента.

После окончания эксперимента каждый студент самостоятельно должен обработать данные опытов и подготовить отчёт по проделанной работе.

Отчёт должен содержать следующие пункты:

- номер, название и цель работы;
- перечень измерительных приборов с указанием технических данных;
- схемы соединения элементов исследования;
- таблицы результатов измерений с указанием единиц измерения и вычислений, расчётные формулы, необходимые расчёты;
- краткие выводы о проделанной работе.

На следующем занятии студент должен предоставить руководителю оформленный отчёт о проделанной работе и защитить её.

Основной литературой для выполнения лабораторных работ являются [1-3].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

Исследование режимов работы нейтралей источников и приемников и приемников электроэнергии в сетях 0,4 – 10 кВ промпредприятий

Цель работы: изучение физических процессов, происходящих в СЭС при и различных способах заземления нейтралей, изучение особенностей работы сетей 10-0,4 кВ СЭС с различным соединением нейтралей.

Теоретическая часть

В связи с ростом мощности источников питания и потребления электроэнергии промышленными установками все более высокие требования предъявляются к надежности систем электроснабжения, зависящей в значительной мере от режима нейтрали источников и приемников трехфазного тока, обмотки которых соединены в звезду или зигзаг.

Наиболее частым повреждением в системе электроснабжения (более двух третей всех повреждений) является однофазное замыкание на землю – случайное электрическое соединение находящихся под напряжением частей электроустановки с заземленными конструктивными частями или непосредственно с землей.

Международной электротехнической комиссией (МЭК) рекомендована следующая классификация систем в зависимости от способа заземления нейтрали:

- 1) система с изолированной нейтралью (рисунок.1.1. а)
- 2) резонансно-заземленная система (рисунок. 1.1. б)
- 3) система с заземленной нейтралью (наглухо, через активное или реактивное сопротивление - соответственно, рисунок.1.1. в, г, д)

В трехфазной системе единица длины сети обладает емкостью и сопротивлением изоляции по отношению к земле.

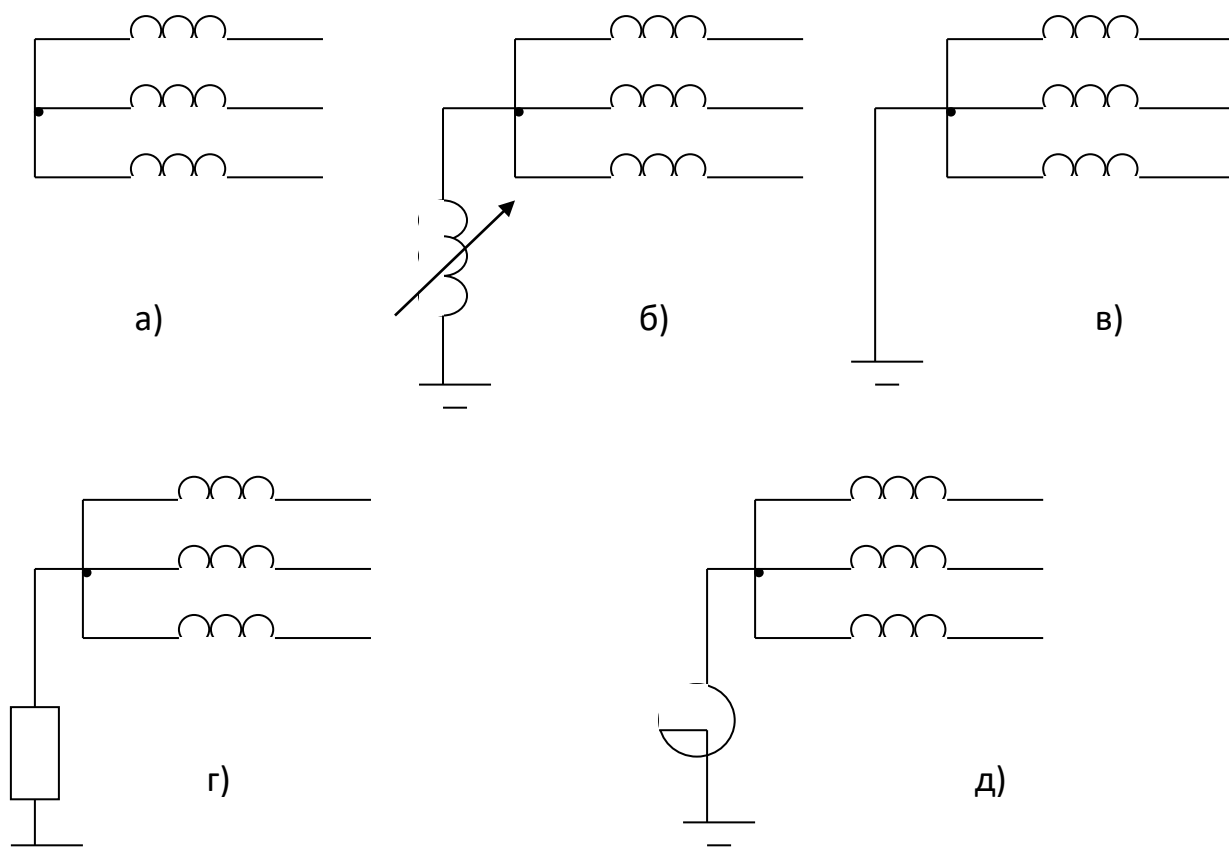


Рисунок 1.1. – Способы заземления нейтралей

Электроустановки в отношении мер электробезопасности разделяют на:

- электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с глухозаземленной или эффективно заземленной ;
- электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор или резистор нейтралью;
- электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью;
- электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью

Выбор того или иного режима нейтрали электроустановок является результатом учета многих технико- экономических факторов конкретной

системы электроснабжения. При выборе способа заземления нейтрали должны учитываться следующие требования:

1. надежность работы сетей;
2. бесперебойность электроснабжения приемников электроэнергии;
3. экономичность системы;
4. возможность устранения опасных перенапряжений;
5. ограничение электромагнитного влияния на линии связи;
6. безопасность системы;
7. возможность дальнейшего развития системы без значительной реконструкции.

В электроустановках напряжением до 1000 В применяются следующие режимы нейтрали:

- 1) глухое заземление нейтралей трансформаторов;
- 2) полностью изолированная нейтраль (только у генераторов);
- 3) нормально изолированная нейтраль трансформатора включенным в нейтраль или фазу заземленным пробивным предохранителем.

В четырех проводных сетях переменного тока (220/127 и 380/220 В) или трех проводных сетях переменного тока глухое заземление обязательно; при номинальном напряжении 500 и 660 В электроустановок трехфазного тока нейтраль должна быть изолирована. В трехфазных трех проводных сетях напряжением 380 и 220 В применяется и изолированная, и глухозаземленная нейтраль (ПУЭ не регламентирует запрещение того или иного режима нейтрали). Однако выбор того или иного режима нейтрали должен проводиться с учетом всех местных условий с целью обеспечения наилучших условий безопасности.

Системы с глухозаземленной нейтралью.

Глухозаземленная нейтраль – нейтраль трансформатора или генератора, присоединена непосредственно к заземляющему устройству. Глухозаземленным может быть также вывод источника однофазного тока в двухпроводных сетях, а также средняя точка в трехпроводных сетях постоянного тока.

Основные достоинства систем с глухим заземлением нейтрали заключаются в следующем:

- 1) стабилизируется потенциал нейтрали и устраняется возможности появления устойчивых заземляющих дуг и связанных с ними последствий;
- 2) обеспечивается работа изоляции при замыкании на землю и переходных процессах, что дает возможность либо снижения уровня изоляции (а следовательно, экономии в затратах), либо повышения надежности работы установок вследствие большего запаса прочности в изоляции, при сохранении уровня изоляции по сравнению с другими способами заземления нейтрали;
- 3) обеспечивается выполнение четкой, надежной, селективной и быстродействующей релейной защиты;
- 4) облегчается эксплуатация систем в отношении режима нейтралей.

Однако система с глухим заземлением нейтрали имеет некоторые недостатки, которые заключаются в следующем:

- 1) любое однофазное замыкание на землю является к.з. и релейная защита немедленно отключает поврежденный участок, т.е. нарушается бесперебойность электроснабжения, что требует для ограничения бестоковых пауз применения быстродействующих устройств АПВ и выполнения системы с резервированием для наиболее ответственных потребителей (повышение затрат, дополнительные капиталовложения и ущерб от недоотпуска продукции);

- 2) значительное электромагнитное влияние на линии связи, что приводит к увеличению затрат на защиту последних;
- 3) некоторое удорожание релейной защиты в связи с устройством ее в трехфазном исполнении;
- 4) токи к.з. могут достигать очень больших значений (превышать токи трехфазных к.з.) при замыканиях на землю, что является причиной динамических разрушающих усилий, распространяющихся на значительную часть системы (повреждения железа статора генератора при пробое изоляции на корпус, разрыва оболочек кабелей, разрушение гирлянд изоляторов на воздушных ЛЭП и т.п.);
- 5) при больших токах к.з. уменьшается синхронизирующий момент (синхронные двигатели могут затормозиться, а параллельно работающие станции – выйти из синхронизма);
- 6) опасность поражения людей вследствие больших напряжений прикосновения и шага из-за токов к.з. при однофазном замыкании на землю;
- 7) значительное увеличение затрат на заземляющие устройства.

Уменьшение токов однофазного к.з. в системе с глухозаземленной нейтралью достигается за счет разземления нейтрали у некоторых трансформаторов системы, либо введением в нейтраль токоограничивающего сопротивления (активного R или индуктивного wL).

Разземление нейтралей у части трансформаторов системы преследует цель уменьшить ток однофазного к.з. до величины тока трехфазного к.з., определяющего необходимую отключающую способность выключателей. Выбор подходящих точек и мощности разземленных трансформаторов (с учетом сохранения надежности, четкости и избирательности релейной защиты и достаточной степени заземленности) при различных условиях эксплуатации весьма сложен и выполняется с использованием моделей сетей.

Однако в некоторых случаях уменьшение числа глухозаземленных нейтралей не достигает цели, а эксплуатация системы усложняется. Например, при замыкании на землю вблизи трансформатора с короткозамкнутой нейтралью при питании его от источника бесконечной мощности обмотки трансформатора подвергаются значительным механическим повреждениям. В таком случае приходится прибегать к заземлению нейтрали трансформаторов системы через сопротивление того или иного рода. Но при этом полностью освободиться от перенапряжений или повышения напряжения «здоровых» фаз относительно земли в аварийных режимах не удаются.

Системы с изолированной нейтралью.

Изолированная нейтраль трансформатора или генератора, не присунукоединенная к заземляющему устройству или присунукоединенная к нему через большое сопротивление приборов сигнализации, измерения, защиты и других аналогичных им устройств.

Токи однофазного замыкания на землю в системе с изолированной нейтралью малы по сравнению с токами нагрузки сами по себе не опасны для системы. Кроме того, в аварийном режиме работа приемников электроэнергии не нарушается, так как треугольник линейных напряжений остается без изменений и лишь перемещается параллельно самому себе в соответствии с перемещением смещения нейтрали (рисунок. 1.2). Возможность бесперебойного электроснабжения приемников в аварийном режиме однофазного замыкания на землю является основным преимуществом системы с изолированной нейтралью.

Однако это преимущество можно использовать без ущерба для срока службы изоляции лишь в тех случаях, когда работа установок с замыканием на землю ограничена сравнительно небольшим периодом времени, необходимым для отыскания и устранения повреждения (не более двух

часов) , а ток замыкания на землю невелик. Длительная работа системы с замкнутой на землю фазой недопустима, так как в случае повреждения изоляции относительно земли какой-либо другой фазы возникает двухфазное к.з. на землю, вызывающее протекание большого тока к.з., способного привести к значительным повреждениям электроустановок. Поэтому в системах с изолированной нейтралью необходимо предусматривать устройства контроля изоляции и специальные сигнальные или защитные устройства, работающие на сигнал или даже на отключение поврежденного участка, что приводит к дополнительным затратам.

Основными недостатками систем с изолированной нейтралью является:

- 1) повышенные капитальные вложения, вызываемые требуемым уровнем изоляции электроустановок (увеличение напряжения неповрежденных фаз относительно земли до линейного напряжения установки при однофазном замыкании на землю);
- 2) возможность замыкания фазы на землю через электрическую дугу электрическую дугу и появления перемещающихся дуг, имеющих при определенных условиях устойчивый характер и вызывающих перенапряжения, превосходящие в (2.5 – 3.2) раза нормальное фазное напряжение, которые распространяются на всю электрически связанную сеть.

Возникновение электрической дуги в месте замыкания на землю может повредить электрооборудование и вызвать двух- и трехфазные к.з., а перенапряжения могут привести к пробое изоляции и образованию к.з. в частях установок с ослабленной изоляцией. Следствием этого является неизбирательное действие релейной защиты, что влечет за собой увеличение числа аварийных отключений (в том числе и неповрежденных участков), приводящих иногда к полному «развалу» системы электроснабжения. Кроме того, возникает опасное электромагнитное влияние на линии связи,

значительно возрастают градиенты напряженности вблизи места повреждения и, следовательно, напряжения прикосновения и шага, на что система с изолированной нейтралью обычно не рассчитывается.

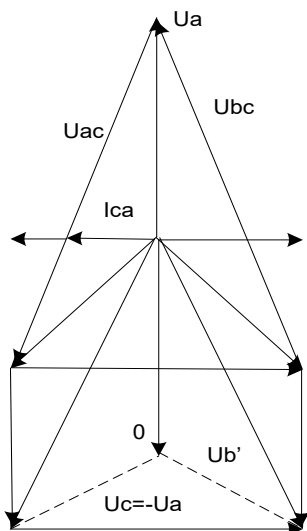


Рисунок.1.2 – Векторная диаграмма

Для электроустановок напряжением до 1кВ приняты следующие обозначения:

Система TN- система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухо заземленной нейтрали источника по средствам нулевых защитных проводников.

Система TN-C – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении (рисунок.1.3.).

Система TN-S- система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении (рисунок. 1.4.).

Система TN-C-S-система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания (рисунок 1.5.)

Система IT-система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены (Рисунок 1.6.).

Система TT- система, в которой нейтраль источника питания глухозаземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника (Рисунок 1.7.)

Первая буква- состояние нейтрали источника питания относительно земли:

T- заземленная нейтраль;

I- изолированная нейтраль.

Вторая буква- состояние открытых проводящих частей относительно земли:

T- открытые проводящие части заземлены, независимо от отношения к земле нейтрали источника питания или какой-либо точки питающей сети;

N- открытые проводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания.

Последующие (после N) буквы- совмещение в одном проводнике, или разделение функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

S-нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE) проводники разделены;

C- функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (PEN- проводник);

N- -нулевой рабочий (нейтральный) проводник;

РЕ- -защитный проводник (заземляющий проводник, нулевой защитный проводник, защитный проводник системы уравнивания потенциалов);

PEN- -совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник.

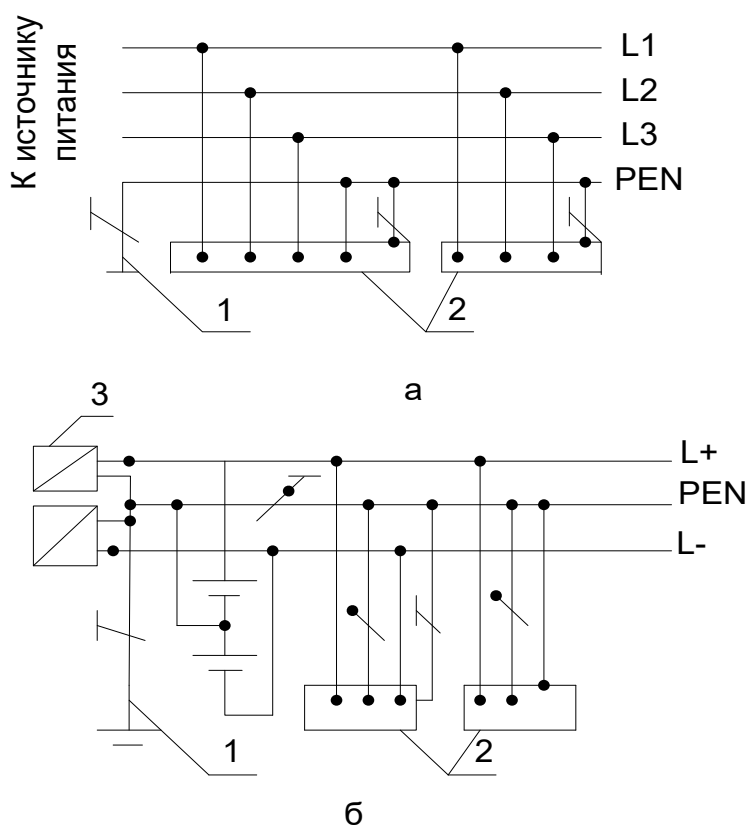


Рисунок.1.3. Система TN-C- переменного (а) и постоянного (б) тока. Нулевой защитный и рабочий проводники совмещены в одном проводнике:

1-заземлитель нейтрали (средней точки) источника питания;

2-открытые проводящие части;

3-источники питания постоянного тока.

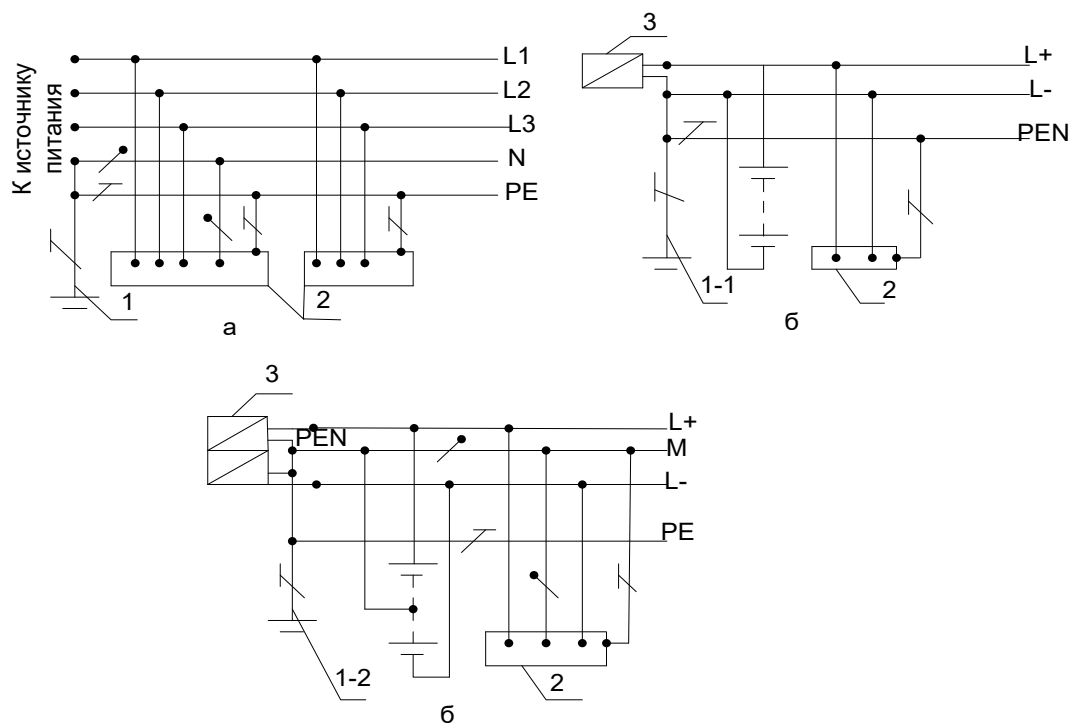


Рисунок.1.4. Система TN-S переменного (а) и постоянного (б) тока. Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены:

- 1-заземлитель нетрали источника переменного тока;
- 1-1-заземлитель вывода источника постоянного тока;

- 1-2-заземлитель средней точки источника постоянного тока;
 2-открытые проводящие части;
 3-источник питания.

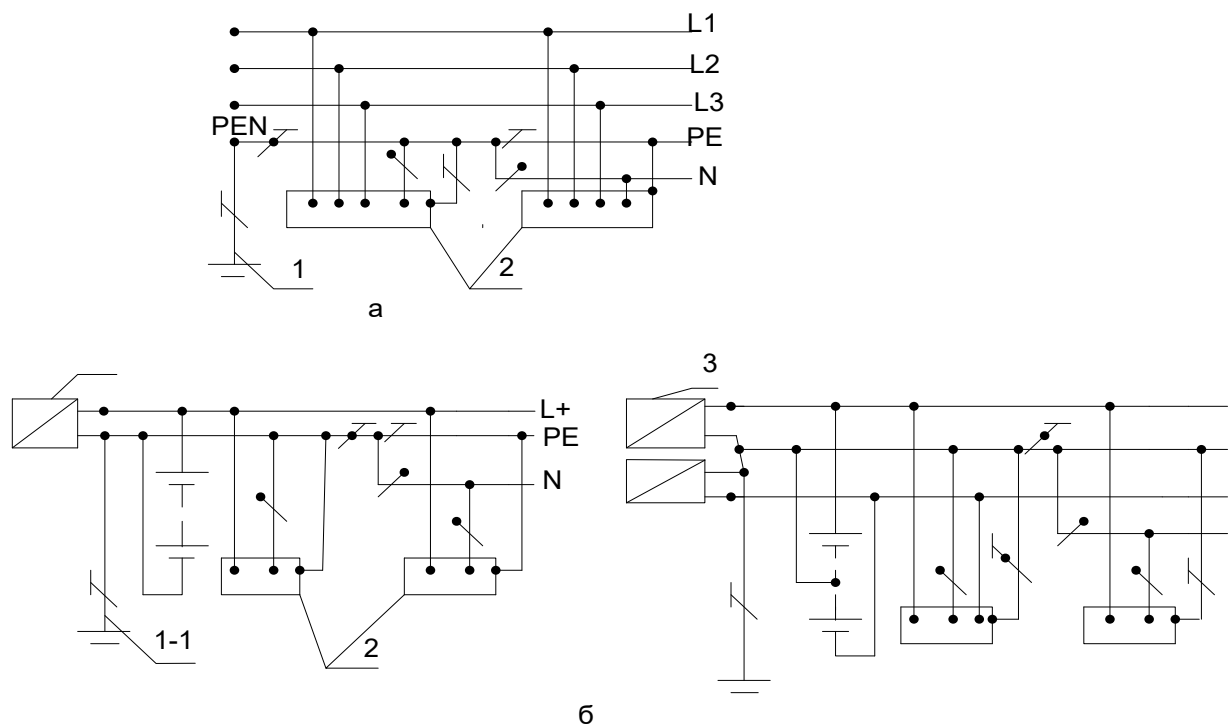


Рисунок.1.5. Система TN-C-S переменного (а) и постоянного (б) тока. Нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике в части системы:

- 1- заземлитель нейтрали источника переменного тока;

- 1-1-заземлитель вывода источника постоянного тока;
- 1-2-заземлитель средней точки источника постоянного тока;
- 2-открытые проводящие части;
- 3-источник питания.

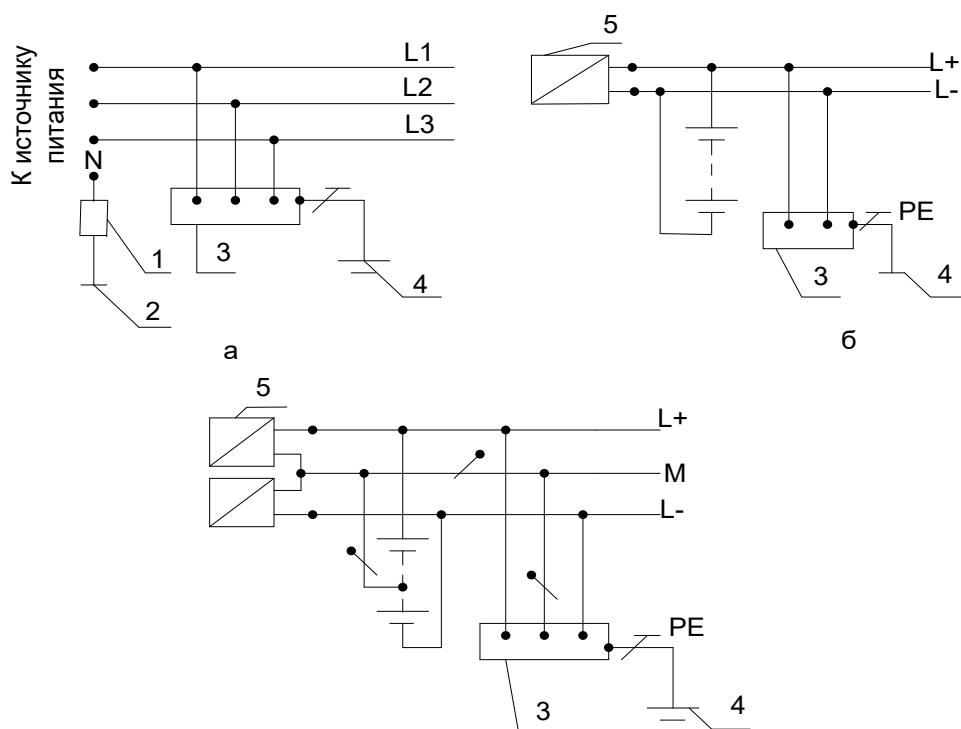


Рисунок.1.6. Система переменного (а) и постоянного (б) тока. Открытые проводящие части электроустановки заземлены. Нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через большое сопротивление:

- 1-сопротивление заземления нейтрали источника питания (если имеются);
- 2-заземлитель;

3-открытые проводящие части;

4-заземляющее устройство электроустановки;

5-источник питания.

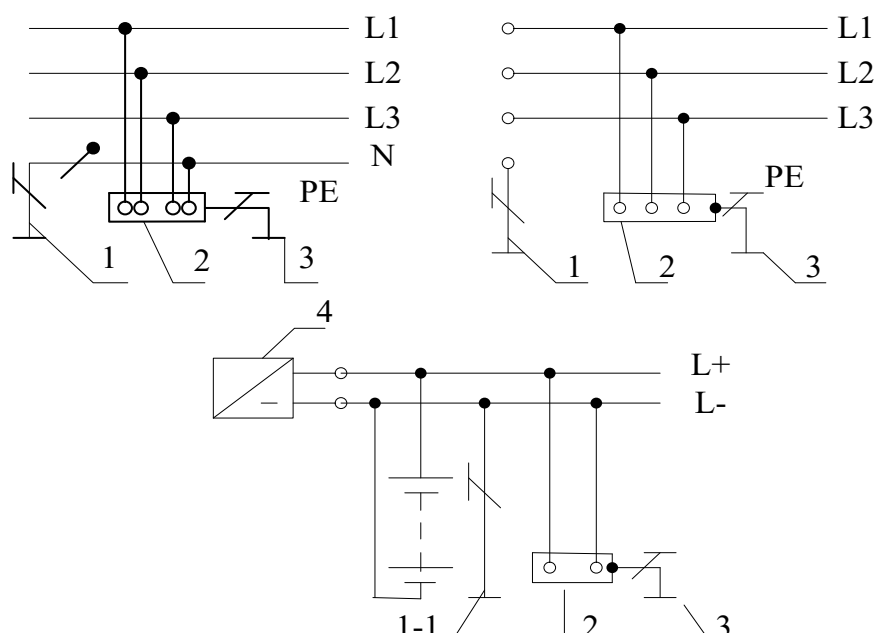


Рисунок.1.7. Система ТТ – переменного (а) и постоянного (б) тока. Открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземления, электрически независимого от заземлителя нейтрали:

1-Заземлитель нейтрали источника переменного тока;

1-1-заземлитель вывода источника постоянного тока;

2-открытые проводящие части;

3-заземлитель открытых проводящих частей электроустановки; 4-источник питания.

Для заземления в электроустановках разных назначений и напряжений, территориально сближенных, следует, как правило, применять одно общее заземляющее устройство.

Заземляющее устройство, используемое для заземления электроустановок одного или разных назначений и напряжений, должно удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к заземлению этих электроустановок: защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции, условиям режимов работы сетей, защиты электрооборудования от перенапряжения и т.д. в течение всего периода эксплуатации.

В первую очередь должны быть соблюдены требования, предъявляемые к защитному заземлению.

Заземляющие устройства защитного заземления электроустановок зданий и сооружений, как правило, должны быть общими.

Электроустановки напряжением до 1 кВ жилых, общественных и промышленных зданий и наружных установок должны, как правило, получать питание от источника с глухозаземленной нейтралью с применением системы TN.

Требования к выбору систем TN-C, TN-S, TN-C-S для конкретных электроустановок приведены в соответствующих главах ПУЭ.

Питание электроустановок напряжением до 1 кВ переменного тока от источника с изолированной нейтралью с применением системы IT следует выполнять, как правило, при недопустимости перерыва питания при первом замыкании на землю или на открытые проводящие части, связанные с системой уравнивания потенциалов. В таких электроустановках для защиты при косвенном прикосновении при первом замыкании на землю должно

быть выполнено защитное заземление в сочетании с контролем изоляции сети или применены УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА. При двойном замыкании на землю должно быть выполнено автоматическое отключение питания.

Питание электроустановок напряжением до 1 кВ от источника с глухозаземленной нейтралью и с заземлением открытых проводящих частей при помощи заземлителя, не присоединенного к нейтрали (система TT), допускается только в тех случаях, когда условия электробезопасности в системе TN не могут быть обеспечены. Для защиты при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания с обязательным применением УЗО. При этом должно быть соблюдено условие:

$$R_a I_a < 50 \text{ В},$$

где I_a -ток срабатывания защитного устройства;

R_a - суммарное сопротивление заземлителя и заземляющего проводника, при применении УЗО для защиты нескольких электроприемников- заземляющего проводника наиболее удаленного электроприемника.

При применении системы TN рекомендуется выполнять повторное заземление РЕ- и PEN- проводников на вводе в электроустановки зданий, а также в других доступных местах. Для повторного заземления в первую очередь следует использовать естественные заземлители. Сопротивление заземлителя повторного заземления не нормируется.

Система IT напряжением до 1кВ, связанная через трансформатор сетью напряжением выше 1 Кв, должна быть защищена пробивным предохранителем от опасности, возникающей при повреждении изоляции между обмотками высшего и низшего напряжения каждого трансформатора.

Оборудование и материалы

Лабораторная установка состоит из испытательного стенда укомплектованного измерительными приборами и магазином емкостей, трехфазного трансформатора (380/36 В) к регулируемой катушки индуктивности. Испытательный стенд предназначен для моделирования систем электроснабжения с различными режимами нейтрали. Зажимы питающего трансформатора (**A, B, C** и **a, b, c**) выведены на стенд. Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рисунок. 1.8.

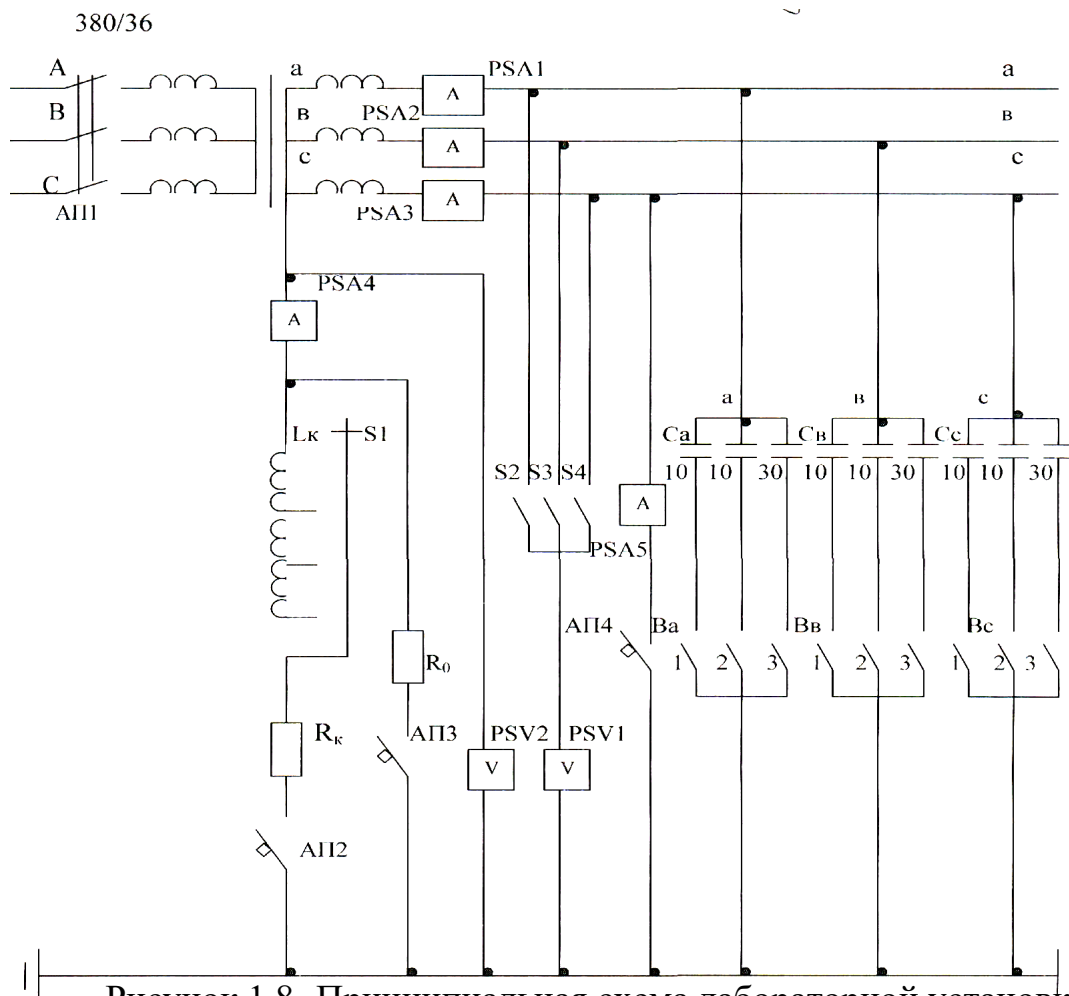


Рисунок 1.8- Принципиальная схема лабораторной установки.

Распорядительные емкости проводов относительно земли в трехфазной системе представлены на стенде в виде сосредоточенных емкостей C_A , C_B , C_C соответственно фаз **A**, **B** и **C**. Изменяя величины C_A , C_B , C_C при помощи выключателей B_A , B_B , B_C . Можно получить систему с заданными параметрами.

Ввод трехфазного переменного напряжения на стенд осуществляется автоматом АП1. Катушка индуктивности L_K вводится в нейтраль трансформатора автоматом АП2. Изменение числа витков катушки L_K производится переключателем S1. Глухое заземление нейтрали трансформатора производится автоматическим выключателем АП3. Замыкание фазы на землю (аварийный режим) осуществляется автоматом

АП4. Переключение вольтметра PSV1 по фазам производится с помощью переключателя S2, S3, S4. Перед началом работы все автоматы и выключатели должны быть в положении «отключено».

Измерение токов и напряжений осуществляется щитовыми приборами Э-30: амперметрами (PSA1-PSA5) и вольтметрами (PSV1, PSV2), установленными на стенде.

Вольтметр PSV1 служит для измерения напряжения фаз, PSV2 - для измерения напряжения нейтрали. Амперметры PSA1-PSA3 служат для контроля тока фаз, PSA4 – для измерения тока нейтрали, PSA5 – для измерения тока однофазного замыкания на «землю»

Указания по технике безопасности

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Автоматизированных электроэнергетических систем и электроснабжения», инструкция приведена в Приложении 1. Прохождение инструктажа по технике безопасности фиксируется преподавателем в специальном журнале.

Студентам запрещается приступать к испытанию без разрешения преподавателя.

Работу в режиме «измерение» необходимо производить в короткое время (не более 20–30 секунд).

После окончания работы необходимо убрать рабочее место.

Указания по порядку выполнения работы

Подготовка к проведению работы:

Ознакомиться со стендом, приборами и оборудованием, записать основные технические данные.

В соответствии с вариантом записать необходимые данные для проведения расчетов и измерений. Вариант задается преподавателем.

Собрать схему и предъявить ее для проверки преподавателю.

Проведение исследований

Исследование системы с глухозаземленной нейтралью в нормальном и аварийном режимах

Включить систему под напряжение автоматом АГП. Установить автоматы нейтрали в положение соответствующее системе с глухозаземленной нейтралью (АП2 - «отключено», АПЗ - «включено»)

ОПЫТ 1. Нормальный режим работы системы.

- а) Установить симметричное состояние системы $C_A = C_B = C_C = C$.
- б) Измерить напряжения каждой фазы U_A , U_B , U_C , и нулевой точки трансформатора относительно земли U_0 , измерить величины токов в проводах I_A , I_B , I_C , I_0 .

Результаты измерений занести в таблицу 1.

ОПЫТ 2. Нормальный режим работы системы

- а) Установить несимметричное состояние системы $C_A = C_B = C$, $C_C = C \pm 20$ мкФ.
- б) Измерить напряжения фаз, нулевой точки трансформатора и величины токов фазах и нейтрали.

Полученные результаты занести в таблицу 1.

ОПЫТ 3. Аварийный режим работы системы.

Произвести замыкание фазы на землю при любом состоянии с глухозаземленной нейтралью с помощью автомата АП4. Система должна отключиться защитой.

После выполнения опыта 3 все автоматы и выключатели должны быть в положении «отключено».

Исследование системы с изолированной нейтралью в нормальном и аварийном режимах

Включить автоматом АП1 систему под напряжение. Установить автоматы нейтрали, соответствующие системе с изолированной нейтралью (АП2 и АП3 -«отключено»).

ОПЫТ 4. Нормальный режим работы системы.

а) установить симметричное состояние системы: $C_A = C_B = C_C = C$;

б) измерить величины U_A, U_B, U_C, U_0 и I_A, I_B, I_C .

Результаты занести в таблицу 3.

ОПЫТ 5. Нормальный режим работы системы

а) установить несимметричное состояние системы: $C_A = C_B = C, C_C = C \pm 20$ мкФ;

б) измерить U_A, U_B, U_C, U_0 и I_A, I_B, I_C ;

Результаты занести в таблицу 3.

ОПЫТ 6. Аварийный режим работы системы.

а) установить симметричное состояние системы: $C_A = C_B = C_C = C$;

б) произвести замыкание на землю с помощью автомата АП4;

в) измерить величины U_A, U_B, U_C, U_0 и I_A, I_B, I_C , а также величину тока замыкания на землю I_K ; результаты занести в таблицу 3;

г) в соответствии с вариантом (при заданной емкости $C_A = C_B = C_C = C$) рассчитать емкостные токи по фазам в нормальном режиме работы и ток однофазного замыкания на землю;

д) рассчитать напряжение смещения нейтрали в случае однофазного замыкания на землю фазы А через дугу сопротивлением R_q ($C_A = C_B = C_C = C$);

построить векторную диаграмму напряжений и найти величину перенапряжений на изоляции неповрежденных фаз.

Исследование системы с резонансно-компенсированным

заземлением нейтрали.

Включить систему под напряжение автоматом АП1. Установить автоматы нейтрали в положение, соответствующее системе с нейтралью трансформатора, заземленной через катушку индуктивности (АП3 - «отключено», АП2 - «включено»).

ОПЫТ 7. Нормальный режим работы системы.

а) установить симметричное состояние системы: $C_A = C_B = C_C = C$;

б) измерить величины U_A, U_B, U_C, U_0 и I_A, I_B, I_C ; результаты измерений записать в таблицу 2.

ОПЫТ 8. Аварийный режим работы системы.

а) установить симметричное состояние системы: $C_A = C_B = C_C = C$;

б) произвести замыкание фазы на землю с помощью автомата АП4;

в) измерить величины U_A, U_B, U_C, U_0 и I_A, I_B, I_C, I_K ; результаты измерений занести в таблицу 2;

г) рассчитать величину индуктивного сопротивления катушки X_K , необходимого для полной компенсации емкостного тока однофазного замыкания на землю при заданной в с вариантом емкостью системы C ;

д) рассчитать ток однофазного замыкания на землю при заданных в соответствии с вариантом: емкостей фаз относительно земли C , индуктивным сопротивлением катушки X_K , активной составляющей сопротивления заземления R_3 , активным сопротивлением катушки индуктивности r_K .

6. Содержание отчета и его форма

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующие материалы:

- основные технические данные электрооборудования, измерительных приборов лабораторной установки;

- принципиальные схемы исследуемых систем и основные расчетные формулы;
- результаты измерений в виде таблиц, результаты расчетов (опыт 6. г, д; опыт 8. г, д), векторную диаграмму (опыт 6, д);
- общие выводы по свойствам систем с различными режимами нейтрали

Таблица 1.

№	Исследуемая система и режим работы.	Параметры системы	Номер опыта	Результаты измерений							
				U _a (U _a), В	U _b (U _b), В	U _c (U _c), В	U _o (U _o), В	I _a (I _a), А	I _b (I _b), А	I _c (I _c), А	I _o (I _o), А
1	Глухое заземление нейтрали 1. Нормальный режим работы: а) симметричное состояние системы б) несимметричное состояние системы 2. Аварийный режим работы (при любом состоянии системы)										

Таблица 2

№	Исследуем	Пара	Но	Результаты измерений	Расч

[illegible]

Нормальный режим: а) симметричное состояние; и) несимметричное состояние. 2. Аварийный режим: а) при симметричном состоянии; б) при несимметричном состоянии.										

Контрольные вопросы

6. Какова причина возникновения перемежающейся дуги при однофазном замыкании на землю в системах с изолированной нейтралью?
7. При каком индуктивном сопротивлении дугогасящей катушки ток однофазного замыкания на землю будет наименьшим?
8. Как влияет емкостное сопротивление элементов сети относительно земли на величину тока однофазного замыкания на землю в сетях с глухозаземленной нейтралью?
9. По какой причине в системах с резонансно-компенсированной нейтралью нельзя снизить ток замыкания на землю до нуля?
10. Чем обусловлен выбор способа заземления нейтрали?
11. На сколько меняется междуфазное напряжение в трехпроводной сети 10 кВ с изолированной нейтралью при однофазном замыкании на землю?

12. Какова кратность резонансных перенапряжений в системах с изолированной нейтралью при замыкании фазы на землю через перемежающуюся дугу?

Литература: 1, 2.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

«Исследование режимов работы электрооборудования при симметричной нагрузке»

Цель работы: исследование режимов работы системы электроснабжения при симметричной нагрузке.

Теоретическая часть

При анализе работы сети следует различать параметры элементов сети и параметры ее рабочего режима. Параметрами элементов сети являются: сопротивления и проводимости, коэффициенты трансформации.

К параметрам сети иногда можно отнести также э.д.с. и задающие токи и мощности нагрузок. К параметрам рабочего режима относятся: значения частоты, токов в ветвях, напряжений в узлах, полной, активной и реактивной мощностей электропередачи, а также значения, характеризующие несимметрию трехфазной системы напряжений и токов и несинусоидальность изменения напряжений и токов в течение периода основной частоты.

Под рабочим режимом сети понимается ее электрическое состояние. Практически оно непрерывно изменяется в связи с отключением и включением электроприемников, изменением режима их работы и т. п.

Обычно при расчетах сетей рассматриваются некоторые идеализированные характерные режимы ее работы. При этом имеются в виду установившиеся режимы работы, т.е. длительные, с почти постоянными параметрами, медленно изменяющимися. Характер их изменения во времени часто является случайным.

Параметры режима практически не могут быть допущены произвольными. Каждый элемент имеет номинальные данные, которые определяют допустимые параметры рабочего нормального режима.

Кроме нормальных режимов приходится рассматривать вынужденные послеаварийные режимы, которые имеют место при изменении схемы сети в связи с отключением оборудования. В послеаварийных режимах параметры могут находиться в несколько больших по сравнению с нормальными режимами, но все же в приемлемых пределах.

Кроме нормальных, существуют быстропротекающие, аварийные и неаварийные режимы.

В процессе работы сетей могут возникнуть нарушения симметрии напряжений и токов, а также синусоидальности их изменения во времени.

Расчеты режимов выполняются как при проектировании, так и при эксплуатации сетей.

Целью расчетов рабочего режима сети обычно является проверка технических условий, т.е. соответствия токов в отдельных элементах и напряжений в узлах сети допустимым значениям. Экономичность работы сети характеризуют значения потерь активной и реактивной мощности, а также значения потерь электроэнергии за год.

В зависимости от предъявляемых требований и поставленной задачи расчеты рабочих режимов производятся более или менее детально, с различной степенью точности и учетом влияния различных факторов. Например, при разработке плана развития электрификации страны одновременно с выбором мощности и местоположения электростанций производятся расчеты режимов основных сетей напряжением 220 кВ и выше. Эти расчеты нередко носят оценочный характер, так как нагрузки потребителей обычно известны лишь ориентировочно. Поэтому к точности результатов расчетов рабочих режимов сетей при этом предъявляются меньшие требования. Ряд элементов, например распределительные сети, в этих расчетах учитываются определенными укрупненными показателями.

При проектировании электрических систем и сетей различных напряжений на основании предварительных расчетов рабочих режимов выбираются параметры линий, оборудования электростанций, характеристики устройств защиты и автоматики. Эти расчеты производятся более детально и с большей степенью точности.

В условиях эксплуатации нагрузки потребителей известны более точно, поэтому параметры режимов сетей также производятся с большей точностью, чем при проектировании. Расчеты по оптимизации режимов выполняются с учетом относительно мало влияющих факторов, которые при проектных расчетах могут не учитываться. В электрических системах расчеты по оптимизации режимом производятся с помощью ЭВМ.

В общем случае режимы являются несимметричными и несинусоидальными. Симметричный синусоидальный режим является частным случаем. Фактически он является режимом прямой последовательности основной частоты. Если степень несимметрии и несинусоидальности относительно невелика, то для определения параметров

режима сети достаточно знать параметры режима прямой последовательности основной частоты.

Симметричные синусоидальные режимы работы трехфазных сетей характеризуются одинаковыми значениями параметров режима (модулей токов, напряжений, мощностей) отдельных фаз и синусоидальной формой кривых токов и напряжений. Значение полной мощности S' для трехфазной цепи в этих условиях определяется комплексным числом

$$S' = \sqrt{3}U'I = P + jQ, \quad (12.1)$$

где I - комплексное значение тока в соответствующей ветви сети; U' - комплексное значение линейного напряжения в рассматриваемом узле сети; P и Q - активная и реактивная мощности.

Необходимо также отметить, что в расчетах обычно используются фазные токи, линейные напряжения и трехфазные мощности.

Зависимости между параметрами режима приводятся с масштабными коэффициентами, что накладывает определенные ограничения на размерность входящих в них величин.

Предлагается следующая система единиц: сопротивление - Ом, проводимость - См, сила тока - кА, напряжение - кВ, активная мощность - МВт, реактивная мощность - Мвар, полная мощность - МВ·А. При такой системе масштабные коэффициенты во всех формулах равны единице.

Подобный же результат можно получить, применяя систему: Ом, См, В, Вт, вар, В·А. Но такая система менее удобна из-за слишком больших величин.

В общем случае режимы являются несимметричными и несинусоидальными. Симметричный синусоидальный режим является частным случаем. Фактически он является режимом прямой последовательности основной частоты. Если степень несимметрии и несинусоидальности относительно невелика, то для определения параметров

режима сети достаточно знать параметры режима прямой последовательности основной частоты.

Симметричные синусоидальные режимы работы трехфазных сетей характеризуются одинаковыми значениями параметров режима (модулей токов, напряжений, мощностей) отдельных фаз и синусоидальной формой кривых токов и напряжений.

Значение полной мощности S' для трехфазной цепи в этих условиях определяется комплексным числом

$$S' = \sqrt{3}U\dot{I} = P + jQ, \quad (12.1)$$

где $\dot{I}$ - комплексное значение тока в соответствующей ветви сети; U' - комплексное значение линейного напряжения в рассматриваемом узле сети; P и Q - активная и реактивная мощности.

Необходимо также отметить, что в расчетах обычно используются фазные токи, линейные напряжения и трехфазные мощности.

Зависимости между параметрами режима приводятся с масштабными коэффициентами, что накладывает определенные ограничения на размерность входящих в них величин.

Предлагается следующая система единиц: сопротивление - Ом, проводимость - См, сила тока - кА, напряжение - кВ, активная мощность - МВт, реактивная мощность - Мвар, полная мощность - МВ·А. При такой системе масштабные коэффициенты во всех формулах равны единице.

Подобный же результат можно получить, применяя систему: Ом, См, В, Вт, вар, В·А. Но такая система менее удобна из-за слишком больших величин.

Оборудование и материалы

Лабораторная установка состоит из испытательного стенда укомплектованного измерительными приборами и магазином емкостей,

трехфазного трансформатора (380/36 В) к регулируемой катушки индуктивности. Испытательный стенд предназначен для моделирования систем электроснабжения с различными режимами нейтрали. Зажимы питающего трансформатора (А, В, С и а, в, с) выведены на стенд. Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рисунок. 1.8.



Распорядительные емкости проводов относительно земли в трехфазной системе представлены на стенде в виде сосредоточенных емкостей C_A , C_B , C_C соответственно фаз **A**, **B** и **C**. Изменяя величины C_A , C_B , C_C при помощи выключателей B_A , B_B , B_C . Можно получить систему с заданными параметрами.

Ввод трехфазного переменного напряжения на стенд осуществляется автоматом АП1. Катушка индуктивности L_K вводится в нейтраль трансформатора автоматом АП2. Изменение числа витков катушки L_K производится переключателем S1. Глухое заземление нейтрали трансформатора производится автоматическим выключателем АП3. Замыкание фазы на землю (аварийный режим) осуществляется автоматом

АП4. Переключение вольтметра PSV1 по фазам производится с помощью переключателя S2, S3, S4. Перед началом работы все автоматы и выключатели должны быть в положении «отключено».

Измерение токов и напряжений осуществляется щитовыми приборами Э-30: амперметрами (PSA1-PSA5) и вольтметрами (PSV1, PSV2), установленными на стенде.

Вольтметр PSV1 служит для измерения напряжения фаз, PSV2 - для измерения напряжения нейтрали. Амперметры PSA1-PSA3 служат для контроля тока фаз, PSA4 – для измерения тока нейтрали, PSA5 – для измерения тока однофазного замыкания на «землю»

Указания по технике безопасности

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Автоматизированных электроэнергетических систем и электроснабжения», инструкция приведена в Приложении 1. Прохождение инструктажа по технике безопасности фиксируется преподавателем в специальном журнале.

Не приступать к испытанию без разрешения преподавателя.

Работу в режиме «измерение» необходимо производить в короткое время (не более 20–30 секунд).

Перед началом сборки схемы необходимо убедиться в том, что автомат на стенде находится в выключенном состоянии.

Рабочее место не должно загромождаться посторонними предметами, а проходы – стульями.

Измерительные приборы и исследуемые аппараты необходимо размещать таким образом, чтобы в процессе выполнения работы была исключена возможность случайного прикосновения к оголённым токоведущим частям.

Не допускается использование приборов и аппаратов с неисправленными зажимами, проводов с повреждённой изоляцией, неисправных реостатов, тумблеров и другого оборудования.

Сборку схемы необходимо выполнять по возможности без пересечения проводов, нельзя натягивать и свёртывать провода. Использованные соединительные провода необходимо убрать с рабочего места.

Категорически запрещается проводить какие-либо операции на главных распределительных щитах, а также за пределами рабочего места.

Напряжение на схему подают только после разрешения преподавателя, предупредив об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте. При этом рукоятки регуляторов напряжения должны находиться на нулевой отметке.

В случае прекращения опыта или перерыва в работе схему необходимо отключить от сети.

Во время лабораторной работы запрещается: производить пересоединения в схеме, находящейся под напряжением; прикасаться к оголённым токоведущим частям электрического аппарата; включать схему после каких-либо изменений соединений в ней до проверки преподавателем; оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением.

Во всех случаях обнаружения неисправного оборудования, измерительных приборов, проводов, при появлении специфического запаха, дыма, нужно выключить напряжение и немедленно поставить в известность преподавателя.

После окончания работы необходимо выключить напряжение, разобрать схему, привести в порядок рабочее место.

Студенты допускаются к лабораторным работам после ознакомления с настоящими правилами, что должно быть зафиксировано в специальном

журнале.

После окончания работы необходимо убрать рабочее место

Указания по порядку выполнения работы

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 1.1 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Перевести переключатели SA2 модулей трехфазной сети, вводных выключателей, выключателей кабельной ЛЭП, двигательной нагрузки и секционного выключателя в положение «Руч». Перевести переключатели SA3 модулей вводных выключателей в верхнее положение. Включить автоматические выключатели QF1..QF4 на модулях активной нагрузки.

2) Включить питание стенда автоматическим выключателем QF1, расположенным на модуле питания стенда.

3) Включить питание всех модулей, имеющих индивидуальный тумблер подачи питания SA1 «Сеть» (за исключением модуля выключателя короткозамыкателя).

4) С помощью кнопок SB1 «Вкл» на лицевых панелях модулей трехфазной сети, вводных выключателей, выключателей кабельной ЛЭП и двигательной нагрузки, подать команды на включение выключателей Q1..Q4 и Q6..Q8.

5) С помощью универсальных измерительных приборов, расположенных на модулях вводных выключателей, измерить действующие значения токов и напряжений, а также активные и реактивные мощности для каждой фазы вводных выключателей первой и второй секций сборных шин.

Результаты измерений занести в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Секция шин	Измерения												Расчет	
	Напряжение, В			Ток, А			Активная мощность, Вт			Реактивная мощность, Вар			Трехфазная мощность, Вт/Вар	
	Ua	Ub	Uc	Ia	Ib	Ic	Pa	Pb	Pc	Qa	Qb	Qc	P	Q
1														
2														

6) С помощью кнопок SB2 «Откл» на лицевых панелях модулей трехфазной сети, вводных выключателей, выключателей кабельной ЛЭП и двигательной нагрузки, подать команды на отключение выключателей Q1..Q4 и Q6..Q8.

7) Отключить питание всех модулей, имеющих индивидуальный тумблер подачи питания SA1 «Сеть».

8) Отключить питание стенда автоматическим выключателем QF1, расположенным на модуле питания стенда.

9) По полученным данным, рассчитать суммарную трехфазную активную и реактивную мощность нагрузки для первой и второй секций сборных шин.

Результаты занести в табл. 1.1

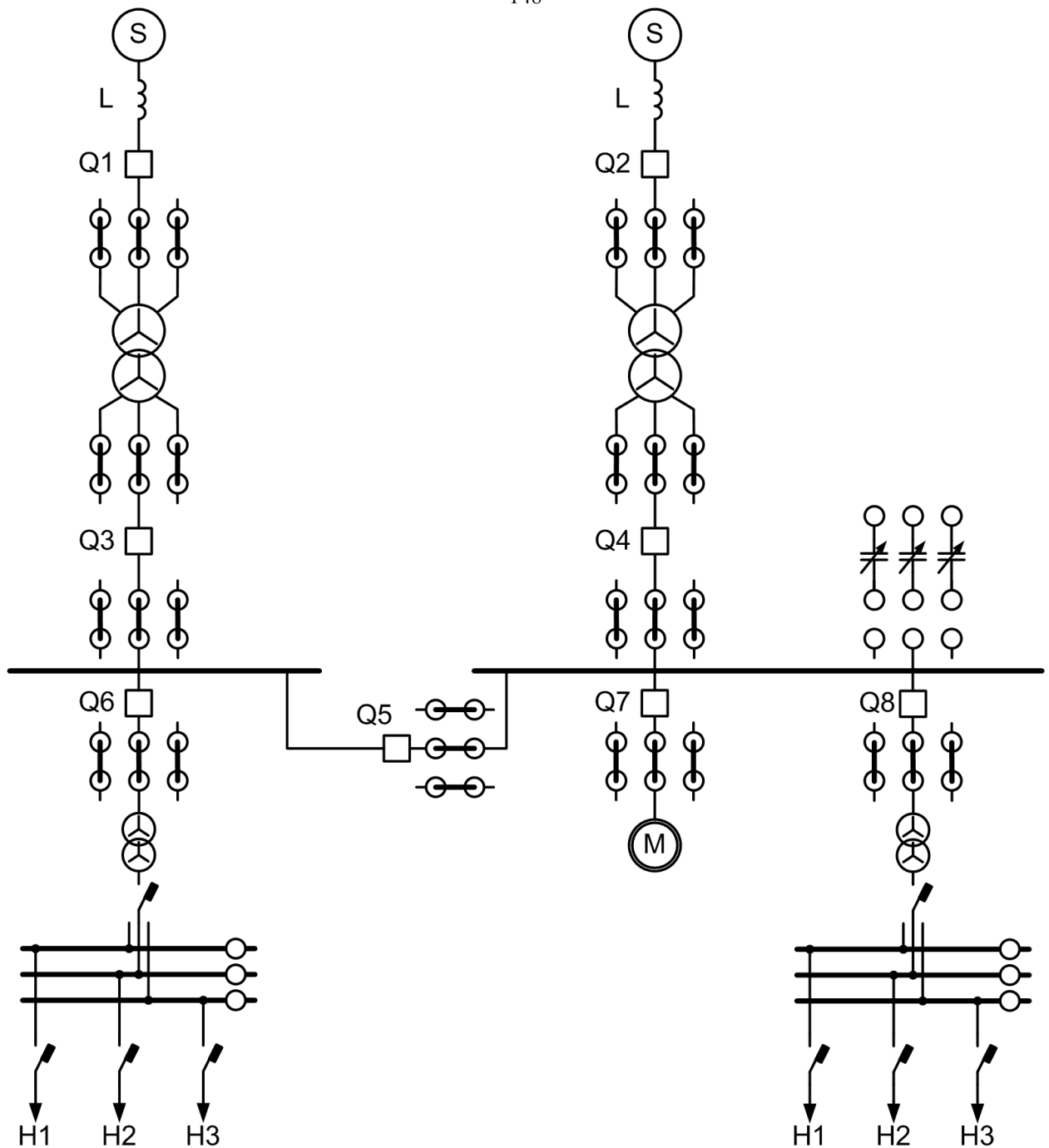


Рисунок 1.1 – Схема исследуемой сети

10) По полученным данным построить векторные диаграммы токов и напряжений. Сделать выводы о симметричности нагрузки. Объяснить возможные различия между величиной напряжения на первой и второй секциях сборных шин. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующие материалы:

- основные технические данные электрооборудования, измерительных приборов лабораторной установки;
- принципиальные схемы исследуемых систем и основные расчетные формулы;
- результаты измерений в виде таблиц, результаты расчетов, векторные диаграммы токов и напряжений;
- общие выводы по работе.

Структура отчета должна соответствовать требованиям раздела 6.

Контрольные вопросы

1. В каком случае можно сделать вывод о симметричности нагрузки?
2. Объясните различия между первой и второй секциями сборных шин?
3. Какими параметрами характеризуются рабочие режимы сети?
4. Что является целью расчетов рабочего режима сети?
5. Как изменяется ток во время пуска асинхронного двигателя?
6. Как изменяется напряжение во время пуска асинхронного двигателя?
7. Какими параметрами характеризуют симметричные синусоидальные режимы работы трехфазных сетей?
8. В каком случае достаточно для определения параметров режима сети знать параметры режима прямой последовательности основной частоты?
9. Как рассчитать значение полной мощности S' для трехфазной цепи?

Литература: 1, 2.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

«Исследование режимов работы электрооборудования при несимметричной нагрузке»

Цель работы: исследование режимов работы системы электроснабжения при несимметричной нагрузке.

Формируемые компетенции: готовность обеспечить требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике (ИК-7).

Теоретическая часть

На рисунке 19.8 приведены векторные диаграммы прямой, обратной последовательностей и результирующих напряжений. Как видно из векторной диаграммы результирующего напряжения, при появлении в трехфазной сети напряжения обратной последовательности ухудшается режим напряжений как трехфазных, так и однофазных электроприемников.

Особенно неблагоприятно влияет напряжение обратной последовательности на работу вращающихся электрических машин.

В асинхронных двигателях несимметрия напряжения вызывает дополнительный нагрев, а также противодействующий вращающий момент. Поскольку сопротивление обратной последовательности асинхронных двигателей в 5... 7 раз меньше сопротивления прямой последовательности, то при наличии даже небольшой составляющей обратной последовательности возникает значительный ток. Этот ток накладывается на ток прямой

последовательности и вызывает перегрев двигателя, в результате чего уменьшается его располагаемая мощность.

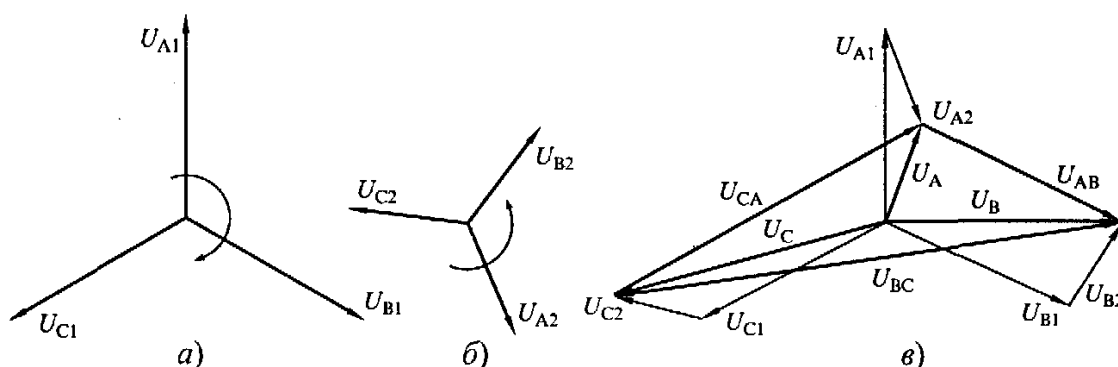


Рисунок 19.8 – Влияние появления напряжения обратной последовательности на величину результирующих напряжений сети:

а - векторная диаграмма напряжений прямой последовательности; б - векторная диаграмма напряжений обратной последовательности; в - векторная диаграмма результирующих напряжений

Быстро стареет изоляция и т.д. Так, срок службы полностью загруженного двигателя, работающего при коэффициенте несимметрии 4%, сокращается в два раза.

При появлении в трехфазной сети напряжения нулевой последовательности ухудшаются режимы напряжений для однофазных приемников. Токи нулевой последовательности постоянно протекают через заземлители и значительно высушивают грунт, увеличивая сопротивление заземляющих устройств.

Несимметрия напряжения значительно ухудшает режимы работы многофазных вентильных выпрямителей. В результате различия напряжения по фазам значительно увеличивается пульсация выпрямленного напряжения. Значительное отрицательное влияние несимметрия напряжения может

оказывать на систему импульсно- фазового управления тиристорных преобразователей.

Конденсаторные установки при несимметрии напряжений неравномерно загружаются реактивной мощностью по фазам, что делает невозможным полное использование установленной мощности. Кроме того, конденсаторные установки в этом случае усиливают уже существующую несимметрию, так как выдача реактивной мощности в сеть в фазе с наименьшим напряжением будет меньше, чем в остальных фазах (пропорционально квадрату напряжения).

Несимметрия напряжения значительно влияет и на однофазные потребители. Если фазные напряжения неодинаковы, то, например, лампы накаливания, подключенные к фазе с более высоким напряжением, имеют больший световой поток, но значительно меньший срок службы по сравнению с лампами, подключенными к фазе с меньшим напряжением. Несимметрия усложняет работу релейной защиты, ведет к ошибкам при работе счетчиков электроэнергии и т.д.

Оборудование и материалы

Лабораторная установка состоит из испытательного стенда укомплектованного измерительными приборами и магазином емкостей, трехфазного трансформатора (380/36 В) к регулируемой катушки индуктивности. Испытательный стенд предназначен для моделирования систем электроснабжения с различными режимами нейтрали. Зажимы питающего трансформатора (**А, В, С** и **а, в, с**) выведены на стенд. Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рисунок. 1.8.

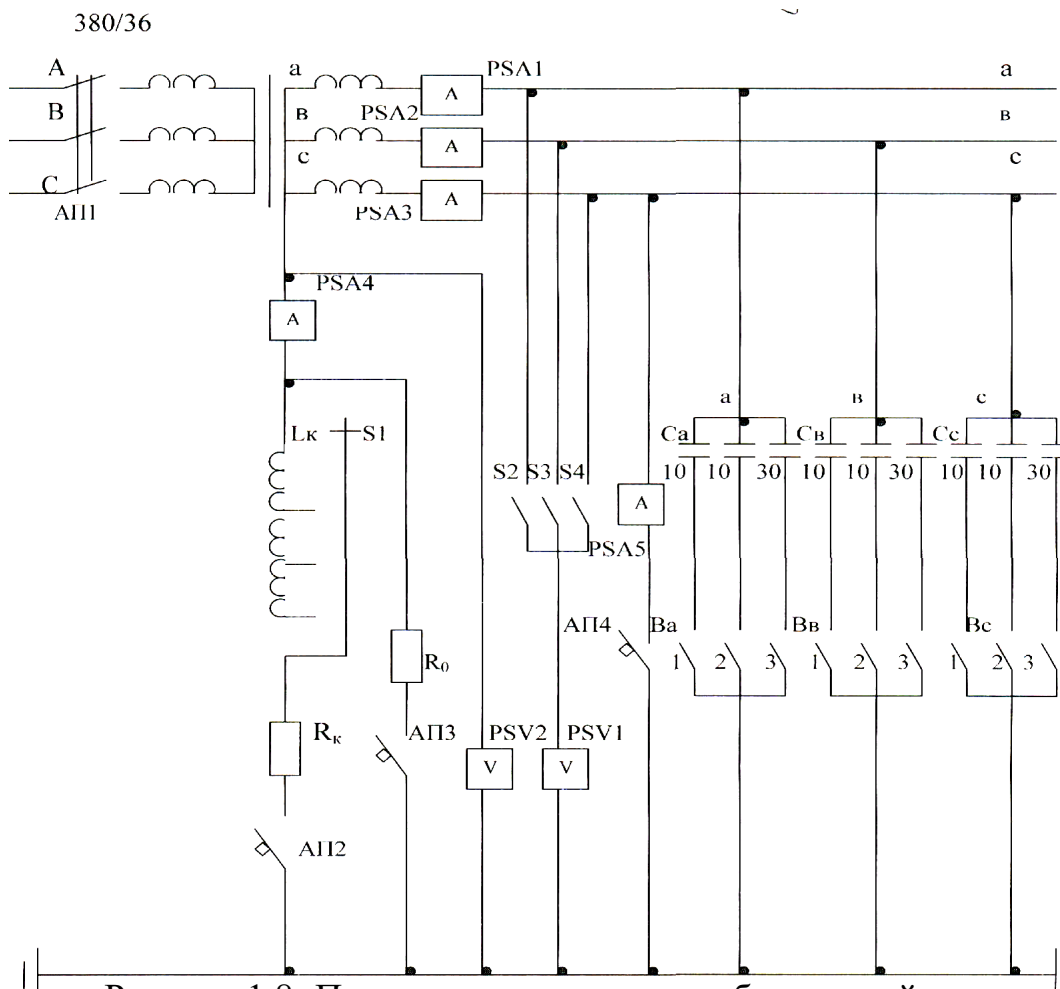


Рисунок 1.8- Принципиальная схема лабораторной установки.

Распорядительные емкости проводов относительно земли в трехфазной системе представлены на стенде в виде сосредоточенных емкостей C_A , C_B , C_C соответственно фаз **A**, **B** и **C**. Изменяя величины C_A , C_B , C_C при помощи выключателей B_A , B_B , B_C . Можно получить систему с заданными параметрами.

Ввод трехфазного переменного напряжения на стенд осуществляется автоматом АП1. Катушка индуктивности L_K вводится в нейтраль трансформатора автоматом АП2. Изменение числа витков катушки L_K производится переключателем S1. Глухое заземление нейтрали трансформатора производится автоматическим выключателем АП3. Замыкание фазы на землю (аварийный режим) осуществляется автоматом АП4. Переключение вольтметра PSV1 по фазам производится с помощью

переключателя S2, S3, S4. Перед началом работы все автоматы и выключатели должны быть в положении «отключено».

Измерение токов и напряжений осуществляется щитовыми приборами Э-30: амперметрами (PSA1-PSA5) и вольтметрами (PSV1, PSV2), установленными на стенде.

Вольтметр PSV1 служит для измерения напряжения фаз, PSV2 - для измерения напряжения нейтрали. Амперметры PSA1-PSA3 служат для контроля тока фаз, PSA4 – для измерения тока нейтрали, PSA5 – для измерения тока однофазного замыкания на «землю»

Указания по технике безопасности

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Автоматизированных электроэнергетических систем и электроснабжения», инструкция приведена в Приложении 1. Прохождение инструктажа по технике безопасности фиксируется преподавателем в специальном журнале.

Не приступать к испытанию без разрешения преподавателя.

Работу в режиме «измерение» необходимо производить в короткое время (не более 20–30 секунд).

Перед началом сборки схемы необходимо убедиться в том, что автомат на стенде находится в выключенном состоянии.

Рабочее место не должно загромождаться посторонними предметами, а проходы – стульями.

Измерительные приборы и исследуемые аппараты необходимо размещать таким образом, чтобы в процессе выполнения работы была исключена возможность случайного прикосновения к оголённым токоведущим частям.

Не допускается использование приборов и аппаратов с неисправленными зажимами, проводов с повреждённой изоляцией, неисправных реостатов, тумблеров и другого оборудования.

Сборку схемы необходимо выполнять по возможности без пересечения проводов, нельзя натягивать и свёртывать провода. Использованные соединительные провода необходимо убрать с рабочего места.

Категорически запрещается проводить какие-либо операции на главных распределительных щитах, а также за пределами рабочего места.

Напряжение на схему подают только после разрешения преподавателя, предупредив об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте. При этом рукоятки регуляторов напряжения должны находиться на нулевой отметке.

В случае прекращения опыта или перерыва в работе схему необходимо отключить от сети.

Во время лабораторной работы запрещается: производить пересоединения в схеме, находящейся под напряжением; прикасаться к оголённым токоведущим частям электрического аппарата; включать схему после каких-либо изменений соединений в ней до проверки преподавателем; оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением.

Во всех случаях обнаружения неисправного оборудования, измерительных приборов, проводов, при появлении специфического запаха, дыма, нужно выключить напряжение и немедленно поставить в известность преподавателя.

После окончания работы необходимо выключить напряжение, разобрать схему, привести в порядок рабочее место.

Студенты допускаются к лабораторным работам после ознакомления с настоящими правилами, что должно быть зафиксировано в специальном журнале.

После окончания работы необходимо убрать рабочее место

Указания по порядку выполнения работы

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 1.2 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Перевести переключатели SA2 модулей трехфазной сети, вводных выключателей, выключателей кабельной ЛЭП, двигательной нагрузки и секционного выключателя в положение «Руч». Перевести переключатели SA3 модулей вводных выключателей в верхнее положение. Включить автоматические выключатели QF1 на модулях активной нагрузки. По согласованию с преподавателем, включить некоторые из автоматических выключателей QF2..QF4.

2) Включить питание стенда автоматическим выключателем QF1, расположенным на модуле питания стенда.

3) Включить питание всех модулей, имеющих индивидуальный тумблер подачи питания SA1 «Сеть» (за исключением модуля выключателя короткозамыкателя).

4) С помощью кнопок SB1 «Вкл» на лицевых панелях модулей трехфазной сети, вводных выключателей, выключателей кабельной ЛЭП и двигательной нагрузки, подать команды на включение выключателей Q1..Q4 и Q6..Q8.

5) С помощью универсальных измерительных приборов, расположенных на модулях вводных выключателей, измерить действующие значения токов и напряжений, а также активные и реактивные мощности для каждой фазы вводных выключателей первой и второй секций сборных шин. Результаты измерений занести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Секция шин	Измерения												Расчет	
	Напряжение, В			Ток, А			Активная мощность, Вт			Реактивная мощность, Вар			Трехфазная мощность, Вт/Вар	
	Ua	Ub	Uc	Ia	Ib	Ic	Pa	Pb	Pc	Qa	Qb	Qc	P	Q
1														
2														

6) С помощью кнопок SB2 «Откл» на лицевых панелях модулей трехфазной сети, вводных выключателей, выключателей кабельной ЛЭП и двигательной нагрузки, подать команды на отключение выключателей Q1..Q4 и Q6..Q8.

7) Отключить питание всех модулей, имеющих индивидуальный тумблер подачи питания SA1 «Сеть».

8) Отключить питание стенда автоматическим выключателем QF1, расположенным на модуле питания стенда.

9) По полученным данным, рассчитать суммарную трехфазную активную и реактивную мощность нагрузки для первой и второй секций сборных шин. Результаты занести в табл. 1.1.

10) По полученным данным построить векторные диаграммы токов и напряжений. Сделать выводы о влиянии не симметрии нагрузки на величины напряжений первой и второй секций сборных шин. Оформить отчет по лабораторной работе.

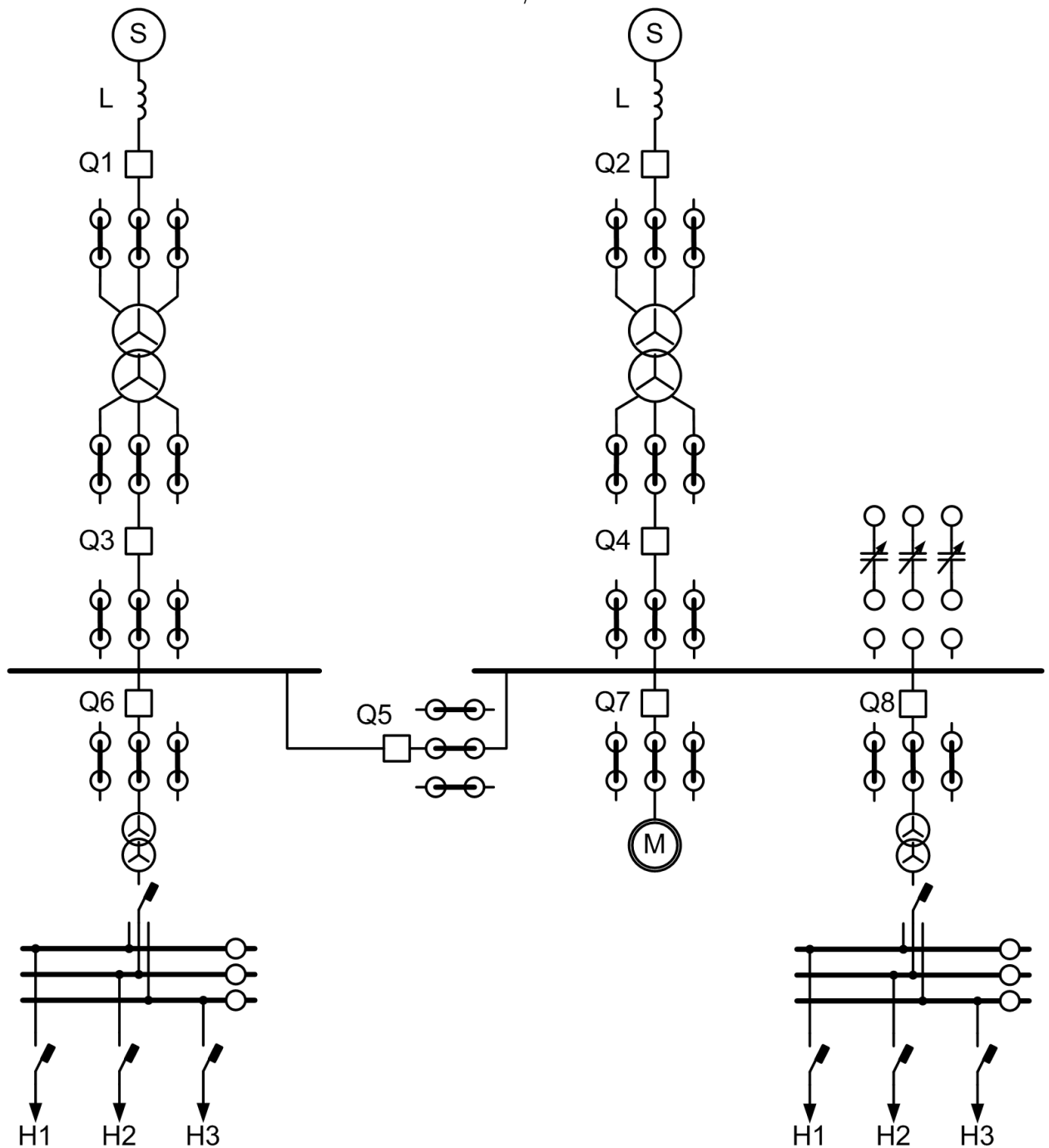


Рис.1.2

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующие материалы:

- основные технические данные электрооборудования, измерительных

приборов лабораторной установки;

- принципиальные схемы исследуемых систем и основные расчетные формулы;
- результаты измерений в виде таблиц, результаты расчетов, векторные диаграммы токов и напряжений;
- общие выводы по работе.

Структура отчета должна соответствовать требованиям раздела 6.

Контрольные вопросы

1. Как напряжение
обратной последовательности влияет на режим напряжений
трехфазных и однофазных электроприемников?
2. Какое
воздействие оказывает напряжение обратной последовательности на
работу вращающихся электрических машин?
3. Как
составляющие обратной последовательности влияют на располагаемую
мощность асинхронного двигателя?
4. Как рассчитать
коэффициент несимметрии?
5. Во сколько раз
уменьшится срок службы нагруженного асинхронного двигателя если
он будет работать с коэффициентом несимметрии в 4%?
6. Как
несимметрия влияет на работу устройств релейной защиты и систем
учета электроэнергии?

7. Какие допустимые значения коэффициента несинусоидальности установлены **ГОСТ** для электрических сетей и почему?

8. Каковы причины появления высших гармоник напряжения в электрических сетях предприятий?

9. Почему вентильный преобразователь потребляет из сети несинусоидальный ток?

10. Какие существуют способы уменьшения уровня высших гармоник напряжения в промышленных электросетях?

11. Начертите векторную диаграмму токов и напряжений ФКУ (для первой гармоники).

Литература: 1, 2.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Исследование влияния характера нагрузки на режим работы электрооборудования

Цель работы: исследование влияния характера нагрузки на режим работы электрооборудования.

Теоретическая часть

Опыт проектирования и эксплуатации электрических сетей показывает, что мероприятия по исключению и снижению влияния электрических сетей на показатели качества электроэнергии могут быть весьма дорогими. Поддержание оптимального уровня напряжения на зажимах каждого ПЭ в общем случае нецелесообразно и, в первую очередь, по экономическим соображениям. Действительно, поскольку ПЭ могут иметь неодинаковые режимы работы и находятся электрически на разном удалении от ИП, то для поддержания оптимального напряжения на зажимах каждого из них необходимо снабдить их индивидуальными регуляторами напряжения. Очевидно, что это слишком дорого.

Более выгодным является групповое регулирование напряжения, когда общее регулирующее устройство устанавливается для группы ПЭ. При этом, естественно, номинальное напряжение будет поддерживаться лишь у некоторых из ПЭ, тогда как у остальных напряжение может отклоняться от номинального в большую или меньшую сторону.

Из-за этого в какой-то мере могут ухудшаться технические параметры производственных установок, отрицательно влияя на их экономичность. Однако экономия от замены индивидуального регулирования напряжения правильно выбранным групповым, как правило, перекрывает соответствующее снижение экономичности производства.

В требованиях к качеству электрической энергии, (ГОСТ 13109 - 99), указываются технически допустимые пределы отклонений значений от номинальных параметров. Первый у нас в стране государственный стандарт на качество электроэнергии был введен в 1967 г. (ГОСТ 13109 - 67). Он был скорректирован в 1979 и в 1987 гг., а в настоящее время действует новый ГОСТ 13109-99.

На этапе проектирования сети при нормальных режимах ее работы необходимо рассчитывать показатели качества электроэнергии (ПКЭ) и выбирать наиболее экономичные средства приведения параметров режимов к допустимым пределам (нормам). В условиях эксплуатации в электрической сети должен осуществляться систематический контроль за ПКЭ и соответственно приниматься меры по приведению параметров к допустимым нормам.

ГОСТ 13109 - 99 устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (КЭ) в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей, или приемники электрической энергии (точки общего присоединения - ТОП). Этот ГОСТ устанавливает 11 основных показателей качества электроэнергии (ПКЭ):

- 1) отклонение частоты δf ;
- 2) установившееся отклонение напряжения δU_y
- 3) размах изменения напряжения δU_t ;
- 4) дозу фликера (мерцания или колебания) P_t ;
- 5) коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U ;
- 6) коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$
- 7) коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} ;

8) коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U}

9) глубину и длительность провала напряжения $\delta U_n, \Delta t_n$;

10) импульсное напряжение $U_{имп}$;

11) коэффициент временного перенапряжения $K_{перU}$.

При определении значений некоторых показателей КЭ используют следующие вспомогательные параметры электрической энергии:

1) частоту повторения изменений напряжения $F_{\delta U_n}$;

2) интервал между изменениями напряжения $\Delta t_{i,i+1}$

3) глубину провала напряжения $\Delta U_n, \Delta t_n$;

4) частота появления провалов напряжения F_n ;

5) длительность импульса по уровню 0,5 его амплитуды $\Delta t_{имп0,5}$;

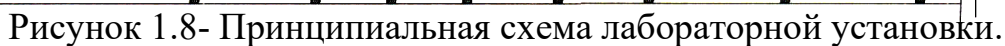
6) длительность временного перенапряжения $\Delta t_{перU}$.

Установлены два вида норм ПКЭ: нормально допустимые (норм.) и предельно допустимые (пред.).

Обмен реактивной мощностью между системой электроснабжения предприятия и электроэнергетической системой (ЭЭС) регламентирован Правилами пользования электрической и тепловой энергией. Конкретные требования к режиму реактивной мощности каждого из предприятий устанавливаются при ежегодном заключении договора на поставку электроэнергии от электроснабжающей организации. Экономически обоснованные входные реактивные мощности $Q_{Э1}$ и $Q_{Э2}$ предприятия задают дифференцированно, в зависимости от потребляемой мощности и электрической удаленности его от основных источников энергии (электростанций). Числовые значения $Q_{Э1}$ и $Q_{Э2}$ определяют в результате расчетов оптимальных режимов работы энергосистемы в периоды ее максимальных $Q_{Э1}$ и минимальных $Q_{Э2}$ нагрузок.

Оборудование и материалы

Лабораторная установка состоит из испытательного стенда укомплектованного измерительными приборами и магазином емкостей, трехфазного трансформатора (380/36 В) к регулируемой катушки индуктивности. Испытательный стенд предназначен для моделирования систем электроснабжения с различными режимами нейтрали. Зажимы питающего трансформатора (А, В, С и а, в, с) выведены на стенд. Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рисунок. 1.8.



Ввод трехфазного переменного напряжения на стенд осуществляется автоматом АП1. Катушка индуктивности L_K вводится в нейтраль трансформатора автоматом АП2. Изменение числа витков катушки L_K производится переключателем S1. Глухое заземление нейтрали трансформатора производится автоматическим выключателем АП3. Замыкание фазы на землю (аварийный режим) осуществляется автоматом АП4. Переключение вольтметра PSV1 по фазам производится с помощью переключателя S2, S3, S4. Перед началом работы все автоматы и выключатели должны быть в положении «отключено».

Измерение токов и напряжений осуществляется щитовыми приборами Э-30: амперметрами (PSA1-PSA5) и вольтметрами (PSV1, PSV2), установленными на стенде.

Вольтметр PSV1 служит для измерения напряжения фаз, PSV2 - для измерения напряжения нейтрали. Амперметры PSA1-PSA3 служат для контроля тока фаз, PSA4 – для измерения тока нейтрали, PSA5 – для измерения тока однофазного замыкания на «землю»

Указания по технике безопасности

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности при выполнении работ в лабораториях кафедры «Автоматизированных электроэнергетических систем и электроснабжения», инструкция приведена в Приложении 1. Прохождение инструктажа по технике безопасности фиксируется преподавателем в специальном журнале.

Не приступать к испытанию без разрешения преподавателя.

Работу в режиме «измерение» необходимо производить в короткое время (не более 20–30 секунд).

Перед началом сборки схемы необходимо убедиться в том, что автомат на стенде находится в выключенном состоянии.

Рабочее место не должно загромождаться посторонними предметами, а проходы – стульями.

Измерительные приборы и исследуемые аппараты необходимо размещать таким образом, чтобы в процессе выполнения работы была исключена возможность случайного прикосновения к оголённым токоведущим частям.

Не допускается использование приборов и аппаратов с неисправленными зажимами, проводов с повреждённой изоляцией, неисправных реостатов, тумблеров и другого оборудования.

Сборку схемы необходимо выполнять по возможности без пересечения проводов, нельзя натягивать и свёртывать провода. Использованные соединительные провода необходимо убрать с рабочего места.

Категорически запрещается проводить какие-либо операции на главных распределительных щитах, а также за пределами рабочего места.

Напряжение на схему подают только после разрешения преподавателя, предупредив об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте. При этом рукоятки регуляторов напряжения должны находиться на нулевой отметке.

В случае прекращения опыта или перерыва в работе схему необходимо отключить от сети.

Во время лабораторной работы запрещается: производить пересоединения в схеме, находящейся под напряжением; прикасаться к оголённым токоведущим частям электрического аппарата; включать схему после каких-либо изменений соединений в ней до проверки преподавателем; оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением.

Во всех случаях обнаружения неисправного оборудования, измерительных приборов, проводов, при появлении специфического запаха, дыма, нужно выключить напряжение и немедленно поставить в известность преподавателя.

После окончания работы необходимо выключить напряжение, разобрать схему, привести в порядок рабочее место.

Студенты допускаются к лабораторным работам после ознакомления с настоящими правилами, что должно быть зафиксировано в специальном журнале.

После окончания работы необходимо убрать рабочее место

Указания по порядку выполнения работы

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 1.5 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Подключить аналоговые каналы модуля ввода-вывода для измерения линейных напряжений на стороне высокого и низкого напряжения (канал А1 на напряжение АВ_{со} стороны ВН, канал А2 на напряжение АВ на стороне НН) и измерения фазных токов (канал А4 к фазе А со стороны ВН, А5 к фазе А со стороны НН). Перевести переключатели SA2 модулей трехфазной сети, вводных выключателей, выключателей кабельной ЛЭП, двигательной нагрузки

и секционного выключателя в положение «Руч». Перевести переключатели SA3 модулей вводных выключателей в верхнее положение. Включить автоматические выключатели QF1.. QF4 на модулях активной нагрузки.

2) Включить питание стенда автоматическим выключателем QF1, расположенным на модуле питания стенда.

3) Включить питание всех модулей, имеющих индивидуальный тумблер подачи питания SA1 «Сеть» (за исключением модуля выключателя короткозамыкателя).

4) С помощью кнопок SB1 «Вкл» на лицевых панелях модулей трехфазной сети и вводного выключателя, подать команды на включение выключателей Q2 и Q4.

5) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы – Установившиеся режимы работы – Измерение режимных параметров».

6) Запустить процесс измерений кнопкой «Пуск», или командой главного меню «Управление – Пуск», или горячей клавишей F5.

7) По показаниям виртуальных измерительных приборов, расположенных на мнемосхеме ПК, определить величины активной и реактивной мощности, а также линейные напряжения на стороне ВН и НН силового трансформатора. Результаты измерений для режима холостого хода занести в табл. 1.5.

8) С помощью кнопки SB1 «Вкл» на лицевой панели модуля выключателя кабельной ЛЭП подать команду на включение выключателя Q8.

9) По показаниям виртуальных измерительных приборов, расположенных на мнемосхеме ПК, определить величины активной и реактивной мощности, а также линейные напряжения на стороне ВН и НН силового трансформатора. Результаты измерений для режима преимущественно активной нагрузки занести в табл. 1.5.

10) С помощью кнопки SB1 «Вкл» на лицевой панели модуля двигательной нагрузки подать команду на включение выключателя Q7.

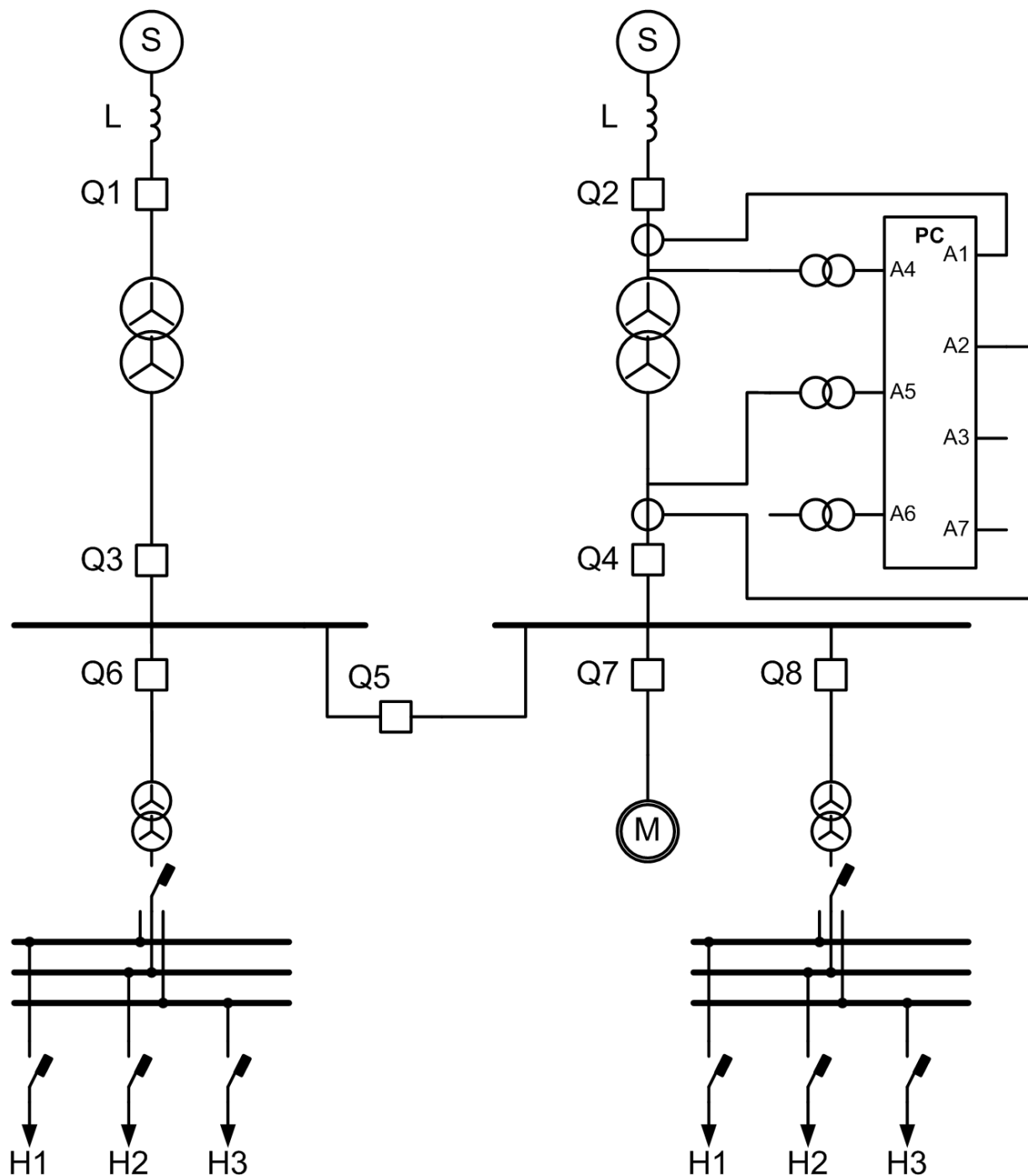


Рисунок 1.5

11) По показаниям виртуальных измерительных приборов, расположенных на

мнемосхеме ПК, определить величины активной и реактивной мощности, а также линейные напряжения на стороне ВН и НН силового трансформатора. Результаты измерений для режима активно-индуктивной нагрузки занести в табл. 1.5.

12) Остановить процесс измерений кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6.

Таблица 1.5

Режим работы		Режим холостого хода	Режим активной нагрузки	Режим активно-индуктивной нагрузки
Измеренные параметры	P1, Вт			
	Q1, Вар			
	U1, В			
	P2, Вт			
	Q2, Вар			
	U2, В			
Расчетные параметры	ΔP , Вт			
	ΔQ , Вар			
	$\cos \varphi_{\text{нагр.}}$			

13) С помощью кнопок SB2 «Откл» на лицевых панелях модулей трехфазной сети, вводного выключателя, выключателя кабельной ЛЭП и двигательной нагрузки, подать команды на отключение выключателей Q7, Q8, Q4 и Q2.

14) Отключить питание всех модулей, имеющих индивидуальный тумблер подачи питания SA1 «Сеть».

15) Отключить питание стенда автоматическим выключателем QF1, расположенным на модуле питания стенда.

16) По полученным данным, рассчитать потери активной и реактивной

мощности в различных режимах работы, результаты занести в табл. 1.5.

17) Сделать выводы о влиянии характера нагрузки на величину потерь электрической энергии в системе электроснабжения, а также, на величину напряжений на сборных шинах. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета

Аналогично лабораторной работе 1.

Контрольные вопросы

1. Как индуктивная нагрузка влияет на режим работы электрооборудования?
2. Как емкостная нагрузка влияет на режим работы электрооборудования?
3. Как изменятся параметры режима при включении в рассечку линии батареи статических конденсаторов?
4. Как активно-индуктивная нагрузка влияет на режим работы электрооборудования?
5. Как активно-емкостная нагрузка влияет на режим работы электрооборудования?
6. Как меняются параметры режима при отключении одного из параллельно включенных элементов?
5. Как меняются напряжения и токи при пуске асинхронного двигателя?
6. Как на векторной диаграмме расположены чисто индуктивный и чисто емкостный ток относительно напряжения?

1. Как можно рассчитать экономически целесообразный режим работы для трех трансформаторов?

2. Как отразится на реактивных потерях в трансформаторе реализация их экономически целесообразного режима?

3. Как определяются потери электроэнергии в трансформаторах на длительных интервалах времени?

4. Какие допускаются отклонения напряжения в промышленных электросетях по ГОСТ 13109–97 и почему?

5. Как зависит работа различных электроприемников от величины напряжения в сети?

6. Какие способы улучшения напряжения используются в промышленных электросетях и в сетях энергосистем?

7. Постройте векторную диаграмму токов и напряжений для простейшей сети с сопротивлением R и реактивной индуктивностью jX_L и током I в ней.

8. Какие имеются оценки отклонений напряжения и как они вычисляются?

9. Каковы причины провалов напряжения в промышленных электросетях?

10. Каким образом реактивная мощность влияет на режим напряжения электрической сети?

11. Требования, предъявляемые ЭЭС к режиму реактивной мощности СЭПП.

12. Как оценивается экономический эффект внедрения расчетного оптимального режима компенсации нагрузок предприятия?

13. С какой целью выполняется регулирование мощностей компенсирующих устройств?

14. Перечислить и пояснить принципы построения графиков регулирования КУ.

15. Почему входные реактивные мощности задаются предприятием индивидуально?

16. Что понимается под оптимизацией режима компенсации реактивных мощностей нагрузок?

17. Пояснить преимущества и недостатки индивидуальной компенсации реактивной мощности.

Литература: 1, 2.

Лабораторная работа №5

«Изучение современного электрооборудования: Конструкции ГПП, РП и ТП»

1. Цель и содержание

Целью данной лабораторной работы является подробное изучение конструкций РП и цеховых ТП.

В результате выполнения любой работы студент приобретает подробные знания по конкретному оборудованию, выпускаемому в настоящее время.

2. Теоретическое обоснование

В целях наибольшего приближения к потребителям рекомендуется применять внутренние, встроенные в здание или пристроенные к нему, трансформаторные подстанции. Встроенные в здание или пристроенные трансформаторные подстанции имеют выход из камер с масляными трансформаторами и высоковольтными аппаратами непосредственно наружу. Внутрицеховые подстанции могут размещаться на первом и втором этажах производств, которые согласно противопожарным требованиям отнесены к категориям Г и Д первой и второй степеням огнестойкости. Внутрицеховые подстанции размещаются как открыто, так и в отдельных помещениях (рисунок 1.6).

Размещение внутрицеховых подстанций в помещениях пыльных и с химически активной средой допускается при условии принятия мер, обеспечивающих надежную работу электрооборудования.

В производственных помещениях трансформаторы и РУ могут устанавливаться, как открыто, так и в камерах и отдельных помещениях. На каждой открыто установленной цеховой подстанции и КТП могут быть применены масляные трансформаторы

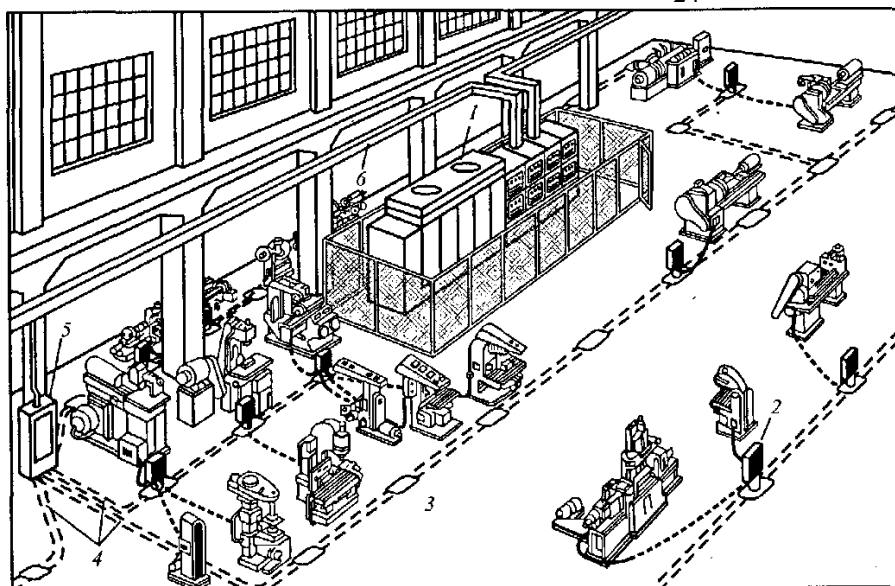


Рисунок 1.5

Рисунок 1.6 – Модульная разводка силовой электросети к электроприемникам механического цеха:

1 – комплектная трансформаторная подстанция; 2 – колонка с автоматическим выключателем; 3 – ответвительная коробка; 4 – модульная магистраль; 5 – силовой шкаф; 6 – магистральный шинопровод

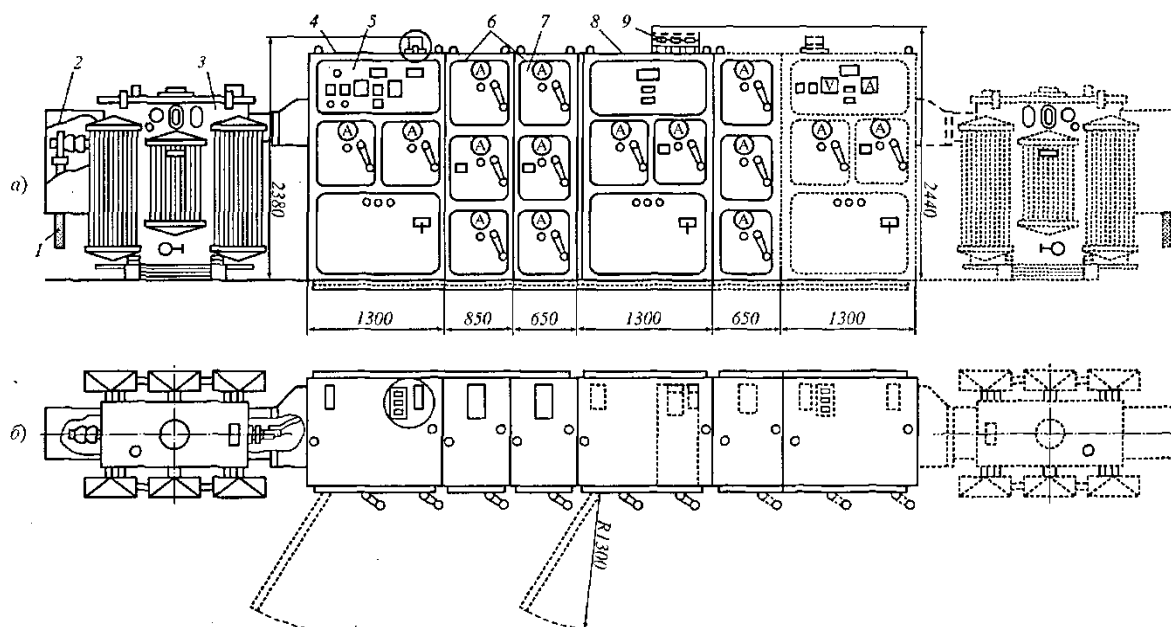


Рисунок 1.6 – Комплектная двухтрансформаторная подстанция мощностью 630 — 1000 кВА для внутренней установки с однорядным расположением оборудования:

а – вид спереди; б – план; 1 – кабель ВН; 2 – шкаф ввода ВН; 3 – силовой трансформатор; 4 – шкаф ввода НН; 5 – отсек приборов; 6 – шкаф отходящих линий НН; 7 – секционный шкаф НН или шкаф отходящих линий; 8 – шинный короб; 9 – окно для вывода кабеля вверх

мощностью до 1600 кВ·А. Расстояние в свету между масляными трансформаторами должно быть не менее 10 м.

Для внутрицеховых подстанций и КТП с сухими трансформаторами или с негорючим диэлектриком их мощность и расстояние между ними не ограничиваются.

КРУ и КТП следует, как правило, размещать в пределах «мертвой зоны» подъемно-транспортных механизмов. В цехах с интенсивным движением внутризаводского транспорта КРУ и КТП следует ограждать.

Ширина прохода для управления и ремонта КРУ выкатного типа и КТП должна обеспечивать удобство обслуживания и ремонта (0,6 – 0,8 м).

Ввод от трансформатора на щит может быть выполнен двумя способами: кабелями снизу на вводных панелях, предназначенных для кабельных вводов; шинами сверху с помощью вводных панелей или же непосредственно к сборным шинам через разъединитель, установленный на стене.

На рис. 17.2.2. представлена комплектная двухтрансформаторная подстанция мощностью 630 – 1000 кВА для внутренней установки с однорядным расположением оборудования. Автоматические выключатели выдвижного исполнения служат защитно-коммутационной аппаратурой, каждый автомат закрыт дверью, управление производится рукоятками и ключами, расположенными на дверях шкафов, а для дистанционного управления концы проводов подведены к рейке с зажимами. Присоединение вводов высшего напряжения глухое.

Комплектные трансформаторные подстанции напряжением 35/6—10 кВ. КТП напряжением 35/6 – 10 кВ применяют для электроснабжения небольших промышленных предприятий и сельскохозяйственных районов. КТП (рисунок 17.2.3) состоит из ОРУ напряжением 35 кВ, силового трансформатора и

КРУН напряжением 6 – 10 кВ наружной установки, металлического ограждения подстанции, совмещенного с контуром заземления.

Конструкция комплектной подстанции допускает возможность установки одного или двух силовых трансформаторов мощностью 630—3200 кВА.

ОРУ однотрансформаторной подстанции напряжением 35 кВ представляет собой портал, на котором смонтированы со стороны подстанции линейный разъединитель с двумя заземляющими ножами, а со стороны линии – стреляющие предохранители высокого напряжения, разрядники и резонансные заградители высокочастотной связи.

На стороне 35 кВ применяются следующие основные схемы: тупиковые, проходные, узловые, «мостик».

Ячейка ввода ОРУ имеет дополнительное внутреннее ограждение высотой 2 м, определяемой зоной выхлопа стреляющих предохранителей ПСН-35 и допустимыми расстояниями от аппаратуры, установленной в нижней части портала.

Двухтрансформаторная подстанция представляет собой сочетание двух комплектных однотрансформаторных подстанций, комплектуемых секционным шкафом напряжением 6 – 10 кВ. Ввод со стороны 35 кВ выполнен как для однотрансформаторной подстанции, но включает в себя два портала с линейными предохранителями, разъединителями и разрядниками.

Комплектные трансформаторные подстанции напряжением 110/6 – 10 кВ. КТП напряжением 110/6 – 10кВ состоят из ОРУ напряжением 110 кВ, силового трансформатора 5 и КРУН 7 наружной установки напряжением 6 – 10 кВ.

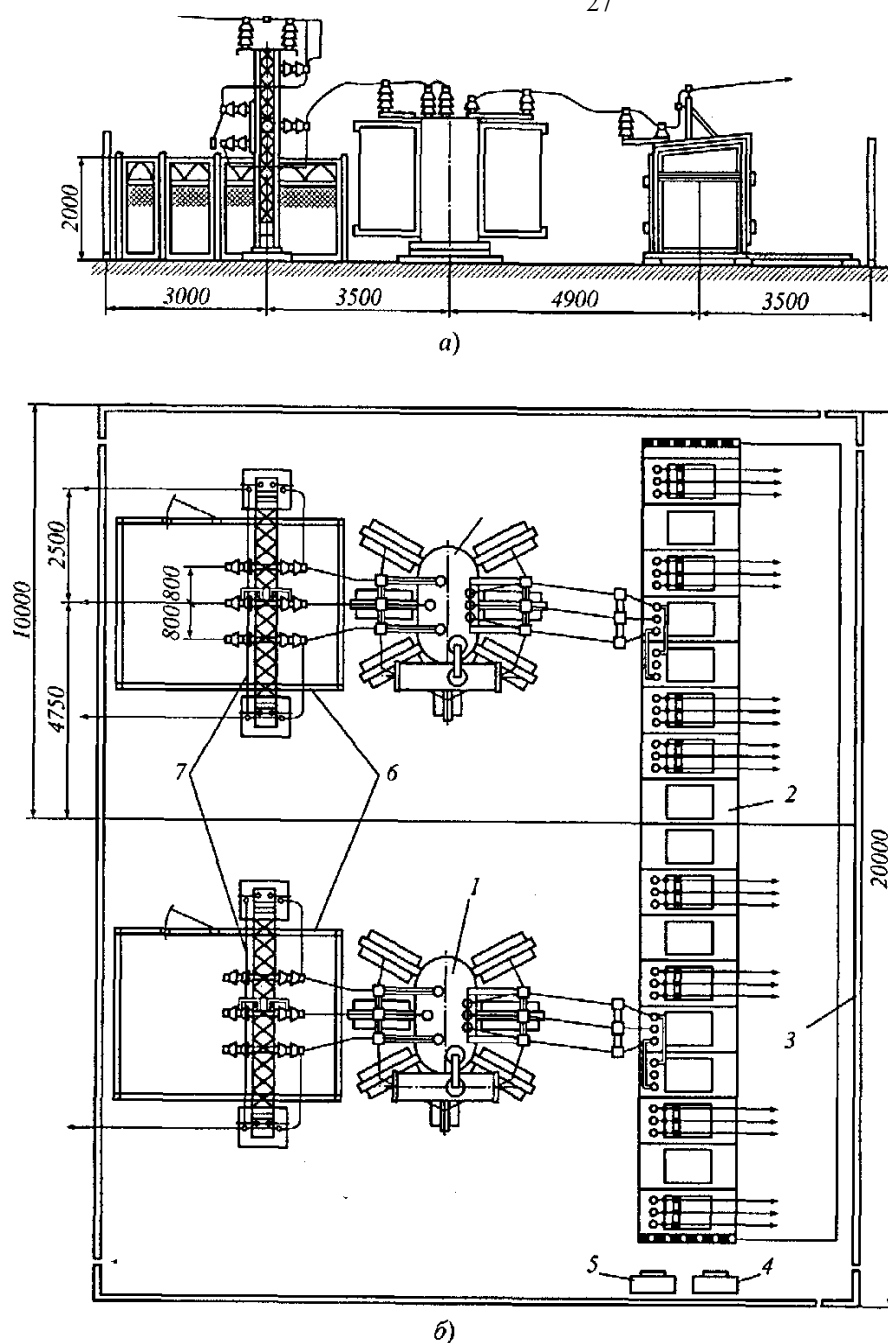


Рисунок 1.8 – Комплектная трансформаторная подстанция напряжением 35 кВ типа 2КТП-35/6-10П кВ с трансформаторами мощностью 3200 кВ-А:

а - вид спереди; б - план: 1 - трансформатор; 2 - КРУН напряжением 6... 10 кВ; 3 - внешнее ограждение; 4 - шкаф противопожарного оборудования; 5 - шкаф инвентарный; 6 - внутреннее ограждение предохранителей; 7 - ОРУ напряжением 35 кВ

ОРУ напряжением 110 кВ однотрансформаторной подстанции состоит из линейного разъединителя, отделителя, короткозамыкателя, заземляющего разъединителя, линейного портала, металлоконструкции под установку

высокочастотной связи. Узел линейного разъединителя 2 представляет собой металлоконструкцию portalного типа, на которой установлены полюсы разъединителя типа РЛНД—2 - 110/600. Полюсы соединяют между собой тягами. С приводом ПРН разъединитель соединен валами, привод ПРН устанавливается под центральным полюсом разъединителя на траверсе и снабжается внутренней блокировкой, не допускающей включения заземляющих ножей при включенных главных ножах разъединителя.

Узел отделителя и короткозамыкателя 3 - трехстоечная металлоконструкция, на которой установлены три полюса отделителя ОД-110 и короткозамыкатель КЗ-110. Отделитель управляется приводом ШПО, который устанавливается на одной из стоек. Короткозамыкатель изолируется от металлоконструкций четырьмя изоляторами.

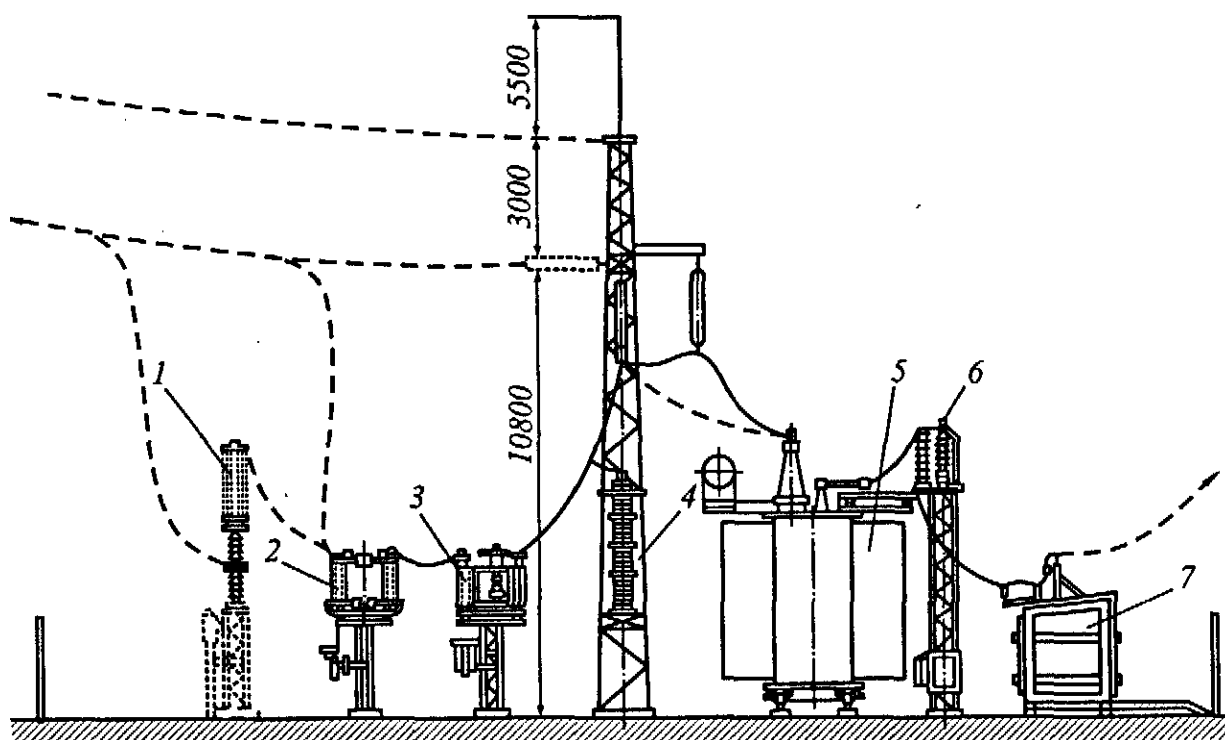


Рисунок 1.9 — Комплектная трансформаторная подстанция наружной установки напряжением 110/6—10 кВ ОРУ напряжением 110 кВ

Заземление короткозамыкателя производится шиной, которая проходит через трансформатор тока ТШЛ-0,5 проходного типа.

Узел заземляющего разъединителя 6 – одностоечная металлоконструкция, на которой установлен заземляющий разъединитель ЗОН. В зависимости от высоты силового трансформатора заводом поставляется установка заземляющего разъединителя высотой 3 и 5 м. На металлоконструкции заземляющего разъединителя устанавливается ящик с зажимами цепей управления.

Линейный портал 4 - одностоечная порталная конструкция с двумя траверсами. Портал служит для приема линии, к стойкам портала подсоединяются грозозащитные тросы, на одной из стоек портала устанавливается молниеотвод. Расстояние между проводами 2500 мм, а между грозозащитными тросами – 8000 мм. Верхняя траверса служит для подвески гирлянд изоляторов. На нижней траверсе устанавливаются разрядники РВС–110 с регистраторами разрядов.

Узел высокочастотной связи 1 рассчитан на совместную установку заградителя и конденсатора связи.

КРУН напряжением 6 – 10 кВ 7 – металлическая конструкция, состоящая из соединенных между собой шкафов, в которых смонтированы аппаратура силовых и вспомогательных цепей.

У силового трансформатора вблизи выводов напряжением 6 – 10 кВ устанавливаются вентильные разрядники РВП напряжением 6 – 10 кВ.

Источником питания оперативных цепей и устройств релейной защиты и автоматики является трансформатор собственных нужд.

2.1 Системы питания электроэнергией

Требования, предъявляемые к схемам электроснабжения и к источникам питания, многообразны. Они зависят от характера производства предприятий и от потребляемой ими мощности. В [1.3] принята следующая условная градация объектов: большие – с установленной мощностью электроприемников 75 – 100 МВт и более; средние – с установленной мощностью в диапазоне от 5 – 7,5 до 75 МВт; малые – с установленной мощностью до 5 МВт.

При построении схемы электроснабжения необходимо учитывать ряд специфических факторов, свойственных отдельным промышленным предприятиям,

в частности наличие зон с загрязненной и агрессивной средой, наличие особых групп электроприемников, требующих повышенной надежности питания, наличие электроприемников с резко переменной ударной нагрузкой и др. Эти факторы вызывают дополнительные требования к системам электроснабжения.

Нужно знать и учитывать специфические особенности работы отдельных производств, в частности их наиболее ответственных агрегатов, нормальное функционирование которых обеспечивает бесперебойность технологических процессов. Необходимо отметить, что технологический фактор при определении степени бесперебойности питания и установлении структурной схемы электроснабжения все еще недостаточно учитывается при проектировании. Между тем недоучет этого фактора вследствие плохого знания технологии может привести как к недостаточному уровню резервирования, так и к неоправданным затратам на излишнее резервирование.

Основным документом, определяющим структуру и состав электроустановок, являются Правила устройства электроустановок, в дальнейшем кратко называемые ПУЭ. Этот документ регулярно (один раз в десять лет) пересматривается, перерабатывается и дополняется. ПУЭ обобщают и узаконивают передовой опыт эксплуатации, учитывают перспективы развития и состояние электроэнергетики. В работе над ПУЭ принимают участие ведущие эксплуатационные, монтажные, наладочные, проектные и научно-исследовательские организации страны.

Электрическая сеть сооружается для электроснабжения потребителей. В соответствии с ПУЭ *электроснабжение* – обеспечение потребителей электрической энергией. Более широкое понятие *энергоснабжение* означает снабжение потребителей всеми видами энергии (электрической, тепловой, газом и др.). *Системой электроснабжения* называют совокупность электроустановок, предназначенных для электроснабжения.

Электрической сетью называют совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящую из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

Следует различать приемники и потребители электрической энергии (в дальнейшем кратко именуются приемниками и потребителями).

Приемник – аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

Потребитель – приемник или группа приемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

К системе электроснабжения предъявляют следующие основные требования:

1. Обеспечение требуемого качества электроснабжения потребителей. Под качеством электроснабжения обычно понимают требуемые уровни надежности электроснабжения и напряжений на зажимах приемников.

2. Экономическая целесообразность сооружения и эксплуатации, т.е. сочетание относительно невысоких стоимостей оборудования, затрат на строительство и эксплуатацию, включая потери электроэнергии.

3. Обеспечение возможности развития сети без ее коренного переустройства.

4. Удобство и безопасность обслуживания.

Сеть, наилучшим образом удовлетворяющая всем указанным требованиям, является *оптимальной*, т.е. наилучшей с учетом налагаемых реальной жизнью ограничений. Следует отметить, что с математической точки зрения эти требования являются *критериями оптимизации*, т.е. условиями, по которым судят о том, какой из вариантов сети является наилучшим. Поскольку таких критериев несколько, то говорят о *многоцелевой* (в данном случае с тремя целями) *оптимизации*. Основным по важности из них является первое требование.

Система электроснабжения представляет собой совокупность электрических сетей различных напряжений, обычно (исключая мегаполисы) напряжением 220 – 35, 6 – 10 и до 1 кВ. Совокупность сетей напряжением 220 – 35 кВ называется *электроснабжающими сетями*. Они, как правило, относятся к АО «Энерго». В состав электроснабжающих сетей входят подстанции и линии напряжением 220 – 35 кВ. Сборные шины подстанций этих сетей напряжением 6 – 10 кВ называют *центрами питания (ЦП)* сетей. Сети напряжением 6 – 10 кВ (в частности 35 кВ) предназначены для распределения электроэнергии между группами потребителей

или питания отдельных потребителей. Такие сети принято называть *распределительными сетями* (РС).

В общем случае РС включают в себя питающую сеть 6 – 10 кВ и непосредственно распределительную сеть того же напряжения. *Питающая сеть 6 – 10 кВ* часто состоит из питающих линий, распределительных пунктов и прямых связей между последними.

Питающая линия – линия напряжением 6 – 10 кВ, соединяющая распределительный пункт с ЦП и не имеющая распределения энергии по своей длине.

Распределительный пункт (РП) – подстанция 6 – 10 кВ, предназначенная для приема электроэнергии от ЦП и распределения ее без преобразования частоты (выпрямления) и напряжения (трансформации).

Прямая связь между РП – линия 6 – 10 кВ, связывающая 2 РП между собой.

Распределительная сеть 6 – 10 кВ состоит из распределительных линий 6 – 10 кВ и трансформаторных подстанций.

Распределительная линия – линия 6 – 10 кВ, подающая питание на трансформаторные подстанции или (и) на вводы электроустановок потребителей от РП или ЦП кВА.

Трансформаторная подстанция (ТП) – электроустановка, осуществляющая понижение напряжения с 6 – 10 кВ на уровень до 1 кВ, чаще всего 0,4 кВ. В типовых ТП сети устанавливаются трансформаторы с номинальной мощностью.

В состав РС входят полностью или частично разветвленные сети напряжением до 1 кВ.

Распределительные пункты и трансформаторные подстанции оснащают основным и вспомогательным электрооборудованием.

Основным называют оборудование, непосредственно участвующее в передаче и распределении электрической энергии. *Вспомогательное* предназначено для обеспечения указанных выше процессов. К обеспечивающим системам относятся управление (включая средства диспетчерского телеуправления), релейная защита и электроавтоматика, измерение параметров электрических величин, учет

электроэнергии, собственные нужды (освещение, отопление, вентиляция, подогрев приводов и др.).

В составе любого РП и ТП имеются одно или несколько распределительных устройств РУ.

Распределительным устройством называется сооружение, предназначенное для сбора электрической энергии от ее источников и распределения ее между потребителями *на одном* напряжении. На ТП может быть два РУ – напряжением выше 1 кВ и напряжением до 1 кВ.

В общем случае в состав РУ входят:

- сборные типы (необходимы для подключения к ним всех элементов – источников и приемников);
- ошиновка – токоведущие части отдельных элементов (трансформаторов, линий);
- коммутационные аппараты, необходимые для включения или отключения электрических цепей;
- измерительные трансформаторы тока и напряжения;
- оборудование высокочастотной обработки линий электропередачи.

Выключатель – аппарат, предназначенный для ручного (дистанционно или с места установки аппарата) и автоматического включения и отключения токов нагрузочных режимов и КЗ. Возможность коммутанта обеспечивается дугогасительным устройством.

Выключатель нагрузки – выключатель, способный коммутировать токи нагрузочных режимов. Отличается от *выключателя* относительно слабым дугогасительным устройством.

Разъединитель – аппарат, предназначенный для обеспечения видимого разрыва в обесточенной электрической цепи. Разъединитель не может коммутировать токи нагрузочных режимов, тем более коротких замыканий, из-за отсутствия дугогасительного устройства.

Отделители и короткозамыкатели в совокупности предназначены для отключения поврежденного трансформатора на подстанциях без выключателей.

Коммутационные аппараты напряжением до 1 кВ по существу выполняют те же функции, что и аппараты напряжением выше 1 кВ, но часто имеют другие названия. В таблице 1 приведена аналогия между указанными аппаратами.

Таблица 1 – Таблица аналогий коммутационных аппаратов

Коммутационные аппараты	
Напряжением до 1 кВ	Напряжением выше 1 кВ
Выключатель	Автоматический выключатель (автомат)
Выключатель нагрузки	Контактор, магнитный пускатель
Разъединитель	Рубильник

Следует отметить, что магнитным пускателем называют контактор, оснащенный защитой от перегрузки (тепловыми реле).

Измерительные трансформаторы тока ТА и напряжения ТУ предназначены для уменьшения тока и напряжения до значений, которые могут быть измерены обычными амперметрами (с пределами измерения 5 А или 1 А) и вольтметрами (с пределом измерения 100 В).

Разрядники F предназначены для защиты оборудования РУ от перенапряжений.

Предохранители F предназначены для защиты оборудования от действия токов короткого замыкания, а в отдельных случаях – и от перегрузки.

Конструктивное исполнение распределительных подстанций напряжением 6 – 10 кВ

На рисунке 1.10 приведена компоновка распределительной подстанции, пристроенной к зданию цеха с двумя выходами наружу. Часть РП, находящаяся в ведении энергоснабжающей организации, отделена перегородкой с дверью, запираемой на замок.

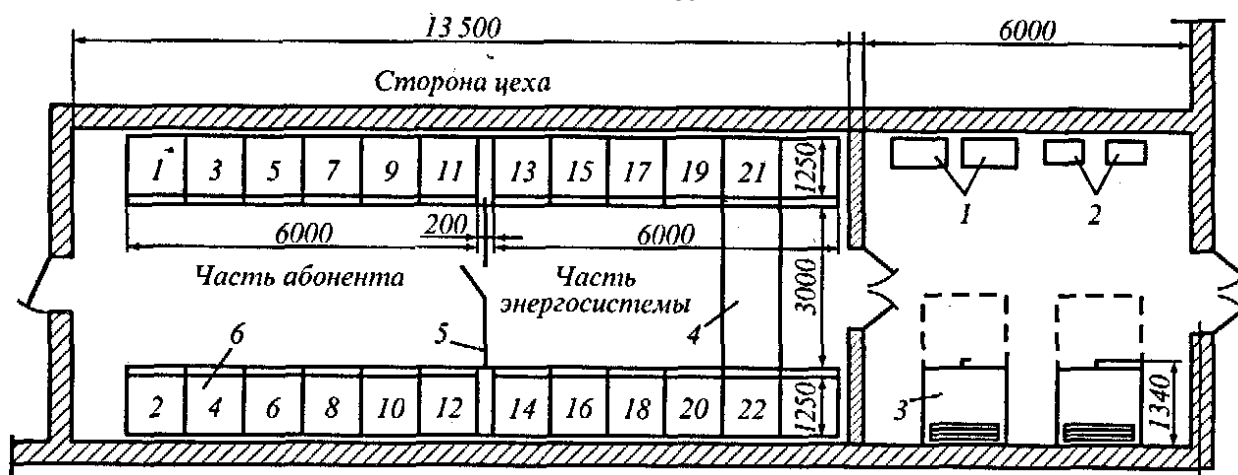


Рисунок 1.10 – Расположение оборудования распределительной подстанции напряжением 10 кВ при двухрядном расположении камер КСО при разделении распределительной подстанции на части абонента и энергосистемы:

1 - блоки питания; 2 - щитки защиты; 3 - шкаф оперативного тока типа ШУОТ; 4 - мост шинный длиной 3000 мм; 5 - ограждение сетчатое с дверью; 6 - камера типа КСО-272

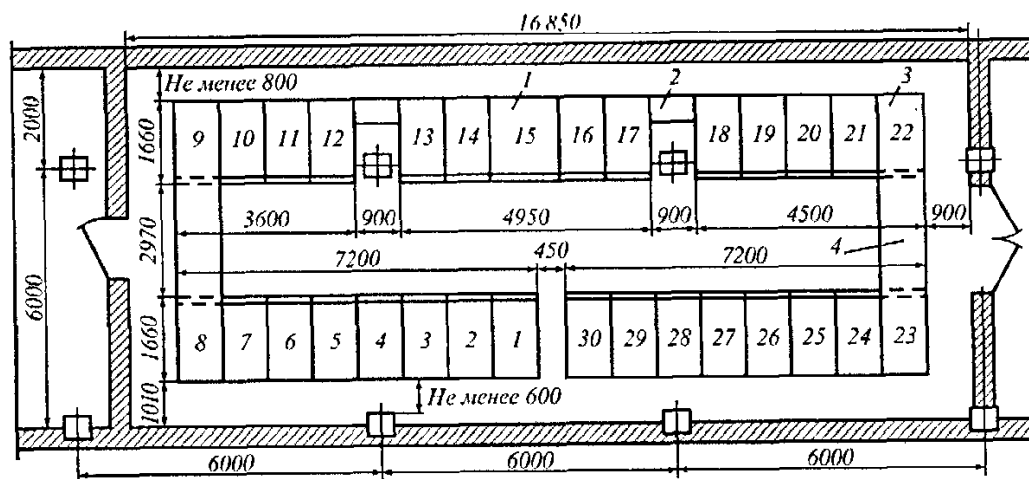


Рисунок 1.11 – Вариант компоновки распределительной подстанции напряжением 10 кВ в отдельном помещении между колоннами в цеху:

1 - шкаф КРУ размером 1350 мм; 2 - токопровод между шкафами; 3 - шкаф КРУ размером 900 мм; 4 - токопровод между секциями КРУ

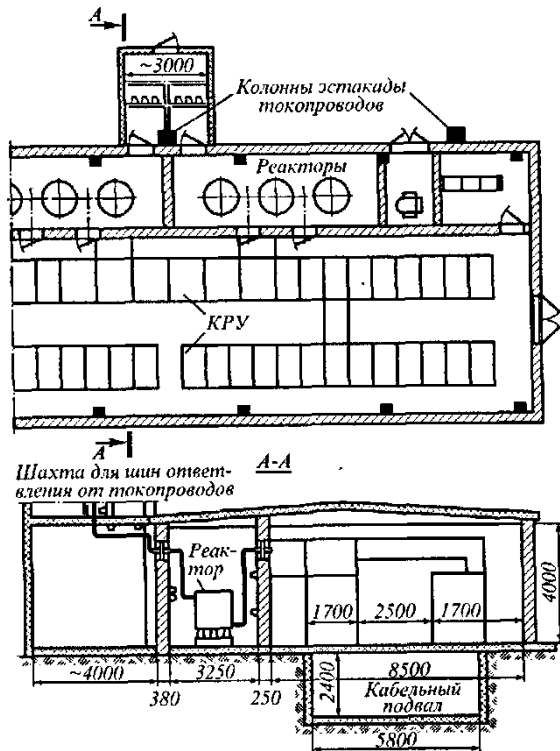


Рисунок 1.12 — Компоновка распределительной подстанции с выкатными КРУ и реакторами с подводом питания через специальную шахту от гибких токопроводов

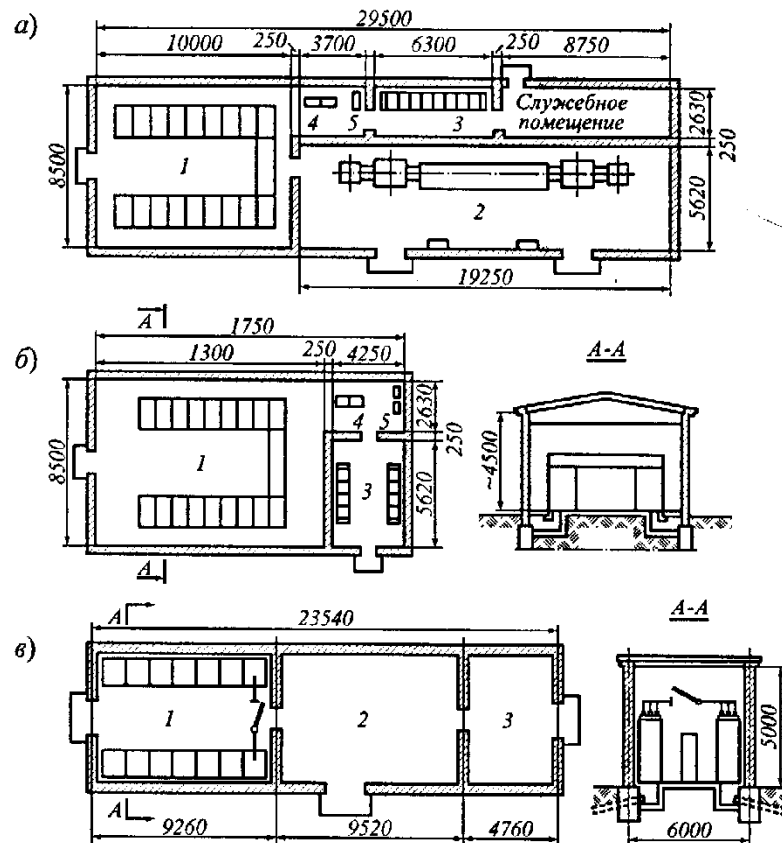


Рисунок 1.13 – Выполнение распределительных подстанций напряжением 6 — 10 кВ:

а - отдельно стоящая РП с камерами КРУ, совмещенная с КТП и комплектной конденсаторной установкой (ККУ); б - отдельно стоящая РП с камерами КРУ, совмещенная с ККУ; в - отдельно стоящая РП с камерами КСО, совмещенная с КТП и ККУ; 1 - камеры КРУ или КСО; 2 - КТП; 3 - ККУ; 4 - электропитание приводов; 5 - вводное устройство силового питания

На рисунке 1.11 приведена компоновка распределительной подстанции при размещении в отдельном помещении между колоннами в цеху.

На рис. 1.12 показана компоновка распределительной подстанции с выкатными КРУ с подводом питания через специальную шахту и с установкой в специальных ячейках токоограничивающих реакторов.

На рис. 1.13. показано несколько примеров выполнения распределительных подстанций, некоторые из которых совмещены с трансформаторными подстанциями. Компоновки РП предусматривают также возможность размещения в них конденсаторных установок (УК).

Комплектные трансформаторные подстанции применяют для приема, распределения и преобразования электрической энергии трехфазного тока частотой 50 Гц.

По числу трансформаторов КТП могут быть однитрансформаторными, двухтрансформаторными и трехтрансформаторными.

По роду установки КТП могут быть:

внутренней установки с масляными, сухими или заполненными негорючей жидкостью трансформаторами;

наружной установки (только с масляными трансформаторами);

смешанной установки с расположением РУ высшего напряжения и трансформатора снаружи, а РУ низшего напряжения внутри помещения.

КТП можно разделить на четыре основные группы.

1. КТП наружной установки мощностью 25 – 400 кВА, напряжением 6 – 35/0,4 кВ, применяемые для электроснабжения объектов сельскохозяйственного назначения. Это в основном мачтовые подстанции. КТП данной группы состоят из шкафа ввода ВН, трансформатора и шкафа НН, укомплектованного на отходящих линиях автоматическими выключателями.

2. КТП внутренней и наружной установки напряжением до 10 кВ включительно мощностью 160 – 2500 кВ·А, которые в основном используются для электроснабжения промышленных предприятий. КТП этой группы состоят из шкафов ввода на напряжение 10 кВ и РУ напряжением до 1 кВ. Для КТП применяют как масляные, так и заполненные негорючей жидкостью или сухие трансформаторы специального исполнения с боковыми выводами, для КТП наружной установки – только масляные.

3. Сборные и комплектные трансформаторные подстанции напряжением 35 – 110/6 – 10 кВ. Со стороны высокого напряжения подстанции комплектуются открытыми распределительными устройствами напряжением 35 – 110 кВ, со стороны 6 – 10 кВ – шкафами КРУН наружной установки.

4. КТП специального назначения, перевозимые на салазках, напряжением 6 – 10 кВ, мощностью 160 – 630 кВА, которые выпускаются для электроснабжения стройплощадок, рудников, шахт, карьеров.

Технические данные подстанций внутренней установки приведены в таблице 17.1.1, наружной установки – в таблице.17.1.2.

Таблица 17.1.1 Технические характеристики КТП напряжением 6... 10 кВ общего назначения для внутренней установки

Тип	Мощность трансформатора, кВ·А	Тип трансформатора	Комплектующее оборудование	
			Шкафы ВН	Шкафы НН
КТП 250/6 и 10/0,4	250	ТМФ-250/10	—	—

2КТП 250/6 и 10/0,4	2x250	ТМФ-250/10	—	—
КТП 400/6 и 10/0,4	400	ТМФ-400/10	ВВ-1	КРН-5
2КТП 400/6 и 10/0,4	2x400	ТМФ-400/10	ВВ-1	КРН-5
КТП 630/6 и 10/0,4	630	ТМФ-630/10	ВВ-4	КРН-6
2КТП 630/6 и 10/0,4	2x630	ТМФ-630/10	ВВ-4	КРН-6
КТПМ 630/6 и 10/0,4	630	ТМФ-630/10	ВВ-4	КРН-6
2КТПН 630/6 и 10/0,4	2x630	ТМФ-630/10	ВВ-4	КРН-9
КТП 630	630	ТМЗ-630/10	ВВ-2	КН-2
2КТП 630	2x630	ТСЗ-630/10	ВВ-2, ВВ-3	КН-2, КН-3, КН-4
КТП 1000	1000	ТМЗ-1000/10	ВВ-2, ВВ-3	КН-2, КН-3, КН-4
2КТП 1000	2x1000	ТСЗ-1000/10	ВВ-2, ВВ-3	КН-5, КН-6, КН-17, КН-20
КТПМ 1000	1000	ТСЗ-1000/10	ШВВ-3	ШНВ-1М, ШНЛ-1М
2КТПМ 1000	2 x 1000	ТСЗ-1000/10	ШВВ-3	ШНВ-1М, ШНЛ-1М
КТПМ 1600	1600	ТСЗ-1600/10	ШВВ-3	ШНС-1М
2КТПМ 1600	2x1600	ТСЗ-1600/10	ШВВ-3	ШНВ-2М, ШНС-2М
КТПУ 630	630	ТМЗ-630/10	ВВН	ШН-2М, ШН-4М
2КТПУ 630	2x630	ТНЗ-630/10	ШВВ-3	ШН-5; ШН-8
КТПУ 1000	1000	ТМЗ-1000/10	ШВВ-3	ШН-10
2КТПУ 1000	2 x 1000	ТНЗ-1000/10	ШВВ-3	ШН-10
КТПУ 1600	1600	ТМЗ-1600/10	ШВВ-3	ШН-9

Продолжение таблицы 17.1.1.

2КТПУ 1600	2х1600	ТНЗ-1600/10	ШВВ-3	ШН-9
КТПМ 1000	1000	ТМЗ, ТНЗ-1000/10	ШВВ-5 с выключателем	ШНВ-1М, ШНВ-2М
2КТПМ 1000-6/0,4	2 х 1000	ТМЗ, ТНЗ-1000/10	ШВВ-5 с выключателем	ШНЛ-1М, ШНЛ-2М
2КТПМ 1000-6/0,69	2 х 1000	ТМЗ, ТНЗ-1000/10	ВН-11 или глухой	ШНС-1М, ШНС-2М
КТПМ 1600/10	1600	ТМЗ, ТНЗ-1600/10	ВН-11 или глухой	ШНВ-2М, ШНВ-3М
2КТПМ 1600/10	2 х 1600	ТМЗ, ТНЗ-1600/10	ВН-11 или глухой	ШНЛ-2М, ШНС-2М
КТПМ 2500-10/0,4	2500	ТНЗ-2500/10	ШВВ-3	ШНЛ-2К, ШНЛ-3К
2КТПМ 2500-10/0,69	2 х 2500	ТНЗ-2500/10	ШВВ-3	ШНС-3К, ШНВ-2К

Примечания: 1. Блок высоковольтного ввода выполняется трех типов: ВВ–1 - с глухим присоединением кабеля; ВВ–2 - с присоединением кабеля через разъединитель; ВВ–3 - с присоединением кабеля через разъединитель и предохранитель. 2. Буквы М и У в обозначении типов КТП соответственно обозначают: модифицированный и унифицированный.

Таблица 17.1.2. Технические характеристики комплектных трансформаторных подстанций наружной установки типа КТПН-72М напряжением 6 – 10 кВ.

Показатель	КТПН-72М-160	КТПН-72М-250	КТПН-72М-400
Мощность трансформатора, кВ·А	160	250	400
Разъединитель	РВЗ-10-400	РВЗ-10-400	РВЗ-10-400
Привод	ПР-10	ПР-10	ПР-10
Ввод	Кабельный	Кабельный	Кабельный

Примечание. КТПН поставляются без силовых трансформаторов.

3. Аппаратура и материалы

При выполнении лабораторной работы используются ресурсы сети Internet

(класс открытого доступа), справочники по электрооборудованию, а так же типовые проекты, проспекты и каталоги продукции фирм и компаний, выпускающих электрооборудование.

4. Указания по технике безопасности

Во время выполнения лабораторной работы студент обязан выполнять указания инструкций по технике безопасности, находящихся в лаборатории электроснабжения и классе открытого доступа.

5. Методика и порядок выполнения работы

1. Студент получает индивидуальное задание от преподавателя.

2. Студент находит необходимый справочный материал

В качестве справочного материала могут быть использованы:

- справочники по электрооборудованию, изданные не позднее, чем 5 – 6 лет назад;
- каталоги и альбомы ведущих предприятий и фирм, выпускающих электрооборудование;
- подробные рекламные материалы;
- информацию, содержащуюся на сайтах компьютерной сети Internet;
- материалы, имеющиеся на кафедре АЭС в бумажном и электронном виде.

Использование ресурсов сети Internet при выполнении данной лабораторной работы обязательным не является, но их использование крайне желательно, так как дает самую свежую информацию.

3. Производится изучение найденного материала.

4. Оформляется отчет по лабораторной работе (индивидуальный).

6. Содержание отчета и его форма

Отчет по лабораторной работе оформляется индивидуально и должен содержать:

- титульный лист с указанием названия лабораторной работы, индивидуального

задания, а также группы и Ф.И.О. студента;

- цель работы;
- сведения об источниках полученной информации;
- необходимые данные по схемам и параметрам оборудования (желательно в табличной форме)
- область применения данного оборудования;
- выводы по работе.

Пример отчета приведен в приложении 1.

7. Вопросы для защиты работы

1. Что такое электроприемник, потребитель, система электроснабжения?
2. Что такое РП, ЦРП?
3. Как подразделяются электроустановки по величине напряжения, режиму нейтрали, роду тока и частоте?
4. Рассмотрите особенности графического изображения схем и планов электроснабжения применительно к каждому из уровней системы электроснабжения.
5. Рассмотрите принципы выбора аппаратов по номинальным параметрам совместно с техническими условиями энергосистем и требованиями потребителей.
6. Свяжите выбор высоковольтных выключателей с номинальными параметрами, задаваемыми заводами-изготовителями, и расчетными величинами возможных режимов электрических сетей предприятия, включая режим КЗ.
7. Нужна ли проверка аппаратов на термическую стойкость? Если да, то в каких аппаратах?
8. Определите максимальное количество приборов, которые могут быть присоединены к выбранному трансформатору тока.
9. Для расстояний между шинами и между изоляторами, принятыми заводами-изготовителями для стандартных ячеек КРУ, проверьте токоведущие устройства на динамическую стойкость.
10. Каковы особенности и аппаратные

средства измерения: отклонений и колебаний напряжения; несимметрии напряжений; несинусоидальности напряжения (коэффициента несинусоидальности и коэффициента гармонической составляющей напряжения)?

11. Каковы назначение, организация, виды учета и расхода электроэнергии?

12. Какие счетчики электроэнергии и информационно-измерительные системы применяются в системах электроснабжения?

13. Рассмотрите особенности графического изображения схем и планов электроснабжения применительно к каждому из уровней системы электроснабжения.

14. Изобразите узлы присоединения предприятия к РУ подстанции энергосистемы.

15. Укажите варианты возможных присоединений предприятия с использованием ЛЭП энергосистем.

16. Укажите различия в принципах построения схем электроснабжения предприятий, различающихся по величине заявляемой мощности.

17. Каковы особенности выбора схем и оборудования ГПП?

18. Изобразите схемы блочных подстанций ГПП.

19. Рассмотрите во времени изменение взглядов на применение выключателей на высокой стороне ГПП.

20. Представьте различные варианты схем подстанций с резкопеременной и ударной нагрузками.

21. Какие принципы используются при разработке схем блочных подстанций для разделения пиковой и спокойной нагрузки?

22. Опишите компоновки ОРУ заводских подстанций и по справочникам найдите габариты основного оборудования,

устанавливаемого на ОРУ.

23. Рассмотрите принципы выбора аппаратов по номинальным параметрам совместно с техническими условиями энергосистем и требованиями потребителей.

24. Свяжите выбор высоковольтных выключателей с номинальными параметрами, задаваемыми заводами-изготовителями, и расчетными величинами возможных режимов электрических сетей предприятия, включая режим КЗ.

25. Нужна ли проверка аппаратов на термическую стойкость? Если да, то в каких аппаратах?

26. Определите максимальное количество приборов, которые могут быть присоединены к выбранному трансформатору тока.

27. Для расстояний между шинами и между изоляторами, принятыми заводами-изготовителями для стандартных ячеек КРУ, проверьте токоведущие устройства на динамическую стойкость.

28. Каковы особенности и аппаратные средства измерения: отклонений и колебаний напряжения; несимметрии напряжений; несинусоидальности напряжения (коэффициента несинусоидальности и коэффициента гармонической составляющей напряжения)?

29. Поясните необходимость и границы регулирования напряжения.

30. Опишите защитное действие молниеотвода и выполните категорирование известных вам зданий и сооружений.

31. Каковы назначение, организация, виды учета и расхода электроэнергии?

32. Какие счетчики электроэнергии и информационно-измерительные системы применяются в системах электроснабжения?

Литература

Основная литература

1. Лыкин, А. В. Математическое моделирование электрических систем и их элементов : Учебное пособие / Лыкин А. В. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. – 227 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. – ISBN 978-5-7782-2262-5

2. Стрельников, Н. А. Электроснабжение промышленных предприятий / Н.А. Стрельников. - Новосибирск : НГТУ, 2013. - 100 с. - ISBN 978-5-7782-2193-2,

3. Сибикин, Ю. Д. Основы электроснабжения объектов / Ю.Д. Сибикин. - М.|Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 328 с. - ISBN 978-5-4458-5750-1

Дополнительная литература

1. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – Москва : РадиоСофт, 2014. – 328 с. : ил. ; 21. – Библиогр.: с. 326-327. – ISBN 978-5-93037-208-3

2. Справочник по проектированию электрических сетей / [И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро] ; под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 376 с. : ил. – Библиогр.: с. 370-373. – ISBN 978-5-4248-0049-8

3. Шлейников, В. Б. Электроснабжение промышленных предприятий : практикум : учебное пособие / В.Б. Шлейников ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» ; Кафедра электроснабжения промышленных предприятий, 1. – Оренбург : ОГУ, 2012. – 99 с. : табл., схем. – <http://biblioclub.ru/>. – Библиогр.: с. 97.

Приложение 1.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА АЭСИЭ

ОТЧЕТ
по лабораторной работе
«Изучение современного электрооборудования: Конструкции КСО»

Индивидуальное задание «Ячейки КСО–6 (10)–Э1»

Выполнил:

студент 4 курса
группы ЭЭТ-б-о-15-2
Иванов С.П.

Проверил:

Доцент А.И. Гринь

Ставрополь, 2026 г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Подробное изучение конструкций КСО.

СВЕДЕНИЯ ОБ ИСТОЧНИКАХ ПОЛУЧЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Информация взята из проспекта ОАО ПО «Элтехника» «Техническая информация ТИ–013–2000. АВРОРА КСО – 6 (10) – Э1», а также с сайта www.elteh.ru.

НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Ячейки «АВРОРА» типа КСО–6(10)–Э1 предназначены для комплектования распределительных устройств напряжением 6 и 10 кВ трехфазного переменного тока частотой 50 Гц с изолированной или компенсированной нейтралью и применяются в распределительных и трансформаторных подстанциях.

Ячейки предназначены для работы внутри помещений при следующих условиях:

- высота над уровнем моря до 1000 м;
- температура окружающего воздуха от минус 25°С до плюс 40°С;
- окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли и агрессивных газов или паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию.

По требованию заказчика в ячейках устанавливаются нагревательные элементы, обеспечивающие нормальные температурные условия работы аппаратуры, включающиеся автоматически.

Ресурс по механической стойкости до первого капитального ремонта:

- 50000 циклов включений – отключений вакуумного выключателя ВВ/TEL;
- 2000 включений и 2000 отключений выключателя нагрузки (разъединителя), заземляющего разъединителя, производимых предназначенными для них приводами;
- 1000 открываний и 1000 закрываний каждой двери.

Коммутационный ресурс вакуумного выключателя ВВ/TEL:

- при отключении номинального тока – 50000 циклов включений – отключений;
- при отключении тока (60–100) % от номинального тока отключения – 100 циклов.

Коммутационный

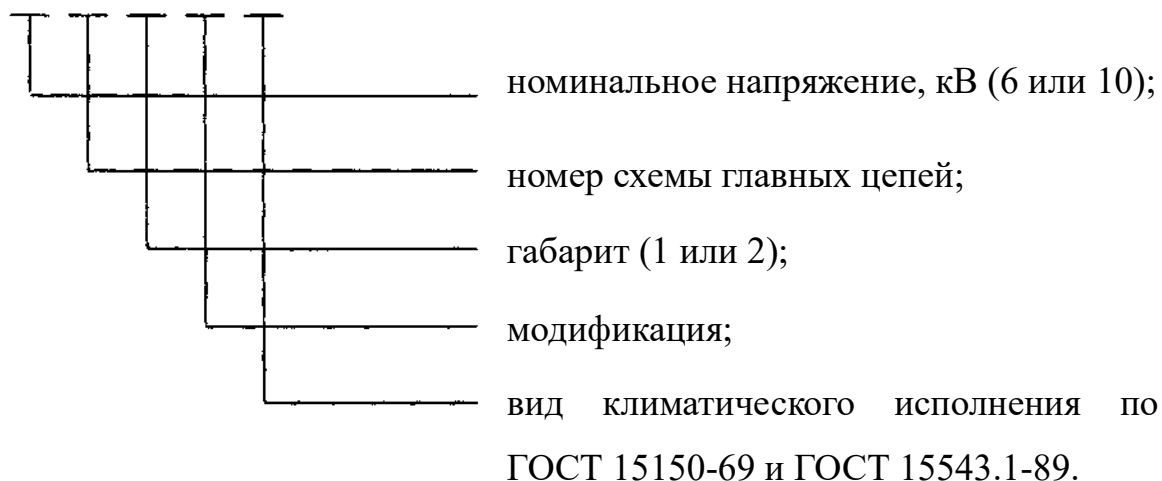
ресурс выключателя нагрузки:

– 100 включений и 100 отключений при коммутации номинального тока.

Ячейки «АВРОРА» имеют срок службы 20 лет.

СТРУКТУРА УСЛОВНОГО ОБОЗНАЧЕНИЯ ЯЧЕЙКИ

КСО – X – X – X – Э1 У3



ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

В ячейках устанавливаются:

вакуумные выключатели	ВВ/TEL («Таврида Электрик»)
выключатели нагрузки	IML («Sagel», Италия)
3-х позиционные разъединители	SML («Sagel»)
2-х позиционные разъединители	SVR («Sagel»)
заземлители	STL («Sagel»)
предохранители	SIBA (Германия)
трансформаторы напряжения	НАМИТ и НОЛ
трансформаторы тока	ТОЛ
трансформаторы собственных нужд	ТСКС
ограничители перенапряжений	TEL

Оперативные цепи выполнены на переменном токе напряжением 220 В.

Схемы вторичной коммутации выполнены с применением микропроцессорных

блоков релейной защиты совместного производства ОАО «ПО Элтехника» и фирмы ORION (Италия). Возможно применение МБРЗ других производителей, по специальному требованию заказчика.

Выбор предохранителей.

Номинальный ток в А, без перегрузки при $5^{\circ}\text{C} < t^{\circ} < 40^{\circ}\text{C}$

Таблица 1 – Номинальный ток плавкой вставки, А

Рабочее напряжение, кВ	Номинальная мощность трансформатора, кВА							
	25	40	63	100	160	250	400	630
6	10	16	20	25	31,5	50	80	100
10	6,3	6,3	10	16	25	31,5	50	63

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Основные параметры и характеристики ячейки «АВРОРА» приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные параметры ячейки «АВРОРА»

Наименование параметра	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6,0; 10,0
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12,0
Номинальный ток главных цепей, А	400; 630, 1000
Номинальный ток сборных шин, А	630, 1000
Номинальный ток плавкой вставки предохранителей, А	6,3; 10; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200.
Номинальный ток отключения предохранителей, кА:	
– 6,3 – 160 А	63
– 200 А	50
Номинальный ток трансформаторов тока, А	50; 75; 100; 150;

	200; 300; 400; 600.
Номинальный ток выключателей нагрузки, А	400; 630.
Нормированные параметры тока включения на КЗ выключателей нагрузки, кА: – наибольший пик – начальное действующее значение периодической составляющей	31, 5; 40; 51 12,5; 16; 20,
Номинальный ток вакуумных выключателей, А	630; 1000.
Номинальный ток отключения вакуумных выключателей, кА	12,5; 20
Ток электродинамической стойкости, кА	31, 5; 40; 51.
Ток термической стойкости, в течение 1с, кА	12,5; 16; 20.

Продолжение таблицы 2

Номинальное напряжение вспомогательных цепей, В – постоянного тока – переменного тока – освещения	110; 220 110; 220 36
Степень защиты оболочкой по ГОСТ – 14254-96	IP31
Габаритные размеры, мм: – ширина – глубина – высота	300; 500; 750 800 2180; 2380.
Масса, кг	не более 350

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ

Ячейка КСО-б(10)-Э1 представляет собой металлоконструкцию, изготовленную из оцинкованной стали $\delta = 2$ мм. Детали металлоконструкции

изготовлены на высокоточном оборудовании с ЧПУ, методом холодной штамповки. Все несущие соединения выполнены на усиленных стальных вытяжных заклепках. Наружные элементы конструкции (двери, боковые панели и т.д.) окрашены порошковой краской PAL 7032.

С целью обеспечения безопасности ячейка разделена на три отсека: отсек сборных шин, высоковольтный отсек, кабельный отсек, а также шкаф релейной защиты и вторичной коммутации.

Выключатели нагрузки (разъединители) устанавливаются на границе отсека сборных шин и высоковольтного отсека. Конструктивно верхние контакты выключателей нагрузки (разъединителей) являются опорными изоляторами для сборных шин.

В высоковольтном отсеке располагается аппаратура главных цепей: вакуумный выключатель, трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, предохранители. Сетка схем главных цепей показана на рисунке 1.

В шкафу релейной защиты и вторичной коммутации установлены: микропроцессорные блоки релейной защиты, приборы контроля и учета электроэнергии, клеммный ряд и т.д. На задней стенке ячейки имеются разгрузочные клапаны. Ячейки отделены друг от друга металлическими перегородками.

Ячейка имеет отдельные двери как для шкафа релейной защиты и вторичной коммутации, так и для высоковольтного и кабельного отсеков.

Для обзора внутреннего пространства ячейки на дверях отсеков расположены смотровые окна. В ячейках установлены светильники с лампами накаливания напряжением 36 В, обеспечивающие возможность замены ламп без открывания дверей.

Сборные шины изготовлены из электротехнической меди и установлены внутри отсека сборных шин.

Все аппараты и приборы, установленные в ячейке и подлежащие заземлению, заземлены. Верхняя дверь, на которой установлены приборы вспомогательных цепей, заземлена гибким проводом. Нижняя дверь заземлена гибкой перемычкой. При установке ячейки сблечиваются друг с другом, образуя единый контур

заземления. Для соединения с внешним заземляющим контуром каждая ячейка имеет в нижней части доступный для осмотра болт заземления.

Приводы выключателей нагрузки, разъединителей, заземлителей и аппаратов управления, реле защиты, управления, сигнализации, приборы учета и измерения расположены с фасадной стороны ячейки.

Каналом для магистральных шинок, шинок оперативных цепей, цепей управления и сигнализации служит короб для межкамерных соединений, расположенный на верхней панели шкафа релейной защиты и вторичной коммутации.

В шкафу релейной защиты и вторичной коммутации установлен клеммный ряд для выполнения межкамерных соединений вспомогательных цепей.

Общий вид ячейки показан на рисунке 2.

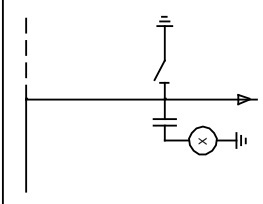
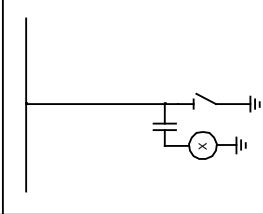
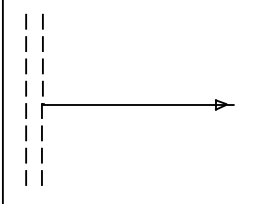
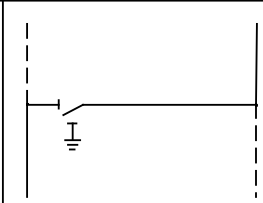
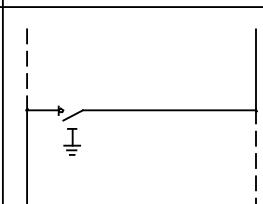
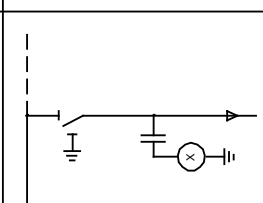
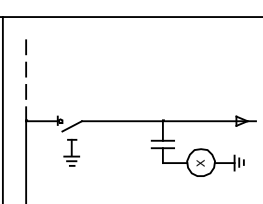
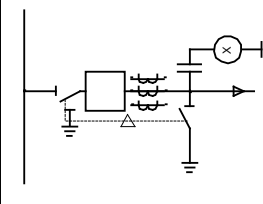
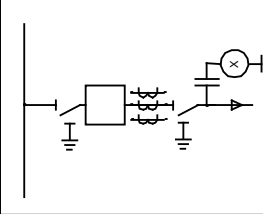
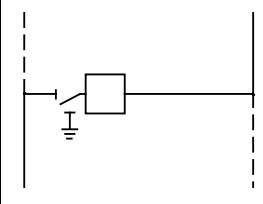
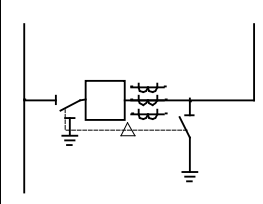
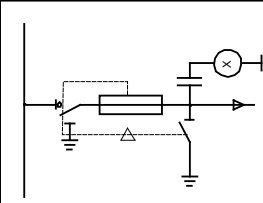
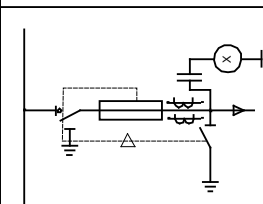
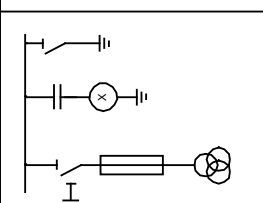
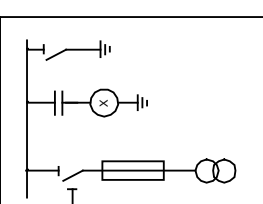
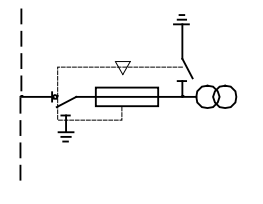
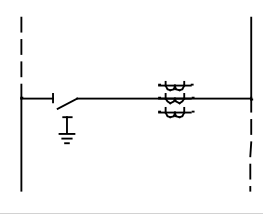
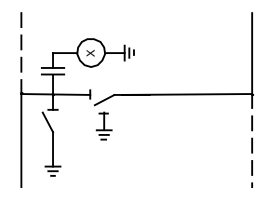
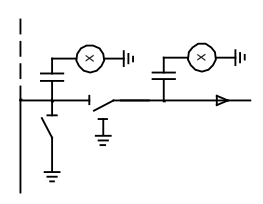
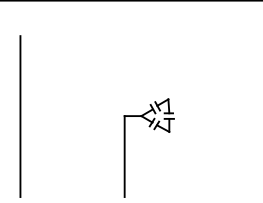
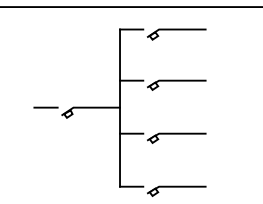
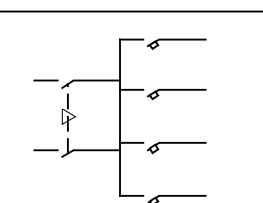
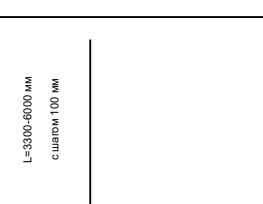
При двухрядном расположении ячеек в помещении распределительного устройства между рядами ячеек устанавливается шинный мост. Шинный мост представляет собой металлоконструкцию, собранную из закрытых коробов, с установленными в них изоляторами и шинами.

Основные технические характеристики выключателей нагрузки, разъединителей и заземляющих разъединителей приведены в таблице 3.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Ячейки КСО – 6 (10) – Э1 являются современным и надежным оборудованием, полностью соответствующим ГОСТ и одобренным Госэнергонадзором РФ.

В ячейках предусмотрена многоуровневая система безопасности, реализуемая системой механических блокировок, не допускающих ошибочных переключений при обслуживании и ремонте. Наличие мнемосхемы с индикацией положения аппаратов повышает эксплуатационную надежность ячеек и безопасность оперативного персонала.

Схема №1 Габарит 1 500х2180х800 Габарит 2 500х2380х800 	Схема №2 Габарит 1 500х2180х800 Габарит 2 500х2380х800 	Схема №3 Габарит 1 300х2180х800 Габарит 2 300х2380х800 	Схема №3.2 Габарит 1 300х2180х800 Габарит 2 300х2380х800 	Схема №4 Габарит 1 500х2180х800 Габарит 2 500х2380х800 	Схема №5 Габарит 1 500х2180х800 Габарит 2 500х2380х800 	Схема №6 Габарит 1 500х2180х800 Габарит 2 500х2380х800 	Схема №7 Габарит 1 500х2180х800 Габарит 2 500х2380х800 	Схема №10 Габарит 1 750х2180х800 Габарит 2 750х2380х800 	Схема №11 Габарит 2 750х2380х800 	Схема №12 Габарит 1 500х2180х800 Габарит 2 500х2380х800 	Схема №14 Габарит 1 750х2180х800 Габарит 2 750х2380х800 	Схема №16 Габарит 1 500х2180х800 Габарит 2 500х2380х800 	Схема №17 Габарит 1 500х2180х800 Габарит 2 500х2380х800 	Схема №19 Габарит 1 750х2180х800 Габарит 2 750х2380х800 	Схема №21 Габарит 1 750х2180х800 Габарит 2 750х2380х800 	Схема №22 Габарит 1 750х2180х800 Габарит 2 750х2380х800 	Схема №23 Габарит 1 500х2180х800 Габарит 2 500х2380х800 	Схема №24 Габарит 2 500х2380х800 	Схема №30 Габарит 2 500х2380х800 	Схема №33 Габарит 1 750х2180х800 Габарит 2 750х2380х800 	Схема №36 Габарит 1 500х2180х800 Габарит 2 500х2380х800 	Схема №37 Габарит 1 500х2180х800 Габарит 2 500х2380х800 	Схема №38 Шинный мост L=3300-6000 мм с шагом 100 мм 

Рисунокунок 1 – Сетка схем главных цепей

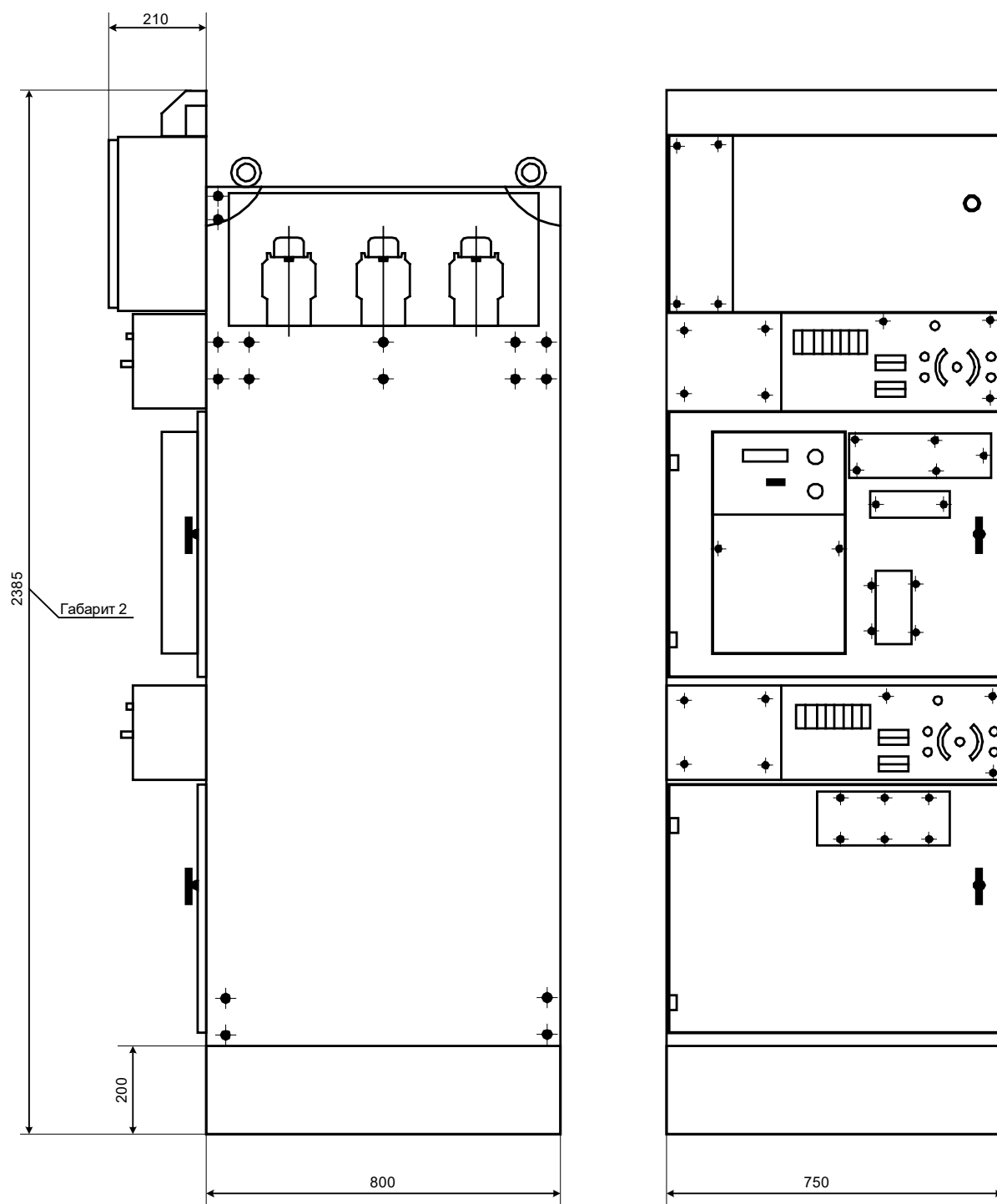


Рисунок 2 – Общий вид ячейки (схема 11)

Таблица 3 – Основные технические данные ВН, РЗ, ЗР

Наименование	Выключатель нагрузки	Разъединитель	Заземляющий разъединитель
Номинальное напряжение, кВ	10	10	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12	12	12
Номинальный ток, А	400; 630	400; 630	—
Наибольший ток отключения при $\cos\varphi > 0,7$, А	400; 630	—	—
Номинальный ток отключения ненагруженного трансформатора, А	4; 16	—	—
Номинальный ток отключения ненагруженного кабеля, А	25	—	—
Нормированные параметры сквозных токов короткого замыкания:			
– ток электродинамической стойкости, кА;	31, 5; 40; 51	31,5; 40; 51	31, 5; 40; 51
– начальное действующее значение периодической составляющей, кА;	12,5; 16; 20	12, 5; 16; 20	12,5; 16; 20
– ток термической стойкости, кА;	12,5; 16; 20	12,5; 16; 20	12,5; 16; 20
– время протекания тока	1	1	1

короткого замыкания, с			

Продолжение таблицы 3

Нормированные параметры тока включения на короткое замыкание: – ток электродинамической стойкости, кА; – начальное действующее значение периодической составляющей сквозного тока короткого замыкания, кА	31,5; 40; 51 12,5; 16,20	— "	31, 5; 40; 51 12,5; 16; 20
Номинальное напряжение цепей управления и элементов вспомогательных цепей, В: – при постоянном токе – при переменном токе	110; 220 110; 220	110; 220 110; 220	110; 220 110; 220
Диапазон рабочих напряжений цепей управления и элементов вспомогательных цепей (в процентах от номинального), %: –при постоянном токе – при переменном токе	70-110 65-110	70-110 65-110	70-110 65-110
Испытательные напряжения изоляции главной токоведущей цепи, кВ – одноминутное, промышленной частоты 50 Гц;	42	42	42

– грозовой импульс 1,2/50 мкс	85	85	85

Продолжение таблицы 3

Полное электрическое сопротивление главной токоведущей цепи полюса, не более, мкОм	200	200	200
Ресурс по механической стойкости (количество циклов В-т _П -О до капитального ремонта)	2000	2000	2000
Коммутационный ресурс (количество циклов В-т _П -О, выполняемых при коммутации номинального тока без замены и ревизии контактов}, не менее	100	—	—
Срок службы до списания, не менее, лет	30	30	30
Масса, не более, кг	30	30	20

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Степень (квалификация) выпускника – бакалавр

Ставрополь, 2026

Методические указания содержат рекомендации к курсовому проектированию по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий» и предназначены для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Изложен комплекс вопросов по проектированию систем электроснабжения, приведены рекомендуемые темы курсовых проектов, требования к заданиям на проектирование и методические указания по их выполнению. Изложены основные понятия и сведения, необходимые для выполнения курсового проекта. Даются также рекомендации по оформлению расчетно-пояснительной записки и графической части курсового проекта.

СОДЕРЖАНИЕ

	Предисловие
1	Тематика курсовых проектов
1.1	Общие положения
1.2	Темы курсовых проектов и исходные данные
2	Содержание и объем расчетно-пояснительной записки
2.1	Объем курсового проекта
2.2	Требования к оформлению расчётно-пояснительной записки
2.3	Требования к графической части проекта
2.4	Защита курсового проекта
3	Рекомендации по выполнению разделов курсового проекта
3.1	Введение
3.2	Описание технологии производства с определением степени бесперебойности электроснабжения и потребителей в цехах по категориям взрыво-, пожаро- и электробезопасности
3.3	Определение расчетных нагрузок по предприятию и узлам нагрузки
3.4	Выбор номинального напряжения системы электроснабжения
3.5	Определение места расположения ГПП и построение картограммы нагрузок
3.6	Определение мощности компенсирующих устройств на высокой стороне
3.7	Выбор мощности трансформаторов ГПП
3.8	Определение числа и мощности цеховых силовых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности на стороне ниже 1000 В
3.9	Выбор схемы внутриводского электроснабжения
3.10	Выбор сечений токоведущих жил кабелей напряжением 10 кВ
3.11	Технико-экономическое сравнение вариантов
4	Рекомендации по организации работ над курсовым проектом
5	Порядок защиты и ответственность студента за выполнение задания по курсовому проекту
6	Рекомендуемая литература
	Приложение А
	Приложение Б

Приложение В
Приложение Г
Приложение Д
Приложение Ж

Введение

Изучение дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий» заканчивается разработкой курсового проекта, который является одним из основных этапов подготовки бакалавров направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника» и представляет собой самостоятельную работу, при выполнении которой студент должен применить знания, полученные в процессе обучения в университете. Общие требования к выполнению курсового проекта определяются «Положением об организации и выполнению курсовых работ (проектов) в СКФУ», утвержденным ректором университета 09.04.2013г. В результате изучения дисциплины студенты должны: знать методику расчёта электрических нагрузок и порядок определения номинальных напряжений сети; уметь определять количество и мощность силовых трансформаторов и находить мощность компенсирующих устройств; изучить методику расчёта токов короткого замыкания и принципы выбора основного оборудования.

Целью курсового проектирования является более широкое и глубокое изучение дисциплины, приобретение навыков проектирования и самостоятельного решения конкретных инженерных задач, связанных с вопросами электроснабжения промышленных предприятий. Выполнение его является одним из основных этапов подготовки студентов к ВКР (дипломному проектированию), которое заключается:

- в систематизации, закреплении и расширении теоретических знаний студента по специальности, и применение их при решении конкретных инженерно-технических задач в практике проектирования, развитие творческого мышления студентов и навыков самостоятельной работы, овладение методиками инженерно-технических и экономических расчетов при проектировании систем электроснабжения;

- в выявлении подготовленности студента к самостоятельной работе в условиях современного производства.

При учебном проектировании системы электроснабжения промышленного предприятия студентами специализации «Электроснабжение промышленных предприятий» и бакалаврами профиля подготовки «Электроснабжение» решаются следующие задачи:

- самостоятельное и глубокое изучение основ дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭСПП);
- приобретение навыков решения основных задач проектирования систем электроснабжения (СЭС);
- обобщение и расширение знаний при изучении дисциплины ЭСПП, а также специальных и общетехнических дисциплин;
- обучение студентов критически мыслить и подходить к решению задач осознанно, на основе детального анализа;
- приобретение навыков пользования справочной и научной литературой, ГОСТами, каталогами и типовыми проектами.

Работа над курсовым проектом дает возможность обобщить и расширить знания, полученных при изучении курса «Электроснабжение промышленных предприятий», а также других специальных и общетехнических дисциплин. Так, при разработке схем электроснабжения, выполнению расчетов по выбору марок и сечению проводов сетей, а также в других вопросах студенту приходится использовать знания, полученные им при изучении курсов: «Передача и распределение электроэнергии», «Переходные процессы в системах электроснабжения», «Электрическая часть подстанций» и др.

Наряду с задачами синтеза решаются задачи анализа, так как невозможно принять решение без детального анализа отдельных вопросов. Например, выбор схем электроснабжения возможен лишь на основе детального анализа нагрузок, их характеристик, возможных напряжений сети, схем отдельных подстанций и возможных вариантов схем электрической сети, которые могут быть использованы в данных условиях. Поэтому задачами проекта является также научить студента критически мыслить и подходить к решению задач осознанно, на основе детального анализа. Кроме того, задачами курсового

проектирования являются: научить студентов пользоваться справочной литературой, ПУЭ, нормами, каталогами, типовыми проектами.

Курсовое проектирование может производиться для реальных объектов находящихся в эксплуатации, проектируемых или реконструируемых объектов. Значительное внимание в курсовом проекте должно быть уделено технико-экономическому обоснованию принимаемых решений.

Курсовое проектирование является комплексной задачей, в которой все элементы являются звеньями общей цепочки. Однако учет всех влияний в сложных современных динамически развивающихся системах практически невозможен. Поэтому студент должен учиться делать возможные допущения, пренебрегать второстепенными вопросами, и уметь найти главное звено. Для уменьшения количества ошибок, оптимизации и качественного представления результатов расчетов, рекомендуется составлять сводные таблицы и использовать ПЭВМ.

Проект должен отвечать требованиям действующих ГОСТов, норм ЕСКД, учитывать правила устройств электроустановок (ПУЭ), правила технической эксплуатации электроустановок потребителей, межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок, а также основываться на применении международной системы единиц (СИ).

1 ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ

1.1 Общие положения

Электрическая энергия нашла широкое применение во всех отраслях экономики благодаря ее значительным преимуществам перед другими видами энергии, обусловленными относительной простотой получения, передачи и преобразования. Электрическая энергия используется на промышленных, добывающих и перерабатывающих предприятиях, предприятиях агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства, на транспорте, в строительстве, быту и т.д. (в дальнейшем – на предприятиях).

Предприятия (потребители электрической энергии) получают ее от распределительной сетевой компании и собственных электростанций по распределительным сетям. Непосредственными приемниками электрической энергии на предприятиях являются электродвигатели, сварочные агрегаты, высокочастотные и осветительные установки, нагреватели, выпрямительные устройства и радиоэлектронная аппаратура, которые могут быть включены в распределительную сеть одного напряжения или в электрические сети разных напряжений.

Система электроснабжения промышленного предприятия должна обеспечивать:

- надежность электроснабжения;
- качество передаваемой электроэнергии как вида продукции;
- безопасность электротехнического и неэлектротехнического персонала при эксплуатации сетей и электроустановок;
- экономичность, то есть минимум приведенных затрат на сооружение и эксплуатацию сетей и установок;
- изменение конфигурации сетей в связи с изменением технологии производства;
- минимальные потери электроэнергии в сетях;
- экологичность, т.е. уменьшение вредного воздействия на окружающую среду.

Для обеспечения перечисленных требований инженер-электрик и бакалавр в области электроэнергетики должны обладать теоретическими знаниями и умением творчески применять их в своей практической деятельности, когда приходится самостоятельно решать вопросы, не имеющие однозначного ответа. Опыт показывает, что именно в процессе проектирования студенты работают наиболее увлеченно, используя свои знания и возможности.

Выполнение курсового проекта по электроснабжению промышленных предприятий идет успешнее и с минимальными потерями времени, если студент представляет алгоритм выполнения проекта. Для устранения

непроизводительных потерь времени при выполнении курсового проекта пособие содержит рекомендации по его реализации, пример выполнения отдельного задания и необходимые справочные данные.

Одним из важнейших этапов проектирования является качественная оценка промежуточных результатов для устранения ошибок в последующих расчетах, что осуществляется на консультациях с руководителем проекта. При этом наряду с задачами синтеза решаются задачи анализа, так как невозможно принять решение без анализа отдельных вопросов. Например, выбор схем электроснабжения возможен лишь на основе анализа нагрузок, их характеристик, напряжений сети, схем подстанций и вариантов схем электрической сети, которые могут быть использованы в данных условиях. Поэтому выполнение курсового проекта предоставляет возможность студенту научиться критически мыслить и подходить к решению задач осознанно, на основе детального анализа.

Перед началом работы над курсовым проектом студент совместно с руководителем составляет задание на проектирование по установленной форме. Только после подписи задания студентом, руководителем и утверждения заведующим кафедрой, студент считается приступившим к выполнению курсового проекта;

Основные обязанности руководителя:

- помощь в разработке задания на курсовое проектирование;
- рекомендации студенту по подбору необходимой литературы, методов расчета, информационных и программных средств по теме проекта;
- проведение регулярных консультаций по графику, согласованному со студентами;
- проверка качества выполнения курсового проекта;
- присутствие на защите проекта.

После ознакомления с проектом и отзывом руководителя заведующий кафедрой решает вопрос о допуске студента к защите, о чем руководитель делает надпись на титульном листе расчетно-пояснительной записки.

Помимо соблюдения основных правил, надо помнить еще и об эстетике оформления работы, так как оформление расчетно-пояснительной записки во многом определяет впечатление, которое производит работа. За принятые в курсовом проекте решения, выполненные расчеты и выводы отвечает автор проекта.

Тема курсового проекта на титульном листе и в задании должна формулироваться в строгом соответствии с приказом ректора университета.

В расчетно-пояснительной записке должны быть представлены все необходимые расчёты с указанием и оценкой методов расчета и расчётных формул. В одном примере это должно быть сделано подробно, а в остальных случаях все материалы должны быть сведены в таблицы.

В пояснительной записке следует привести расчетные электрические схемы и дать чёткое обоснование принятых решений по всем выполненным вопросам задания.

Расчетно-пояснительная записка должна начинаться с задания на курсовой проект с исходными данными на проектирование, заполненное в соответствии с Положением о выполнении и защите курсовых работ (проектов) в ФГАОУ ВПО СКФУ. К пояснительной записке прилагается список литературы (использованных источников), которой пользовался студент при работе над проектом. Содержание расчетно-пояснительной записки и краткие указания по выполнению отдельных разделов задания рассмотрены ниже.

1.2 Темы курсовых проектов и исходные данные

Типовыми темами курсового проекта могут быть:

1. Электроснабжение цеха (корпуса).
2. Схема электроснабжения предприятия на напряжение выше 1000 В.

Для каждого студента тема определяется заданием, выдаваемым ему руководителем курсового проекта.

Тема курсового проекта дается каждому учащемуся индивидуально. Задание утверждается на заседании кафедры.

По первой теме необходимы следующие данные:

План цеха с нанесенным на нем технологическим и силовым электрооборудованием.

Ведомость технологического производственного оборудования с краткой характеристикой.

Для всех электроприемников должны быть заданы:

P_H – номинальная мощность; U_H – номинальное напряжение, род тока, режим работы, тип и другие необходимые характеристики.

Разрез по цеху или основные размеры по высоте с указанием отметок расположения подкрановых путей, ферм верхних перекрытий и т.п. Наличие естественного освещения.

Ситуационный план (участок генплана предприятия) расположения цеха и источников питания.

Характеристика источников питания: U_H – номинальное напряжение, S_H – номинальная мощность отдельных источников (или суммарная мощность всех), необходимые параметры источников питания для расчетов КЗ (сопротивление системы и другие данные).

Режим работы цеха: число рабочих смен в сутки, число рабочих дней в году, длительность в часах одной смены или годовой фонд рабочего времени: максимум активной – $T_{ма}$ и реактивной мощности $T_{мр}$ или годовой коэффициент сменности по энергоиспользованию – α .

Стоимость электроэнергии на шинах источника питания для выполнения экономических расчетов (по двухставочному тарифу).

Характер окружающей среды.

По второй теме необходимы следующие данные:

Генеральный план предприятия с расположением всех, как основных, так и вспомогательных цехов (корпусов) и сооружений, с нанесением на нем всех наземных и подземных коммуникаций, таких как: линии железных и шоссейных дорог, трассы различных трубопроводов и т.п.

Ситуационный план расположения предприятия и источников питания с характеристикой местности (район климатических условий по гололеду, ветру, высота над уровнем моря и другие характеристики).

Данные по суммарной установленной мощности электроприемников по характерным группам в каждом цехе по их номинальным напряжениям (в некоторых случаях могут быть заданы расчетные нагрузки цехов для приемников напряжением до 1 кВ).

Для отдельных крупных электроприемников напряжением выше 1000 В даются все необходимые характеристики по каждому электроприемнику: P_n , U_n , $\cos \varphi_n$, число фаз, режим работы и т.п.

Характеристики источников питания: их мощность, номинальное напряжение, значение расчетных сопротивлений относительно питающих шин или мощности короткого замыкания.

Режим работы предприятия: число рабочих смен в сутки, число рабочих дней в году и длительность одной рабочей смены, или годовой фонд рабочего времени $T_{\text{рг}}$ и годовой коэффициент сменности по энергоиспользованию – α или продолжительность максимума активной – $T_{\text{ма}}$ и реактивной мощностей $T_{\text{мр}}$. Стоимость электроэнергии на шинах подстанции по двухставочному тарифу.

2 СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

2.1 Объём курсового проекта

В курсовом проекте должны быть разработаны следующие разделы:

- Введение
- 1 Описание технологии производства с определением степени бесперебойности электроснабжения и потребителей в цехах по категориям взрыво-, пожаро- и электробезопасности
- 2 Определение расчетных нагрузок по предприятию и узлам нагрузки
- 3 Выбор номинального напряжения системы электроснабжения

- 4 Определение места расположения ГПП и построение картограммы нагрузок
 - 5 Определение мощности компенсирующих устройств на высокой стороне
 - 6 Выбор мощности трансформаторов ГПП
 - 7 Определение числа и мощности цеховых силовых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности на стороне ниже 1000 В
 - 8 Выбор схемы внутриводского электроснабжения
 - 9 Выбор сечений токоведущих жил кабелей напряжением 10 кВ
 - 10 Техничко-экономическое сравнение вариантов
 - 11 Расчет токов короткого замыкания
 - 12 Проверка кабелей по термической стойкости току КЗ
 - 13 Выбор электрооборудования
 - 14 Конструктивное исполнение ГПП и цеховых трансформаторов
 - 15 Описание релейной защиты системы электроснабжения завода
- Заключение
- Список использованной литературы
- Приложения

2.2. Требования к оформлению расчётно-пояснительной записки

Расчетная часть курсового проекта выполняется в виде пояснительной записки в полном соответствии с правилами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и ГОСТ 2.105 «Общие требования к текстовым документам».

Текст пояснительной записки должен быть лаконичным, логически связанным, расчеты после подробного изложения примера сводятся в таблицы указанной формы. Следует избегать изложения общеизвестных положений, например, по конструкции, принципу действия устройств и т. п.

В расчетно-пояснительной записке должны быть приведены рисунки, схемы и таблицы, иллюстрирующие суть изложения.

Объем расчетно-пояснительной записки должен составлять не менее 40-50 страниц текста, выполненного с использованием компьютера на одной

стороне листа белой бумаги, формата А4, шрифт – Times New Roman 14-го размера, межстрочный интервал – 1,5. Номер страницы проставляют в правом нижнем углу листа. Страницы текстового материала следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему документу. Титульный лист текстового документа включают в общую нумерацию страниц. Номер страницы на титульном листе не проставляют. Расстояние от края бумаги до границ текста следует оставлять: в начале строк – 30 мм; в конце строк – 10 мм; от верхней или нижней строки текста до верхнего или нижнего края бумаги – 20 мм. Размер абзацного отступа должен быть одинаковым по всему тексту работы и равным 12,5 мм.

Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего курсового проекта, обозначенные арабскими цифрами. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номера подразделов состоят из номера раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Нумерация пунктов должна состоять из номера раздела, подраздела и пункта, разделенных точкой. Заголовок разделов, подразделов и пунктов следует печатать с абзацного отступа, с прописной буквы, без точки в конце, не подчеркивая. Заголовки структурных элементов располагают симметрично тексту и отделяют от текста интервалом в одну строку. Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 2 интервалам. Расстояние между заголовками раздела и подраздела – 1 интервалу. Не допускается делать переносы слов в заголовках.

Список использованных источников должен быть оформлен в соответствии с ГОСТом «Библиографическая запись. Библиографическое описание». Ссылка на использованные источники информации должны даваться в квадратных скобках. В них указывается номер источника информации в библиографическом списке.

2.3 Требования к графической части проекта

Графическая часть курсового проекта выполняется с соблюдением соответствующих государственных стандартов и содержит 2-3 листа формата А1, где размещаются: генплан промышленного предприятия с нанесением картограммы нагрузок, однолинейная схема электроснабжения предприятия, план цеха с расстановкой оборудования и указанием основных питающих линий от цеховой ТП к узлам нагрузки, принципиальная однолинейная схема электроснабжения цеха, электроосвещения цеха, заземления, карта селективности и дополнительные сведения: спецификация, экспликации отдельных узлов системы электроснабжения (по заданию руководителя).

На принципиальной схеме в соответствии с действующими ГОСТами ЕСКД изображаются все выбранные элементы системы электроснабжения с указанием их типа и номинальных параметров.

2.4 Защита курсового проекта

Полностью оформленные материалы курсового проекта представляются студентом руководителю в сроки, установленные графиком проектирования для курсового проекта. После проверки, а при необходимости и после доработки, проект представляется к защите. Защита курсового проекта происходит в присутствии комиссии в составе трех человек: руководителя проекта и преподавателей дисциплин цикла. При защите студент должен сделать краткий доклад по результатам работы и ответить на предложенные ему вопросы. На защиту дипломного проекта отводится до 20 минут. Это время включает в себя доклад автора дипломного проекта (не более 5-7 мин), который должен содержать:

- обоснование необходимости разработки проекта;
- основные сведения об источниках питания и потребителях;
- главные этапы проектирования и методы решения задач, которые при этом были использованы;
- описание оригинальных частей проекта;

– заключение.

Во время доклада необходимо грамотно использовать представленный графический материал дипломного проекта, делая ссылки на принципиальные схемы, таблицы и т.п. Вопросы, задаваемые на защите, могут касаться как проекта в целом, так и его деталей, а также быть чисто теоретическими, задаваемыми с целью проверки глубины знаний студента.

3 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

3.1 Введение

Во введении расчетно-пояснительной записки необходимо отразить развитие рассматриваемой отрасли промышленности; рассмотреть перспективы развития систем электроснабжения промышленных предприятий, проблемы, стоящие перед специалистами при проектировании систем электроснабжения, изложить цель и задачи проектирования, отразить требования основных нормативных документов, ПУЭ, СНиП, ГОСТ и регламентов.

Раздел «Введение» в пояснительной записке не нумеруется.

3.2 Описание технологии производства с определением степени бесперебойности электроснабжения и потребителей в цехах по категориям взрыво-, пожаро- и электробезопасности

В данном разделе расчетно-пояснительной записки необходимо дать краткое содержание технологического процесса, характеристику основных приемников электроэнергии цеха по роду тока, напряжению, режиму работы и требованиям, предъявляемым к бесперебойности электроснабжения. Отнесение электроприемников к соответствующей категории надежности должно быть обосновано, а также определено их процентное содержание.

Для решения вопросов по выбору исполнения электрических сетей промышленных предприятий, подстанций и электрооборудования необходимо

дать характеристику производственной среды с классификацией помещений по электробезопасности.

3.3 Определение расчетных нагрузок по предприятию и узлам нагрузки

Электрические нагрузки промышленных предприятий определяют выбор всех элементов его системы электроснабжения, поэтому правильное определение электрических нагрузок является решающим фактором при проектировании и эксплуатации электрических сетей.

Определение электрических нагрузок производится с целью выбора числа и мощности трансформаторов, выбора кабелей и шинопроводов, проверки их по нагреву и потере напряжения, для расчета отклонений и колебаний напряжения, выбора коммутационно-защитной аппаратуры и компенсирующих устройств.

Расчет ведется по установленной мощности и коэффициенту спроса [1].

Определение расчетной нагрузки по коэффициенту спроса применяется при отсутствии данных о числе электроприемников и их мощности, об удельном потреблении электроэнергии на единицу продукции или удельной плотности нагрузок на 1 м^2 площади цеха. В соответствии с методом коэффициента спроса допускается (на стадии проектного задания и при других ориентировочных расчетах) определять нагрузку предприятия в целом по средним величинам коэффициента спроса по формуле

$$P_{расч} = K_C \cdot P_{НОМ} \quad (3.1)$$

Значения коэффициента спроса зависят от технологии производства и приводятся в отраслевых инструкциях и справочниках (Приложение А).

Расчетную реактивную нагрузку определим по формуле, квар:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.2)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности, соответствующий средневзвешенному значению $\cos \varphi$ данного цеха.

Осветительная активная нагрузка цеха определяется по формуле, кВт:

$$P_{\text{осв}} = k_{\text{с.осв}} \cdot \rho_{\text{уд}} \cdot F_{\text{ц}}, \quad (3.3)$$

где $k_{\text{с.осв}}$ – коэффициент спроса осветительных нагрузок [8];

$\rho_{\text{уд}}$ – удельная осветительная нагрузка на единицу площади цеха, Вт/м² [6];

$F_{\text{ц}}$ – площадь цеха, определяемая по генплану, м².

Газоразрядные лампы на предприятии используются как основные источники света обеспечивающие нормальную работу производства, для них реактивная мощность определяется по формуле, квар:

$$Q_{\text{осв}} = 0,75 \cdot P_{\text{осв}} \cdot \text{tg} \varphi_{\text{ОН}}, \quad (3.4)$$

где $\text{tg} \varphi_{\text{ОН}} = 0,33$ по [2].

В качестве электрических источников света на промышленном предприятии используются газоразрядные лампы и лампы накаливания.

Активная расчетная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по удельной нагрузке и коэффициенту спроса:

$$P_{\text{расчОН}} = K_{\text{сОН}} p_{\text{удОН}} F_{\text{ц}} \quad (3.5)$$

где $p_{\text{удОН}}$ – удельная нагрузка осветительных приемников (ламп);

$F_{\text{ц}}$ – площадь пола цеха, определяемая по генплану;

$K_{\text{сОН}}$ – коэффициент спроса осветительной нагрузки.

Лампы накаливания на предприятиях в основном используются в качестве аварийного освещения, которое служит для временного продолжения работы или для эвакуации людей из помещения при внезапном отключении рабочего освещения. Для ламп накаливания $\text{tg} \varphi_{\text{л.н}} = 0$.

Газоразрядные лампы на предприятии используются как основные источники света (составляют примерно 75 % от общей мощности осветительной нагрузки), обеспечивающие нормальную работу производства, для них реактивная мощность определяется по формуле

$$Q_{\text{расчОН}} = 0,75 P_{\text{расчОН}} \text{tg} \varphi_{\text{ОН}}, \quad (3.6)$$

где $\text{tg} \varphi_{\text{ОН}} = 0,33$.

Расчетный максимум нагрузки выбираемого j -го элемента (кабель, провод, шинопровод, трансформатор, аппарат и т.д.), питающего определенную группу как силовых, так и осветительных электроприемников напряжением до 1 кВ, представляется как сумма расчетной силовой и осветительной нагрузки:

$$\begin{aligned} P_{расчj} &= P_{расчННj} + P_{расчОНj}; \\ Q_{расчj} &= Q_{расчННj} + Q_{расчОНj}; \\ S_{расчj} &= \sqrt{(P_{расчj})^2 + (Q_{расчj})^2}. \end{aligned} \quad (3.7)$$

Для определения расчетного максимума нагрузки может быть соблюден следующий порядок расчета.

1. Выявляются номинальные параметры электроприемников, входящих в группу, а также их коэффициенты использования. Резервные и работающие эпизодически приемники не учитываются. Также можно пренебречь электроприемниками малой мощности, если их мощность составляет менее 5 % от суммарной номинальной мощности ЭП совокупности. Определяется постоянная времени нагрева выбираемого j -го элемента T_{0j} .

2. Определяются и суммируются средние активные и реактивные нагрузки рабочих силовых приемников электроэнергии данного элемента. Определяется групповой коэффициент использования $K_{гj}$ и эффективное число электроприемников $n_{эj}$. По справочным данным находятся расчетные коэффициенты K_{pj} активной и L_{pj} реактивной нагрузок для выбираемого j -го элемента. Подсчитывается максимальная силовая расчетная нагрузка $P_{расч ННj}$ и $Q_{расч ННj}$.

3. Определяются расчетные активные $P_{расч ОНj}$ и $Q_{расч ОНj}$ реактивные нагрузки осветительных приемников, питающихся от j -го элемента.

4. Суммируются расчетные силовые и осветительные нагрузки j -го элемента и определяется полная расчетная мощность $S_{расчj}$.

Расчетная нагрузка электроприемников напряжением выше 1 кВ (высокого напряжения – ВН), т. е. активная нагрузка синхронного двигателя (СД) и асинхронного двигателя (АД), а также реактивная нагрузка АД, подключенных к распределительной подстанции напряжением (6...10) кВ,

принимается равной средней мощности. Тогда расчетная нагрузка (активная $P_{расч\ вн}$ и реактивная ($Q_{расч\ вн}$) группы из G силовых приемников цеха определяется из соотношений

$$\begin{aligned} P_{расчВН} &= \sum_1^G k_{Иг} p_{номг}; \\ Q_{расчВН} &= \sum_1^G k_{Иг} p_{номг} \cdot tg\varphi_g \end{aligned} \quad (3.8)$$

где $p_{номг}$ – активная установленная (номинальная) мощность g -го электроприемника высшего напряжения, принимаемая по исходным данным; $tg\varphi_g$ соответствует характерному для приемников данной группы средневзвешенному значению коэффициента мощности;

$k_{Иг}$ – коэффициент использования g -го электроприемника напряжением выше 1 кВ.

Для СД определяется максимальная реактивная мощность, которую СД может генерировать. Значения реактивной мощности, которую можно получить от СД, зависят от его загрузки активной мощностью и относительного напряжения на зажимах двигателя:

$$Q_{СД} = \frac{K_{зQСД} P_{ном\Sigma СД} tg\varphi_{СД}}{\eta_{СД}}, \quad (3.9)$$

где $P_{ном\Sigma СД}$ – суммарная установленная мощность группы СД;

$tg\varphi_{СД}$, $\eta_{СД}$ – номинальные параметры СД: коэффициент реактивной мощности и КПД;

$K_{зQСД}$ – коэффициент наибольшей допустимой нагрузки СД по реактивной мощности, зависящий от типа двигателя, относительного напряжения и коэффициента загрузки по активной мощности .

Синхронные двигатели нормальных серий изготавливаются с «опережающим» $\cos\varphi_{СД} = 0,9$ ($tg\varphi_{СД} = 0,48$) независимо от реактивной мощности, которую предприятие может использовать. При расчете суммарной

реактивной нагрузки потребителей для СД, работающих с «опережающим» коэффициентом мощности, величина $Q_{сд}$ берется со знаком минус.

Результаты определения расчетных нагрузок завода необходимо представить в виде таблицы 3.1

Таблица 3.1 – Результаты определения расчетных электрических нагрузок предприятия на напряжении 0,38 кВ

№ п/ п	Наименование цеха	Силовая нагрузка						Осветительная нагрузка					Суммарная мощность			
		Р _н , кВт	Ки	cos φ	tg φ	Р _р , кВт	Q _р , квар	F, м ²	Кс. осв	ρ _{уд} , кВт	Р _{осв.} , кВт	Q _{осв.} , квар	Р _{рΣ} , кВт	Q _{рΣ} , квар	S _{рΣ} , кВА	б, кВА/м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Отд. сырьевых мельниц	2700	0,6	0,8	0,8	1620	1215,00	1104	0,95	0,01	10,49	2,60	1630,49	1217,60	2034,95	1,84
14	Прием угля	720	0,3	0,7	1,0	216	220,36	504	1	0,009	4,54	1,12	220,54	221,49	312,56	0,62
	Освещение территории	—	—	—	—	—	—	11257	1	0,0016	18,01	4,46	18,01	4,46	18,56	—
	Итого по 0,38 кВ	13135	—	—	—	5834,75	4927,62	10608	—	—	—	—	5929,23	4951,01	7739,58	0,73

Расчетные полная, активная и реактивная мощности промышленного предприятия (ПП) $S_{расч ПП}$, $P_{расч ПП}$, $Q_{расч ПП}$, отнесенные к шинам вторичного напряжения главной понижающей подстанции, определяются по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов (как силовым – до и выше 1 кВ – $P_{расч НН}$, $P_{расч ВН}$, $Q_{расч НН}$, $Q_{расч ВН}$, так и осветительным – $P_{расч ОН}$, $Q_{расч ОН}$) с учетом потерь мощности в трансформаторах цеховых подстанций и цеховых сетях напряжением до 1 кВ – $\Delta P_{ц}$, $\Delta Q_{ц}$ и коэффициента одновременности максимумов силовой нагрузки K_{0max} :

$$\begin{aligned} P_{расч ПП} &= (\sum P_{расч НН} + \sum P_{расч ВН}) K_{0max} + \sum P_{расч ОН} + \Delta P_{ц}; \\ Q_{расч ПП} &= (\sum Q_{расч НН} + \sum Q_{расч ВН} - \sum Q_{сд}) K_{0max} + \sum Q_{расч ОН} + \Delta Q_{ц}; \\ S_{расч ПП} &= \sqrt{(P_{расч ПП})^2 + (Q_{расч ПП})^2}. \end{aligned} \quad (3.10)$$

Значение коэффициента одновременности максимумов силовой нагрузки определяется по значению средневзвешенного коэффициента использования.

Суммарные потери активной и реактивной мощности в трансформаторах цеховых подстанций и цеховых сетях напряжением до 1 кВ приближенно принимаются равными соответственно 3 и 10 % от полной трансформируемой мощности $S_{расч \Sigma Н}$:

$$\Delta P_{ц} = 0,03 \cdot S_{расч \Sigma Н}; \quad \Delta Q_{ц} = 0,1 \cdot S_{расч \Sigma Н}, \quad (3.11)$$

где

$$S_{расч \Sigma Н} = \sqrt{(P_{расч \Sigma Н})^2 + (Q_{расч \Sigma Н})^2}; \quad (3.12)$$

$$P_{расч \Sigma Н} = \sum P_{расч НН} + \sum P_{расч ОН}; \quad (3.13)$$

$$Q_{расч \Sigma Н} = \sum Q_{расч НН} + \sum Q_{расч ОН}. \quad (3.14)$$

Потери активной и реактивной мощности в кабелях высшего напряжения в предварительных расчетах не учитываются вследствие их малой значимости.

Значения коэффициента одновременности максимумов для шин ГПП K_{0max} принимаются по справочным данным в зависимости от величины

средневзвешенного коэффициента использования $K_{и.ПП}$ всей группы ЭП, подключенной к шинам ГПП.

Реактивная мощность Q_{ε} , поступающая от питающей энергосистемы к шинам низшего напряжения ГПП, определяется, исходя из условий задания на дипломный проект и вычисленной выше активной мощности предприятия P_{pn} :

$$Q_{\varepsilon} = P_{pn} \cdot \operatorname{tg} \varphi_c, \quad (3.15)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_c = 0,7$ – коэффициент реактивной мощности, задаваемый энергосистемой.

Расчетная нагрузка, по которой определяется мощность трансформаторов ГПП:

$$S_{p \text{ ГПП}} = \sqrt{P_{\text{ПП}}^2 + Q_{\varepsilon}^2}. \quad (3.16)$$

3.4 Выбор номинального напряжения системы электроснабжения

Выбор напряжений участков электрической сети объекта определяется путем технико-экономического сравнения вариантов. При выборе окончательного проектного решения, принимаемого на основе сравнения вариантов, необходимо отдавать предпочтение варианту с более высоким напряжением. В большинстве случаев проектировщик определяет напряжения в пределах двух ближайших по шкале номинальных значений напряжения, для которых и проводится сравнение вариантов. В ряде случаев исходные данные для проектирования приводят к однозначному определению номинального напряжения без детальных технико-экономических расчетов.

При выборе номинального напряжения внешнего участка сети принимаются во внимание существующие напряжения возможных источников питания энергосистемы, расстояние от этих источников до предприятия и нагрузка предприятия в целом.

При выборе номинального напряжения внешнего участка сети принимаются во внимание существующее напряжение возможных источников питания энергосистемы, расстояние от этих источников до предприятия и нагрузка предприятия в целом.

Рациональное напряжение можно определить аналитическим путем с помощью формулы Стила, кВ [5]:

$$U_c = 4,34 \cdot \sqrt{l + 16 \cdot \frac{P_p}{n_{\text{ц}}}}, \quad (3.17)$$

где P – передаваемая максимальная мощность МВт,

l – расстояние от точки подключения линии до подстанции км;

$n_{\text{ц}}$ – количество цепей.

В питающих и распределительных сетях предприятий средней мощности и городов применяются номинальные напряжения 6 и 10 кВ. Как правило, следует применять напряжение 10 кВ как более экономичное, чем напряжение 6 кВ. Напряжение 6 кВ применяется только при преобладании на объекте электроприемников с напряжением 6 кВ. В ряде случаев электроснабжение электроприемников с напряжением 6 кВ осуществляется по питающим линиям напряжением 10 кВ с последующей трансформацией на напряжение 6 кВ непосредственно для данных электроприемников.

Напряжение 660 В как внутрицеховое целесообразно на тех предприятиях, на которых по условиям расположения цехового технологического оборудования или окружающей среды нельзя или затруднительно приблизить цеховые трансформаторные подстанции к питаемым ими электроприемникам. Напряжение 660 В целесообразно также на предприятиях с большой удельной плотностью электрических нагрузок, концентрацией мощностей и большим числом двигателей мощностью (200...600) кВт. Наиболее целесообразно сочетание напряжения 660 В с первичным напряжением 10 кВ. Необходимо учитывать, что при применении напряжения 660 В возникает необходимость и в сетях напряжением 380 В

для питания небольших электродвигателей и светотехнических установок. Наиболее широко применяется и является основным напряжением 380/220 В.

3.5 Определение места расположения ГПП и построение картограммы нагрузок

Рациональное размещение на территории предприятия ГПП, ТП и ГРП обуславливает оптимальные технико-экономические показатели системы электроснабжения, т. е. обеспечивает минимум приведенных затрат. Для определения местоположения ГПП, ГРП и ТП на генплан предприятия наносится картограмма электрических нагрузок для наглядного представления об ее территориальном распределении на предприятии. На картограмме нагрузки обозначаются в виде окружностей (площадь которых в масштабе соответствует расчетной мощности) с нанесением цифровых значений нагрузки с подразделением по напряжению, роду тока и характеру нагрузки.

Картограмма нагрузок предприятия представляет собой размещенные по генеральному плану предприятия окружности, причем площади, ограниченные этими окружностями, в выбранном масштабе равны расчетным нагрузкам цехов.

С учетом размеров территории генплана выбирается масштаб нагрузок, ориентируясь на наименьшую нагрузку, приняв удобный радиус [4] по следующей формуле:

$$m_a = \frac{S_{н.м.}}{\pi \cdot R_{н.м.}^2}, \quad (3.18)$$

где m_a – масштаб активных нагрузок, кВА/м;

$S_{н. м.}$ – наименьшая расчетная нагрузка цеха, кВА;

$R_{н.м.}$ – наименьший визуально воспринимаемый радиус картограммы нагрузки, мм.;

Определяем радиусы окружности r_{ia} активных нагрузок всех цехов:

$$r_i = \sqrt{\frac{S_{pi}}{\pi \cdot m_a}}, \quad (3.19)$$

где P_{pi} – расчётная активная нагрузка i -того цеха кВт;

Осветительная нагрузка наносится на окружности в виде сектора, где α – угол сектора:

$$\alpha = \frac{360 \cdot P_{осв}}{P_p + P_{p.осв}}. \text{ Если считать нагрузки цеха равномерно}$$

распределенными по площади цеха, то центр нагрузок можно принять приближенно совпадающим с центром тяжести фигуры, изображающей цех в плане.

Координаты центра активных и реактивных нагрузок можно определить в соответствии со следующими формулами:

$$x_{0a} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i / \sum_{i=1}^n P_i, \quad x_{0p} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot x_i / \sum_{i=1}^n Q_i \quad (3.20)$$

$$y_{0a} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i / \sum_{i=1}^n P_i, \quad y_{0p} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot y_i / \sum_{i=1}^n Q_i \quad (3.21)$$

Центр активных нагрузок является определяющим для нахождения местоположения ГПП, а координаты центра реактивных нагрузок следует учитывать при рассмотрении вопросов компенсации реактивной мощности. Для низковольтной нагрузки окружности могут изображать активную или полную мощности в зависимости от степени компенсации (т. е. величины $\tan \varphi_{срн}$). Если $\tan \varphi_{срн} \leq 0,5$, то окружности строятся по расчетам активной мощности, при $\tan \varphi_{срн} \geq 0,5$ – по полной мощности в соответствии со следующими формулами:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n n S_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n S_i}, \quad y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n n S_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (3.22)$$

Место расположения главной понизительной подстанции (ГПП) выбирают в точке, максимально приближенной к центру электрических

нагрузок (ЦЭН). В этом случае высшее напряжение будет оптимально приближено к центру потребления электроэнергии, а распределительные сети – иметь минимальную протяженность. Если по каким-либо причинам расположить источник питания вблизи центра нагрузок не представляется возможным, то его смещают в сторону внешнего источника питания.

Значение средневзвешенного $\text{tg}\varphi$ определяется по формуле:

$$tg\varphi_{c6} = \sum S \cdot tg\varphi / \sum S_{пачы} \quad (3.23)$$

где $\sum S \cdot \text{tg}\varphi$ – произведение расчетной активной нагрузки и $\text{tg}\varphi$;

ΣS – расчетная суммарная активная нагрузка цеха.

Вид картограммы нагрузок показан на рисунке 3.1.

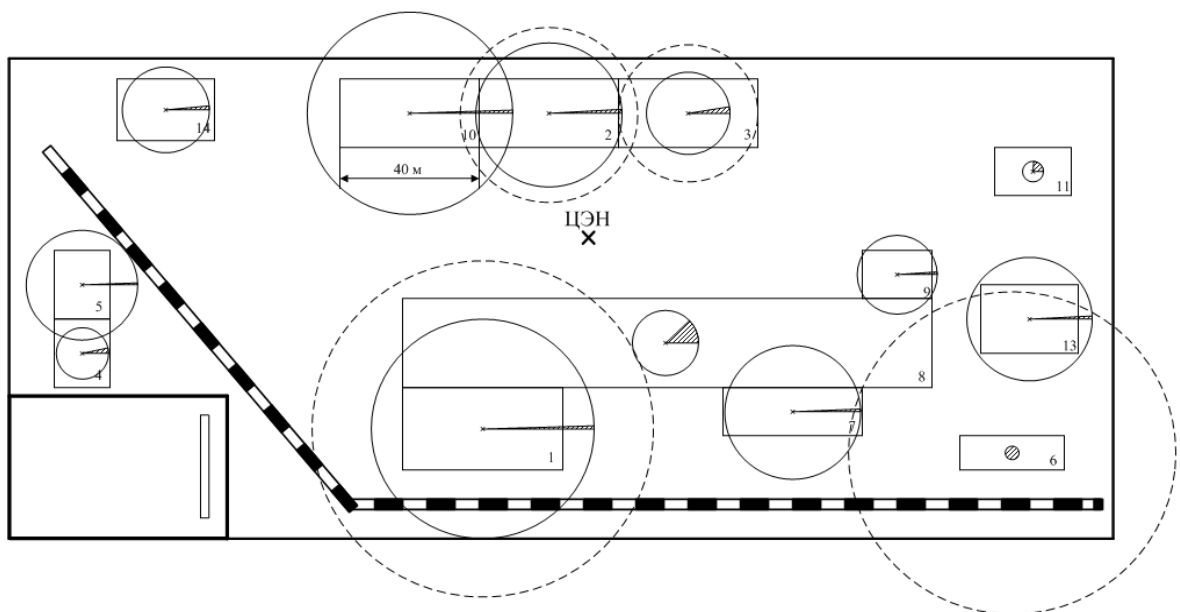


Рисунок 3.1 – Картограмма нагрузок проектируемого завода

Место расположения ГПП выбирается в любой наиболее удобной точке, как можно ближе к центру потребления электроэнергии, и распределительные сети будут иметь минимальную протяженность. От ГПП питание подается на цеховые подстанции без сборных шин высшего напряжения. В этом случае используют глухое присоединение трансформаторов или предусматривают выключатель нагрузки,

разъединитель. Коммутационно защитную аппаратуру при этом устанавливают на ГПП.

3.6 Определение мощности компенсирующих устройств на высокой стороне

Реактивная мощность $Q_{\text{ЭС}}$, выдаваемая энергосистемой предприятию в течение получаса в период максимальных активных нагрузок энергосистемы, определяется по регламентируемому системой $\text{tg}\varphi_{\text{ЭС}}$ и расчетной активной мощности завода [7]:

$$Q_{\text{ЭС}} = P_{\text{расч ГПП}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{ЭС}} \quad (3.24)$$

Нормативное значение $\text{tg}\varphi_{\text{ЭС}}$ принимается в соответствии с требованиями [380] при питании завода с шин 110 кВ.

Полная мощность, потребляемая заводом на шинах высокого напряжения уточняется с учетом выбранных батарей конденсаторов.

3.7 Выбор мощности трансформаторов ГПП

ГПП выполняется двухтрансформаторной. Мощность трансформаторов определяется активной нагрузкой предприятия и реактивной мощностью, передаваемой от системы в период максимума нагрузок. Мощность трансформатора выбирается такой, чтобы при выходе из работы одного из них второй воспринял основную нагрузку подстанции с учетом допускаемой перегрузки в послеаварийном режиме и возможного временного отключения потребителей III категории.

Выбор мощности трансформаторов ГПП производится на основании расчетной нагрузки предприятия в нормальном режиме работы. В послеаварийном режиме работы для электроснабжения потребителей предусматривается их питание от оставшегося в работе трансформатора.

Так как на ГПП устанавливаются два трансформатора, то номинальная мощность каждого из них определяется по условию [4]:

$$S_{\text{номт ГПП}} \geq \frac{S_{\text{р ГПП}}}{1,6} \quad (3.25)$$

В аварийных условиях оставшийся в работе трансформатор должен быть проверен на допустимую перегрузку.

3.8 Определение числа и мощности цеховых силовых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности на стороне ниже 1000 В

Число цеховых ТП непосредственно влияет на величину капитальных вложений в распределительные устройства напряжением 10 кВ, внутризаводские и цеховые электрические сети, на потери электроэнергии. Уменьшение числа ТП, приводящее к увеличению их единичной номинальной мощности, позволяет уменьшить число выключателей распределительного устройства (РУ) ГПП, суммарную длину линий, а также потери электроэнергии и напряжения в сети 10 кВ. Однако, стоимость сетей напряжением 0,4 кВ и потери в них при этом возрастают. Увеличение же числа ТП снижает затраты на цеховые сети.

При выборе числа и единичной мощности цеховых трансформаторов необходимо принимать во внимание целый ряд факторов [8]:

- категории надежности электроснабжения потребителей;
- плотность нагрузки в цехе или на участке, занимаемом группой цехов;
- суммарную величину нагрузки цеха.

Также нужно стремиться к рациональной загрузке трансформаторов ТП (I категория – $K_3 = 0,65-0,7$, II – $K_3 = 0,7-0,8$ и III – $K_3 = 0,8-0,95$). Средняя удельная плотность нагрузки трансформатора выбирается исходя из:

- $\sigma_n < 0,2$ применяют трансформаторы мощностью до 1000 кВА.
- $0,2 < \sigma_n < 0,3$ применяют трансформаторы мощностью 1600 кВА.

– $\sigma_n > 0,3$ применяют трансформаторы мощностью 1600–2500 кВА.

Анализ расчетных данных, приведенных в таблице 1.3 показывает, что плотность цеховой нагрузки по заводу составляет 0,7 кВА/м². Принадлежность цехов к потребителям I категории требует обеспечения их питания от двухтрансформаторных ТП. Ряд цехов с более низкой плотностью нагрузки относится ко II категории и тоже требует резервирования, но с ручным переключением. Учитывая взаимное расположение цехов на территории завода, наметим к использованию трансформаторы мощностью 1600 кВА и 2500 кВА.

На число ТП влияет степень компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ цеховых подстанций. Оценим предварительно минимальное $N_{\text{мин.}}$ и максимальное $N_{\text{макс.}}$ количество цеховых трансформаторов в целом по предприятию при единичной мощности их 1000 кВ [2].

$$N_{\text{мин.}} = \frac{P_{\text{расч.НН}}}{k_3 S_{\text{ном. Т}}} \qquad N_{\text{макс.}} = \frac{S_{\text{расч.НН}}}{k_3 S_{\text{ном. Т}}}, \quad (3.26)$$

где k_3 – средний коэффициент загрузки с учетом категории потребителей по надежности электроснабжения. Т. к. более 80% потребителей относятся преимущественно II категории.

3.9 Выбор схемы внутривозовского электроснабжения

Схема распределения электроэнергии связана с технологической схемой объекта. Питание приемников электроэнергии разных параллельных технологических потоков осуществляется от разных секций шин одной подстанции. Это необходимо для того, чтобы при аварии не останавливать оба технологических потока. Взаимосвязанные технологические аппараты должны присоединяться к одному источнику питания, при исчезновении питания все приемники электроэнергии одновременно обесточиваются.

Схемы электроснабжения промышленных предприятий делятся на внешние и внутренние и выбираются из соображения надежности, экономичности и

безопасности завода. Большая часть электроприемников проектируемого завода относится к потребителям первой и второй категорий. При выборе наилучшего варианта схемы проведем анализ существующих схем электроснабжения.

При построении схем электроснабжения исходят из отдельной работы линий, так как при этом снижается ток КЗ, упрощается схема первичной коммутации и релейной защиты.

Внутризаводское распределение электроэнергии выполняется по радиальной, магистральной или смешанной схеме.

Выбор схемы определяется категорией надежности потребителей электроэнергии их территориальных размещений, особенностями режимов работы.

Радиальная схема работы осуществляет питание цеховых подстанций непосредственно от источника питания или распределительного пункта. Такие схемы надежны, просты в эксплуатации, дают возможность применения быстродействующей защиты и автоматики. Недостатком радиальных схем является большое количество используемой высоковольтной аппаратуры, что значительно удорожает строительную часть распределительного устройства и увеличивает капитальные затраты.

Магистральные схемы распределения электроэнергии принимают в том случае, когда потребителей много и радиальные схемы нецелесообразны. Основное преимущество магистральной схемы заключается в сокращении звеньев коммутации. Такие схемы целесообразно применять при расположении подстанций на территории предприятия, близком к линейному, что способствует сокращению числа коммутаций. Недостатком магистральных схем является более низкая надежность по сравнению с радиальными.

Смешанная схема представляет собой совокупность магистральных и радиальных схем электроснабжения.

Разработали два варианта схем внутреннего электроснабжения (смотри графическую часть лист 1).

Коэффициент загрузки трансформаторов $k_z=0,8$, принят по рекомендации [1].

Потери активной и реактивной мощности трансформаторов при их

параллельной работе определяются по формулам [4]:

$$\Delta P_T = n \cdot \Delta P_x + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_k \cdot k_3^2, \quad (3.27)$$

$$\Delta Q_T = \frac{n \cdot I_{xx}}{100} + \frac{1}{n} \cdot \frac{U_k \cdot S_p^2}{100 \cdot S_{\text{ном.т}}}, \quad (3.28)$$

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

ΔP_{k3} – потери мощности короткого замыкания трансформатора, кВт;

S_p – фактическая или расчетная нагрузка трансформатора, кВА;

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

U_k – напряжения КЗ трансформатора, %.

Годовые потери электроэнергии для трехфазного двухобмоточного трансформатора определяются по выражению, кВт·ч:

$$\Delta W_T = n \cdot T \cdot \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{k3} \cdot k_3^2 \cdot \tau, \quad (3.29)$$

где n – количество трансформаторов;

$T=8760$ ч – число часов работы трансформатора в течении года;

τ – время наибольших потерь, ч/год.

Время наибольших потерь определяется в зависимости от T_{max} или по формуле:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\text{max}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760, \quad (3.30)$$

где T_{max} – среднее значение числа использования максимума нагрузки в году, ч/год, задается по отраслям промышленности;

Результаты расчетов мощности цеховых трансформаторов представляются в виде таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты выбора трансформаторов на подстанциях для 1-го варианта

ТП1	2x1600	3200	0,8
№	P_p , кВт	Q_p , квар	$S_{p\Sigma}$,кВА
10	1288,80	1131	1715

14	220,54	221,49	312,56
5	403,20	301	503,04
4	93,20	68,29	116
Потери ХХ	6,6	38	38,57
Потери КЗ	7,4	40	40,68
К _{з.т}	0,8		
Итого	2019,74	1800	2705,16

3.10 Выбор сечений токоведущих жил кабелей напряжением 10 кВ

Выбор сечения кабельных линий производим по экономической плотности тока в зависимости от металла провода и числа часов использования максимума нагрузки по формуле [10]:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{р}}}{j_{\text{эк}}}, \quad (3.31)$$

где $j_{\text{эк}}$ – экономическая плотность тока для кабеля с алюминиевыми жилами для кабелей с изоляцией из СПЭ марки АПвП, А/мм² [9];

$I_{\text{р}}$ – расчетный ток, А, определяется по формуле:

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{р}}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (3.32)$$

где $S_{\text{р}}$ – полная расчетная нагрузка ТП с учетом потерь в трансформаторах 10/0,4 кВ.

В послеаварийном режиме ток определяется по формуле:

$$I_{\text{р.ав}} = I_{\text{р.}} \cdot (n / (n - 1)), \quad (3.33)$$

где n – число кабелей в траншее.

При проверке по нагреву значение скорректированного допустимого тока определяется как, А:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{доп.табл}} \cdot K_{\text{т}} \cdot K_{\text{пер}} \cdot K_{\text{п}} \geq I_{\text{р}}, \quad (3.34)$$

где $K_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент на число работающих кабелей, лежащих рядом в земле ;

$K_{\text{т}}$ – поправочный коэффициент на температуру окружающей среды

и допустимую температуру кабеля;

$K_{д.пер}$ – коэффициент допустимой перегрузки [10].

Потери напряжения в нормальном режиме для участка определяются по формуле, кВ:

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_{ном}} \quad (3.35)$$

Потери напряжения в нормальном режиме процентах определяется по выражению, %:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_{ном}} \cdot 100\%. \quad (3.36)$$

Послеаварийные потери напряжения для участка определяются по формуле, кВ:

$$\Delta U_{ав} = \frac{2 \cdot (P \cdot R + Q \cdot X)}{U_{ном}} \quad (3.37)$$

Послеаварийные потери напряжения в процентах определяется по выражению, %:

$$\Delta U_{ав\%} = \frac{\Delta U}{U_{ном}} \cdot 100\%. \quad (3.38)$$

Если температура не 20°C, сопротивление жилы вычисляется по формуле, Ом/км:

$$R_v = R_{20} \cdot (228 + v) / 248, \quad (3.39)$$

где R_{20} – сопротивление жилы при 20° C, (Ом/км);

v – температура жилы;

R_v – сопротивление жилы при v ° C, (Ом/км).

Потери мощности в режиме максимальных нагрузок, кВт:

$$\Delta P = 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3}, \quad (3.40)$$

где I_p – расчетный ток в линии, рассчитан в пункте 3;

R – сопротивление линии, рассчитан в пункте 3;

n_{ψ} – количество цепей.

Потери электроэнергии, кВт·ч:

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau, \quad (3.41)$$

где τ – время максимальных потерь;

Максимальные потери напряжения в нормальном режиме не должны превышать 5%, а в послеаварийном режиме 10 %..

3.11 Технико-экономическое сравнение вариантов

Критерием экономичности будем считать минимум приведенных затрат [11]:

$$Z = E_H \cdot K_\Sigma + I_\Sigma, \quad (3.42)$$

где I_Σ – суммарные издержки, руб/год;

E_H – коэффициент экономической эффективности капитальных вложений;

K_Σ – суммарные капиталовложения в схему электроснабжения, руб.

Капитальные вложения в схему электроснабжения составляют, руб:

$$K_\Sigma = K_{РПТ} + K_{РП} + K_{ГПП} + K_{ТПцех} + K_{РУ} + K_{КУ} + K_L, \quad (3.43)$$

где $K_{РПТ}$ – капитальные вложения на установку распределительно-трансформаторных подстанций, руб;

$K_{РП}$ – капитальные вложения на установку распределительных пунктов, руб.;

$K_{ГПП}$ – капитальные вложения на сооружение ГПП, руб.;

$K_{ТПцех}$ – капитальные вложения на сооружение цеховых трансформаторных подстанций, руб.;

$K_{РУ}$ – капитальные вложения на сооружение распределительных устройств, руб.;

K_L – капитальные вложения на сооружение ВЛ и КЛ, руб.;

$K_{КУ}$ – капитальные вложения на установку КУ, руб.

Капиталовложения в распределительную трансформаторную подстанцию определяются по формуле:

$$K_{\text{РТП}} = K_{\text{ТП}} + K_{\text{РП}} + K_{\text{КТП}}, \quad (3.44)$$

где $K_{\text{КТП}}$ – капитальные вложения на установку сооружения, руб;

$K_{\text{ТП}}$ – капитальные вложения на установку трансформаторной подстанции, руб;

$K_{\text{РП}}$ – капитальные вложения на установку распредпункта, руб;

Капитальные затраты на сооружение кабельных линий 10 и 0,4 кВ рассчитываются по выражению:

$$K_{\text{л}} = l \cdot k_0 \cdot n, \quad (3.45)$$

где k_0 – стоимость погонного метра провода;

l – длина провода;

n – количество проводов.

Результаты сравнения вариантов целесообразно представить в виде таблиц 3.3 и 3.4.

Таблица 3.3 – Стоимость оборудования варианта №1

№1	Наименование	Стоимость за одну единицу руб	Кол-во об-ния, шт.	Общая сумма, руб
1	ГПП	21 240 000	1	21 240 000
2	2 РТП 1600/0,4 кВ	4 951 460	2	9 902 920
3	ТП 1600/0,4 кВ	840 000	1	840 000
4	РУ-0,4 кВ	366 632	9	3 299 688
5	УКРЛ56 10 1800 квар	292 600	2	585 200
6	РП 10 кВ	250 000	2	500 000
7	ВЛ 110 кВ	-	-	6 659 299
8	Кабель	-	-	10 415 633
Итого				45 943 441

Таблица 3.4 – Стоимость оборудования варианта №2

№1	Наименование	Стоимость за одну единицу руб	Кол-во об-ния, шт.	Общая сумма, руб
1	ГПП	22 480 000	1	22 480 000

2	2 РПТ 1600/0,4 кВ	4 951 460	2	9 902 920
3	ТП 1600/0,4 кВ	840 000	2	1 680 000
4	РУ-0,4 кВ	366 632	8	2 933 056
5	УКРЛ56 10 1800 квар	292 600	2	585 200
6	РП 10 кВ	250 000	2	500 000
7	ВЛ 110 кВ	-	-	6 659 299
8	Кабель	-	-	8 770 083
Итого				45 171 259

Величину амортизационных отчислений определяют в процентах от капитальных затрат по элементам схемы внешнего электроснабжения. Для различных типов оборудования принимают различные величины норм отчислений, они приведены в таблице 1.23.

Амортизационные издержки ВЛ-110 кВ определяем по формуле:

$$I_A = K_i \cdot \frac{a}{100}, \quad (3.46)$$

где a – норма амортизационных отчислений

K_i – стоимость данного типа оборудования.

Таблица 3.5 – Нормы амортизационных отчислений

Наименование	Нормы отчислений от капитальных вложений
ВЛ-110 кВ	0,8
КЛ 10 кВ	2,3
КЛ 0,4 кВ	2,3
РПТ 1600/10	5,9
РП 10 кВ	5,9
КУ 10 кВ	10
ГПП	5,9
ПС	5,9

Определим издержки на покрытие потерь электроэнергии определяется по формуле:

$$I_{\Pi} = \Delta W \cdot \beta_{\Pi} \quad (3.47)$$

где $\beta_{оп}$ – стоимость 1 кВт ч потерь электроэнергии определяется заданием на КП:

Определим потери электроэнергии для напряжения 110 кВ, по формуле:

$$\Delta W_{110} = \Delta W_{лэп} + \Delta W_{гпп}, \quad (3.48)$$

где $\Delta W_{лэп}$ – потери электроэнергии в линии;

$\Delta W_{гпп}$ – потери электроэнергии на ГПП в трансформаторах.

Издержки на потери электроэнергии в сети 0,4 кВ:

$$\Delta W_{кл} = \sum \Delta W_{кл}, \quad (3.49)$$

где $\sum \Delta W_{кл}$ – суммарные потери электроэнергии в кабеле.

Если разница между обоими вариантами составила меньше 5%, то варианты можно считать равнозначными, в противном случае оптимальным считается вариант с минимальными приведенными затратами.

3.12 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания (КЗ) проводится для выбора отключающих аппаратов и проверки условий устойчивости элементов схемы по термическому и электродинамическому действию КЗ, а также при расчете релейной защиты.

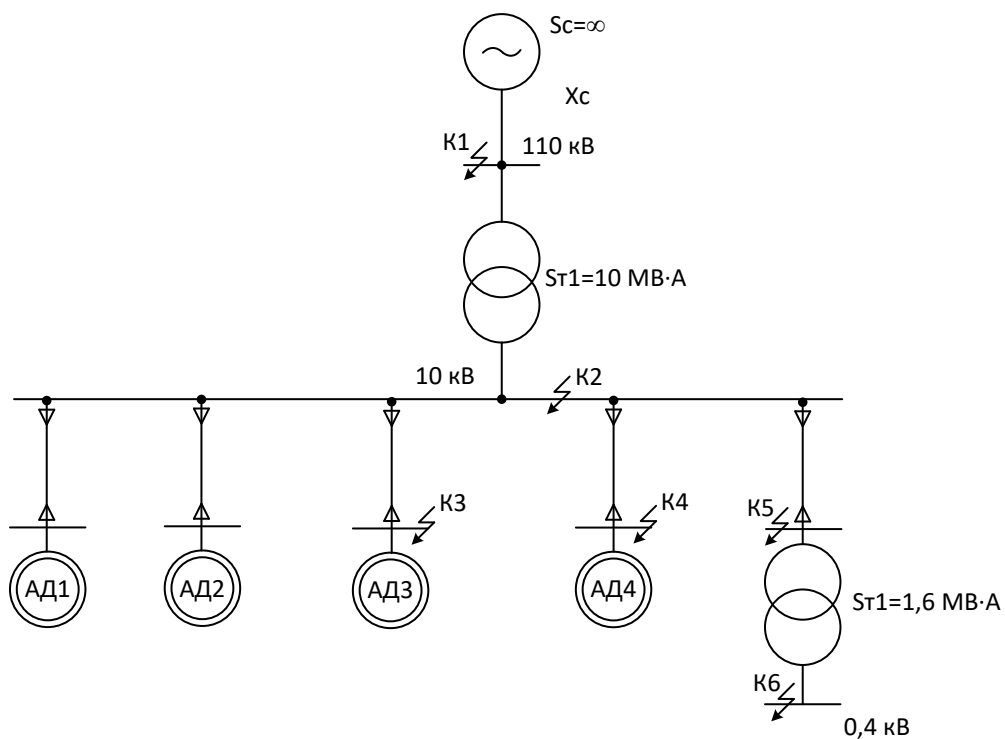
Исходные данные для расчета целесообразно представить в виде таблицы 3.6.

Таблица 3.6 – Исходные данные для расчета токов КЗ

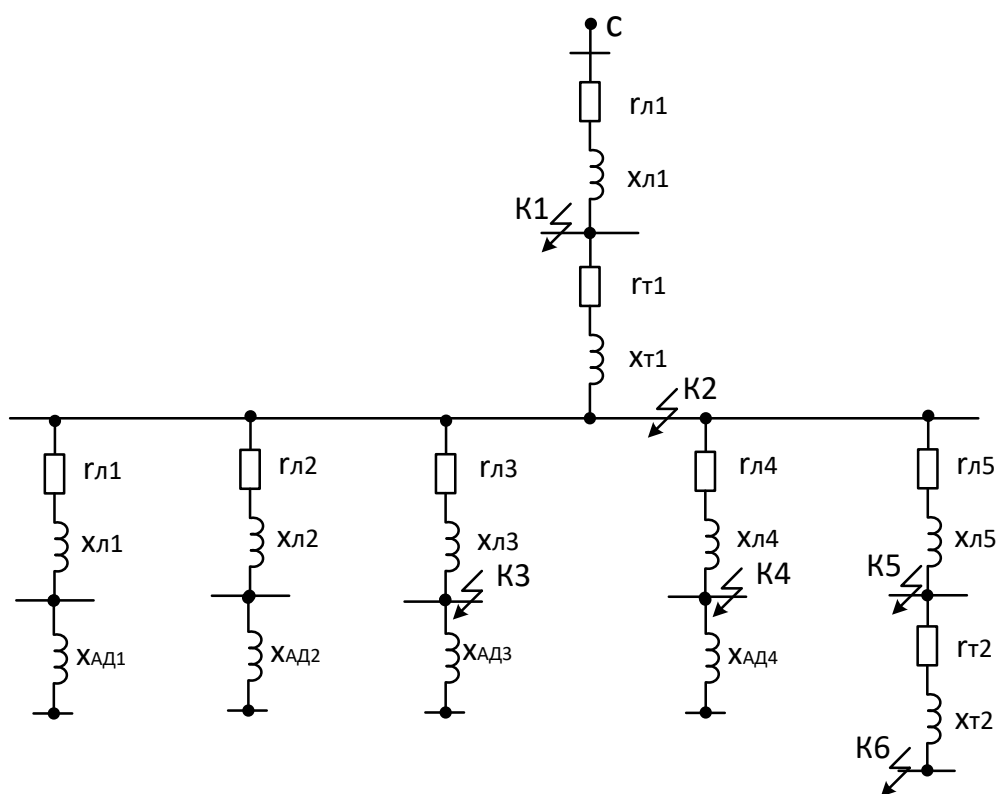
Трансформатор Т ₁		
S _{ном1} , МВА	U _{к%1} , %	ΔP _{к1} , кВт
10	10,5	60
Трансформатор Т ₂		
S _{ном2} , МВА	U _{к%2} , %	ΔP _{к2} , кВт
1,6	5,5	14,8
Асинхронные двигатели		

$P_{\text{ном1}}, \text{кВт}$	$P_{\text{ном2}}, \text{кВт}$	$P_{\text{ном3}}, \text{кВт}$	$P_{\text{ном4}}, \text{кВт}$
2000	630	630	2500
$\cos\phi$		X''_d	
0,89		0,2	
ВЛ и КЛ			
$l, \text{км}$	$r_{\text{пог}}, \text{Ом/км}$		$x_{\text{пог}}, \text{Ом/км}$
13,01	0,244		0,427
0,444	0,805		0,104
0,422	1,091		0,109
0,112	0,403		0,092
0,332	0,805		0,104
0,244	0,805		0,104

Составим схему замещения для расчета токов КЗ на стороне 10 кВ. Пример представления схемы замещения для расчетов тока КЗ показан на рисунке 3.2 а, б.



а)



б)

Рисунок 3.2 – Исходная схема (а) и схема замещения (б)

Расчет выполняют в именованных единицах, для чего за базисную базисные величины напряжения принимаем $U_{б1}=110$ кВ, $U_{б2}=10,5$ кВ, $U_{б3}=0,4$ кВ.

Определим сопротивление элементов схемы замещения в именованных единицах [10].

Для системы примем E_c и R_c значение активного сопротивления следует принять равным нулю, а индуктивное X_c определяется по формуле:

$$x_c = \frac{U_{\delta}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{откл.ном}} \cdot U_{\text{ср.н}}}, \quad (3.50)$$

где $I_{\text{откл.ном}} = 40$ кА, для элегазового выключателя ВГТ-110;

$$x_c = \frac{115^2}{\sqrt{3} \cdot 40 \cdot 115} = 1,66 \text{ Ом.}$$

Для воздушной двухцепной линии Л1 активное и индуктивное сопротивление определяется по формуле:

$$\begin{aligned} r_{\text{БЛ}} &= r_{\text{y}\varnothing} \cdot l; \\ x_{\text{БЛ}} &= x_{\text{y}\varnothing} \cdot l; \end{aligned} \quad (3.51)$$

где $R_{\text{уд}}$ и $X_{\text{уд}}$ – активное и индуктивное сопротивление линии на 1 км длины, Ом/км.

Суммарное сопротивление элементов до точки К1:

$$x_{\Sigma 1} = x_c + x_{\text{БЛ}}.$$

$$r_{\Sigma 1} = r_{\text{БЛ}}.$$

Если не выполняется условие $R_{\Sigma} < X_{\Sigma}/3$ для точки К1, то следует в расчете учесть и активные сопротивления.

Ток в точке К₁ определяется по формуле:

$$I_{k.K1} = \frac{U_{\delta 1}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma 1}^2 + r_{\Sigma 1}^2}}, \quad (3.52)$$

Определим сопротивление элементов схемы в именованных единицах до точки К₂ и приводим к базисному напряжению $U_{\delta 2}=10,5$ кВ:

–для двухобмоточного трансформатора Т1 сопротивление:

$$\begin{aligned} x_{\text{Т1}} &= \frac{U_{k\%1}}{100} \cdot \frac{U_{\delta}}{2 \cdot S_{\text{ном1}}}, \\ r_{\text{Т1}} &= \frac{\Delta P_{k1} \cdot 10^{-3} \cdot U_{\delta 2}^2}{2 \cdot S_{\text{ном1}}^2}, \end{aligned} \quad (3.53)$$

Суммарное приведенное сопротивление до точки К₂:

$$\begin{aligned} x_{\Sigma 2} &= x_{\Sigma 1} \cdot \left(\frac{U_{\delta 2}^2}{U_{\delta 1}^2} \right) + x_{\text{Т1}}, \\ r_{\Sigma 2} &= r_{\Sigma 1} \cdot \left(\frac{U_{\delta 2}^2}{U_{\delta 1}^2} \right). \end{aligned}$$

Определим ток КЗ в точке К₃ без учета подпитки от асинхронных двигателей.

Определим сопротивление асинхронных двигателей и кабельных линий к двигателям.

Полная мощность асинхронных двигателей:

$$S = \frac{P_{ном} \cdot 10^{-3}}{\cos \varphi}, \quad (3.54)$$

Сопротивление асинхронных двигателей:

$$x_m'' = x_{nd} \cdot \left(\frac{U_{\delta}^2}{S} \right), \quad (3.55)$$

где x_{nd} – расчетное индуктивное сопротивление двигателя (среднее значение $x_{nd}=0,2[10]$);

Сопротивление кабельной линии подходящих к двигателям, Ом:

$$\begin{aligned} x_{кл.ад} &= x_{пог.кл} \cdot l, \\ r_{кл.ад} &= r_{пог.кл} \cdot l, \end{aligned} \quad (3.56)$$

Суммарное сопротивление двигателей и кабельных линий:

$$x_{\Sigma M1} = x_{M1}'' \cdot x_{кл.ад1}.$$

$$x_{\Sigma M.1} = x_{кл.ад1}.$$

Суммарный ток КЗ в точке К₂:

$$I_{к.К2} = I_{к.К2} + I_{к.М1} + I_{к.М2} + I_{к.М3} + I_{к.М4};$$

Результирующее сопротивление до точки К₅:

$$x_{кл.5} = \frac{x_{пог.кл.5} \cdot l_{кл5}}{n}; \quad r_{кл.5} = \frac{r_{пог.кл.5} \cdot l_{кл5}}{2};$$

Эквивалентное сопротивление в точке К₃ с учетом сопротивлений двигателей и кабельных линий подходящих к ним:

$$x_{\Sigma KB} = \frac{1}{x_c} + \frac{1}{x_{\Sigma M1}} + \frac{1}{x_{\Sigma M2}} + \frac{1}{x_{\Sigma M4}}; \quad (3.57)$$

Эквивалентное сопротивление:

$$x_{\Sigma KB} = x_{\Sigma KB} + x_{кл.ад3}$$

Определим коэффициент распределения:

$$K_p = \frac{x_{\Sigma KB}^*}{x_{1*}}; \quad (3.58)$$

Определим результирующее сопротивление в точке К₃:

$$x_{рез} = \frac{x_{эКВ}^*}{K_p}; \quad (3.59)$$

Определим ток КЗ от каждой ветви:

$$I_{КЗ} = \frac{U_{\delta 2}}{\sqrt{3} \cdot x_{рез}}; \quad (3.60)$$

Результирующий ток в точке К₃:

$$I_{к3.КЗ} = I_{КЗ\_c} + I_{КЗ\_м1} + I_{КЗ\_м2} + I_{КЗ\_м4} + I_{КЗ\_м3};$$

Определим эквивалентное сопротивление в точке К₄ с учетом сопротивлений двигателей и кабельных линий подходящих к ним по формуле:

$$x_{эКВ} = \frac{1}{x_c} + \frac{1}{x_{\Sigma м1}} + \frac{1}{x_{\Sigma м2}} + \frac{1}{x_{\Sigma м3}}; \quad (3.61)$$

Найдем эквивалентное сопротивление:

$$x_{\Sigma эКВ} = x_{эКВ} + x_{кЛ.ад4}.$$

Определим коэффициент распределения по формуле 3.58:

$$K_{p\_c} = \frac{x_{\Sigma эКВ}}{x_c} \quad K_{p\_м1} = \frac{x_{\Sigma эКВ}}{x_{\Sigma м1}};$$

Результирующий ток в точке К₄:

$$I_{к4.КЗ} = I_{КЗ\_c} + I_{КЗ\_м1} + I_{КЗ\_м2} + I_{КЗ\_м4} + I_{КЗ\_м3};$$

Аналогично рассчитываются токи КЗ в других точках.

Значение ударного тока, кА в точке К₁ находим по кривой, предоставленной на рисунке 1.4, в зависимости от отношения x_{Σ}/r_{Σ} :

$$T_a = \frac{x_{\Sigma 1}^*}{r_{\Sigma 1}^*}; \quad (3.62)$$

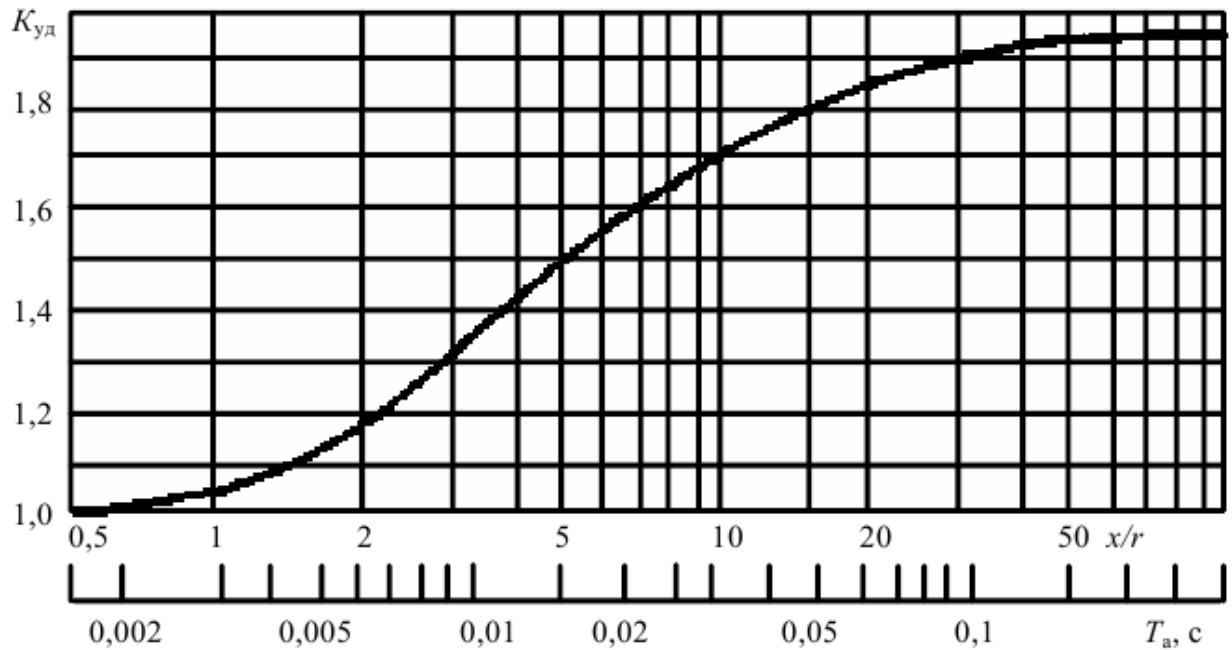


Рисунок 3.3 – Зависимость ударного коэффициента K_p от постоянной времени $T_\alpha = x/r$

Результаты расчета представляются в виде таблицы 3.7.

Таблица 3.7 – Результаты расчета токов короткого замыкания

Номер точки КЗ	Ток КЗ, кА	
	$I_{по} = I_{нт} = I_\infty$, кА	i_y , кА
1	14,094	25,912
2	11,619	29,577
3	12,195	31,043
4	11,618	29,575
5	11,618	29,575
6	14,398	20,362

3.13 Проверка кабелей по термической стойкости току КЗ

Проверка сечений по термической стойкости проводится после расчетов токов КЗ, тогда минимальное термически стойкое токам КЗ сечение кабеля определяется как:

$$F_{K3.min} = \frac{I_{no} \cdot \sqrt{t_{\Pi}}}{K_T}; \quad (3.63)$$

где $I_{по}$ – установившееся значение тока КЗ, А;

$t_{п}$ – приведенное время КЗ, принимается $t_{п} = 0,065^{\circ}\text{C}$ [12];

K_T – температурный коэффициент, учитывающий ограничение допустимой температуры нагрева жил кабелей, $K_T = 65 \text{ A} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$ [12].

3.14 Выбор электрооборудования

Все основные элементы системы электроснабжения должны удовлетворять следующим условиям:

- удовлетворять условиям работы в нормальном режиме и быть устойчивыми при коротких замыканиях и перенапряжениях;
- отвечать технико-экономической целесообразности их установки;
- соответствовать роду установки и условиям окружающей среды;
- класс изоляции аппаратов, изоляторов, проводов должен соответствовать номинальному напряжению сети.

Все оборудование выбирается по номинальным параметрам и проверяется на динамическую и термическую устойчивость при токах короткого замыкания [14].

Условия проверки выбора выключателей приведены в таблице 3.8. Конструктивное исполнение представлено на рисунке 3.4.

Таблица 3.8 – Проверка условий выбора выключателя

Условие выбора	Расчетные величины	Каталожные данные
$U_{уст.} \leq U_{ном}, \text{ кВ}$	110	110
$I_{кз} \leq I_{откл.}, \text{ кА}$	14,09	40
$i_{уд.} \leq I_{мах.доп.}, \text{ кА}$	25,91	102

$I_p. \leq I_{ном}, A$	79,06	2000

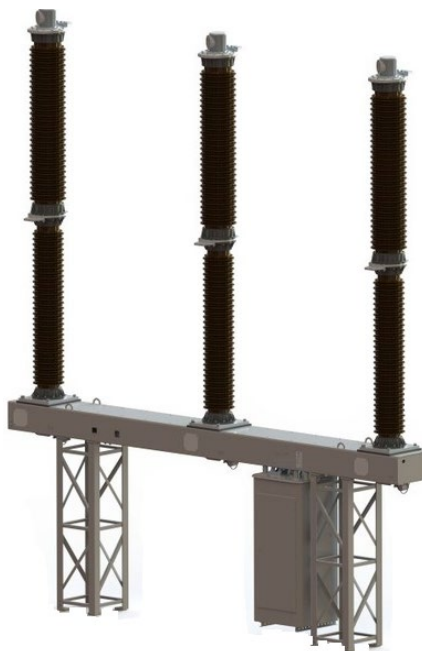


Рисунок 3.4 – Элегазовый выключатель ВГТ-110-40/2000У1

Условия проверки вакуумного выключателя показаны в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Проверка условий выбора вакуумного выключателя

Условие выбора	Расчетные величины	Каталожные данные
$U_{уст.} \leq U_{ном}, кВ$	10	10
$I_{кз} \leq I_{откл.}, кА$	11,62	12,5
$i_{уд.} \leq I_{мах.доп.}, кА$	29,58	32
$I_p. \leq I_{ном}, A$	434,83	630



Рисунок 3.5 – Вакуумный выключатель BB/AST-10-20/1000 УХЛ2

Автоматический выключатель предназначен для автоматического размыкания электрических цепей при ненормальных режимах и для редких оперативных переключений при нормальных режимах работы.

Условия выбора:

1. По напряжению установки $U_{уст.} \leq U_{ном}$, кВ;
2. По току отключения – $I_{п.о} \leq I_{откл.п}$, А;
3. По конструкции и роду установки.

Быстродействующие автоматы благодаря токоограничивающему эффекту на электродинамическую стойкость не проверяются и по термической стойкости проверяются только селективные автоматы.

Таблица 3.10 – Проверка условий выбора автоматического выключателя

Условие выбора	Расчетные величины	Каталожные данные
$U_{уст.} \leq U_{ном}, \text{ кВ}$	0,4	0,4
$I_{кз} \leq I_{откл.}, \text{ кА}$	14,398	65



Рисунок 3.6 – Автоматический выключатель ВА-СЭЩ-АС08

На линиях электропередачи возникают волны перенапряжения, в результате прямых ударов молний в провода либо перекрытий воздушных промежутков при ударе молнии в опору. Эти волны перенапряжений доходят до подстанции и вызывают кратковременное перенапряжение на оборудовании. Они могут вызывать повреждение изоляции.

Для предотвращения этого и защиты оборудования используются нелинейные ограничители перенапряжений.

Для защиты от атмосферных перенапряжений и кратковременных внутренних напряжений изоляции ВЛ и трансформаторов на сторонах ВН, НН устанавливают ограничители перенапряжений типа: ОПН-110, ОПН-10.

Таблица 3.11 – Каталожные данные ОПН

Тип	$U_{ном}, \text{ кВ}$	$U_{доп}, \text{ кВ}$	$I_{ном.раз}, \text{ кА}$
ОПН-П1-110/73/10/2УХЛ1	110	73	10

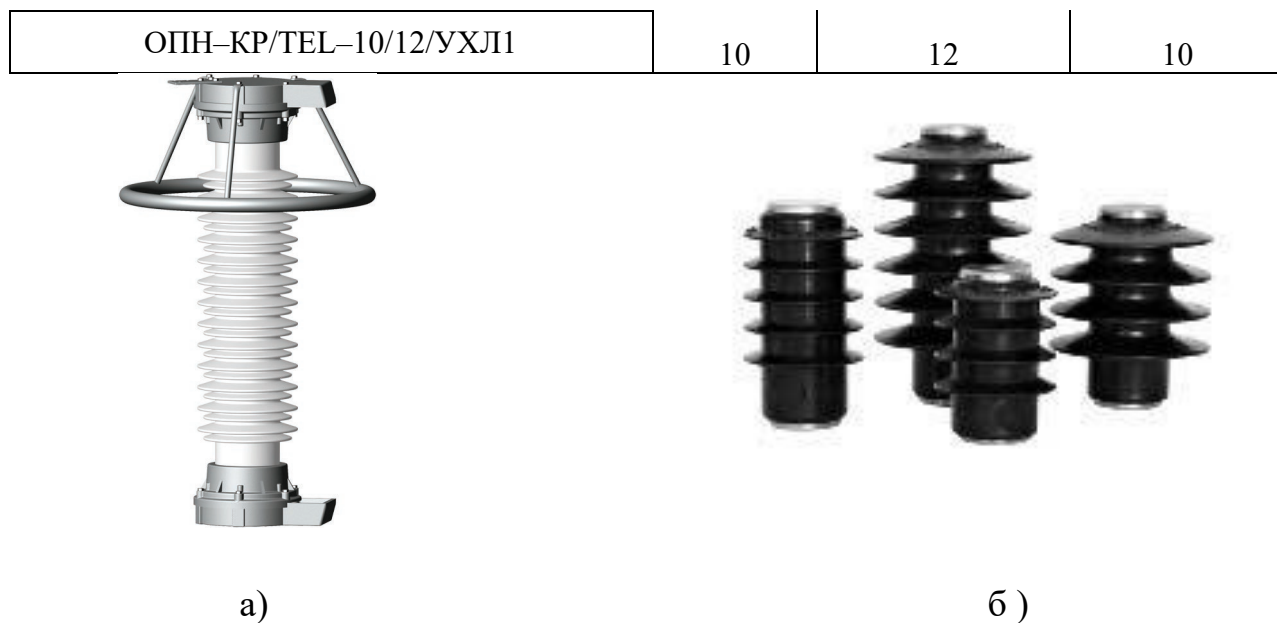


Рисунок 3.7 – Ограничители перенапряжений:

а) ОПН–П1–110/73/10/УХЛ1; б) ОПН–КР/TEL–10/12/УХЛ1

Предохранитель – аппарат, предназначенный для автоматического однократного отключения электрической цепи при КЗ или перегрузке.

Отключение цепи предохранителем осуществляется путем расплавления плавкой вставки, которая нагревается протекающим по ней током защищаемой цепи. После отключения цепи плавкая вставка должна быть заменена вручную.

Условия выбора:

1. По напряжению установки $U_{уст.} \leq U_{ном}$, кВ;
2. По конструкции и роду установки;
3. По току отключения – $I_{п.о} \leq I_{откл.п.}$, А;

Таблица 3.12 – Проверка условий выбора предохранителя

Условие выбора	Расчетные величины	Каталожные данные
$U_{уст.} \leq U_{ном}$, кВ	10	10
$I_{кз} \leq I_{откл.}$, кА	12,2	20



Рисунок 3.7 – Предохранители ПКТ10М0-2-8-20У1

Разъединитель – это коммутационный аппарат, предназначенный для создания видимого разрыва в электрической цепи без нагрузки.

Выбор и проверка разъединителя производится аналогично выключателей, но без учета отключаемого тока.

Таблица 3.13 – Проверка условий выбора разъединителя

Условие выбора	Расчетные величины	Каталожные данные
РНДЗ-1-110/1000У1		
$U_{уст.} \leq U_{ном}, \text{ кВ}$	110	110
$I_{кз} \leq I_{откл.}, \text{ кА}$	79,42	1000
$i_{уд.} \leq I_{мах.доп.}, \text{ кА}$	25,91	63
РВЗ-10/400 МУХЛ2		
$U_{уст.} \leq U_{ном}, \text{ кВ}$	10	12
$I_{кз} \leq I_{откл.}, \text{ кА}$	106	400
$i_{уд.} \leq I_{мах.доп.}, \text{ кА}$	31,05	40



Рисунок 3.8 – Разъединитель РНДЗ-1-110/1000У1

В РУ шины крепятся на опорных, проходных и подвесных изоляторах. Жесткие шины крепятся на опорах изоляторах, выбор которых производится по следующим условиям:

1. По номинальному напряжению: $U_{уст}=10,5 \text{ кВ}=U_{ном}=10,5 \text{ кВ}$;
2. По допускаемой нагрузке $F_{расч} \leq F_{доп}, \text{ Н}$;

Выбираем опорные изоляторы ОСК 4-10-В02-1.

Допустимая нагрузка на головку изолятора, Н:

$$F_{доп} = 0,6 \cdot F_{разр}, \quad (3.64)$$

где $F_{разр}$ – разрушающая нагрузка на изгиб принимаемая 4 кН,

Выбор измерительных трансформаторов тока

Расчетная сила, действующая на изолятор, Н:

$$F_{расч} = \sqrt{3} \cdot \frac{i_{2y}^2}{a} \cdot l \cdot 10^{-7}, \quad (3.65)$$

Аналогично производятся расчеты для проходного изолятора.

Таблица 3.14 – Проверка условий выбора изолятора

Условие выбора	Расчетные величины	Каталожные данные

ОСК 4-10-В02-1		
Ууст.= Уном, кВ	10	10
Грасч. ≤ Гдоп, Н	58,4	4000
ИПП-10/2000-12,5 УХЛ1		
Ууст.= Уном, кВ	10	10
Грасч. ≤ Гдоп, Н	58,4	12500

Выбор трансформаторов тока (ТА) производится по следующим условиям:

1. По напряжению электроустановки, кВ;
2. По рабочему току, А;.
- 3 По электродинамической стойкости, кА;
4. По термической стойкости B_k , $кА^2 \cdot с$.

Таблица 3.15 – Проверка условий выбора ТТ

Условие выбора	Расчетные величины	Каталожные данные
110 кВ		
Ууст.≤ Уном, кВ	110	110
$I_{раб. max} \leq I_{ном}$, А	79,42	100
$i_{уд.} \leq I_{дин}$, А;	25,91	30
$B_k \leq t_T \cdot (k_T \cdot I_{ном})^2$, $кА^2 \cdot с$	17,88	676
10,5 кВ		
Ууст.≤ Уном, кВ	10	10
$I_{раб. max} \leq I_{ном}$, А	434,83	450
$i_{уд.} \leq I_{дин}$, А;	31,04	80
$B_k \leq t_T \cdot (k_T \cdot I_{ном})^2$, $кА^2 \cdot с$	12,15	992,25

Таблица 3.16 – Вторичная нагрузка трансформатора тока

Прибор	Тип	Нагрузка фазы, ВА		
		А	В	С
Амперметр	Э351	0,5	0,5	0,5
Ваттметр	Д365	0,5	-	0,5
Счетчик активной энергии	И680	2,5	-	2,5
Счетчик реактивной энергии	И673	2,5	-	2,5
Итого		6	0,5	6

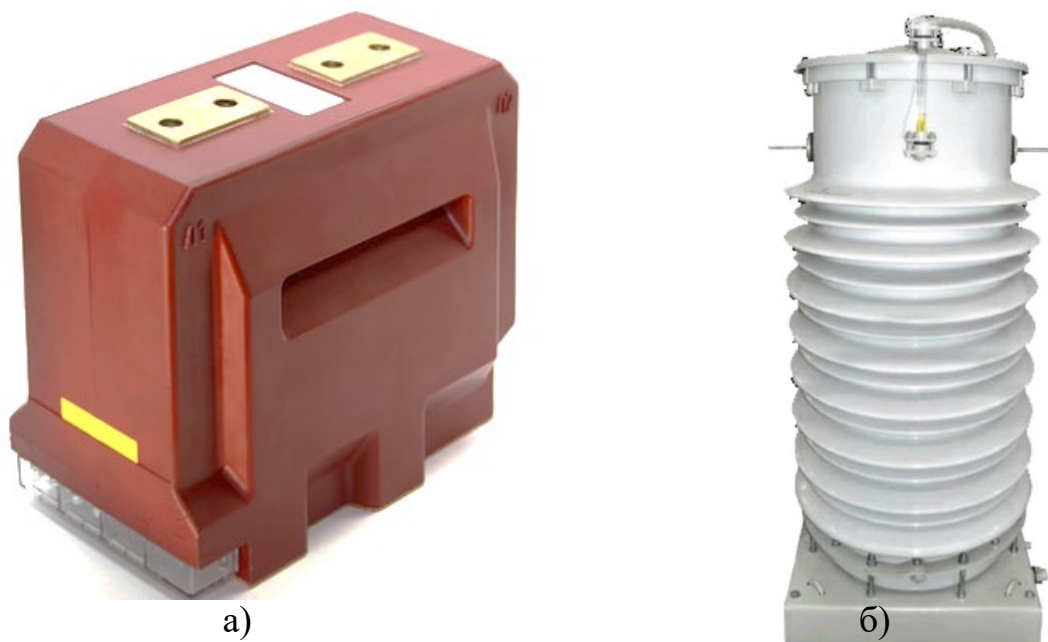


Рисунок 3.9– трансформаторы тока :

а) ТОЛ-10; б) ТФЗМ-110-У1

Выбор измерительных трансформаторов напряжения осуществляется:

1. По напряжению установки $U_{уст.} \leq U_{ном}$, кВ;
2. По вторичной нагрузке $S_2 \leq S_{2ном}$, ВА.

Таблица 3.17 – Вторичная нагрузка трансформатора тока

Условие выбора	Расчетные величины	Каталожные данные
$U_{уст.} \leq U_{ном}$, кВ	10	10
$S_2 \leq S_{2ном}$, ВА	36,08	75

Таблица 3.18 – Вторичная нагрузка трансформатора напряжения

Наименование прибора	Тип	Потребляемая мощность	$\cos \varphi$	Число приборов	P, Вт	Q, квар
Вольтметр Электромагнитный	Э-762	9,00	1,00	3	27	—
Счетчик трехфазный индуктивный	САЗУ	1,75	0,38	20	13,3	32,4
Итого:					40,3	32,4

Полная расчетная нагрузка от приборов на ТН составит:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\Sigma P^2 + \Sigma Q^2} = \sqrt{40,3^2 + 32,4^2} = 51,7 \text{ ВА} ; < 120 \text{ ВА}.$$



Рисунок 3.10– ЗНОЛП-10

3.15 Конструктивное исполнение ГПП и цеховых трансформаторов

Открытое распределительное устройство (ОРУ) 110 кВ предназначено для приема и распределения трехфазного переменного тока промышленной частоты 50 Гц напряжением 110 кВ. Схема главных цепей ОРУ 110 кВ выполнена по типу 4Н (два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий). Типовая модель ОРУ представлена на рисунке 1.14. Габаритные размеры ГПП составляют 62,6 на 41,6 м (размеры ГПП могут быть приняты другими). Закрытое распределительное устройство (ЗРУ) 10 кВ выполняется в следующих вариантах:

–КРУ серий К-104АТ, КРУ установленные в блочно-модульном здании типа «СЭНДВИЧ»;

–КРУ серий К-59АТ исполнения У1 (ХЛ1) с коридором обсаживания;

–КРУ серий КРН исполнения У1 (ХЛ1) с без коридором обсаживания.

ОРУ 110 кВ поставляется на место установки подстанций блоками, состоящими из металлического каркаса с частично смонтированным на нем оборудованием. Ошиновка ОРУ 110 кВ предусматривается межлинейная

гибкая из сталеалюминиевого провода и межлинейная жесткая из алюминиевых труб (ОЖ СЭЩ 110 « Электроцит Самара»). По желанию заказчика при изготовлении ОРУ можно применять оборудование других производителей.

На ГПП устанавливаем комплектную трансформаторную подстанцию блочного типа КТПБ – АТ-110/10 кВ [16]. Для расчетного предприятия на стороне 110 кВ главной понизительной подстанции устанавливаем элегазовые выключатели серии ВГТ-110 УХЛ1(УЭТМ-УГМ «Энергомаш»), На стороне 10 кВ используем вакуумные выключатели серии ВВ/АСТ-10-12,5/630 УХЛ2 (ООО «Астер Электро») с комплектом для их монтажа в КРУ.

Комплектная двухтрансформаторная подстанция блочного типа состоит из следующих основных элементов:

- двух силовых трансформаторов типа ТДН- 10000/110/10;
- ОРУ 110 кВ;
- комплектного распределительного устройства (КРУН) 10 кВ наружной установки;
- фундаментов, элементов грозозащиты, заземления и ограды.

Также состав КТПБ – АТ-110/10 кВ приведен на рисунке 1.15.

В качестве КРУ выбраны ячейки серии К-104АТ (К-59АТ). КРУ представляет собой конструкцию, состоящую из отдельных металлических шкафов, соединенных между собой с помощью болтовых соединений (смотри рисунок 1.13).

В шкафах устанавливаются аппараты высокого напряжения, а также приборы защиты, управления, измерения и сигнализации. Шкафы КРУ предназначены для двустороннего обслуживания. Шкаф КРУ состоит из высоковольтной части и релейного отсека.

Высоковольтная часть шкафа разделена на 3 отсека:

- отсек выдвижного элемента;
- отсек ввода-вывода;

– отсек сборных шин (смотри рисунок 3.11).

В отсеке выдвижного элемента располагаются защитные шторки, закрывающие доступ к токоведущим частям КРУ при выкатывании выдвижного элемента в ремонтное положение, направляющие выдвижного элемента, узлы его заземления, узлы фиксации выдвижного элемента в рабочем и контрольном положении.

В отсеке ввода-вывода размещены трансформаторы тока, заземляющий разъединитель и трансформаторы тока нулевой последовательности. На крыше шкафа выполнены клапаны сброса избыточного давления из высоковольтных отсеков при возникновении электрической дуги.

Фасад выдвижного элемента является фасадом высоковольтного шкафа. Релейный отсек имеет дверь, закрываемую на ключ.

Для доступа в отсек ввода – вывода отсек и отсек сборных шин на задней стороне шкафа предусмотрены двери, фиксируемые болтами.

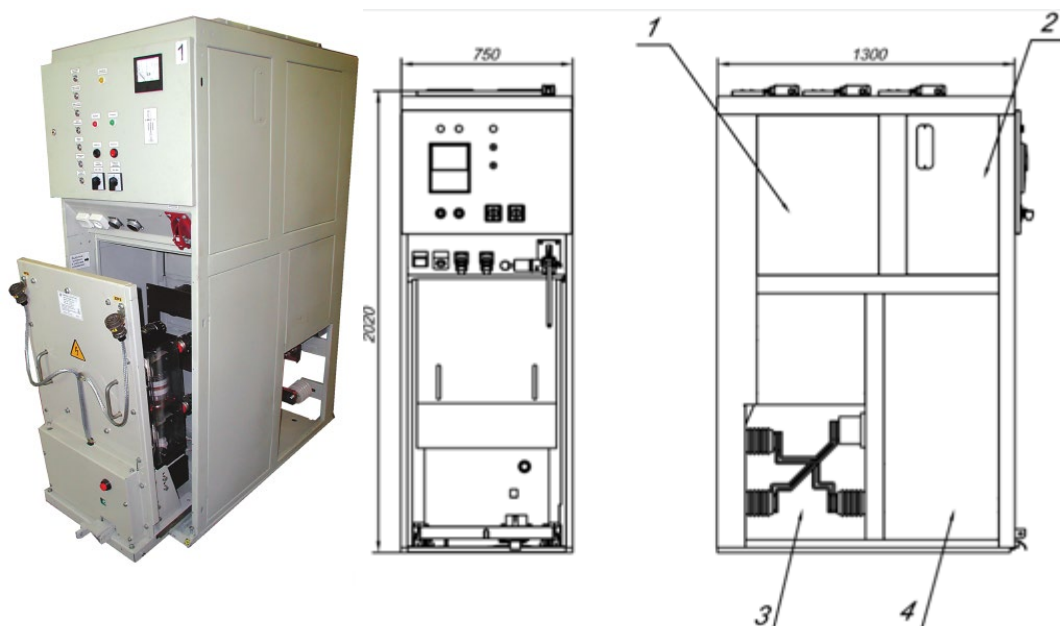


Рисунок 3.11 – Внешний вид и габаритные размеры К-104АТ:

- 1 – Отсек ввода-вывода; 2 – релейный отсек; 3 – отсек сборных шин;
4 – отсек выдвижного элемента.

Типы основного высоковольтного оборудования, встраиваемого в КРУ серии К-104АТ:

- выключатель вакуумный серии ВВ/АСТ-10-12,5/630У1;
- разъединители типа РВЗ-10/400 МУХЛ2;
- трансформаторы тока типа ТОЛ-10У2;
- трансформаторы напряжения типа ЗНОЛП-10УХЛ2;
- трансформаторы собственных нужд типа ТСКС-40/145-10У3;
- предохранители для ТН ПКТ10М0-2-8-20У1;
- предохранители типов ПКТ61-10У3.

Технические данные, основные параметры и характеристики КРУ серии К-104АТ приведены в таблице 1.45.

Таблица 3.19 – Технические данные и основные параметры КРУ серии К-104АТ

Наименование параметра		Значение величины
1	Номинальное напряжение, кВ:	6; 10
2	Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
3	Номинальная частота, Гц	50
4	Номинальный ток главных цепей, А	630; 1000; 1600
5	Номинальный ток сборных шин, А	до 2000
6	Номинальный ток отключения выключателя, А	20;25
7	Ток термической стойкости, кА	20; 25

8	Время протекания тока термической стойкости, с: -для главных цепей -для заземляющих ножей	3 1
9	Ток электродинамической стойкости кА	51; 64
10	Номинальное напряжение вспомогательных, В: -цепей переменного -постоянного тока	110; 220 220

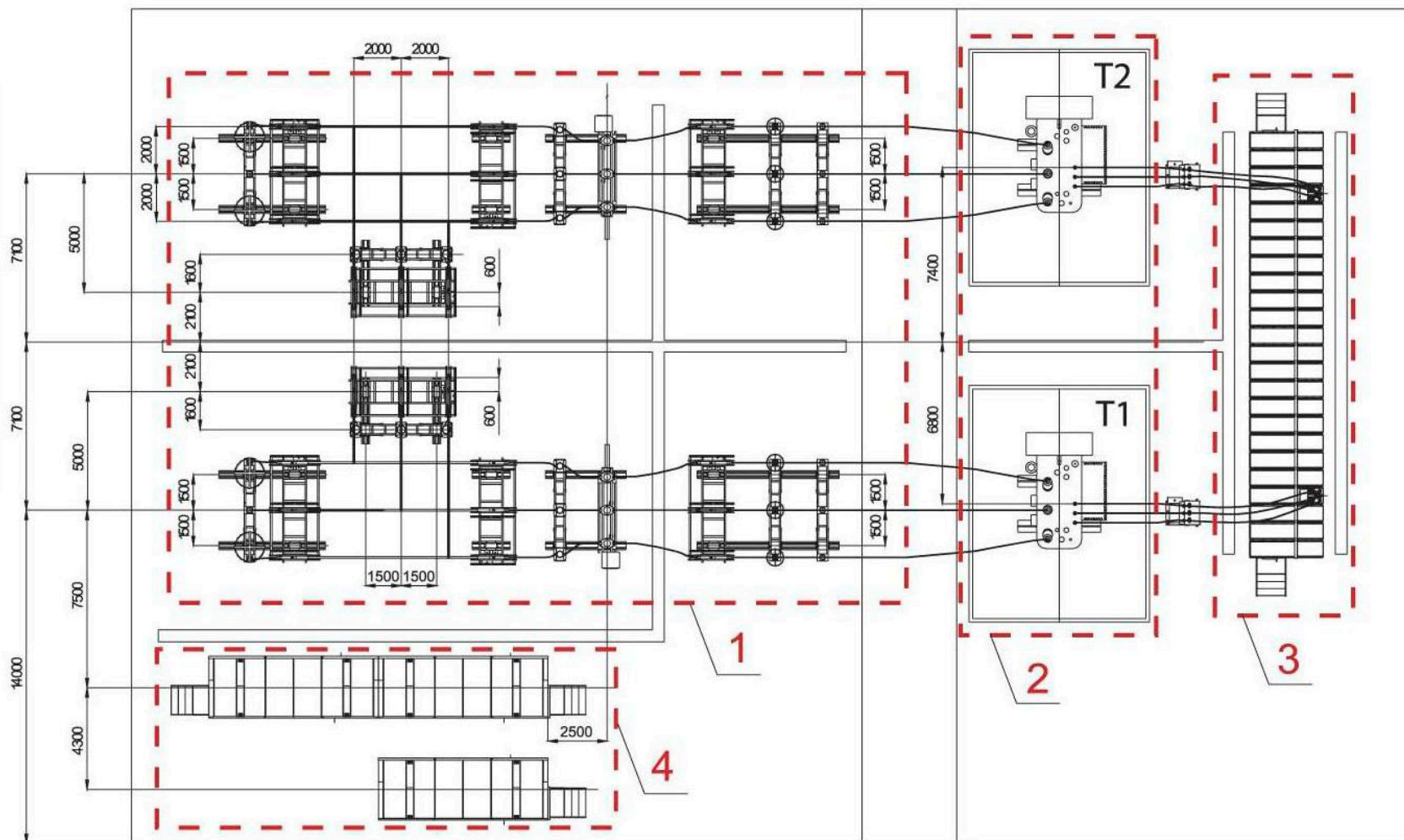


Рисунок 3.12– Компоновка и габаритные размеры подстанции КТПБ -110/10 кВ:

1 – ОРУ 110 кВ; 2 – Силовые трансформаторы 110/10 кВ; 3 – ЗРУ 10 кВ; 4 – Общеподстанционный пункт управления
в блок-модулях типа «СЭНДВИЧ»

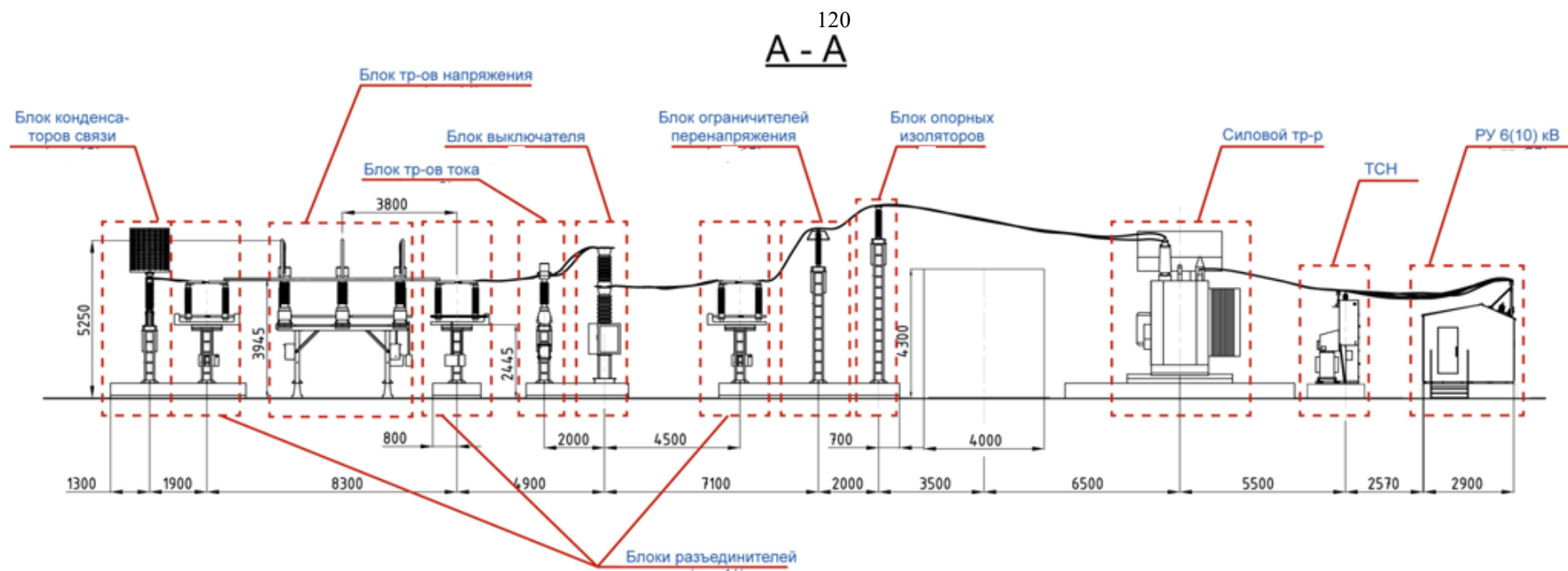


Рисунок 3.13 – Состав КТПБ -110/10 кВ

В качестве подстанций выбраны распределительные двухтрансформаторные подстанции типа РТП-АТ-1600/10/0,4 У1, технические данные и основные параметры которых приведены в таблице 1.46. Компоновка и габаритные размеры РТП-АТ на рисунке 1.16.

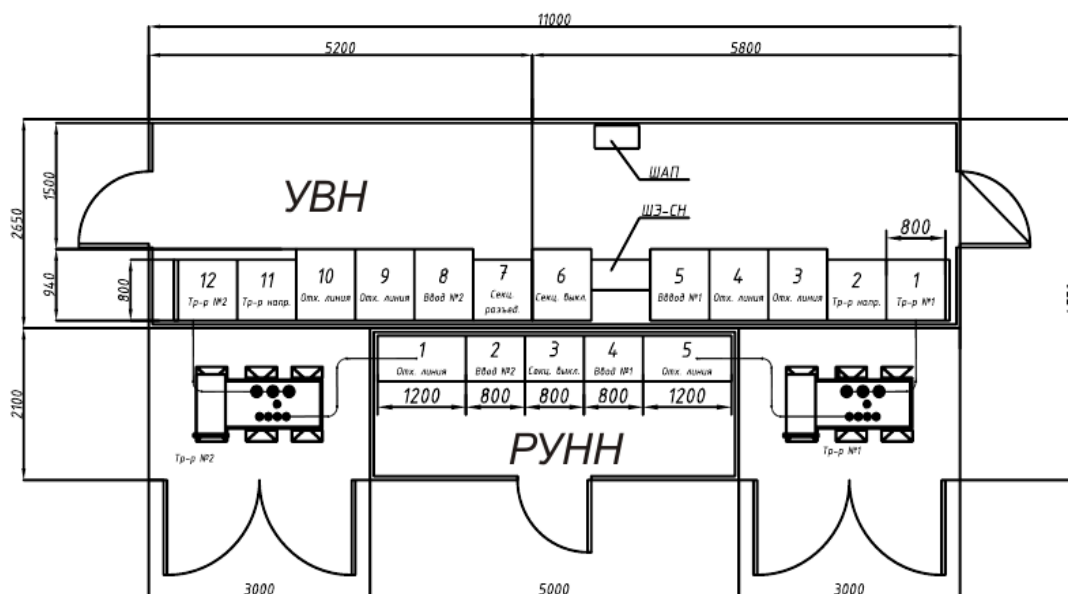


Рисунок 3.14 – Компоновка и габаритные размеры РТП-АТ

Распределительное устройство со стороны высшего напряжения реализовано на камерах серии КСО393АТ(В) с вакуумными выключателями ВВ/АСТ-10-20/1000У1 и выключателями нагрузки ВНА-10/630 УХЛ 2 («Электроцит Самара») [17]. Общий вид ячеек КСО на рисунке 1.17 .



Рисунок 3.15 – КСО серии 393АТ

Таблица 3.20 – Технические данные, основные параметры и характеристики РТП-АТ-1600/10/0,4 У1

Наименование параметра		Значение величины		
1	Мощность силового трансформатора, кВА	1600		
2	Тип шкафа УВН	КСО 393АТ		
3	Номинальные напряжения на стороне высшего (ВН) и низшего (НН) напряжений, кВ	10/0,4		
4	Ток термической стойкости на стороне ВН в течение 1 с, кА	20;31,5;40		
5	Ток электродинамической стойкости на стороне ВН, кА	51		
6	Ток электродинамической стойкости на стороне НН, кА	50	80	100

Типы основного оборудования, встраиваемого в РТП-АТ:

1. Силовые трансформаторы – ТМ-1600/10/0,4 соединение Y/Y;
2. Выключатель нагрузки – ВНА-10/630;
- 3 Вакуумные выключатели – ВВ/AST-10-20/1000У1;
3. Предохранители типов – ПКТ10М0-2-8-20У1;
4. Выключатели автоматические – ВА-СЭЩ-АС08 .

Соединение УВН с трансформатором осуществляется кабелем, а трансформатора с РУНН – шинным мостом. Распределительное устройство со стороны низшего напряжения реализовано на панелях серии ЩО70 с устройством автоматического ввода резерва (АВР).

Шкафы РУНН представляют собой единую конструкцию, собранную из блок-панелей содержащую автоматические выключатели и релейную аппаратуру. Каждый шкаф разделен на отсек выключателей, приборный (или релейный отсек), где установлена аппаратура управления, автоматики и учета электроэнергии, а также отсек шин и кабелей, где размещены сборные шины, шинные ответвления для кабельных и шинных присоединений и трансформаторы тока. Сборные шины выполняются из алюминиевого сплава сечением до 2х(10х100) мм.

В блоке РУНН установлен ящик собственных нужд ЯВ-СН-АТ, предназначенный для [18]:

- внутреннего освещения всех блоков;
- внутреннего освещения камер КСО;
- внешнего освещения подстанции;
- управления обогревом.

В блоке УВН установлен шкаф собственных нужд ШЭ-СН-АТ предназначенный для питания камер КСО переменным оперативным током и шкаф аварийного питания ШАП-01АТ предназначенный для включения-отключения камер КСО при отсутствии оперативного питания.

Шкаф низковольтный серии ШН-АТ предназначен для комплектования распределительных устройств со стороны низшего напряжения комплектно трансформаторных подстанций или низковольтных распределительных устройств (типа ГРЩ и др.). Его общий вид предоставлен на рисунке 1.18 и 1.19.



Рисунок 3.16 – ШН-АТ-В

По функциональному назначению можно выделить:

- шкаф ввода (ШН-АТ-В);
- шкаф отходящих линий (ШН-АТ-Л);
- шкаф секционный (ШН-АТ-С);
- шкаф кабельной сборки;
- шинопровод (для двухрядных щитов).

Шкафы обеспечивают защиту от:

- однофазных коротких замыканий;
- несимметричного режима с действием на отключение вводного выключателя;
- защиту от перегрузок;
- отключение вводного выключателя с выдержкой времени при исчезновении напряжения.

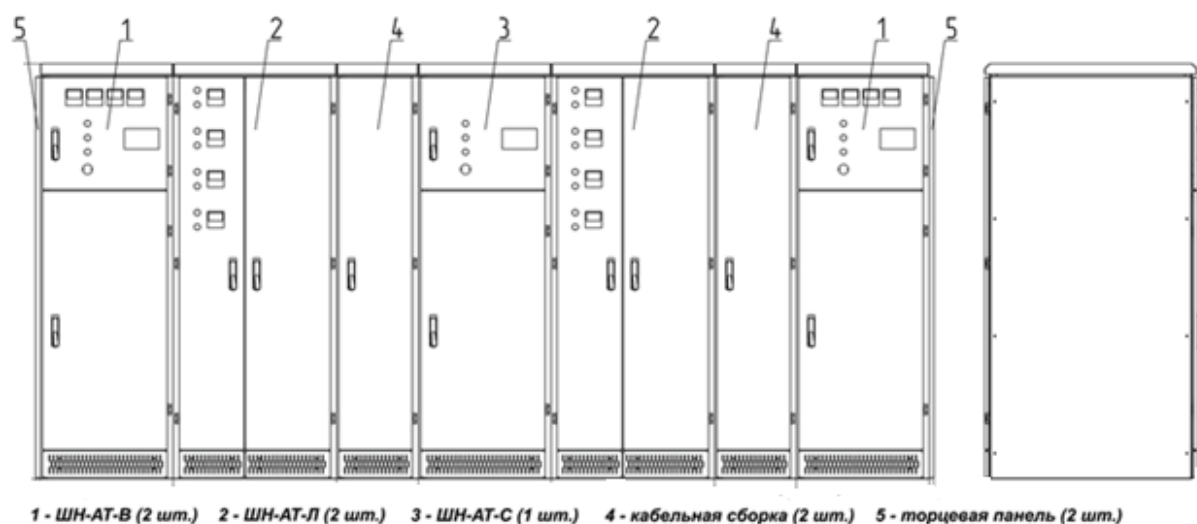


Рисунок 3.17 – Шкаф низковольтный серии ШН-АТ

Панели распределительных щитов предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц напряжением 380/220 В, защиты от перегрузок токов КЗ [18]. Общий вид панели распределительных щитов на рисунке 1.20.



Рисунок 3.18 – Панель распределительных щитов ЩО-70 (ЩО-90)

Сеть 10 кВ выполнена силовыми кабелями АПвП (А – алюминиевая жила; Пв – изоляция из сшитого полиэтилена; П – наружная оболочка из полиэтилена). Конструктивное выполнение СПЭ кабелей марки АПвП:

1. Многопроволочная токопроводящая жила из алюминия (А);
2. Экран по жиле из экструдированного полупроводящего сшитого полиэтилена;
3. Изоляция из сшитого полиэтилена (Пв);
4. Экран по жиле из экструдированный полупроводящего сшитого полиэтилена;
5. Экструдированное полупроводящее заполнение;
6. Слой обмотки полупроводящим полотном
7. Медный экран и отдельный слой из электропроводящих лент;
8. Межфазное заполнение из мелонаполненной невулканизированной резиновой смеси;
9. Наружная оболочка из полиэтилена (П).

Конструкция кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена представлены на рисунке 1.21.



Рисунок 3.19 – Конструкция кабеля АПвП 10кВ (а) и 0,4 кВ (б)

Основная область применения – прокладки в земле (в траншеях), если кабель защищен от механических повреждений. Кабель предназначен для эксплуатации в земле независимо от степени коррозионной активности грунтов.

Сеть 0,4 кВ также выполнена силовыми кабелями марки АПвП. Токпроводящая жила кабеля выполнена из алюминия. Конструкция кабеля АПвП 0,4 кВ представлена на рисунке 1.21 (б).

Прокладку кабеля разрешается начинать только при наличии проекта производства работ (ППР), с учетом настоящих рекомендаций и действующих нормативных документов :

- СНиП 3.05.06.-85 «Электротехнические устройства»;
- Правила устройства электроустановок».

Кабели на напряжения до 10 кВ прокладывают на глубине 0,7 м от планируемой отметки при глубине траншеи 0,8 м. На дно траншеи насыпают слой песка или чистой земли, не содержащей камней толщиной не менее 0,1 м.

Все кабели номинальным напряжением свыше 1 кВ, проложенные в траншеях, должны иметь защитные покрытия из красного кирпича или бетонных плит, положенных на слой земли или песка толщиной 0,1 м. При глубине траншеи 1–2 м и напряжении до 10 кВ защита кабелей кирпичом необязательна. СНиП установлено предельное количество кабелей в одной траншее – не более шести, устройство траншей с большим числом кабелей является не экономичным. Ширина траншеи (смотри рисунок 1.22) определяется количеством, сечением и марками кабелей.

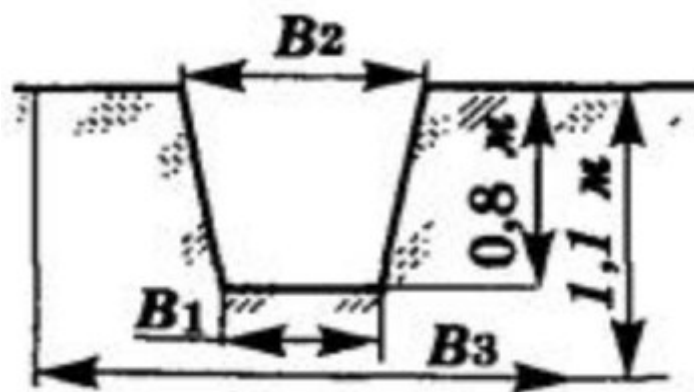


Рисунок 3.20 – Размеры траншеи для прокладки кабеля 1–10 кВ:

B_1 – на дне траншеи; B_2 – у поверхности земли; B_3 – зона отвода

Допускается совместная прокладка силовых и контрольных кабеле в одной траншее. При этом расстояние между крайними контрольным и силовым кабелем должно быть не менее 100 мм.

Между силовыми кабелями расстояние в свету должно быть не менее 100 мм.

Кабель укладывается в траншее «змейкой» с небольшим запасом, составляющим 1,5–2% общей длины траншеи, на случай возможных смещений почвы и температурных деформаций кабеля в разное время года. В месте установки соединительной муфты предусматривают расширение траншеи для

устройства петли запаса и возможности вырезки поврежденной муфты и замены.

При параллельной прокладке кабелей в плоскости (смотри рисунок 1.23) расстояние по горизонтали в свету между кабелями отдельной кабельной линии должно быть не менее величины наружного диаметра прокладываемого кабеля.



Рисунок 3.21 – Прокладка кабеля в траншее

Вводы кабелей в здания, кабельные сооружения и другие помещения должны быть выполнены в асбоцементных, бетонных, керамических или пластмассовых трубах. Концы труб должны выступать в траншею из стены здания или фундамента (при наличии отмостки за линию последней) не менее чем на 0,6 м, и иметь уклон в сторону траншеи.

При прокладке кабелей вдоль зданий параллельно линии застройки расстояние от фундаментов зданий до ближайшего кабеля устанавливается не менее 600 мм.

Для защиты кабелей в местах пересечений с дорогами, инженерными сооружениями и естественными препятствиями, а также для изготовления кабельных блоков, должны быть применены трубы. Случаи, когда требуется прокладка кабеля в трубах, перечислены в ПУЭ. Трубы должны быть выполнены из асбоцементного, керамического, пластмассового или иного

немагнитного изоляционного материала. Трубы должны быть уложены прямолинейно.

Экран кабеля должен быть заземлен на обоих концах линии. Заземление должно обеспечивать отведение токов короткого замыкания (т.е. должна быть обеспечена достаточная проводимость заземляющего проводника, экран и заземляющий проводник не должны иметь разрывов и участков с высоким электросопротивлением). Желательно также дополнительное заземление экрана по длине линии [13].

3.16 Описание релейной защиты системы электроснабжения завода

Электроэнергетические системы характеризуются непрерывностью во времени производства и потребления электроэнергии, быстротечностью протекания электромагнитных возмущающих воздействий, возникающих при повреждениях электрооборудования. В таких условиях надлежащее качество и надежность электроснабжения могут быть обеспечены только при применении устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗА). Устройства РЗА предназначены для быстрой автоматической локализации поврежденного электрооборудования или линии системы электроснабжения, автоматического восстановления напряжения на неповрежденных участках и предотвращения ненормальных режимов.

Для распределительных сетей промышленного предприятия предусмотрены устройства релейной защиты от междуфазных замыканий и от однофазных замыканий на землю. Наиболее распространенным видом защиты является максимальная токовая защита (МТЗ). От междуфазных замыканий защиту рекомендуется выполнять в двухфазном исполнении и включать её в одни и те же по всей сети данного напряжения для отключения в большинстве случаев двойных замыканий на землю только одного места повреждения. В зависимости от чувствительности защита может быть выполнена одно-, двух- или трехрелейной.

Замыкание на землю одной фазы в сетях с изолированной нейтралью или нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор, не является аварийным режимом. Поэтому защиту выполняют действующей на сигнал, и только когда это необходимо по требованиям безопасности, на отключение. В сетях простой конфигурации допускается применение только одного общего устройства неизбирательной сигнализации, контролирующего состояние изоляции в системе данного напряжения. В протяженных сетях сложной конфигурации необходимо также предусматривать избирательную защиту на каждом присоединении.

В сетях напряжением до 1 кВ защиту выполняют плавкими предохранителями и автоматическими выключателями, снабженными устройствами релейной защиты в виде токовой отсечки, МТЗ или двухступенчатой токовой защиты.

Согласно ПУЭ на силовых трансформаторах ГПП устанавливают следующие виды защиты [13]:

- продольная дифференциальная защита без выдержки времени для защиты от повреждения на выводах трансформатора и от внутренних повреждений;

- МТЗ на стороне 110 кВ для защиты от внешних коротких замыканий, с независимой выдержкой времени, с комбинированным пуском по напряжению, отключает вводы 10 кВ и включает короткозамыкатель;

- МТЗ от перегрузок в однофазной однорелейном исполнении с действием на сигнал на стороне 110 кВ и двухрелейном исполнении на стороне 10 кВ;

- газовая защита для защиты от повреждений внутри трансформатора, сопровождающихся выделением газа, и от понижения уровня масла, может действовать на отключение и на сигнал.

Для защиты трансформатора от многофазных замыканий в обмотках и на выводах, устанавливается продольная дифференциальная защита. Защищаемая зона определяется местами установки трансформаторов тока.

Для того чтобы в зону защиты входили вводы силового трансформатора с высокой стороны (110 кВ) устанавливают выключатель, и дифференциальная защита выполняется на трансформаторах тока, встроенных в выключатель напряжением 110 кВ ГПП. Для компенсации угловой погрешности трансформатора тока на стороне 110 кВ обмотки собираются в «треугольник», а на стороне 10 кВ – в «звезду».

Дифференциальная защита осуществляется с применением реле тока, обладающих улучшенной отстройкой от бросков намагничивающего тока, переходных и установившихся токов небаланса.

При возникновении электрических повреждений в обмотках маслонаполненных трансформаторов и на вводах внутри их баков обычно образуются пары масла и возникает интенсивное перемещение масла из бака в расширитель. Это явление используют для защиты трансформатора от всех видов повреждений внутри бака, защиту выполняют при помощи газового реле, устанавливаемого на трубопроводе между баком и расширителем трансформатора.

При незначительных повреждениях в трансформаторе, при слабом газообразовании, газы вытесняют часть масла, и уровень его в реле понижается. Это приводит к увеличению силы действующей вниз за счет увеличения масла в чашке, в результате чего замкнутся контакты реле и замкнется цепь сигнализации.

При коротком замыкании в трансформаторе возникает сильное газообразование. Сила потока газа, воздействует на лопасть, заставляя чашку реле повернуться, тем самым, замыкая контакты реле действующего на отключение трансформатора.

Релейная защита трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций включает в себя следующие виды:

- защита от межфазных коротких замыканий на стороне высшего напряжения;
- защита от однофазных замыканий на стороне низкого напряжения;

- от перегрузки;
- газовая защита для защиты от повреждений внутри трансформатора..

Для защита от межфазных коротких замыканий на стороне высшего напряжения устанавливают предохранители (в случае применения выключателей нагрузки), а также максимальная токовая защита, иногда по условию обеспечения селективности, устанавливается токовая отсечка. От перегрузки устанавливается максимальная токовая защита.

Для защиты от однофазных замыканий на стороне низкого напряжения – автоматические выключатели или специальная защита нулевой последовательности, установленная в нулевом проводе на стороне 0,4 кВ.

Кабельные линии электропередач, имея большую протяженность, подвержены различным видам повреждений. Кабельные линии, проложенные в земле, могут повреждаться из-за ухудшения условий охлаждения, коррозии оболочек кабеля, осадки при земляных работах. Эти повреждения могут вызвать короткое замыкание между фазами или на землю. Защита от однофазных замыканий на землю должна устанавливаться с действием на сигнал.

В соответствии с ПУЭ на одиночных кабельных линиях 10 кВ с односторонним питанием должны предусматриваться следующие устройства релейной защиты [13]:

- защита от многофазных замыканий без выдержки времени (токовая отсечка);
- МТЗ с выдержкой времени, согласованной со смежным участком;
- защита от замыканий на землю.

Для кабельных линий напряжением выше 1 кВ применяют МТЗ и ТО, ниже 1 кВ – предохранители и автоматические выключатели. Для защиты отходящих линий устанавливаются автоматические выключатели. На отходящих линиях с шин ТП устанавливаются автоматические выключатели серии ВА-СЭЩ-АС08 .

Согласно ПУЭ на асинхронном двигателе в РП устанавливают следующие виды защиты [13]:

- защита от многофазных замыканий на линейных водах и в обмотке статора;
- защита от однофазных замыканий на землю на линейных выводах и в обмотке статора;
- защита от токов перегрузки;
- защита от потери питания и понижения напряжения.

Защита от многофазных замыканий устанавливается на всех без исключения синхронных и асинхронных электродвигателях и предназначается для отключения электродвигателя при многофазных в КЗ в его обмотке статора и на линейных выводах (т. е. тех выводах, к которым подключена питающая линия, соединяющая электродвигатель с выключателем).

Защита от перегрузки устанавливается в случаях, когда возможны технологические перегрузки электродвигателей или тяжелые условия пуска и самозапуска (время пуска более 20 с). Устанавливают максимальную токовую защиту с действием на сигнал.

От однофазных замыканий на землю на линейных выводах обмотки статора защита применяется в случае, если ток срабатывания защиты превышает 10 А для электродвигателей мощностью до 2 МВт и 5 А для электродвигателей мощностью выше 2 МВт. Устанавливается токовая защита нулевой последовательности или токовая направленная защита нулевой последовательности.

Для электродвигателей номинальной мощностью до 4000 кВт применяется токовая двухрелейная отсечка без выдержки времени с реле, включенными на фазные токи. Для электродвигателей номинальной мощностью 4000 кВт и более применяется продольная дифференциальная токовая защита без выдержки времени. Эта же защита; может применяться на электродвигателях меньшей мощности, если применение токовой отсечки не обеспечивает требуемой чувствительности, а со стороны нулевых выводов обмотки статора имеются или могут быть установлены трансформаторы тока. На распределительном пункте устанавливаем защиту для двигателей

Для обеспечения бесперебойности электроснабжения потребителей первой и второй категорий предусмотрим установку АВР.

Устройство автоматического ввода (включения) резерва (АВР) предназначено для бесперебойного электроснабжения потребителей электроэнергии при отключении рабочего источника питания, путем подключения к резервной линии питания. Устройство АВР обеспечивает автоматическое восстановление основного питания при восстановлении рабочего источника питания. АВР широко используются в системах электроснабжения на промышленных предприятиях, объектах связи и транспорта для обеспечения надежности электроснабжения потребителей I – и II –й категории. Устройство АВР предусматривается:

- на ГПП в секционной перемычке на стороне 10 кВ;
- на ЦТП в секционной перемычке на стороне 0,4 кВ;
- в цехе в перемычке между РП.

3.11 Заключение

В этом разделе проводится анализ реализации целей и задач проектирования; кратко излагается реальный итог проектирования, приводятся результаты, характеризующие технический и экономический эффект от возможной реализации технических решений курсового проекта в практику электроснабжения промышленных предприятий.

4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ НАД КУРСОВЫМ ПРОЕКТОМ

Успешное выполнение курсового проекта в срок, а также его качества во многом зависят от того, как будет организована работа над ним.

Работа над проектом требует достаточно обширной эрудиции студента в разрабатываемых вопросах, поэтому необходимо изучать и использовать в проекте специальную техническую литературу, указываемую в программе,

приведенную в данных указаниях и рекомендуемую дополнительно руководителем курсового проекта.

Рекомендуется записывать все используемые литературные источники, справочники и т. п. с указанием авторов, точного названия, издательства, года издания, глав и страниц, а также краткого содержания изучаемого вопроса, указав разделы проекта, в которых были использованы полученные сведения. Такие записи дают возможность студенту лучше продумать соответствующие технические положения и предпосылки, а также облегчают составление и написание пояснительной записки и раздела литературы.

Для сокращения времени, затрачиваемого на составление и написание пояснительной записки, рекомендуется писать её параллельно с выполнением соответствующих разделов проекта, что несколько разгружает последний период проектирования. Графический материал по проекту следует выполнять также параллельно с исполнением соответствующих разделов проекта.

Выполнение проекта следует начать сразу после получения задания (1–2 недели семестра), которое подписывается руководителем проекта, утверждается заведующим кафедрой и регистрируется в кафедральном журнале.

После завершения работы над курсовым проектом студент сдает руководителю на проверку расчетно-пояснительную записку и чертежи. Если проект удовлетворяет требованиям, предъявляемым к курсовым проектам, он допускается к защите, о чем руководитель делает надпись на титульном листе.

5 ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТУДЕНТА ЗА ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАНИЯ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Защита курсовых проектов назначается в сроки, устанавливаемые кафедрой и дирекцией (проводится по Положению о выполнении и защите курсовых работ (проектах) СКФУ не позднее, чем за две недели до начала

зачетно-экзаменационной сессии), в комиссиях, назначаемых заведующим кафедрой.

Защита – это важный и ответственный момент в подготовке инженеров, поэтому ей следует уделять серьезное внимание. Она состоит из доклада студента по проекту и ответов на вопросы членов комиссии. В докладе студент за 5-10 минут должен дать краткую характеристику выполненного проекта, изложив кратко особенности задания, принципы, положенные в основу разработки отдельных узловых вопросов, дать технические обоснования принятых решений и привести основные показатели результатов выполненных расчетов. Все это требует серьезной подготовки, так как сделать обстоятельный доклад за такое короткое время без подготовки невозможно. При подготовке необходимо составить план доклада и написать его. Для этого следует еще раз внимательно прочитать пояснительную записку и соответствующую литературу, продумать, на основании каких соображений и почему было принято то или иное решение, какие возможны были бы другие решения и почему они не рассматривались, какие возможны режимы, работы запроектированной сети и отдельных её элементов, каков принцип работы и особенности конструктивного выполнения различных элементов сети и электрооборудования.

Следует обратить внимание на вопросы надежности и бесперебойности питания потребителей, обеспечения экономичности запроектированной сети и на вопросы эксплуатации элементов электроснабжения, помня, что надежная и простая эксплуатация во многом зависит от принятых проектных решений.

За все принятые в курсовом проекте решения и соблюдение сроков выполнения разделов проекта ответственность несет автор проекта. Студент, не выполнивший задание по курсовому проекту в полном объеме или не представивший его по неуважительной причине, к защите не допускается, а в ведомость проставляется оценка «неудовлетворительно».

6 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Лыкин, А. В. Математическое моделирование электрических систем и их элементов : Учебное пособие / Лыкин А. В. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. – 227 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. – ISBN 978-5-7782-2262-5
2. Стрельников, Н. А. Электроснабжение промышленных предприятий / Н.А. Стрельников. - Новосибирск : НГТУ, 2013. - 100 с. - ISBN 978-5-7782-2193-2,
3. Сибикин, Ю. Д. Основы электроснабжения объектов / Ю.Д. Сибикин. - М. | Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 328 с. - ISBN 978-5-4458-5750-1

Дополнительная литература

1. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – Москва : РадиоСофт, 2014. – 328 с. : ил. ; 21. – Библиогр.: с. 326-327. – ISBN 978-5-93037-208-3
2. Справочник по проектированию электрических сетей / [И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро] ; под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 376 с. : ил. – Библиогр.: с. 370-373. – ISBN 978-5-4248-0049-8
3. Шлейников, В. Б. Электроснабжение промышленных предприятий : практикум : учебное пособие / В.Б. Шлейников ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» ; Кафедра электроснабжения промышленных предприятий, 1. – Оренбург : ОГУ, 2012. – 99 с. : табл., схем. – <http://biblioclub.ru/>. – Библиогр.: с. 97.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Справочные данные для расчета электрических нагрузок предприятия

Таблица А.1 – Средние удельные нормы расхода электроэнергии на некоторые виды промышленных изделий

Продукция	Единица измерения	Средняя удельная норма расхода
1	2	3
Кислород	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{тыс.м}^3}$	469,7
Переработка газа		16,1
Сжатый воздух		80
Этилен	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	2214,4
Ацетилен		3234,8
Чугун		9,7
Электротехническая сталь		677,2
Сталь мартеновская		11,9
Сталь кислородно-конверторная		25
Прокат черных металлов		102,5
Трубы стальные		133,3
Бумага		667,3
Картон		525,6
Целлюлоза		367,1
Производство масел		309,9
Добыча железной руды	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	56,5
Добыча марганцевой руды		90,2
Ферросилилит 45 %		4726
Цемент		106
Асбест		600,5
Гипс		24,3
Добыча угля	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	30,0
В том числе:		
добыча подземным способом		38,0
добыча открытым способом		11,9
переработка угля (обогащение)		6,9
угольные брикеты		27,6
Пиломатериалы	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}$	19
Древесностружечные плиты		169
Фанера клееная		104,6
Железобетонные конструкции		28,1
Кирпич красный	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{тыс. шт}}$	77,2
Кирпич силикатный		34,9
Шифер		55,7
Строительно-монтажные работы	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{тыс. руб}}$	22,63
Производство мебели		429
Хлопчатобумажные ткани	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{тыс.м}^2}$	1100
Шерстяные ткани		2390
Шелковые ткани		1210
Льняные ткани		1061,4
Чулочно-насочные изделия	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{тыс.пар}}$	200,6
Обувь кожаная		791,5

Продолжение таблицы А.1

1	2	3
Бурение разведочное	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}}$	74,5
Бурение эксплуатационное		101,5
Добыча нефти	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	30,7
Переработка нефти:		30,4
первичная переработка		14,2
крекинг термический		14,7
крекинг каталитический		60,6
гидроформинг и каталитический риферинг		81,1
Транспортировка нефтепродуктов по магистральным продуктопроводам	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{тыс.т} \cdot \text{км}}$	15,4
Транспортировка нефти по магистральным нефтепроводам		13,4
Транспортировка газа по магистральным газопроводам		20,2
Химические волокна	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	4861,8
В том числе:		
шелк вискозный		8937,6
шелк капроновый		11651,3
шелк ацетатный		6263,4
шелк триацетатный		7643,3
шелк хлориновый		2396,1
штапель вискозный		2349,0
штапель медно-аммиачный		1981,5
Искусственный шелк для корда и технических изделий		4180,0
шелк капроновый для корда и технических изделий		6409,7
шелк лавсановый для корда и технических изделий		5383,2
штапель капроновый		3355,3
штапель лавсановый		3507,4
Синтетические смолы и пластмассы	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$	1414,4
В том числе:		
карбамидные смолы		160,7
капролактамы		4053,1
диметилфталат		1663,2
ацетат		6098,6
полиэтилен высокого давления		2285,5
полиэтилен низкого давления		3797,2
ацетаты целлюлозы		2053,9
ионообменные смолы		2378,8
поливинилацетатная эмульсия		428,9
прочие виды смол и пластмасс		780,9

Таблица А.2 – Ориентировочные удельные плотности силовой нагрузки на 1 м² площади производственных зданий в отраслях промышленности

Производственные здания	γ , Вт/м ²
Литейные и плавильные цехи	230—370
Механические и сборочные цехи	200—300
Механосборочные цехи	280—390
Электросварочные и термические цехи	300—600
Штамповочные и фрезерные цехи	150—300
Цехи металлоконструкций	350—390
Инструментальные цехи	50—100
Прессовочные цехи для заводов пластмасс	100—200
Деревообрабатывающие и модельные цехи	75—140
Блоки вспомогательных цехов	260—300
Заводы горно-шахтного оборудования	400—420
Заводы бурового оборудования	260—330
Заводы краностроения	330—350
Заводы нефтеаппаратуры	220—270
Прессовые цехи	277—300

Таблица А.3 – Сводка основных положений по определению расчетных электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм

Фактическое число электроприемников в группе, n	$m = \frac{P_{\text{ном. max}}}{P_{\text{ном. min}}}$	$n_{\text{эф}}$	P_p , кВт	Q_p , кВар
1	2	3	4	5
Три и менее	не определяется		$P_p = \sum_1^n P_{\text{ном}}$	$Q_p = \sum_1^n P_{\text{ном}} \cdot \text{tg}\varphi$
Более трех	$m \leq 3$ При определении исключаются ЭП, суммарная мощность которых не превышает 5 % $\sum P_{\text{ном}}$ группы	$n_{\text{эф}} = n$	$P_p = K_M \cdot P_{\text{см}} = K_M \cdot \sum K_{\text{и}} \cdot P_{\text{ном}}$ (K_M определяется по табл. 1.8)	При $n \leq 10$ $Q_p = 1,1 \cdot Q_{\text{см}}$ при $n > 10$ $Q_p = Q_{\text{см}} = \sum_1^n P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi$
	$m > 3$ (точное определение не требуется)	$n_{\text{эф}} < 4$	$P_p = \sum K_3 \cdot P_{\text{ном}}$ (допускается принимать $K_3=0,9$ для ЭП длительного режима и $K_3=0,75$ для ЭП ПКР)	$Q_p = 0,75 \cdot P_p$ (для ЭП длительного режима $\cos\varphi=0,8$, $\text{tg}\varphi=0,75$) $Q_p = P_p$ (для ЭП ПКР $\cos\varphi=0,7$, $\text{tg}\varphi=1$)

Продолжение таблицы А.3

1	2	3	4	5
	$m > 3$	$n_{эф} \geq 4$	$P_p = K_M \cdot P_{см}$ (K_M определяется по табл. 1.8)	При $n \leq 10$ $Q_p = 1,1 \cdot Q_{см}$ при $n > 10$ $Q_p = Q_{см} =$ $= \sum_1^n P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi$
	$m > 3$	$n_{эф} > 200$	$P_p = P_{см} =$ $= \sum K_{и} \cdot P_{ном}$	$Q_p = Q_{см}$
Если более 75 % установленной мощности расчетного узла составляют ЭП с практически постоянным графиком нагрузки ($K_{и} \geq 0.6$, $K_{вкл} \approx 1$, $K_{загр} \geq 0.9$ – насосы, компрессоры, вентиляторы)		не определяется	$P_p = P_{см} =$ $= \sum K_{и} \cdot p_{ном}$	$Q_p = Q_{см} =$ $= \sum_1^n P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi$
При наличии в расчетном узле ЭП с переменным и постоянным графиком нагрузки	Определяется только для ЭП с переменным графиком нагрузки		$P_p = P_{p1} + P_{p2} =$ $K_M \cdot P_{см1} + P_{см2}$	$Q_p = Q_{p1} + Q_{см2}$

Примечание. Эффективное число электроприемников определяется по соотношению

$$n_{эф} = \left(\sum_{i=1}^n P_{ном.i} \right)^2 / \sum_{i=1}^n P_{ном.i}^2 \quad \text{или одним из упрощенных способов;} \quad \text{при } m > 3 \text{ и } K_{и} < 0.2,$$

$n_{эф}$ определяется по таблице А.4.

Таблица А.4 – Относительные значения эффективного числа электроприемников $n_{эф*} = \frac{n_{эф}}{n}$

в зависимости от $n_* = \frac{n_1}{n}$ и $P_* = \frac{P_{ном.1}}{P_{ном}}$

$n_* = \frac{n_1}{n}$	P_*													
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1
0,005	0,005	0,006	0,007	0,01	0,013	0,019	0,024	0,03	0,039	0,051	0,073	0,11	0,18	0,34
0,01	0,009	0,012	0,015	0,019	0,026	0,037	0,047	0,059	0,07	0,1	0,14	0,2	0,32	0,52
0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09	0,11	0,14	0,19	0,26	0,36	0,51	0,71
0,03	0,03	0,04	0,04	0,06	0,08	0,11	0,13	0,16	0,21	0,27	0,36	0,48	0,64	0,81
0,04	0,04	0,05	0,06	0,08	0,1	0,15	0,18	0,22	0,27	0,34	0,44	0,57	0,72	0,86
0,05	0,05	0,06	0,07	0,1	0,13	0,18	0,22	0,26	0,33	0,41	0,51	0,64	0,79	0,9
0,06	0,06	0,08	0,09	0,12	0,15	0,21	0,26	0,31	0,38	0,47	0,58	0,70	0,83	0,92
0,08	0,08	0,09	0,12	0,15	0,20	0,28	0,33	0,40	0,48	0,57	0,68	0,79	0,89	0,94
0,10	0,09	0,12	0,15	0,19	0,25	0,34	0,40	0,47	0,56	0,66	0,76	0,85	0,92	0,95
0,15	0,14	0,17	0,23	0,28	0,37	0,48	0,56	0,67	0,72	0,80	0,88	0,93	0,95	-
0,20	0,19	0,23	0,29	0,37	0,47	0,64	0,69	0,76	0,83	0,89	0,93	0,95	-	-
0,25	0,24	0,29	0,35	0,45	0,57	0,71	0,78	0,85	0,90	0,93	0,95	-	-	-
0,30	0,29	0,35	0,42	0,53	0,66	0,80	0,86	0,90	0,94	0,95	-	-	-	-
0,35	0,32	0,41	0,50	0,52	0,74	0,86	0,91	0,94	0,95	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы А.4

0,40	0,35	0,47	0,57	0,69	0,81	0,91	0,93	0,95	-	-	-	-	-	-
0,45	0,43	0,52	0,64	0,76	0,87	0,93	0,95	-	-	-	-	-	-	-
0,50	0,48	0,58	0,70	0,82	0,91	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-
0,55	0,52	0,63	0,75	0,87	0,94	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,60	0,57	0,69	0,81	0,91	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,65	0,62	0,74	0,86	0,94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,70	0,66	0,80	0,90	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,75	0,71	0,85	0,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,80	0,76	0,89	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,85	0,80	0,93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,90	0,85	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,0	0,95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечания. 1. Для промежуточных значений P^* и n^* рекомендуется брать ближайшие меньшие значения

2. Таблица составлена по уравнению

$$n_{эф*} = \frac{0.95}{\frac{P_*^2}{n_*} + \frac{(1+P_*)^2}{1-n_*}}$$

Таблица А.5 – Коэффициенты спроса и мощности

Наименование цеха, производства	K_c	$\cos\varphi$
Корпуса, цеха, насосные и другие установки общепромышленного назначения		
Блок основных цехов	0,40-0,50	0,75
Блок вспомогательных цехов	0,30-0,35	0,7
Кузнечно-прессовые	0,40-0,5	0,75
Термические, закалочные	0,6	0,75
Металлоконструкций, сварочно-заготовительные	0,25-0,35	0,65-0,75
Механосборочные, столярные, модельные	0,20-0,30	0,60-0,80
Малярные, красильные	0,40-0,50	0,60-0,70
Собственные нужды ТЭЦ	0,60-0,70	0,8
Лаборатории, заводоуправления, конструкторские бюро, конторы	0,40-0,50	0,70-0,80
Депо электрокар	0,50-0,70	0,70-0,80
Депо (паровозное, пожарное, железнодорожное)	0,30-0,40	0,60-0,80
Гаражи автомашин	0,20-0,30	0,7
Котельные	0,50-0,60	0,8
Склады готовой продукции, металла, магазины	0,30-0,40	0,8
Столовая	0,40-0,50	0,9
Лесозаводы	0,35-0,45	0,75
Лесосушки	0,60-0,70	0,75-0,90
Термическая нагрузка (нагревательные печи)	0,70-0,80	0,85-0,90
Крановая нагрузка, подъемники	0,20-0,30	0,50-0,70
Электросварка	0,6	0,35
Малярные, модельные	0,40-0,50	0,50-0,60
Склады открытые	0,20-0,30	0,60-0,70

Продолжение таблицы А.5

Медеплавильные заводы		
Ватержакеты и отражательные печи	0,5	0,8
Цех рафинации меди	0,6	0,75
Заводы цветной металлургии		
Цех электролиза	0,7	0,85
Отдел регенерации	0,5	0,8
Разливочная	0,4	0,7
Лаборатория	0,25	0,7
Аглоцех	0,5	0,8
Заводы черной металлургии		
Цех холодного проката	0,40-0,50	0,8
Цех горячего проката	0,50-0,60	0,8
Мартеновский цех	0,40-0,50	0,75
Доменный цех	0,45	0,75
Слябинг	0,5	0,8
Цех сталеплавильных печей	0,4	0,7
Цех проката жести	0,45	0,70-0,80
Обогатительные фабрики		
Цех обогащения	0,60-0,65	0,8
Цех дробления	0,40-0,45	0,75
Флотационный цех	0,60-0,70	0,75
Сгустители	0,50-0,55	0,7
Шаровые мельницы	0,50-0,60	0,8
Реагентный, баритовый цех	0,6	0,8
Золоизвлекательный цех	0,4	0,7
Цех мокрой магнитной сепарации	0,5	0,8
Дробильно-промывочный цех	0,40-0,50	0,8
Агломерационные фабрики		
Спекальный цех	0,5	0,7
Цех фильтрации	0,50-0,60	0,7
Цех рудничной мелочи	0,4	0,65
Цех шихты	0,4	0,65
Цех перегрузки	0,30-0,40	0,65
Сероулавливающее устройство	0,50-0,55	0,75
Алюминиевые заводы		
Блок мокрого размола и обработки	0,5	0,3
Выпарка, декомпозиция	0,55-0,60	0,85
Цех спекания, прокалывания	0,50-0,60	0,85
Цех выщелачивания, сгущения	0,40-0,50	0,8
Склады сырья	0,20-0,30	0,65
Заводы тяжелого машиностроения		
Главный корпус	0,30-0,40	0,65-0,70
Мартеновский цех	0,40-0,50	0,70-0,80
Кузнечный цех	0,40-0,45	0,75
Термический цех	0,50-0,60	0,65
Моторный цех	0,35	0,75
Арматурный цех	0,30-0,35	0,6
Рессорный цех	0,3	0,65
Сварочный цех	0,40-0,45	0,6

Продолжение таблицы А.5

Аппаратный цех	0,3	0,7
Изоляционный цех	0,50-0,60	0,9
Лаковарочный цех	0,6	0,9
Эстакада	0,25	0,65
Цех пресс-порошка	0,40-0,50	0,85
Цех электролиза	0,5	0,8
Цех металлопокрытий	0,4	0,8
Экспериментальный цех	0,2	0,7
Трансформаторные заводы		
Главный корпус	0,4	0,80-0,85
Сварочный корпус	0,35	0,7
Аппаратный корпус	0,3	0,7
Изоляционный корпус	0,6	0,9
Лаковарочный корпус	0,4	0,8
Авторемонтные заводы		
Цех обмотки проводов	0,4	0,7
Кузовной цех	0,35	0,8
Цех обкатки автодвигателей	0,60-0,70	0,6
Станочное оборудование	0,25	0,6
Разборно-моечный цех	0,3	0,65
Судоремонтные заводы		
Главный корпус	0,4	0,8
Котельный цех	0,5	0,65
Сухой док	0,4	0,6
Плавающий док	0,5	0,7
Механические цеха	0,25-0,35	0,60-0,70
Автомобильные заводы		
Цех шасси и главный конвейер	0,35	0,75
Моторный цех	0,25	0,7
Прессово-кузовный цех	0,2	0,7
Кузнечный цех	0,2	0,75
Арматурно-агрегатный цех	0,2	0,7
Авиационные заводы		
Цех обработки блоков, поршней, шатунов и прочих деталей двигателей	0,35	0,7
Цех сборки, испытаний двигателей	0,4	0,8
Цех производства мелких деталей	0,3	0,7
Гальванический цех	0,5	0,85
Станция химводоочистки, канализации	0,6	0,8
Градирня	0,7	0,8
Склад кислот	0,3	0,7
Цех пластмасс	0,4	0,9
Штамповочный цех деталей корпуса самолета	0,4	0,6
Штамповочный цех деталей покрытия самолета	0,3	0,8
Цех сборки остова самолета	0,4	0,6
Цех полной сборки самолетов	0,4	0,7
Химические заводы и комбинаты		
Цех красителей	0,4	0,75
Цех натриевой соли	0,45	0,75

Продолжение таблицы А.5

Цех хлорофоса, синильной кислоты	0,50-0,55	0,75
Цех метиленхлорида, сульфата аммония	0,5	0,70-0,75
Цех холодильных установок	0,6	0,8
Склады готовой продукции	0,2	0,5
Надшахтные здания	0,7	0,80-0,85
Здания подъемных машин	0,60-0,70	0,80-0,85
Галереи транспортеров	0,35-0,40	0,60-0,80
Здание шахтного комбината	0,5	0,9
Эстакады и разгрузочные пункты	0,60-0,70	0,65-0,80
Цех обезвоживания	0,5	0,8
Башня Эстнера	0,5	0,7
Эстакада наклонного транспорта	0,4	0,8
Сушильное отделение	0,7	0,8
Корпус запасных резервуаров	0,3	0,8
Химлаборатория	0,3	0,8
Цех защитных покрытий	0,5	0,8
Нефтеперерабатывающие заводы		
Установка каталитического крекинга	0,50-0,60	0,8
Установка термического крекинга	0,65	0,85
Установка прямой гонки	0,50-0,60	0,75
Установка алкиляции, инертного газа	0,55	0,75
Электрообессоливающая, этилсмесительная установка	0,50-0,60	0,8
ЭЛОУ	0,50-0,60	0,8
Резервуарные парки	0,3	0,65
Коксохимические заводы		
Дезинтеграторное отделение	0,6	0,8
Перегрузочная станция дробления	0,5	0,7
Дозировочное отделение	0,4	0,8
Угольные ямы	0,7	0,75
Вагоноопрокидыватель	0,4	0,8
Коксовые батареи	0,60-0,70	0,85-0,90
Пекококсовая установка	0,7	0,8
Смолоразгонный цех	0,7	0,8
Дымососная установка	0,7	0,8
Бензольный цех	0,7	0,8
Насосная конденсата	0,6	0,7
Ректификация	0,6	0,75
Сероочистка	0,7	0,8
Углемойка	0,4	0,75
Холодильники аммиачной воды	0,5	0,8
Цементные заводы		
Шиферное производство	0,35	0,7
Сырьевые мельницы	0,50-0,60	0,8
Сушильный цех	0,40-0,50	0,85
Цементные мельницы	0,50-0,60	0,8
Шламбассейны	0,7	0,85
Клинкерное отделение	0,35-0,45	0,75
Цех обжига	0,40-0,50	0,80-0,90
Электрофильтры	0,4	0,75

Продолжение таблицы А.5

Цех дробления	0,5	0,8
Химводоочистка	0,50-0,60	0,8
Склады сырья	0,20-0,30	0,6
Заводы абразивные и огнеупоров		
Цех шлифпорошков	0,5	0,8
Подготовительный цех	0,4	0,75
Цех шлифзерна, шлифизделий	0,40-0,50	0,75
Цех дробления	0,50-0,60	0,8
Цех переплавки пирита	0,6	0,85
Печной цех	0,6	0,9
Углеподготовка	0,40-0,50	0,75
Шамотный цех	0,40-0,45	0,7
Стекольный цех	0,5	0,75
Промышленные базы стройиндустрии		
Корпус дробления камня	0,40-0,60	0,75
Корпус промывки и сортировки	0,40-0,50	0,7
Корпус керамзитовых, бетонных и гончарных труб	0,4	0,7
Корпус железобетонных конструкций	0,30-0,40	0,7
Бетонно-смесительный цех	0,5	0,75
Цех силикатно-бетонных изделий	0,40-0,45	0,75
Цех производства шифера	0,40-0,45	0,75
Цех помола извести	0,5	0,7
Цех ячеистых бетонов	0,4	0,65
Цех гипсошлаковых изделий	0,4	0,65
Арматурный цех	0,35	0,6
Склады	0,25	0,6
Текстильные, трикотажные, ситценабивные меланжевые фабрики		
Прядильный цех	0,50-0,70	0,75
Ткацкий цех	0,60-0,70	0,8
Красильный, отбельный цех	0,50-0,55	0,70-0,80
Крутильный цех	0,50-0,60	0,8
Корпуса "медно", "утка" и др.	0,5	0,7
Сушильный, ворсовальный цех	0,40-0,50	0,75-0,80
Печатный цех	0,5	0,75
Вязальный, трикотажный цех и др.	0,40-0,50	0,7
Цех носочно-чулочных изделий	0,40-0,50	0,7
Цех капроно-нейлоновых изделий	0,50-0,60	0,75
Швейные мастерские	0,30-0,40	0,65
Основальный корпус	0,6	0,7
Кузнечно-сварочный цех	0,3	0,5
Опытный флотационный цех	0,7	0,8
Разгрузочное устройство	0,3	0,8
Главный корпус сальвинитовой фабрики	0,7	0,8
Научно-исследовательские и экспериментальные институты		
Главный корпус опытного завода	0,30-0,40	0,7
Машинный зал	0,5	0,8
Электрофизический корпус	0,4	0,75
Лаборатория низких температур	0,50-0,60	0,85

Продолжение таблицы А.5

Корпус высоких напряжений	0,35	0,8
Лаборатория специальных работ	0,35	0,7
Деревообрабатывающие комбинаты и заводы		
Лесопильный завод	0,4	0,75
Сушильный цех	0,35	0,8
Биржа сырья	0,3	0,65
Цех прессованных плит	0,4	0,75
Столярный, модельный, деревообрабатывающий	0,25-0,35	0,7
Станкостроительный завод		
Главный корпус	0,5	0,6
Эстакада к главному корпусу	0,5	0,7
Станция осветления вод	0,7	0,85
Бумажные фабрики		
Бумажные машины	0,60-0,65	0,75
Дереворубка	0,40-0,45	0,65
Кислотный цех	0,5	0,8
Варосный цех	0,35	0,70-0,80
Отбельный цех	0,50-0,60	0,7
Тряпковарка	0,60-0,65	0,8
Лесотаски	0,35	0,6

Таблица А.6 – Коэффициенты использования и мощности некоторых механизмов и аппаратов промышленных предприятий

Механизмы и аппараты	$K_{\text{и}}$	$\text{Cos}\varphi$
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
Вентиляторы высокого давления	0,75	0,85
Вентиляторы к дробилкам	0,4—0,5	0,7—0,75
Газодувки (аглоэкструдеры) при синхронных двигателях	0,6	0,8—0,9

Продолжение таблицы А.6

То же при асинхронных двигателях	0,8	0,8
Молотковые дробилки	0,8	0,85
Шаровые мельницы	0,8	0,8
Грохоты	0,5—0,6	0,6-0,7
Смесительные барабаны	0,6—0,7	0,8
Чашевые охладители	0,7	0,85
Сушильные барабаны и сепараторы	0,6	0,7
Электрофильтры	0,4	0,87
Вакуум-фильтры	0,3	0,4
Вагоноопрокидыватели	0,6	0,5
Грейферные краны	0,2	0,6
Лампы накаливания	0,85	1,0
Люминесцентные лампы	0,85—0,9	0,95

Таблица А.7 – Определение коэффициента максимума по значениям $K_{\text{и}}$ и $n_{\text{эф}}$

$n_{\text{эф}}$	Коэффициент максимума $K_{\text{м}}$ при $K_{\text{и}}$									
	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

Таблица А.8 – Взаимосвязь между коэффициентом спроса и коэффициентом использования

$K_{и}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$K_{с}$	0,5	0,6	0,65-0,70	0,75-0,80	0,85-0,90	0,92-0,95

Таблица А.9 – Коэффициенты спроса осветительных нагрузок

Характеристика помещения	$K_{со}$
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

Таблица А.10 – Удельная мощность осветительной нагрузки, Вт/м²

Наименование объекта	$P_{уд}$
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

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Графики электрических нагрузок

Режимы работы потребителей электрической энергии не остаются постоянными, а непрерывно изменяются в течение суток, недель и месяцев года. Соответственно изменяется и нагрузка всех звеньев передачи и распределения электроэнергии и генераторов электрических станций. Изменение нагрузок электроустановок в течение времени принято изображать графически в виде графиков нагрузки.

Различают графики активных и реактивных нагрузок. По продолжительности графики нагрузки делятся на сменные, суточные и годовые.

В условиях эксплуатации изменения нагрузки по активной и реактивной мощности во времени представляют в виде ступенчатой кривой по показаниям счетчиков активной и реактивной электроэнергии, снятым через одинаковые определенные интервалы времени (30 или 60 мин.).

Знание графиков нагрузки позволяет определять величину сечений проводов и жил кабелей, оценивать потери напряжения, выбирать мощности генераторов электростанций, рассчитывать системы электроснабжения проектируемых предприятий, решать вопросы технико-экономического характера и многое другое.

Характерные суточные графики электрических нагрузок предприятий различных отраслей промышленности приведены на рисунке Б.1.

Рисунок Б.2 иллюстрирует взаимосвязь между временем максимальных потерь и временем использования максимума нагрузки.

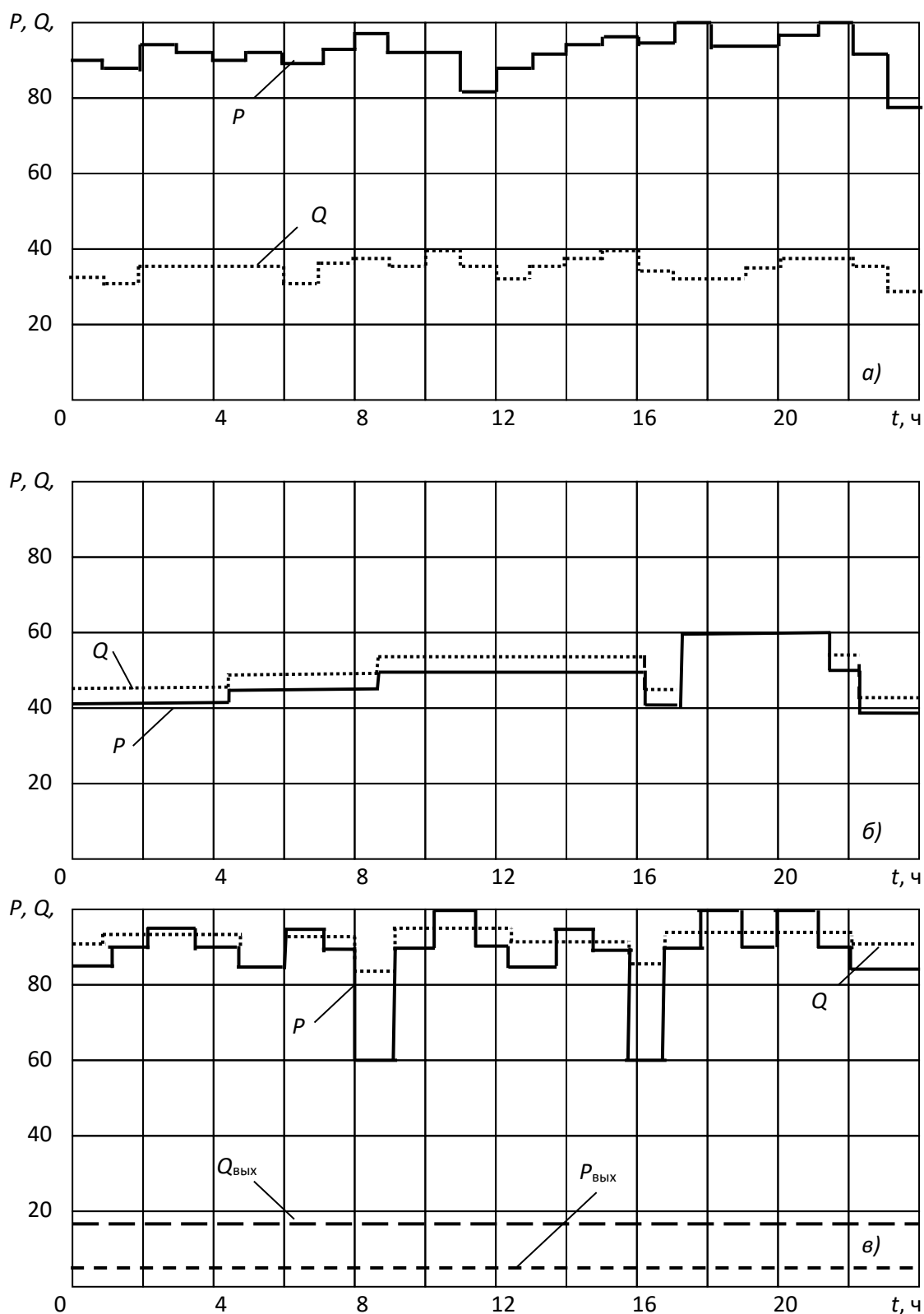


Рисунок Б.1 – Характерные суточные графики электрических нагрузок

предприятий различных отраслей промышленности:

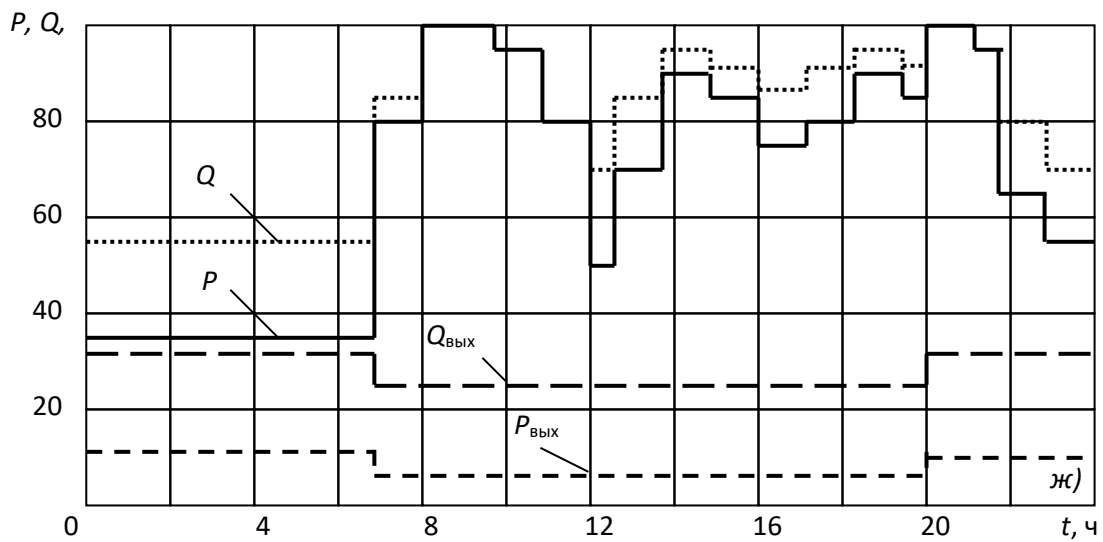
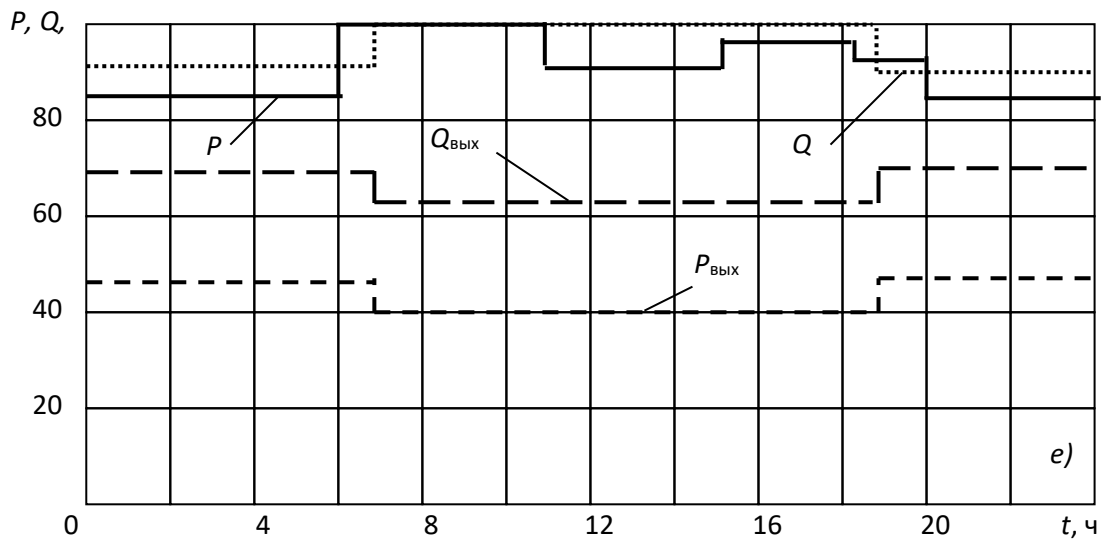
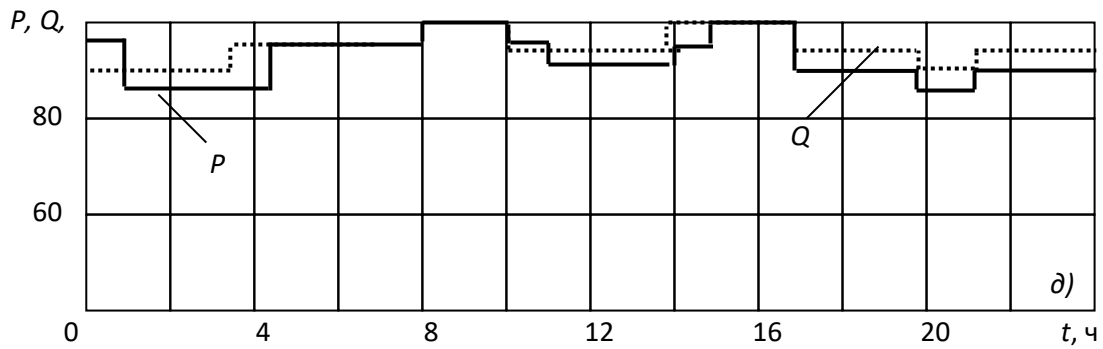
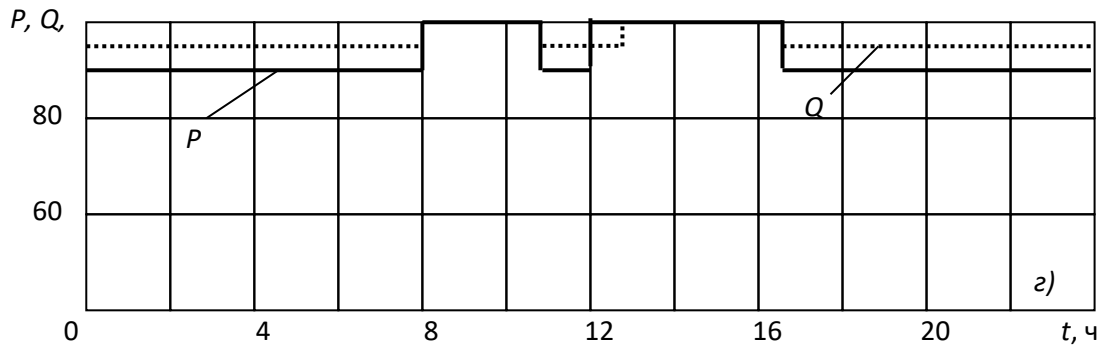
а – нефтепереработка; б – угледобыча; в – торфопереработка; г – цветной металлургии;

д – химии; е – черной металлургии; ж – ремонтно-механических заводов;

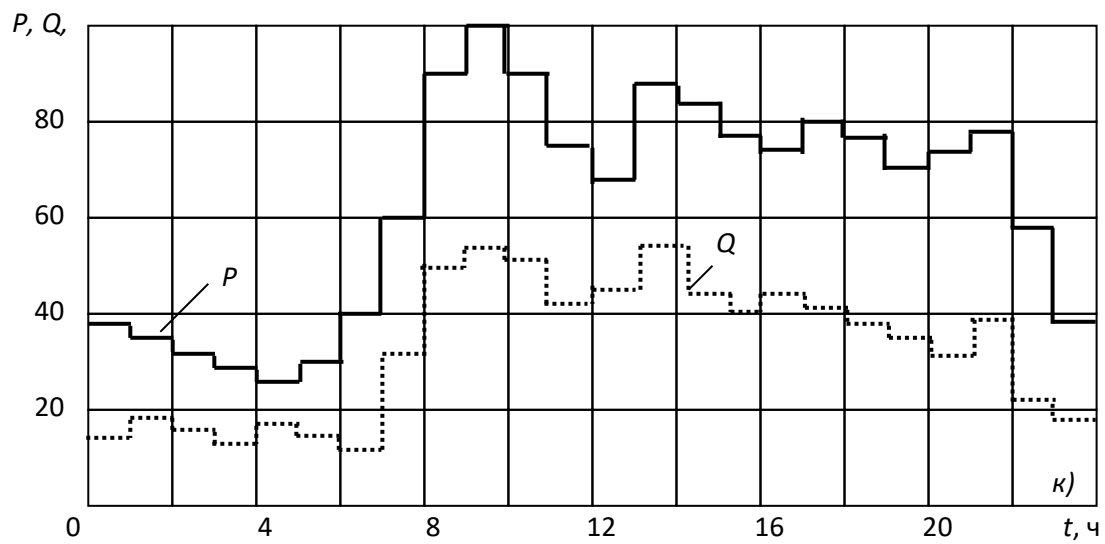
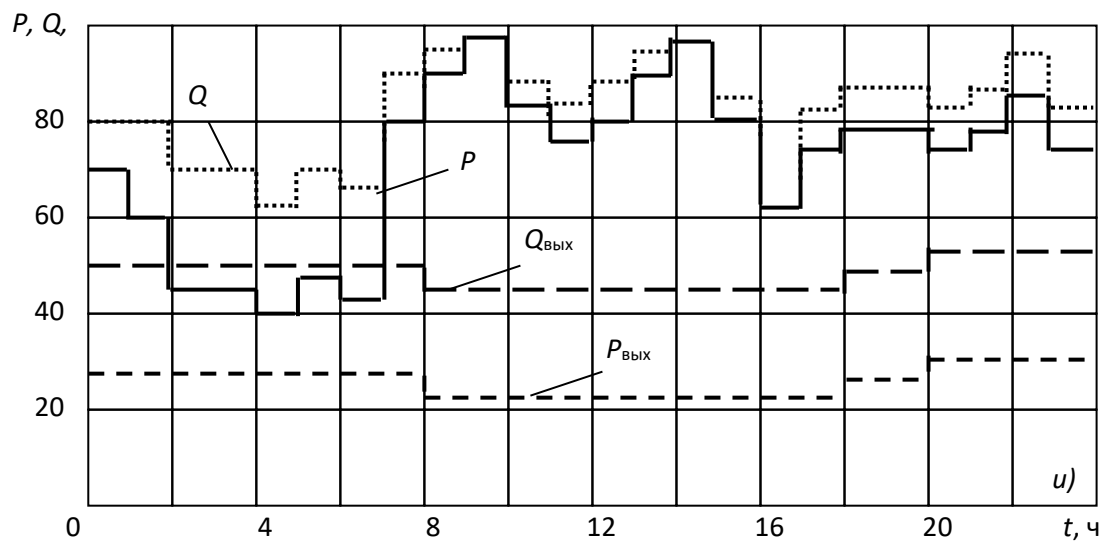
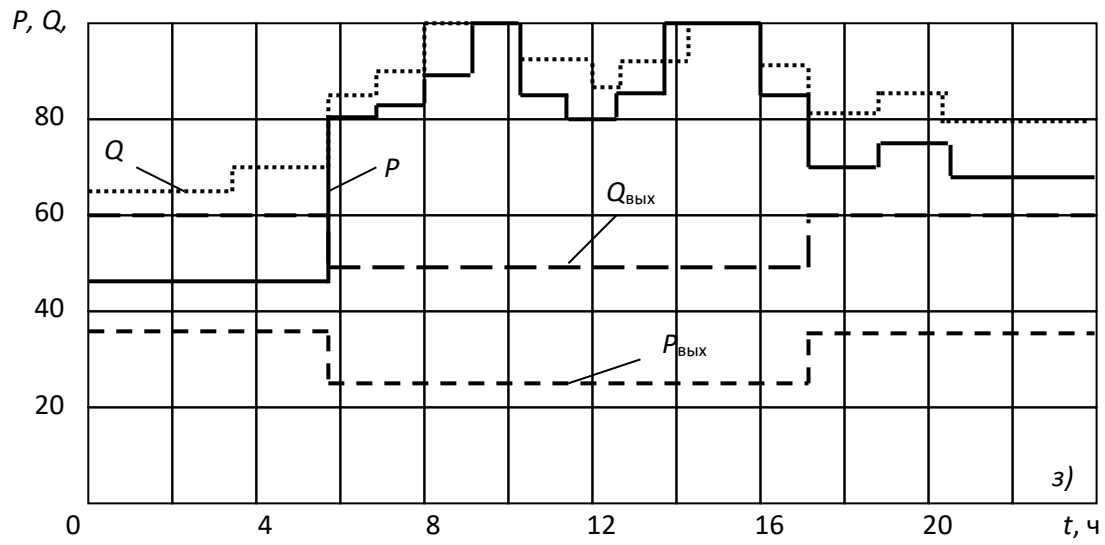
з – станкостроительных; и – автомобильных; к – деревообрабатывающей промышленности; л – целлюлозно-бумажной промышленности

м – легкой промышленности; н – прялочно-ткацких фабрик; о – печатных и отделочных фабрик.

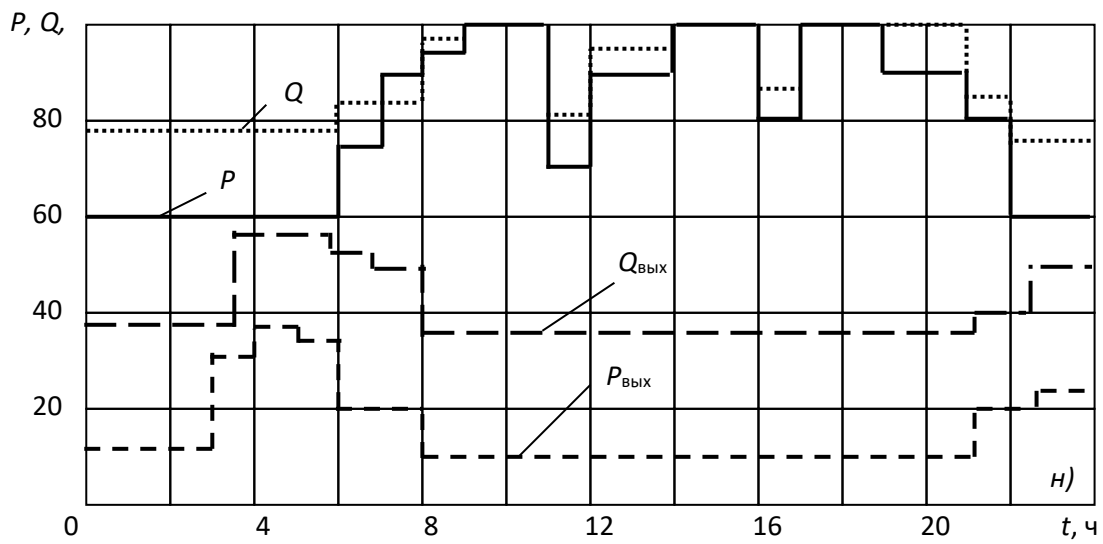
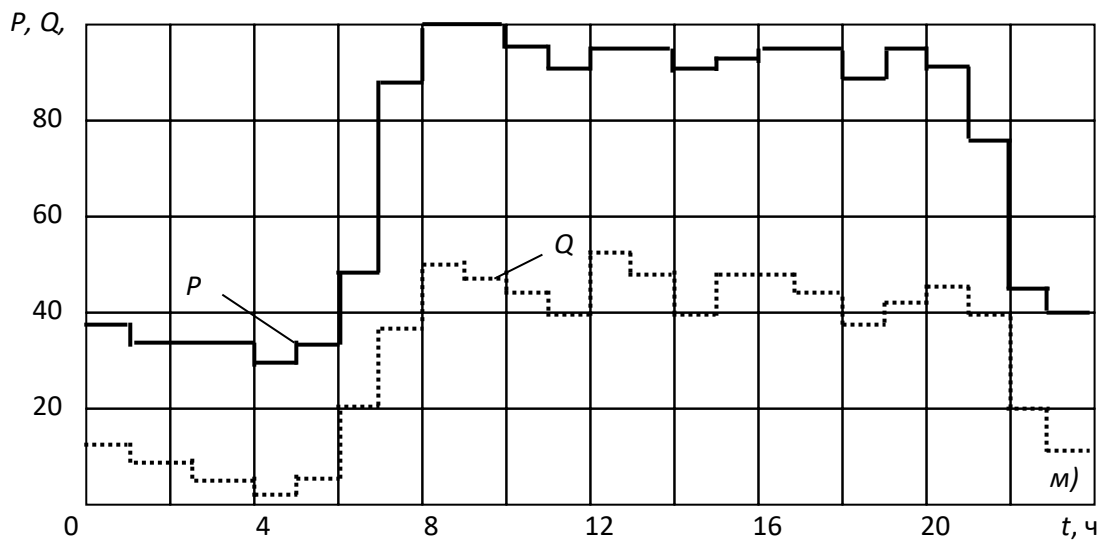
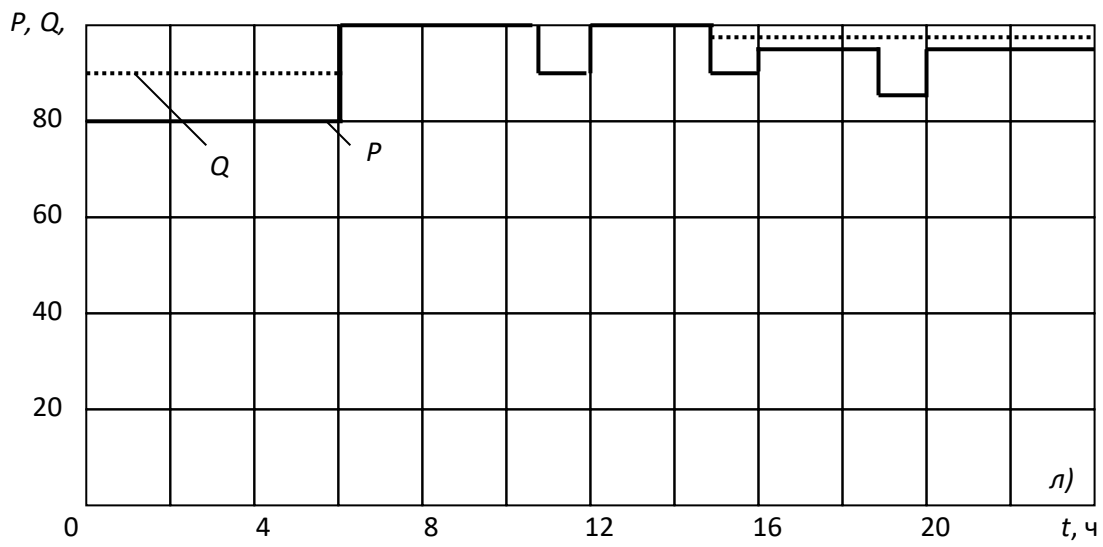
Продолжение рисунка Б.1



Продолжение рисунка Б.1



Продолжение рисунка Б.1



Продолжение рисунка Б.1

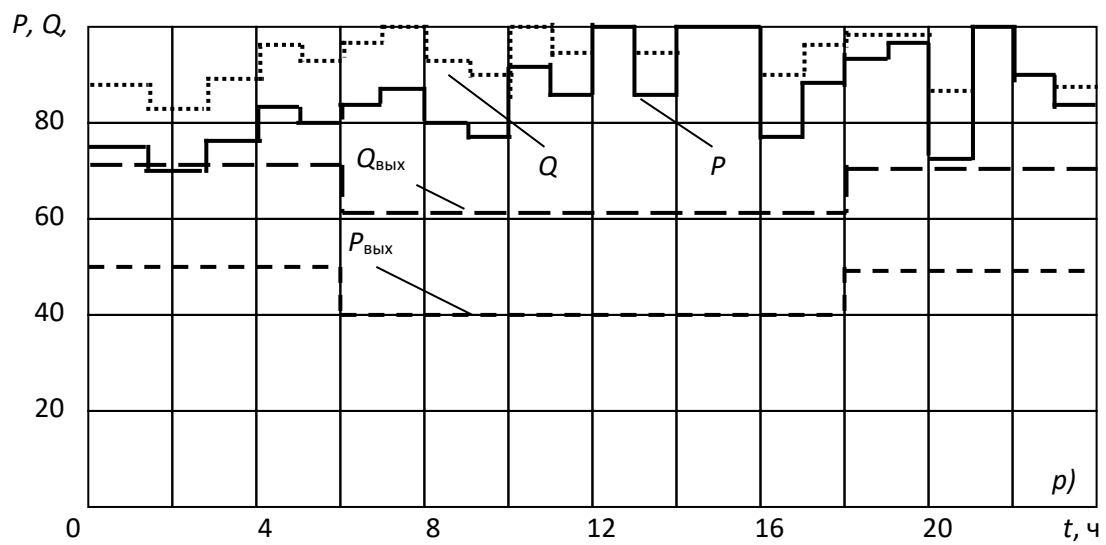
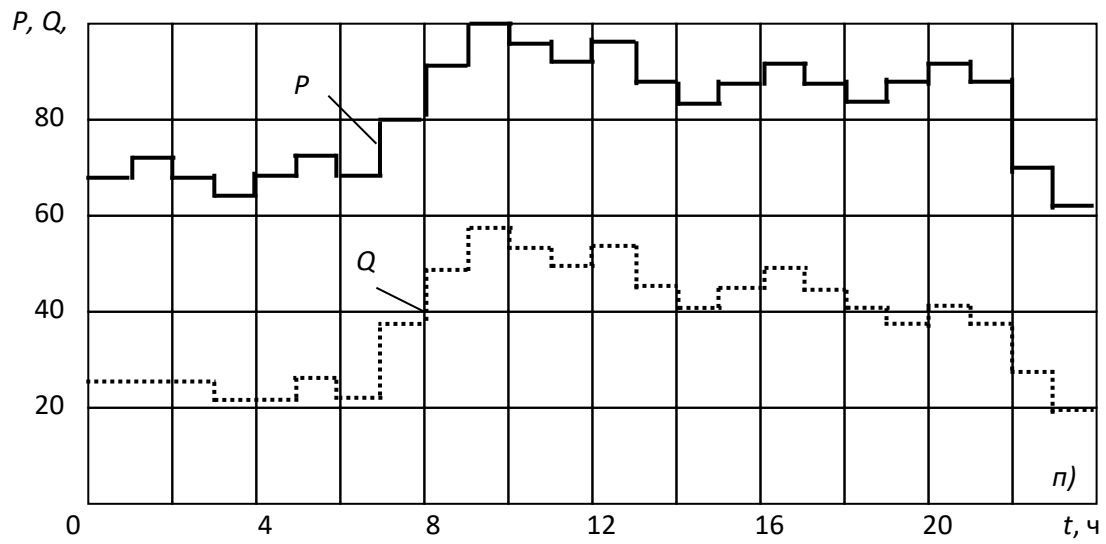
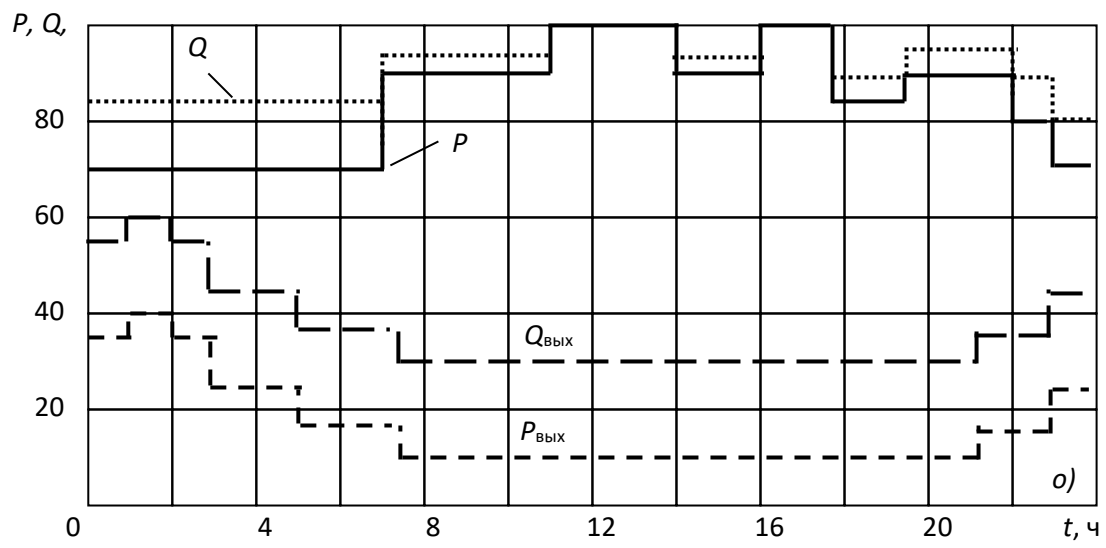


Таблица Б.1 – Показатели графиков электрических нагрузок по активной мощности

Коэффициент	Расчетные формулы показателей	
	Индивидуальные графики	Групповые графики
Использования, $K_{и}$	$K_{и} = p_{см}/p_{ном}$ $K_{и} = K_{вкл} \cdot K_{загр}$	$K_{и} = \frac{P_{см}}{P_{ном}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{и} \cdot P_{ном}}{\sum_{i=1}^n P_{ном}}$ $K_{и} = K_{вкл} \cdot K_{загр}$
Включения, $K_{вкл}$	$K_{вкл} = \frac{t_{вкл}}{t_{ц}} = \frac{t_p + t_{хх}}{t_{ц}}$	$K_{вкл} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{вкл} \cdot P_{ном.i}}{\sum_{i=1}^n P_{ном.i}}$
Загрузки, $K_{загр}$	$K_{загр} = \frac{p_{с.вкл}}{p_{ном}} = \frac{K_{и}}{K_{вкл}}$	$K_{загр} = \frac{K_{и}}{K_{вкл}}$
Формы графика нагрузки, $K_{ф}$	$K_{ф} = \frac{p_{ск}}{p_{см}}$	$K_{ф} = \frac{P_{ск}}{P_{см}}$ $P_{ск} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3 + \dots + P_n^2 \cdot t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}},$ где $P_1, P_2, \dots, P_n$ – средняя нагрузка на интервалах времени между замерами показаний приборов; $t_1, t_2, \dots, t_n$ – временные интервалы между замерами.
Максимум, $K_{м}$	–	$K_{м} = \frac{P_p}{P_{см}}$ $K_{м} = f(n_{эф}, K_{и}) – \text{определяют по табл. 1.8}$
Спроса, $K_{с}$	–	$K_{с} = \frac{P_p}{P_{ном}}$ $K_{с} = K_{и} K_{м}$
Заполнения графика нагрузки, $K_{з.г}$	–	$K_{з.г} = \frac{P_{см}}{P_p} = \frac{1}{K_{м}}$
Разновременности максимумов нагрузки (для трансформаторов ГПП см. табл. Б.2)	–	$K_{р.м} = \frac{P_p}{\sum_{i=1}^n P_{pi}}$ $K_{р.м} = 0,85 \div 1,0$

Таблица Б.2 – Значения коэффициентов разновременности на шинах (6-10 кВ)

трансформаторов ГПП

Коэффициент разновременности $K_{p.m.}$		
при $K_{и} \leq 0,3$	$0,3 < K_{и} < 0,5$	при $K_{и} \geq 0,5$
0.75	0.8	0.85

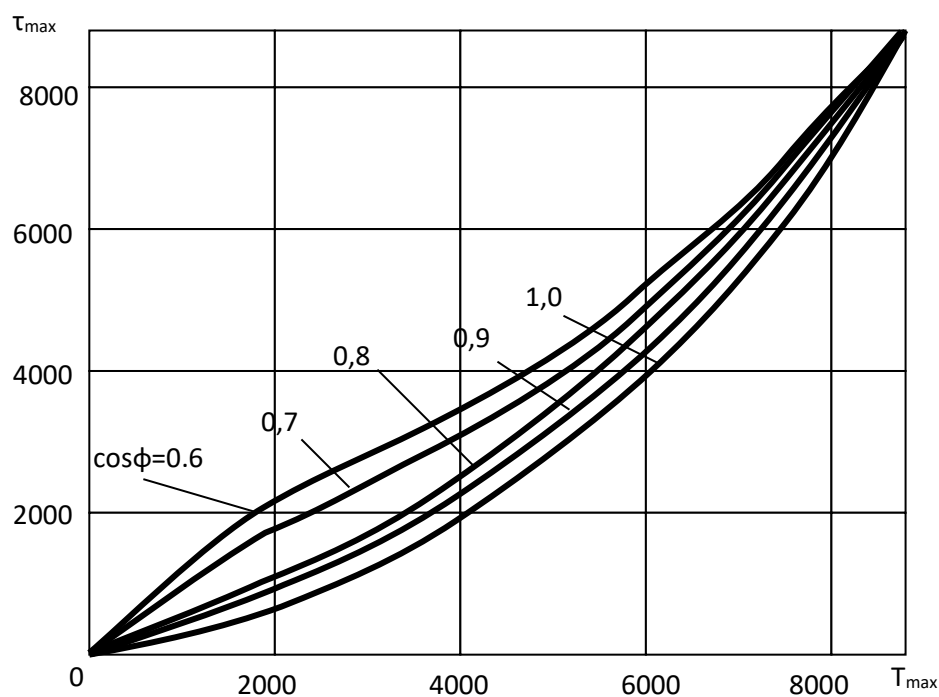


Рисунок Б.2 – Зависимость времени максимальных потерь τ_{max} от продолжительности использования максимума нагрузки T_{max} и $\cos \phi$

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Внутрицеховые электрические сети

Определяющим фактором при выборе схемы цеховой сети является расположение технологического оборудования на плане цеха, степень его ответственности, номинальное напряжение и мощности электроприемников, расстояние от центра питания до электроприемника, характер нагрузки (спокойная, резкопеременная) и ее распределение по площади цеха. По структуре схемы внутрицеховых электрических сетей могут быть радиальными, магистральными и смешанными. Выбор конструкции сетей, способа канализации электрической энергии и типа проводников осуществляется с ориентацией на условия окружающей среды помещений цехов. В цеховых сетях напряжением до 1000 В наиболее широкое распространение получили электропроводки, кабельные линии комплектные шинопроводы. Воздушные линии имеют крайне ограниченное применение.

Общая классификация сред и помещений

Электропомещениями называются помещения или отгороженные, например сетками, части помещения, доступные только для обслуживающего персонала, в которых установлено находящееся в эксплуатации электрооборудование, предназначенное для производства, преобразования или распределения электроэнергии.

В зависимости от характера окружающей среды нормативными документами введена следующая классификация помещений:

Сухие помещения – помещения, в которых относительная влажность не превышает 60 % при 20° С. Сухие помещения называются нормальными, если в них отсутствуют условия, характерные для помещений жарких, пыльных, с химически активной средой или взрывоопасных.

Влажные помещения – помещения, в которых пары или конденсирующаяся влага выделяются лишь временно и в небольших количествах, относительная влажность в которых не превышает 75 % при 20° С.

Сырые помещения – помещения, в которых относительная влажность длительно превышает 75 % при 20° С.

Особо сырые помещения – помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100 % при 20° С (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой).

Жаркие помещения – помещения, в которых температура длительно превышает 30° С.

Пыльные помещения – помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль в таком количестве, что она может оседать на проводах, проникать внутрь машин, аппаратов и т.п. Пыльные помещения подразделяются на помещения с проводящей и непроводящей пылью.

Помещения с химически активной средой – помещения, в которых по условиям производства постоянно или длительно содержатся пары или

образуются отложения, действующие разрушающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования.

Взрывоопасные помещения – помещения (и наружные установки), в которых по условиям технологического процесса могут образоваться взрывоопасные смеси: горючих газов или паров с воздухом или кислородом и с другими газами-окислителями (с хлором); горючих пылей или волокон с воздухом при переходе их во взвешенное состояние.

К невзрывоопасным относятся помещения и наружные установки, в которых сжигается твердое, жидкое или газообразное топливо (печные отделения газогенераторных станций, газовые котельные и др.), технологический процесс которых связан с применением открытого огня или раскаленных частей (открывающиеся электрические и другие печи), либо наружные поверхности имеют температуры нагрева, превышающие температуру самовоспламенения паров и газов в окружающей среде.

Взрывоопасность помещений определяется принятой классификацией – классы В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIa.

К классу В-I относят помещения, в которых в большом количестве выделяются горючие газы или пары, обладающие свойствами, способствующими образованию с воздухом или другими окислителями взрывоопасных смесей при нормальных недлительных режимах работы. Например, при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, при переливании легковоспламеняющихся и горючих жидкостей.

К классу В-Ia относят помещения, в которых отсутствуют взрывоопасные смеси горючих паров или газов с воздухом или другими окислителями, но наличие их возможно только в результате аварий или неисправностей

К классу В-Iб относят те же помещения, что и к классу В-Ia, но имеющие следующие особенности:

- горючие газы обладают высоким нижним пределом взрываемости (15 % и более) и резким запахом при предельно допустимых по санитарным нормам концентрациях (машинные залы аммиачных компрессорных и холодильных абсорбционных установок);

- образование в аварийных случаях в помещениях общей взрывоопасной концентрации по условиям технологического процесса исключается, а возможна лишь местная взрывоопасная концентрация (помещения электролиза воды и поваренной соли);

- горючие газы и легковоспламеняющиеся горючие жидкости имеются в помещениях в небольших количествах, не создающих общей взрывоопасной концентрации, и работа с ними производится без применения открытого пламени. Эти помещения относятся к невзрывоопасным, если работа в них выполняется в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами.

К классу В-Iг относят наружные установки, содержащие взрывоопасные газы, пары, горючие и легковоспламеняющиеся жидкости (газгольдеры, емкости, сливно-наливные эстакады и т.д.), где взрывоопасные смеси возможны только в результате аварии или неисправности. Для наружных установок взрывоопасными считаются зоны: до 20 м по горизонтали и

вертикали от эстакад с открытым сливом и наливом легковоспламеняющихся жидкостей; до 3 м по горизонтали и вертикали от взрывоопасного закрытого технологического оборудования и 5 м по вертикали и горизонтали от дыхательных и предохранительных клапанов – для остальных установок. Наружные открытые эстакады с трубопроводами для горючих газов и легковоспламеняющихся жидкостей относят к невзрывоопасным.

К классу В-II относят помещения, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыль или волокна, способные образовать с воздухом и другими окислителями взрывоопасные смеси при недлительных режимах работы (загрузка и разгрузка технологических аппаратов).

К классу В-IIa относят помещения класса В-II, в которых опасные состояния не имеют места, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Пожароопасные помещения – помещения, в которых по технологическому процессу выделяются, применяются или хранятся горючие вещества. Пожароопасность определяется принятой классификацией – классы П-I, П-II, П-IIa, П-III.

К классу П-I относят помещения, в которых применяются или хранятся горючие жидкости с температурой вспышки выше 45° С (например, склады минеральных масел, установки по регенерации минеральных масел и т.п.).

К классу П-II относят помещения, в которых выделяются горючие пыль или волокна, переходящие во взвешенное состояние. Возникающая при этом опасность ограничена пожаром (но не взрывом) из-за физических свойств пыли или волокон или из-за того, что содержание их в воздухе по условиям эксплуатации не достигает взрывоопасных концентраций (например, деревообделочные цеха, малозапыленные помещения мельниц и элеваторов).

К классу П-IIa относят производственные и складские помещения, содержащие твердые или волокнистые горючие вещества, причем признаки, перечисленные в П-II, отсутствуют.

К классу П-III относят наружные установки, в которых применяются или хранятся горючие жидкости с температурой вспышки паров выше 45° С (например, открытые склады минеральных масел), а также твердые горючие вещества (например, открытые склады угля, торфа, древесины).

С точки зрения поражения электрическим током помещения подразделяются на помещения с повышенной опасностью, особо опасные и помещения без повышенной опасности.

Помещения с повышенной опасностью характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- сырости или проводящей пыли;
- токопроводящих полов (металлических, земляных, железобетонных, кирпичных и т.п.);
- высокой температуры;
- возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим

аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой.

Особо опасные помещения характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:

- особой сырости;
- химически активной среды;
- одновременного наличия двух или более условий повышенной опасности.

Помещения без повышенной опасности – помещения, в которых отсутствуют условия, создающие «повышенную опасность» и «особую опасность».

Рекомендации по выбору напряжения распределительных сетей приведены в таблице В.1.

Таблица В.1 – Выбор напряжения распределительных сетей

Номинальное напряжение сети, В	Применение
Напряжение выше 1000 В	
6000	На промышленных предприятиях при наличии значительного числа электроприемников на 6 кВ, при электроснабжении передвижных строительных машин (экскаваторов, земснарядов).
10 000	В городах и сельских районах, на промышленных предприятиях при отсутствии большого числа электроприемников, которые могут питаться непосредственно от сети 6 кВ.
Напряжение до 1000 В	
660	В угольной, горнорудной, химической и нефтяной промышленности. Допускается без ограничения для всех отраслей промышленности в случае экономической целесообразности.
380/220	В городских электросетях, для питания силовых и осветительных электроприемников промышленных предприятий по четырехпроводной системе от общих трансформаторов.
36	Для сети и ремонтного освещения в помещениях повышенной опасности.
12	Для сети местного и ремонтного освещения в котельных и других, особо опасных помещениях.
12, 24, 36, 48, 60, 110, 220	Для питания цепей управления, сигнализации и автоматизации технологических процессов.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Электропроводки

Электропроводкой называется совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплением, поддерживающими, защитными конструкциями и деталями. Это определение распространяется на электропроводки силовых, осветительных и вторичных цепей напряжением до 1000 В переменного и постоянного тока, выполненных внутри зданий и сооружений, на наружных стенах, территориях предприятий и учреждений, микрорайонов и дворов, на строительных площадках с применением изолированных проводов всех сечений, а также небронированных силовых кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией в металлической, резиновой или пластмассовой оболочке с сечением фазных жил до 16 мм² (при сечении более 16 мм² – кабельные линии).

В электропроводках применяют защищенные и незащищенные изолированные провода, а также кабели.

Защищенный провод имеет поверх электрической изоляции металлическую или другую оболочку, предназначенную для герметизации и защиты от внешних воздействий находящейся внутри нее части провода.

Незащищенный провод не имеет такой оболочки, но может иметь обмотку или оплетку пряжей, которая не рассматривается как защита провода от механических повреждений.

Кабель – одна или несколько скрученных вместе изолированных жил, заключенных в общую герметическую оболочку (резиновую, пластмассовую, алюминиевую, свинцовую).

Для электропроводок применяют провода и кабели преимущественно с алюминиевыми жилами за исключением производств со взрывоопасной средой категорий В-I и В-Ia, где применение проводников с медными жилами является обязательным. Кроме этого, медные проводники применяются для механизмов, работающих в условиях постоянных вибраций, сотрясений, а также для передвижных электроустановок.

Основные технические данные наиболее распространенных проводов приведены в таблице Г.1, а минимально допустимые сечения по условию механической прочности – в таблице Г.2.

При прокладке кабелей с алюминиевыми жилами в траншеях сечением жил должно составлять не менее 6 мм².

Если предусмотрена электропроводка в трубах, то во всех случаях, где это допустимо, следует вместо металлических труб применять пластмассовые. Металлические трубы используют во взрывоопасных зонах и в специально обоснованных в проекте случаях в соответствии с требованиями нормативных

документов (таблица Г.3). Размеры труб, применяемых для электропроводок, приведены для полимерных труб в таблице Г.4, а для стальных – в таблице Г.5.

Таблица Г.1 – Основные технические данные наиболее распространенных проводов

Марка	Характеристика	Напря- жение, В	Коли- чество жил	Площадь сечения жила, мм ²
Провода с алюминиевыми жилами				
АПР	Установочный, с резиновой изоляцией в пропитанной оплетке	660	1	2,5–240
АПВ	С поливинилхлоридной изоляцией	660, 380	1	2,5–120
АППВ	С поливинилхлоридной изоляцией, плоский, с разделительным основанием	500	2; 3	2,5–6
АППВС	То же, но без разделительного основания	500	2; 3	2,5–6
АПРФ	С резиновой изоляцией в фальцованной оболочке из сплава АМЦ	660	1; 2; 3	2,5–4
АПРТО	С резиновой изоляцией в оплетке хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостым составом, для прокладки в трубах	660	1 2; 3 4; 7; 10; 14 4; 7	2,5–240 2,5–120 2,5 4–10
АПН	С резиновой изоляцией, не распространяющей горения, без оплетки	500	1 2; 3	2,5–6 2,5–4
АРТ	Установочный, с резиновой изоляцией, с алюминиевыми жилами, с несущим тросом	660	2 3 4	2,5–4 4 и 6 4–35
АВТ	С поливинилхлоридной изоляцией, с несущим тросом	380; 660	2; 3 4	2,5–4 2,5–16
АВТУ	То же, с усиленным несущим тросом	380; 660	2; 3	2,5–4
АВТВ и АВТВУ	То же, что и провода АВТ и АВТУ, но для внутренней прокладки	—	—	—
АПРВ	С резиновой изоляцией в оболочке из поливинилхлоридного пластика	660	1	2,5–6
АПРИ	С резиновой изоляцией, обладающей защитными свойствами	660	1	2,5–120
АПРН	С резиновой изоляцией в негорючей резиновой оболочке	660	1	2,5–120
АППР	Плоский с резиновой изоляцией, не распространяющей горения, с разделительным основанием	660	2; 4	2,5–10

Продолжение таблицы Г.1

Провода с медными жилами				
ПР	С резиновой изоляцией в оплетке, пропитанной противогнилостным составом	660	1	0,75–240
		3000	1	1,5–185
ПРГ	То же, но с гибкой жилой	660	1	0,75–240
ПВ-1	С поливинилхлоридной изоляцией	660; 380	1	0,5–95
ПВ-2	То же, но с гибкой жилой	660; 380	1	0,5–95
ПРД	С резиновой изоляцией в непропитанной оплетке	380	2	0,75–6
ППВ	С поливинилхлоридной изоляцией, с разделительными основанием	500	2; 3	0,75–4
ППВС	То же, но без разделительного основания	500	2; 3	0,75–4
ПРЛ	С резиновой изоляцией, в оплетке, покрытой лаком, одножильный	660	1	0,75–6
ПРГЛ	То же, но с гибкой жилой	660	1	0,75–70
КРПТ	Кабель с резиновой изоляцией, переносный, в резиновой оболочке	660	1 2 и 3 2 и 3 с заземля- ющей жилой	2,5–120 0,75–120 0,75–120
ПРП	С резиновой изоляцией, в оплетке из стальных проволок	660	1; 2; 3	1–95
			4; 6; 7; 8;10	4–10
			4; 5; 6; 7; 8; 10; 14; 19; 24; 30	1–2,5
ПРРП	То же, но в резиновой оболочке	660	1; 2; 3	1–95
			4; 6; 7; 8;10	4–10
			4; 5; 6; 7; 8; 10; 14; 19; 24; 30	1–2,5
ПРФ	С резиновой изоляцией, в фальцованной оболочке из сплава АМЦ	660	1; 2; 3	1–4
ПРФЛ	То же, но в латунной оболочке	660	1; 2; 3	1–4
ПРТО	С резиновой изоляцией, в хлопчатобумажной оплетке, пропитанной противогнилостным составом, для прокладки в трубах	660	1 2; 3 4; 7; 10; 14 4 и 7	1–240 1–120 1,5 и 2,5 4–10
ПРВ	С резиновой изоляцией в поливинилхлоридной оболочке	660	1	1–6

Продолжение таблицы Г.1

ПРГВ	То же, но с гибкой жилой	660	1	1–6
ПРВД	С резиновой изоляцией в оболочке из поливинилхлоридного пластика, двухжильный, скрученный	380	2	1–6
ПРИ	С резиновой изоляцией, обладающей защитными свойствами	660	1	0,75–120
ПРТИ	Такие же, как ПРИ, но с гибкой жилой	660	1	0,75–120
ПРН	С резиновой изоляцией в негорючей резиновой оболочке	660	1	1,5–120
ПРГН	Такие же, как ПРН, но с гибкой жилой	660	1	1,5–120

Примечание. Стандартный ряд сечений проводов: 0,35; 0,5; 0,75; 1; 1,2; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240 мм². Для каждой марки проводов установлена определенная шкала сечений. Сечения 0,35; 0,5 и 0,75 мм² – только для медных жил.

Таблица Г.2 – Минимально допустимые сечения проводов и кабелей в электропроводках по условию механической прочности

Провода и кабели	Минимальное сечение, мм ²	
	Медь	Алюминий
Шнуры в общей оболочке и провода шланговые для присоединения переносных бытовых электроприемников	0,75	—
Провода и кабели шланговые для присоединения переносных электроприемников в промышленных установках	1,5	—
Кабели шланговые для передвижных электроприемников	2,5	—
Провода внутридомовой сети		
- для групповых линий сети освещения при отсутствии штепсельных розеток	1	2,5
- для групповых линий сети освещения со штепсельными розетками и штепсельные линии	1,5	2,5
- для ввода в квартиры к потребителям, расчетным счетчикам	2,5	4
- для стояков в жилых зданиях для питания квартир	4	6
Изолированные провода и кабели при прокладке во взрывоопасных помещениях в стальных трубах		
- осветительные сети	1,5	2,5
- силовые сети	2,5	4

Таблица Г.3 – Область применения стальных труб для электроустановок

Наименование труб	Область применения
1	2
Трубы стальные водогазопроводные (обыкновенные и легкие)	а) во взрывоопасных зонах; б) в пожароопасных зонах (на участках выхода труб из пола, фундаментов и т.п.) ¹
Трубы стальные и электросварные прямошовные	а) в пожароопасных зонах всех классов при скрытой прокладке ¹ ; б) в детских яслях и садах, в оздоровительных лагерях; в) на чердаках промышленных, гражданских и жилых зданий; г) в животноводческих помещениях; д) в пределах сцены (эстрады, манежа), в кинопроекторной, перемоточной, зрительных залах театров, клубных учреждений, спортивных учреждений; е) в спальнях больничных корпусов; ж) в вычислительных центрах; з) в домах-интернатах для инвалидов и престарелых;
Трубы стальные и электросварные	и) в сложных фундаментах под оборудование; к) за непроходными подвесными потолками из сгораемых

прямошовные	материалов ¹ ; л) в горячих цехах (линейных, кузнечно-прессовых и т.п.), где производится работа с горячим металлом.

¹ Толщина стенок труб должна быть не менее 2,5 мм.

² В сырых, особо сырых помещениях и в наружных установках толщина стенок труб должна быть не менее 2 мм.

Таблица Г.4 – Размеры полимерных труб для электропроводок, мм

Наружный диаметр (номинальный)	Толщина стенки для трубы типа			
	Л	СЛ	С	Т
1	2	3	4	5
Из полиэтилена низкой и высокой плотности				
10				2,0
12				2,0
16			2	2,7
20			2	3,3
25		2,0	2,7	4,2
32	2,0	2,4	3,4	5,3
40	2,0	3,0	4,3	6,7
50	2,4	3,7	5,4	8,3
75	3,6	5,6	8,0	12,5
90	4,3	6,7	9,6	15,0
Из полипропилена				
10				
12				
16				
20	2,0			
25	2,0		2,0	
32	2,0		2,0	
40	2,0		2,3	
50	2,0		2,8	
75	2,4		4,3	
90	2,8		5,1	
Винипластовые				
10				1,0
12				1,0
16				1,2
20				1,5
25			1,5	1,9
32			1,8	2,4
40		1,8	2,0	3,0
50		1,8	2,4	3,7
75	1,8	2,2	3,6	5,6
90	1,8	2,7	4,3	6,7
Гофрированные из полиэтилена низкого давления				

16				
20				
25				
32				
40				

Примечание. Л – легкий, СЛ – среднелегкий, С – средний; Т – тяжелый тип.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Кабельные линии

Основными элементами силовых кабелей являются: токопроводящие жилы, изоляция, оболочки и защитные покровы. Кроме основных элементов в конструкцию кабеля могут входить экраны, жилы защитного заземления и заполнители (рисунок Д.1)

Силовые кабели различают: по роду металла токопроводящих жил – кабели с алюминиевыми и медными жилами; по роду материалов, которыми изолируются токоведущие жилы – кабели с бумажной, с пластмассовой и резиновой изоляцией; по роду защиты изоляции жил кабелей от влияния внешней среды – кабели в металлической, пластмассовой и резиновой оболочке; по способу защиты от механических повреждений – бронированные и небронированные; по количеству жил – одно-, двух-, трех- и четырехжильные.

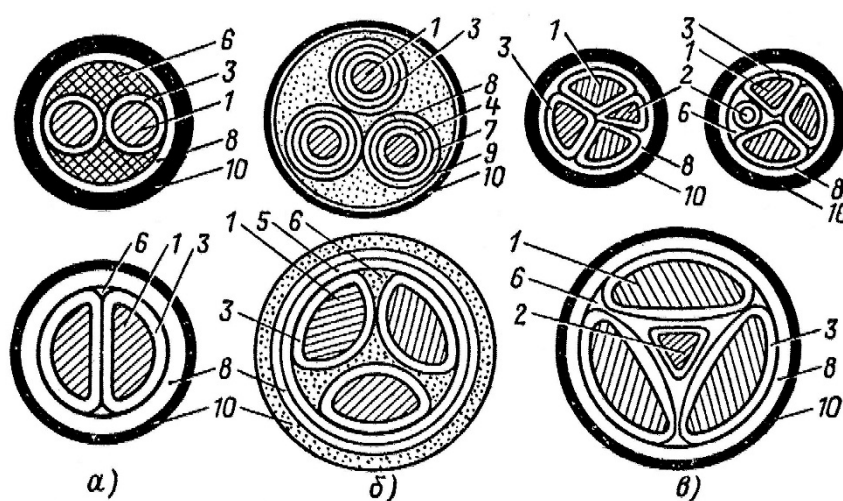


Рисунок Д.1 – Сечения силовых кабелей:

а – двухжильные кабели с круглыми и сегментными жилами;
б – трехжильные кабели с поясной изоляцией и отдельными оболочками;
в – четырехжильные кабели с нулевой жилой круглой, секторной и треугольной формы;

1 – токопроводящая жила; 2 – нулевая жила; 3 – изоляция жилы;
 4 – экран на токопроводящей жиле; 5 – поясная изоляция; 6 – заполнитель;
 7 – экран на изоляции жилы; 8 – оболочка; 9 – бронепокров;
 10 – наружный защитный покров

Трехжильные кабели имеют только основные жилы (для передачи электрической энергии), а четырехжильные – три основные и одну нулевую. Для каждой марки кабелей установлена определенная шкала сечений. Нулевая жила, как правило, имеет сечение, уменьшенное по сравнению с основными жилами (таблица Д.1).

Типоразмеры силовых кабелей напряжением до 10 кВ приведены в таблице Д.2.

Таблица Д.1 – Соотношение сечений, мм², основных и заземляющих (нулевых) жил

Сечение основной токопроводящей жилы, мм ²	Сечение жилы защитного заземления, мм ² , для кабелей		
	с пластмассовой изоляцией	с резиновой изоляцией	с бумажной пропитанной изоляцией
1	—	1	—
1,5	1	1	—
2,5	1,5	1,5	—
4	2,5	2,5	—
6	4	4	—
10	6	6	6
16	10	10	10
25, 35	16	16	16
50, 70	—	25	25
95, 120	—	35	35

150, 185	—	50	50
240, 300	—	70	—

Примечание. У кабелей с резиновой изоляцией с алюминиевыми основными жилами сечением 2,5 мм² сечение жилы защитного заземления должно быть 2,5 мм².

Таблица Б.2 – Типоразмеры силовых кабелей напряжением до 10 кВ

Марка	Число жил	Сечение жил, мм ² , при напряжении, кВ				
		0,66	1	3	6	10
1	2	3	4	5	8	7
<i>Кабели с бумажной пропитанной изоляцией</i>						
ААГ, АСГ, СГ, ААШВ, ААШП	1	–	10-800	10-625	–	–
ААБЛГ, ААБЛ, ААБ2Л, ААБ2ШВ, АСБ, СБ, АСБЛ, СБЛ, АСБ2Л, СБ2Л, АСБН, СБН, АСБЛН, СБЛН, АСБГ, СБГ	1	–	10-800	10-625	–	–
ААПЛ, ААП2Л, ААПЛГ, АСП, СП, АСПЛ, СПЛ, АСП2Л, СП2Л, АСПЛН, СПЛН, АСПГ, СПГ, ААПЛШВ	1	–	50-800	35-625	–	–
ААШВ-В, ААП2ЛШВ-В, ААБЛ-В, АСБ-В, СБ-В, АСБЛ-В, СБЛ-В, СБН-В, АСБЛН-В, АСБ2Л-В, АСБН-В, СБ2Л-В	1	–	10-500	10-500	–	–
АСБГ-В, СБГ-В	1	–	10-625	–	–	–
АСБ2ЛГ-В, СБ2ЛГ-В, ААПЛГ-В, АСП-В, СП-В, АСПЛ-В, СПЛ-В, АСП2Л-В, АСП2Л-В, АСПЛН-В, СПЛН-В, АСПГ-В, СПГ-В, ААПЛ-В, СП2Л-В	1	–	240-625	–	–	–
АСП2ЛГ-В, СП2ЛГ-В	1	–	–	–	–	–
ААБЛ, ААБЛ-В, АСБ, СБ, АСБ-В, СБ-В, АСБЛ, СБЛ, АСБЛ-В, СБЛ-В, АСП2Л, СП2Л, АСПЛ, СКЛ, АСКЛ	1	–	240-800	–	–	–
АСГ, СГ, АСБ, СБ, АСБЛ, СБЛ, АСБ2Л, СБ2Л, АСБН, СБН, АСБЛН, СБЛН, АСБГ, СБГ	2	–	6-150	–	–	–
АСП, СП, АСПЛ, СПЛ, АСП2Л, СП2Л, АСПГ, СПГ	2	–	25-150	–	–	–
АСБ-В, СБ-В, АСБЛ-В, СБЛ-В, АСБН-В, СБН-В, АСБЛН-В, СБЛН-В, СБГ-В, АСБ2Л-В, СБ2Л-В, АСБГ-В	2	–	6-120	–	–	–
АСП-В, СП-В, АСПЛ-В, СПЛ-В, АСПГ-В, СПГ-В, АСП2Л-В, СП2Л-В	2	–	25-120	–	–	–

Продолжение таблицы Д.2

1	2	3	4	5	8	7
ААГ, ААШв, ААШп, ААБл, ААБ2лШв, ААБ2лШп, ААБлГ, АСШв, ААБ2л, АСБлн, СБлн, АСБГ, СБГ, АСБ2л, СБ2л, АСБ2лШв, СБ2лШв, АСБ2лГ, СБ2лГ, СГ, АСГ, АСБ, СБ, АСБл, СБл, АСБн, СБн	3	—	6-240	6-240	10-240	16-240
СПШв	3	—	25-240	—	16-240	16-240
СШв, СБШв, ААП2л, ААПлГ, ААП2лШв, ААП2лГ, АСПл, АСП, СП, СПл, АСП2л, СП2л, АСПлн, СПлн, АСПГ, АСП2лГ, СПГ, АСКл, СКл, СП2лГ	3	—	25-240	25-240	16-240	16-240
ААШв-В, ААП2лШв-В, ААБл-В, ААБ2л-В, АСБ-В, СБ-В, АСБл-В, СБн-И, ААГ-В, АСБлн-В, СБлн-В, АСБГ-В, СБГ- В, СБ2л-В, ААШп-В, АСБ2л-И, СБл-В, АСБн-В	3	—	6-120	6-120	16-120	—
ААБв, ААБвГ	3	—	—	—	10-240	16-240
ААШв-В, ААБлГ-В, АСБГ-В, СБГ- В	3	—	185-240	—	—	—
ААПл-В, ААПлГ-В, АСП-В, СП-В, АСПл-В, СПл-В, СПлн-В, АСПлн-В, АСП2л-В, СП2л-В	3	—	25-150	25-150	16-120	—
АСПГ-В, СПГ-В, АСП2лГ-В, СП2лГ-В	3	—	185-240	—	—	—
ААГ, ААШп, ААШв, ААБлГ, ААП2лШв, ААБл, ААБ2л, АСГ, СГ, АСБ, АСБл, СБл, АСБн, СБн, АСБлн, СБлн, АСБГ, СБГ, АСБ2л, СБ2л, АСШв, СШв, СБШв, АСБГ- В, СБГ-В	4	—	10-185	—	—	—
ААПл, ААП2л, ААПлГ, АСП, СП, АСПл, СПШв, СПл, АСПлн, СПлн, АСПГ, СПГ, АСП2л	4	—	16-185	—	—	—
ААШв, ААП2лШв-В, ААБл-В, ААБ2л-В, АСБн-В, АСБлн-В, СБн- В, АСБ2л-В, СБ2л-В, АСБ-В, СБ-В,	4	—	10-120	—	—	—

АСБл-В, СБл-В						
АСКл, СКл	4	—	25-185	—	—	—
ААБлГ-В, ААПл-В, ААПлГ-В, СП-В, АСП-В, АСПлн-В, СПлн-В, АСПГ-В, СПГ-В, АСП2л-В, СП2л-В, АСПл-В, СПн-В	4	—	16-120	—	—	—

Продолжение таблицы Д.2

1	2	3	4	5	8	7
Кабели с бумажной изоляцией, пропитанной нестекающим составом						
ЦААБЛ, ЦААБ2Л, ЦААБШВ, ЦААБШП, ЦААПЛ, ЦААП2Л, ЦААБЛГ, ЦААБЛН, ЦААПЛГ, ЦААПЛН, ЦААПЛШВ, ЦААСПШВ, ЦСБН, ЦААШВ, ЦАСБ, ЦСБ, ЦАСБГ, ЦСБГ, ЦАСБН, ЦАСБШВ, ЦСШВ, ЦАСШВ, ЦСПШВ, ЦСБШВ, ЦАСП, ЦАСБЛ, ЦСБЛ, ЦАСПГ, ЦСП, ЦСПГ, ЦСПН, ЦАСПЛ, ЦСПЛ, ЦАСКЛ, ЦСКЛ, ЦААБВГ, ЦАСПН	3	—	—	—	25-185	25-185
Кабели с пластмассовой изоляцией						
ВВГ, ПВГ, ПсВГ, ПвВГ, ВВГ-ХЛ	1, 2, 3	1,5-50	1,5-240	—	—	—
	4		1,5-185	—	—	—
АВВГ, АПВГ, АПсВГ, АПвВГ, АВВГ-ХЛ	1, 2, 3	2,5-50	2,5-240	—	—	—
	4		2,5-185	—	—	—
АВБбШВ, ВБбШВ, АПБбШВ, АПсБбШВ, ПсБбШВ, АПвБбШВ	2	4-50	6-240	—	—	—
	3			6-240		
	4		6-185	—		
АВАШВ, ВАШВ, АПВАШВ, ПВАШВ	3	4-50	6-240	6-240	10-240	—
	4		6-185	6-185	—	
АВВГ, ВВГ, АПВГ, ПВГ, АПсВГ, ПсВГ, АПвВГ, ПвВГ, АВБбШВ, ВБбШВ, АПБбШВ, ПБбШВ, АПсБбШВ, ПсБбШВ, АПвБбШВ, ПвБбШВ	3	—	—	—	10-240	—
ВВГ, ПВГ, ПсВГ, ПвВГ, ВВГ-ХЛ, АПВГ, АПсВГ, АПвВГ, АВВГ	5	—	1,5-2,5 2,5-3,5	—	—	—
Кабели силовые для взрывоопасных и химически активных сред						
АВБВ	2 3-4	2,5-50 2,5- 120	—	—	—	—
ВБВ	2 3-4	1,5-50 1,5-95	—	—	—	—
Кабели силовые гибкие						
КШВГ-ХЛ, КШВГЭВ-ХЛ	3	—	—	—	10-150	—
КРПТ, КРПТН, КРПТ-ХЛ	1	2,5-	—	—	—	—

	2-3	120 0,75- 120				

Продолжение таблицы Д.2

1	2	3	4	5	8	7
КРПГ, КРПГ-ХЛ	2 и 3	0,75- 70	—	—	—	—
КРПГН	3	1,5-10	—	—	—	—
КРПС, КРПС-ХЛ	3	2,5-10	—	—	—	—
КРПСН, КРПСН-ХЛ	3	2,5-50	—	—	—	—
КРШК, КРШК-ХЛ	3	95- 150	—	—	—	—
КШВГ-ХЛ, КШВГЭ-ХЛ	3	—	—	—	6-50	—
Кабели с резиновой изоляцией						
СРГ	1	1-240	—	1,5-500	2,5-500	240-400
	2 и 3	1-185	—	—	—	—
Марка	Число жил	Сечение жил, мм ² , при напряжении, кВ				
		0,66	1	3	6	10
АСРГ	1	4-300	—	4-500	4-500	240-400
	2	4-250	—	—	—	—
	3	2,5- 240	—	—	—	—
ВРГ, ВРТГ, НРГ, ВРГ-ХЛ	1-3	1-240	—	—	—	—
АВРГ, АНРГ, АВРТГ	1	4-300	—	—	—	—
АВРГ-ХЛ	2 и 3	2,5- 300	—	—	—	—
СРБ2лГ, АСРБ2лГ	1	—	—	240, 400, 500	—	—
СРБГ, АСРБГ	1	—	—	—	95,240, 400,500	—
СРБ, СРБГ, ВРБн, ВРБ, ВРБГ, НРБ, НРБГ, ВРТБ, ВРТБГ, ВРТБн	2 и 3	2,5- 185	—	—	—	—
АСРБ, АСРБГ, АВРБ, АВРБн	2	4-240	—	—	—	—
АВРБГ, АНРБ, АНРБГ, АВРТБ, АВРТБГ, АВРТБн	3	2,5- 240	—	—	—	—

Примечание. Стандартный ряд сечений кабелей: 0,35; 0,5; 0,75; 1; 1,2; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 625; 800; 1000; 1200; 2000 мм².

Для каждой марки установлена определенная шкала сечений. Сечения 0,35; 0,5 и 0,75 мм² – только для медных жил.

Таблица Д.3 – Буквенные обозначения марок кабелей

Символ	Место написания в обозначении марки	Значение
1	2	3
А	Впереди обозначения	Материал жил – алюминий
Не имеет символа	–	Материал жил – медь
А	Впереди обозначения (для кабелей с алюминиевыми жилами после символа материала жил)	Оболочка – алюминий
С	То же	Оболочка – свинец
СТ	То же	Оболочка – стальная гофрированная
В	То же	Оболочка – поливинилхлорид
Н	То же	Оболочка – наирит (негорючая резина)
П	То же	Оболочка – полиэтилен
Р	В середине обозначения	Изоляция жил – теплостойкая резина
В	То же	Изоляция жил – поливинилхлорид
П	То же	Изоляция жил – полиэтилен
Пс	То же	Изоляция жил – самозатухающий полиэтилен
Пв	То же	Изоляция жил – вулканизированный полиэтилен
Не имеет символа	То же	Изоляция жил – бумажная, нормально пропитанная
В	В конце обозначения через дефис	Изоляция жил – бумажная, 178беднено-пропитанная
Ц	В начале обозначения	Изоляция жил – бумажная, пропитанная нестекающей массой на основе церезина
Б	В конце обозначения	Защитный покров – броня из стальной ленты
П	В конце обозначения	Защитный покров – броня из плоской стальной оцинкованной проволоки
Символ	Место написания в обозначении марки	Значение
К	То же	Защитный покров – броня из круглой стальной оцинкованной проволоки

Г	То же	Указывает на отсутствие джутовой оплетки поверх брони
О	Перед символом С	Характеризует кабели с отдельно освинцованными жилами

Продолжение таблицы Д.3

1	2	3
О	Перед символом В	Характеризует кабели с отдельно экранированными жилами под поливинилхлоридной оболочкой каждой жилы
Шв	В конце обозначения	Указывает на наличие шланга из поливинилхлоридного пластика
Шп	В конце обозначения	Указывает на наличие шланга из полиэтилена
в	После буквы, обозначающей тип брони	Указывает на наличие усиленной подушки под броню, накладываемой поверх алюминиевой оболочки для защиты ее от коррозии
б	То же	Отсутствие подушки у защитного покрова
л	То же	Усиленная подушка у защитного покрова
2л	То же	Особо усиленная подушка у защитного покрова
н	То же	Негорючий наружный покров у защитного покрова
–1к, –2к	В конце обозначения, после тире	С одной или двумя контрольными жилами
Т, ТС	То же	В тропическом исполнении

Область применения силовых кабелей зависит от конструктивного выполнения электрической сети, способа прокладки кабелей и воздействия на них агрессивной и взрыво- или пожароопасной окружающей среды. Марки кабелей, рекомендуемых для прокладки в земле (траншеях), приведены в таблице Д.4, а для прокладки в воздухе – в таблице Д.5. Марки кабелей в этих таблицах расположены в убывающей последовательности, начиная с наиболее предпочтительных.

Таблица Д.4 – Марки кабелей, рекомендуемых для прокладки в земле (траншеях)

Область применения	Кабель прокладывается на трассе	С бумажной пропитанной изоляцией		С пластмассовой и резиновой изоляцией и оболочкой ¹
		В процессе эксплуатации не подвергается растягивающим усилиям	В процессе эксплуатации подвергается растягивающим усилиям	В процессе эксплуатации не подвергается растягивающим усилиям
В земле (траншеях) с низкой коррозионной активностью	Без блуждающих токов	ААШв, ААШп, ААБл, АСБ ¹	ААПл, АСПл ¹	АВВГ ² , АПсВГ ² , АПвВГ ² , АПВГ ²
	С наличием блуждающих токов	ААШв, ААШп, ААБ2л, АСБ ¹	ААП2л, АСПл ¹	АВВБ, АПВБ, АПсВБ, АППБ, АПвПБ, АПБ6Шв, АПвБ6Шв, АВБ6Шв, АВБ6Шп, АПсБ6Шв
В земле (траншеях) со средней коррозионной активностью	Без блуждающих токов	ААШв, ААШп, ААБл, ААБ2л, АСБ ¹ , АСБл ¹	ААПл, АСПл ¹	АПАШп, АПАШв, АВАШв, АПсАШв, АВРБ, АНРБ, АВАБл, АПАБл
	С наличием блуждающих токов	ААШп, ААШв ³ , ААБ2л, ААБв, АСБл ¹ , АСБ2л ¹	ААП2л, АСПл ¹	
В земле (траншеях) с высокой коррозионной активностью	Без блуждающих токов	ААШп, ААШв ³ , ААБ2л, ААБ2лШв, ААБ2лШп, ААБв, АСБл ¹ , АСБ2л ¹	ААП2лШв, АСП2л ¹	АПАШп, АПАШв, АВАШв, АПсАШв, АВРБ, АНРБ, АВАБл, АПАБл
	С наличием блуждающих токов	ААШп, ААБв, АСБ2л ¹ , АСБ2лШв ¹	ААП2лШв, АСП2л ¹	

¹ Применение кабелей в свинцовой оболочке должно быть в каждом конкретном случае технически обосновано в проектной документации.

² Кабели на номинальное напряжение до 1 кВ включительно.

³ Подтверждается опытом эксплуатации.

⁴ Для прокладки на трассах без ограничения разности уровней.

Примечания. 1. Кабели с пластмассовой изоляцией в алюминиевой оболочке не следует применять для прокладки на трассах с наличием блуждающих токов в грунтах с высокой коррозионной активностью.

2. Кабели ААШв не следует применять: на трассах с числом поворотов более четырех под углом, превышающим 30° (или более двух поворотов в трубах); на прямолинейных участках, имеющих более четырех переходов в трубах длиной более 20 м (или более двух переходов в трубах длиной 40 м) и более четырех переходов через огнестойкие

перегородки или аналогичные препятствия (например, стены зданий) из-за значительной жесткости кабеля и низкой механической прочности защитного шланга.

Таблица Д.5 – Марки кабелей, рекомендуемых для прокладки в воздухе

Область применения	С пропитанной бумажной изоляцией		С пластмассовой и резиновой изоляцией и оболочкой	
	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при опасности механических повреждений в эксплуатации	при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации	при опасности механических повреждений в эксплуатации
1	2	3	4	5
Прокладка в помещениях (туннелях), каналах, кабельных полуэтажах, шахтах, коллекторах, производственных помещениях и др.:				
сухих	ААГ, ААШв	ААБлГ	АВВГ, АВРГ, АНРГ, АПвВГ ² , АПВГ ² , АПвсВГ, АПсВГ	АВВБГ, АВРБГ, АВБбШв, АВАШв, АПвсБбШв, АПсВБГ, АПвсБГ, АПВБГ ² , АНРБГ, АПВВБГ ² , АПАШв, АПвБбШв ²
сырых, частично отапливаемых при наличии среды с низкой коррозионной активностью	ААШв	ААБлГ		
сырых, частично отапливаемых при наличии среды со средней и высокой коррозионной активностью	ААШв, АСШв ¹	ААБвГ, ААБ2лШв, ААБлГ, АСБлГ ¹ , АСБ2лГ ¹ , АСБ2лШв ⁵		
Прокладка в пожароопасных зонах	ААГ, ААШв	ААБвГ, ААБлГ, АСБлГ ¹	АВВГ, АВРГ, АПсВГ, АПвсВГ, АНРГ, АСРГ ¹	АВВБГ, АВВБбГ, АВБбШв, АПвсБГ, АВРБГ, АСРБГ ¹ , АПсБбШв
Прокладка во взрывоопасных зонах классов:				
В-I, В-Ia	СБГ, СБШв	—	ВВГ ³ , ВРГ ³ , НРГ ³ , СРГ ³	ВБВ, ВБбШв, ВВБбГ, ВВБГ,

				НРБГ, СРБГ ¹
В-Iг, В-II	ААБлГ, АСБГ ¹ , ААШв	—	АВВГ, АВРГ, АНРГ	АВБВ, АВБбШв, АВВБбГ
В-Iб, В-IIа	ААГ, АСГ ¹ , АСШв ² , ААШв	ААБлГ, АСБГ ¹	АВВГ, АВРГ, АНРГ, АСРГ ¹	АВВБГ, АВРБГ, АНРБГ, АСРБГ ¹

Продолжение таблицы Д.5

1	2	3	4	5
<i>Прокладка на эстакадах:</i>				
технологических	ААШв	ААБлГ, ААБвГ, ААБ2лШв, АСБлГ ¹	—	АВВБГ, АВВБбГ, АВРБГ, АНРБГ, АПсВБГ, АПвсБГ, АВАШв
специальных кабельных	ААШв, ААБлГ, ААБвГ ⁴ , АСБлГ ¹	—	АВВГ, АВРГ, АНРГ, АПсВГ	АВВБГ, АВВБбГ, АВРБГ, АНРБГ
по мостам	ААШв	ААБлГ	АПвВГ, АПВГ, АПвсВГ, АВАШв, АПАШв	АВАШв, АПсВБГ, АПвВБГ, АПВБГ
Прокладка в блоках	СГ, АСГ		АВВГ, АПсВГ, АПвВГ, АПВГ	

¹ Применение кабелей в свинцовой оболочке должно быть в каждом конкретном случае технически обоснованно в проектной документации.

² Для одиночных кабельных линий, прокладываемых в помещениях.

³ Для групповых осветительных сетей во взрывоопасных зонах класса В-Iа.

⁴ Применяются при наличии химически активной среды.

⁵ Кабель марки АСБ2лШв может быть использован в исключительно редких случаях с особым обоснованием.

Примечания. 1. Кабели с бумажной пропитанной изоляцией в алюминиевой оболочке с однопроволочными алюминиевыми жилами сечением 3×150 – 3×240 мм² не рекомендуется прокладывать на участках трасс с числом поворотов на строительной длине кабеля более трех под углом 90° в кабельных сооружениях промышленных предприятий из-за усилий тяжения, превышающих нормируемые.

2. В четырехпроводных сетях применяют четырехжильные кабели. Прокладка нулевых жил отдельно от фазных не допускается.

В сетях трехфазной системы допускается применять одножильные кабели, если это приводит к значительной экономии меди или алюминия по сравнению с трехжильными или при невозможности применения кабеля необходимой строительной длины.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Комплектные шинопроводы

Шинопроводом называется жесткий токопровод на напряжение до 1000 В заводского изготовления, поставляемый комплектными секциями. По назначению шинопроводы делятся на магистральные, рассчитанные на большой ток, с малым количеством ответвлений, и распределительные, выполненные на меньшие токи и большое количество присоединений, а также на осветительные и троллейные. Конструкции шинопроводов различных типов приведены на рисунке Ж.1.

Магистральные шинопроводы предназначены для магистральных четырехпроводных электрических сетей в системе с глухозаземленной нейтралью, служат для питания распределительных шинопроводов и пунктов, отдельных крупных электроприемников. Их технические данные приведены в таблице Ж.1.

Распределительные шинопроводы ШРА (с алюминиевыми шинами) и ШРМ (с медными шинами) предназначены для передачи и распределения электроэнергии напряжением 380/220 В при возможности непосредственного присоединения к ним электроприемников в системах с глухозаземленной нейтралью. Технические данные шинопроводов ШРА и ШРМ даны в таблице Ж.2.

Комплектные магистральные и распределительные шинопроводы применяются только для внутренней электропроводки. При необходимости выхода шинопровода за пределы помещения, а также на сложных трассах, в местах пересечения с инженерными сооружениями удобнее заменять секции магистрального шинопровода кабельными вставками марки АВВ на большие токи. Технические данные одножильных кабелей марки АВВ приведены в таблице Ж.3.

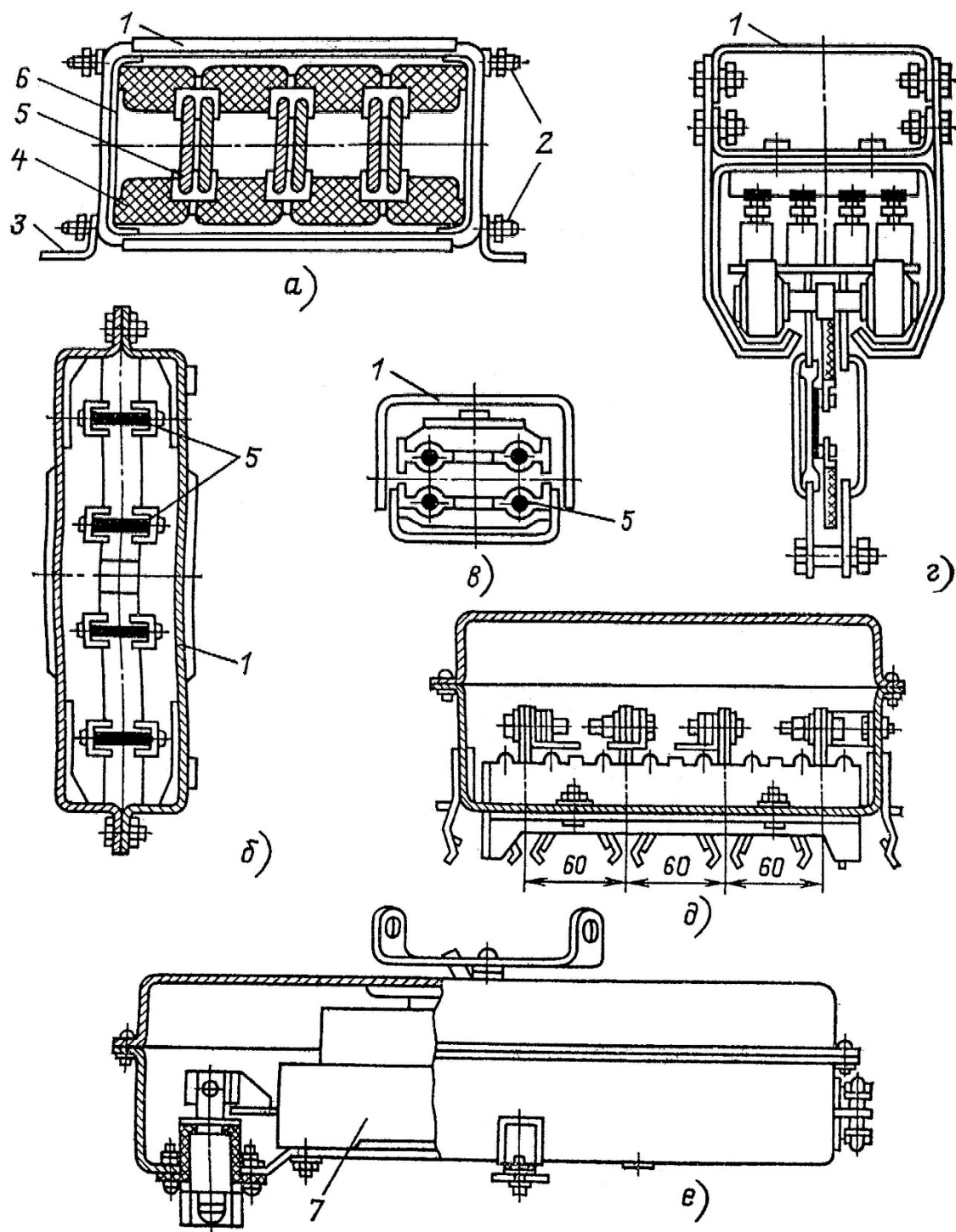


Рисунок Ж.1 – Конструкции шинопроводов различных серий и их элементы:

а – магистральный ШМА; б – распределительный ШРА; в – осветительный ШОС;
 г – троллейный ШТМ; д – вводная коробка;
 е – осветительная коробка с автоматическим выключателем;
 1 – крышка; 2 – стяжные болты; 3 – алюминиевые уголки; 4 – изоляторы;
 5 – шины; 6 – ярмо; 7 – автоматический выключатель

Таблица Ж..1 – Технические данные магистральных шинопроводов переменного тока

Показатели	Тип шинопровода			
	ШМА-73	ШЗМ-16	ШМА-68-Н	
Номинальный ток, А	1600	1600	2500	4000
Номинальное напряжение, В	660	660	660	660
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	70	70	70	100
Сопротивление на фазу, Ом/км:				
активное	0,031	0,017	0,027	0,013
реактивное	0,017	0,012	0,023	0,020
Сопротивление петли фаза-нуль (среднее), Ом/км:				
активное	0,072	—	—	—
реактивное	0,098	—	—	—
Число и размеры шин на фазу, мм	2(90×8)	2(100×10)	2(120×10)	2(160×10)
Число и сечение нулевых проводников, мм ²	2×710	—	2×640	2×640

Примечания. 1. Шинопровод ШМА-73 заменен на ШМА-16 на тот же номинальный ток.

2. Номинальный ток шинопроводов ШМА-4: 1250, 1600, 2500 и 3200 А.

Таблица Ж.2 – Технические данные распределительных шинопроводов переменного тока

Показатели	Тип шинопровода						
	ШРА-73			ШРМ-75			ШРА-74
Номинальный ток, А	250	400	630	100	250	400	630
Номинальное напряжение, В	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	15	25	35	10	15	—	—
Сопротивление на фазу, Ом/км:							
активное	0,20	0,13	0,085	—	0,15	0,15	0,14
реактивное	0,10	0,10	0,075	—	0,20	0,20	0,10
Линейная потеря напряжения, В, на длине 100м при $\cos\varphi=0.8$	—	11.5	12.5	—	9.5	—	—
Размеры шин на фазу, мм	35×5	60×5	80×5	3,6×11,2	35×5	50×5	80×5

Примечание. Шинопровод ШРА-73 заменен на ШРА-4 на напряжение 660В.

Таблица Ж.3 – Технические данные одножильных кабелей марки АВВ

Параметры	Сечение, мм ²			
	1000	1500	1800	2000
Длительно допустимая токовая нагрузка, А	1180	1440	1620	1790
Наружный диаметр, мм	55	63	66	68

Примечание. Максимальная длительно допустимая рабочая температура жилы не более 70°C.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по организации самостоятельной работы

«Электроснабжение промышленных предприятий»

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки: Электроснабжение

Квалификация выпускника бакалавр

Изучается в 7 семестре

Ставрополь
2026

Настоящие методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

Настоящие методические указания разработаны в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования, рабочим учебным планом и рабочей программой дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий».

В МУ приведены методика и порядок проведения самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий». Оно содержит план-график выполнения самостоятельной работы, контрольные точки и виды отчетности по ним. Приведены рекомендации по организации работы с литературой, методические указания по видам работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины, и список рекомендуемой литературы. Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и программой дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий» и предназначено для студентов очной и заочной формы обучения направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины

План-график выполнения самостоятельной работы

Контрольные точки и виды отчетности по ним

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Методические указания по подготовке к семинарским (практическим) занятиям

Методические указания по подготовке к экзамену (зачету)

Список рекомендуемой литературы

Введение

Самостоятельная работа является внеаудиторной и предназначена для самостоятельного изучения определенных тем дисциплины по материалам, рекомендованным преподавателем, а также в порядке подготовки к практическим занятиям.

Для достижения этой цели в процессе изучения дисциплины решаются следующие задачи: ознакомление студентов с общими вопросами оценки экономичности электрических сетей, информационным обеспечением задач расчета потерь электроэнергии; освоение студентами классификации и современных методов расчета, анализа, нормирования и снижения потерь электроэнергии в сетях СЭС; обучение студентов навыкам разработки мероприятий по снижению потерь электроэнергии и расчету их технико-экономической эффективности.

1 Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности специалиста, способного к саморазвитию, самообразованию, инновационной деятельности. Решение этой задачи вряд ли возможно только путем передачи знаний в готовом виде от преподавателя к студенту. Для решения этой задачи в учебные планы всех специальностей включена самостоятельная работа, составляющая 50% учебного времени студента.

В широком смысле под самостоятельной работой студентов следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов как в учебной аудитории, так и вне ее, в контакте с преподавателем и в его отсутствие.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Содержание внеаудиторной самостоятельной определяется в соответствии с рекомендуемыми видами заданий согласно примерной и рабочей программ учебной дисциплины. Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы являются:

- для овладения знаниями: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы), составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными

документами, учебно-исследовательская работа, использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и Интернета и др.

- для закрепления и систематизации знаний: работа с конспектом лекции, обработка текста, повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей, составление плана, составление таблиц для систематизации учебного материала, ответ на контрольные вопросы, заполнение рабочей тетради, аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, конспект-анализ и др), подготовка мультимедиа сообщений/докладов к выступлению на семинаре (конференции), подготовка реферата, составление библиографии, тематических кроссвордов, тестирование и др.

- для формирования умений: решение задач и упражнений по образцу, решение вариативных задач, выполнение чертежей, схем, выполнение расчетов (графических работ), решение ситуационных (профессиональных) задач, подготовка к деловым играм, проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности, опытно экспериментальная работа, рефлексивный анализ профессиональных умений с использованием аудио- и видеотехники и др.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов. Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

Следует с первых дней обучения в вузе приучать себя к целесообразному распределению занятий по месяцам и неделям семестра.

При этом очень важна равномерная работа как основное условие успешных занятий в вузе.

Высшей ступенью обучения является приобретение навыков самостоятельной творческой работы, а творческому применению знаний нужно учиться параллельно с их приобретением.

Задачами самостоятельной работы студентов по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий» являются:

- ознакомление с теоретическими и методологическими основами проектирования СЭС ПП;
- формирование способности обоснования проектных решений.
- изучение методов оптимизационного анализа систем электроснабжения промышленных предприятий;
- формирование системных и профессиональных компетенций по проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий;
- решение вопросов повышения энергоэффективности с учетом экологических требований;
- систематизация, углубление и расширение теоретических знаний и практических навыков.

2 План-график выполнения самостоятельной работы

Общий объём самостоятельной работы в рамках изучения дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий» составляет 54 часа.

В структуре самостоятельной работы предусмотрено написание курсового проекта, самостоятельное изучение теоретического материала, подготовка к практическим занятиям.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить компетенции: ПК-3, ПК-4, ПК-7.

Курсовой проект формируется из многовариантных заданий по расчету, нормированию, снижению потерь электроэнергии и расчету потерь, обусловленных допустимыми погрешностями системы учета электроэнергии.

Целью выполнения курсового проекта является закрепление теоретических знаний по дисциплине, практическое применение теоретических знаний и получение практических навыков по повышению экономичности работы электрических сетей.

Курсовой проект работа состоит из пояснительной записки 20-30 листов текста на листах формата А4, выполненных, как правило, с использованием ЭВМ и необходимых сопутствующих материалов (графики, диаграммы, схемы).

Варианты задания выдаются индивидуально.

В процессе проектирования необходимо выполнить следующее:

1. Выбрать типы, число и мощности трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций (ТП), количество ТП в каждом корпусе и места их расположения.
2. Составить картограмму нагрузок и выбрать место расположения главной понизительной подстанции (ГПП).
3. Составить схему распределения электроэнергии по территории

предприятия на напряжении выше 1000 В и выбрать сечения кабельных линий по экономической плотности тока и нагреву.

4. Выбрать число и мощность трансформаторов ГПП и сечение питающих воздушных линий.

5. Вычертить:

а) ситуационный план предприятия с нанесением на него картограммы нагрузок, мест расположения ГПП, ТП и распределительных пунктов (РП), трасс воздушных и кабельных линий;

б) принципиальную схему электроснабжения предприятия.

Рекомендуемые темы курсового проекта:

1. Проектирование системы электроснабжения завода цветной металлургии

2. Проектирование системы электроснабжения машиностроительного завода

3. Проектирование системы электроснабжения цементного завода

4. Проектирование системы электроснабжения меланжевого комбината

5. Проектирование системы электроснабжения механического завода

6. Проектирование системы электроснабжения химического завода

7. Проектирование системы электроснабжения механического завода

8. Проектирование системы электроснабжения мясокомбината

9. Проектирование системы электроснабжения цементного завода

10. Проектирование системы электроснабжения завода продольнострогальных станков

11. Проектирование системы электроснабжения завода сельскохозяйственного машиностроения

12. Проектирование системы электроснабжения электроаппаратного завода

13. Проектирование системы электроснабжения завода среднего

машиностроения

14. Проектирование системы электроснабжения завода химических препаратов

15. Проектирование системы электроснабжения вагоноремонтного завода

16. Проектирование системы электроснабжения моторного завода

17. Проектирование системы электроснабжения

18. Проектирование системы электроснабжения машиностроительного завода

19. Проектирование системы электроснабжения ремонтно-механического завода

20. Проектирование системы электроснабжения комбината «Химволокно»

21. Проектирование системы электроснабжения котельного завода

22. Проектирование системы электроснабжения механического завода

23. Проектирование системы электроснабжения завода геофизического оборудования

Защита курсового проекта является обязательной формой проверки выполнения проекта. Защита производится на выделенном занятии в рамках часов учебной дисциплины. Публичная защита стимулирует научный интерес, творчество, ответственность студентов.

Содержание проекта оценивается по пятибалльной системе. Контрольная работа должна быть написана в сроки, устанавливаемые преподавателем.

Защита состоит в коротком докладе студента по выполненной работе и в ответах на вопросы.

Оценка «отлично» ставится студенту, который в срок, в полном объеме и на высоком уровне выполнил контрольную работу. При защите и

написании работы студент продемонстрировал приобретенные навыки и умения. Тема, заявленная в работе раскрыта полностью, все выводы студента подтверждены материалами исследования и расчетами. Отчет подготовлен в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Оценка «хорошо» ставится студенту, который выполнил контрольную работу, но с незначительными замечаниями, был менее самостоятелен и инициативен. Тема работы раскрыта, но выводы носят поверхностный характер, практические материалы обработаны не полностью.

Оценка «удовлетворительно» ставится студенту, который допускал просчеты и ошибки в работе, не полностью раскрыл заявленную тему, делал поверхностные выводы, слабо продемонстрировал аналитические способности и навыки работы с теоретическими источниками.

Оценка «неудовлетворительно» ставится студенту, который не выполнил контрольную работу, либо выполнил с грубыми нарушениями требований, не раскрыл заявленную тему, не выполнил практической части работы.

Вопросы для проведения собеседования

Тема 1. Особенности сетей промышленных предприятий и их режимов работы

1. Как классифицируются взрывоопасные помещения?
2. Как классифицируются помещения в зависимости от характера окружающей среды?
3. Как классифицируются помещения в зависимости от пожароопасности?
4. Какие помещения относятся к особо опасным?
5. Какими символами обозначаются различные виды взрывозащит?
6. Требуется ли усиленная рабочая изоляция наличия заземления?

7. Каким документом регламентируется степень защиты IP?
8. На сколько зон подразделяют области со взрывоопасным горючим газом, паром и туманом?
9. Как делятся электроустановки в соответствии с защитой их от атмосферных воздействий?
10. Категории помещений в отношении опасности поражения людей электрическим током?

Тема 2. Проект электрических сетей предприятия

1. По каким параметрам выбираются все электрические аппараты?
2. Какие виды проверок по условиям КЗ применяются в электроустановках напряжением выше 1кВ ?
3. Какие виды проверок по условиям КЗ применяются в электроустановках напряжением до 1кВ?
4. Какие аппараты не проверяются применяются в электроустановках напряжением выше 1кВ?
5. Какие аппараты не проверяются применяются в электроустановках напряжением до 1кВ?
6. Какое время принимается в качестве расчетной продолжительности КЗ при проверке электрических аппаратов и проводников на термическую стойкость при КЗ?
7. При каких условиях обеспечивается надежная селективность последовательно включенных предохранителей?
8. Какая защита является наиболее распространенной на промышленных предприятиях?
9. Какие защиты устанавливаются на силовых трансформаторах ГПП?
10. Какие средства защиты применяют от однофазных замыканий на стороне низкого напряжения?
11. Какие защиты используются для защиты синхронных и асинхронных

электродвигателей?

12. С какой целью применяется устройство АВР?
13. Как выбираются автоматические выключатели?
14. Для защиты каких сетей применяются автоматические выключатели?
15. Какие виды расцепителей Вы знаете?
16. Как выбираются плавкие предохранители?
17. При каких условиях обеспечивается надежная селективность последовательно включенных предохранителей?
18. Для защиты каких сетей применяются плавкие предохранители?

Тема 3 Методы определения расчетных электрических нагрузок и рекомендации по их использованию

1. Какие методы определения расчетных нагрузок однофазных электроприемников Вам известны ?
2. Как рассчитать расчетную нагрузку однофазного приемника включенного на фазной напряжение ?
3. Как рассчитать расчетную нагрузку однофазного приемника включенного на линейное напряжение ?
4. Как определяется средняя нагрузка отдельных фаз?
5. Какие методы определения расчетных нагрузок однофазных электроприемников Вам известны ?
6. Как рассчитать расчетную нагрузку однофазного приемника включенного на фазной напряжение ?
7. Как рассчитать расчетную нагрузку однофазного приемника включенного на линейное напряжение ?
8. Как определяется средняя нагрузка отдельных фаз?
9. Какая нагрузка называется пиковой?
10. Изложите методику определения пиковой нагрузки

11. Для каких целей используются пиковые нагрузки?
12. Как учесть при расчете нагрузки повторности включения?
13. Как считается расчетный ток для гибкого токоподвода ?
14. Чему равно значение коэффициента мощности для крановых электродвигателей с фазовым ротором?
15. Чему равно значение коэффициента мощности для крановых электродвигателей с электродвигателями с короткозамкнутым ротором?
16. Как определяется значение коэффициента использования при расчете нагрузки?
17. Как учесть потери мощности при определении расчетных нагрузок ?
18. От каких параметров зависит коэффициент расчетной нагрузки K_p ?
19. Учитывается ли мощность освещения территории предприятия при расчете нагрузки?
20. Какая нагрузка называется расчетной?
21. Каковы основные нормативные документы, необходимы для определения расчетной нагрузки?
22. Как классифицировать способы определения расчетных нагрузок?
23. Как определить расчетные электрические нагрузки от однофазных электроприемников и пиковых нагрузок?
24. Как рассчитать нагрузки электроприемников напряжением выше 1 кВ?
25. Как снимаются и строятся графики нагрузки предприятия в условиях эксплуатации?
26. Как определяется максимальная нагрузка предприятия при проектировании в условиях эксплуатации?

27. Как определяется коэффициент спроса и какие факторы он учитывает? Область применения K_C .
28. Что характеризует коэффициент формы графика? Как он определяется? Область применения K_F
29. Как определяется коэффициент максимума? Как и когда он используется?
30. Как определяется средневзвешенное значение коэффициента мощности? Где и для чего используется $\cos\varphi_{CB}$.
31. Как определить число часов использования максимума нагрузки? Объяснить смысл и область применения T_M .
32. Как определить коэффициент реактивной мощности? Его разновидности смысл и область применения?
33. Как включается однофазный счетчик активной энергии для учет реактивной энергии? Пояснить принцип измерения реактивной энергии в полученной схеме.
34. Что представляет собой постоянная счетчика, как она определяется? Каково её практическое значение?
35. Какие виды расчётной нагрузки (на примере активной мощности) вы знаете? Область их применения.
36. Дайте определения коэффициентов использования, спроса, формы, максимума, загрузки и для чего они предназначены.
37. Для каких расчетов определяется средняя, среднеквадратическая, расчетная и пиковая нагрузка?
38. Как определяются коэффициенты K_m , K_c , K_i , K_z и K_f ?
39. Какая нагрузка называется расчетной?
40. Каковы основные нормативные документы, необходимы для определения расчетной нагрузки?

Тема 4 Определение числа и мощности силовых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности.

1. От чего зависит величина реактивной мощности генерируемой СД?
2. Каким должен быть коэффициент загрузки СД чтобы он мог вырабатывать реактивную мощность?
3. Как изменяются потери активной мощности при компенсации реактивной мощности?
4. Как изменяются потери напряжения при компенсации реактивной мощности?
5. Как изменяется полный ток в линии при компенсации реактивной мощности?
6. Изобразите схемы включения конденсаторов в сеть.
7. Каковы основные принципы размещения КУ в системах электроснабжения промышленных предприятий?
8. Как регулируется мощность батарей конденсаторов?
9. Как влияет установка КУ на параметры режима?
10. Перечислите особенности КРМ в сетях с резкопеременной и вентильной нагрузкой.
11. В каких местах электрической сети целесообразна установка КУ?
12. Опишите принцип действия силовых конденсаторов как источника реактивной мощности
13. Какие схемы используются для включения конденсаторов в сеть?
14. Как регулируется мощность батарей конденсаторов?
15. Как влияет установка КУ на параметры режима?
16. Перечислите особенности КРМ в сетях с резкопеременной и вентильной нагрузкой.
17. Какими коммутационными аппаратами подключаются КУ?
18. От чего зависит коэффициент наибольшей допустимой загрузки СД

по реактивной мощности?

19. Какой $\cos\varphi_{\text{СД}}$ имеют синхронные двигатели нормальных серий ?

20. В каком случае СД может вырабатывать реактивную мощность?

Тема 5 Выбор номинальных напряжений на различных ступенях СЭС. Определение условного центра электрических нагрузок и построение картограммы нагрузок

1. С какой целью выполняется определение условного центра электрических нагрузок?

2. В каком случае картограмма строится по активной мощности, а в каком по полной?

3. Как выбирается масштаб для построения картограммы нагрузок?

4. Как рассчитать величину сектора осветительной нагрузки?

5. Как на картограмме представляется высоковольтная нагрузка?

6. Как определить место центра электрических нагрузок предприятия?

Тема 6 Оценка эффективности инвестиционных проектов

1. Какие показатели эффективности инвестиционного проекта Вы знаете?

2. В чем заключается метод расчета рисков инвестиционного проекта

3. Как можно классифицировать инвестиционные проекты?

4. Какие этапы включает в себя эксплуатационная стадия жизненного цикла?

5. Назовите основы оценки и показатели эффективности инвестиционного проекта?

Тема 7. Критерии выбора оптимальной схемы сети и технико-экономическое обоснование проекта

1. Должны ли варианты, подлежащие технико-экономическому сравнению, быть технически и экономически сопоставимы?

2. По каким показателям производится определение капитальных

вложений?

3. По какой формуле вычисляются капитальные вложения в линии электропередачи?

Тема 8 Выбор оптимальных сечений проводов и кабелей.

1. С какой целью выполняется проверка сечений по термической стойкости?

2. Чему равно приведенное время КЗ?

3. Как выбираются сечения экранов кабелей?

4. В каких местах заземляются экраны?

5. Какими условиями определяется выбор способа прокладки кабеля?

6. Чем конструктивно отличаются кабели 10 кВ и 110 кВ?

7. Какие типы кабельных муфт применяются?

8. Как конструктивно устроены жесткие и гибкие токопроводы?

9. В каких случаях целесообразнее применять воздушные линии, кабельные линии и токопроводы?

Тема 9. Расчет токов короткого замыкания промышленного предприятия.

1. Для решения каких задач необходимы расчеты токов короткого замыкания при эскизном проектировании систем электроснабжения?

2. Для решения каких вопросов необходимы расчеты ТКЗ как одного из наиболее тяжелых видов переходных процессов?

3. Для каких целей необходим расчет трехфазного, двухфазного и однофазного ТКЗ?

4. Как составляется расчетная схема для определения токов КЗ?

5. Из каких условий следует исходить при составлении расчетной схемы для выбора электрических аппаратов и проводников и определения при этом токов КЗ?

6. Как составляется схема замещения для определения токов КЗ?

7. Как вводятся в схему замещения элементы СЭС?
8. К какой ступени напряжения должны быть приведены сопротивления и ЭДС схемы замещения?
9. Какая ступень напряжения сети обычно принимается за основную в практических расчетах?

Повышенный уровень

Тема 1

1. Какова причина возникновения перемежающейся дуги при однофазном замыкании на землю в системах с изолированной нейтралью?
2. При каком индуктивном сопротивлении дугогасящей катушки ток однофазного замыкания на землю будет наименьшим?
3. Как осуществляется нормирование труда по физическому объему?
4. Что такое техническая норма времени и какова ее структура?
5. Что такое норма выработки?
6. Перечислите факторы, влияющие на норму труда.

Тема 2

1. Как влияет емкостное сопротивление элементов сети относительно земли на величину тока однофазного замыкания на землю в сетях с глухозаземленной нейтралью?
2. Каковы особенности технического нормирования труда на энергопредприятиях?
3. Охарактеризуйте методы изучения рабочего времени
4. Дайте понятие оптимизации сетевых графиков. Перечислите критерии оптимизации сетевых графиков.
5. В чем заключается топливный эффект при сокращении длительности ремонтного простоя

Тема 3

1. По какой причине в системах с резонансно-компенсированной нейтралью нельзя снизить ток замыкания на землю до нуля?
2. Как построить зону рассеяния центра электрических нагрузок?
3. В чем заключается мощный эффект при сокращении длительности ремонтного простоя?
4. Какие существуют виды ремонтного резерва мощности энергосистемы
5. Перечислите пути повышения эффективности и качества ремонтов.
6. В чем заключаются преимущества системы сетевого планирования и управления? Назовите области применения сетевых графиков.

Тема 4

1. По каким параметрам выбираются все электрические аппараты?
2. Какие особенности ремонта энергооборудования позволили применять методы сетевого планирования и управления?
3. Перечислите основные элементы и параметры сетевого графика.
4. Как влияет вид топлива и условия топливоснабжения на распределение нагрузки между ТЭЦ энергосистемы?
5. Как ведется учет собственных расходов электростанций и потерь в сетях при распределении электрической нагрузки между станциями энергосистемы?

Тема 5

1. Как выбирается оптимальный состав оборудования для их совместной работы?
2. Что представляет собой производственная программа энергосистемы, электростанции?
3. Как планируется баланс нагрузок и мощностей?
4. Как планируется баланс потребления и производства электрической энергии?

Тема 6

1. Какие виды проверок по условиям КЗ применяются в электроустановках напряжением до 1 кВ?
2. Какие виды проверок по условиям КЗ применяются в электроустановках напряжением выше 1 кВ?

Тема 7

1. Какое время принимается в качестве расчетной продолжительности КЗ при проверке электрических аппаратов и проводников на термическую стойкость при КЗ

Тема 8

1. Какие виды проверок по условиям КЗ применяются в электроустановках напряжением выше 1 кВ?

Тема 9

1. При каких условиях обеспечивается надежная селективность последовательно включенных предохранителей?

4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Большая часть самостоятельной работы студента состоит в **изучении литературы**. Одна из задач студента – научиться самостоятельно работать с книгой, а это требует определенных затрат энергии и времени. Поэтому надо научиться делать эту работу рационально, то есть необходимо учиться читать.

Как работать с учебной и научной книгой

Методы эффективной работы с книгой в целях развития интеллекта можно условно разделить на две группы:

1. Правильная организация процесса чтения
2. Повышение скорости чтения и восприятия.

В комплексе оба метода могут в 2-3 раза сократить время прочтения различных материалов.

При чтении текста мозг формирует «свою трактовку содержания» прочитанного. Происходит перекодирование сообщения на языке собственных мыслей читателя. Мозг выделяет «ядерное», сущностное значение из текста. Эффективность такой перекодировки зависит от осмысления и внимательности чтения.

Как показали эксперименты, знание и умелое применение некоторых упражнений дают возможность извлекать «ядерное» значение в тексте быстро и надежно. Эти упражнения основаны на использовании дифференциального алгоритма чтения. Центральное место в этом алгоритме занимает «блок доминанта». Это слово в переводе с латинского языка означает «господствующий, основной, главный». Что же такое доминанта применительно к тексту?

Доминанта – главная смысловая часть текста. Она выражается своими словами, на языке собственных мыслей, является результатом переработки текста, его осмысления в соответствии с индивидуальными особенностями читателя, выявления основного замысла автора.

Дифференциальный алгоритм чтения в соответствии с блоками позволяет реализовать логико-семантический анализ текста: вначале выделить ключевые слова, затем построить смысловые ряды и, наконец, выделив цепь знаний, сформулировать доминанту. Именно так и только так (по О.А. Андрееву) можно увидеть главное, действительно, проникнуть в суть вещей, явлений, излагаемых автором.

Возможны три основных способа чтения.

- Первый способ – артикуляция или проговаривание вслух (или почти вслух) того, что читаешь. Скорость такого чтения невелика.

- Второй способ – чтение про себя, при котором речевой процесс проявлен в форме внутренней речи, то есть без открытой артикуляции. Текст, при этом усваивается более эффективно. Способ в принципе допускает быстрое чтение.

- Третий, наиболее совершенный способ чтения – тоже молча, но в условиях максимального сжатия внутренней речи, при котором она проявляется в виде коротких залпов ключевых слов и смысловых рядов, адекватно отражающих смысл текста.

Итак, артикуляция замедляет процесс чтения и от нее необходимо избавиться. Однако не приведет ли сокращение артикуляции при повышении скорости чтения к снижению качества восприятия и осмысления полученной информации?

Как показали исследования психологов, иногда при чтении слова могут быть заменены наглядными представлениями, пространственными схемами. Целые группы слов – одним словом.

Быстро читающие люди обладают способностью, не проговаривая читаемый текст, сразу улавливать и фиксировать замысел автора, а затем усваивать его на уровне внутренней речи. В этом случае, несмотря на высокую скорость чтения, происходит глубокое понимание и усвоение прочитанного, так как основная идея понятна с самого начала. Задачу научиться такому чтению можно решать в два этапа. Первый предполагает сокращение артикуляции, если она ярко выражена, второй – овладение приемами чтения, при которых текст воспринимается крупными информационными блоками.

Перед углубленным чтением любого текста (статьи, книги, конспекта, лекции перед экзаменом) сначала бегло просмотрите его целиком. При этом постарайтесь выявить основные стержневые идеи, наиболее крупные части и

логику их изложения. Лишь после такого просмотра переходите к более детальному чтению.

Перед чтением статьи или параграфа учебника попробуйте проделать следующее: прочитайте внимательно первый абзац, потом бегло просмотрите первые или последние фразы следующих абзацев (в них обычно содержится основная информация), обратите внимание на курсивы, разрядки, подзаголовочный текста и, наконец, внимательно прочтите один-два последних абзаца; постарайтесь выявить основное направление текста и его построение.

Прочитав в тексте интересную идею, полезно остановить свое внимание на ней, прислушаться к тем мыслям, которые она у вас вызвала, подумать о тех последствиях, которые из нее вытекают, попытаться развивать ее дальше.

Существенно замедляют чтение регрессии – частые возвратные движения глаз, многократное повторное прочитывание материала. Возвратиться к уже прочитанному, но недостаточно хорошо понятому участку лучше всего, когда прочитан законченный смысловой фрагмент текста и сделана хотя бы попытка его осмысления, а не в процессе чтения предложения.

Любой текст не однороден по своей информационной насыщенности. В некоторых предложениях, абзацах сконцентрировано очень много информации, например, формулируются основные положения, ведущие идеи и т.д., а другие служат лишь иллюстрацией, фоном. Таким образом, текст имеет «смысловой рельеф». Чем точнее читатель умеет определить степень важности каждого отрезка текста и приспособить к «смысловому барьеру» способ своего чтения (то есть замедлить и углубить в более важных местах и ускорять в менее важных), тем продуктивнее чтение. Постарайтесь гибко

варьировать способ работы с текстом в соответствии с его «смысловым барьером».

Чтобы чтение было эффективным, попробуйте по прочитанному всегда отвечать на 6 вопросов: *«Кто делает? Что делает? Когда? Почему? Где? Как?»*

Формы ведения записей

Самостоятельная работа с книгой может быть успешной, если текст не только прочитан, но и законспектирован. Существует несколько **форм записей**, но любая форма записи не даст нужного результата, если не будет пробуждать мысли того, кто ее ведет, если отсутствует активная работа ума и формирование своих выводов из прочитанного.

Выбор формы записи зависит от индивидуальных особенностей человека, его образованности и опыта. При этом не меньшую роль играет назначение записей, то есть то, какие задачи ставит перед собой человек (для самообразования, для выступления на семинаре, для использования в будущем).

Введение записей мобилизует наряду со зрительной памятью, также и моторную память. Кроме того, у человека, систематически ведущего записи изучаемой литературы, создается свой фонд материалов для быстрого повторения и мобилизации накопленных знаний.

Все записи должны быть убористыми и компактными. Интервалы между строками должны быть достаточными, чтобы вписывать дополнения. Рекомендуется вести записи ручкой, а карандашом или ручкой другого цвета пользоваться для отметок и выделений при последующей работе. Полезно также датировать записи.

Записи могут носить различный характер: план, выписки, тезисы, аннотирование, конспектирование, реферирование.

1. План - наиболее краткая формой записи. Это перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. План обычно раскрывает структуру произведения, логику автора, способствует лучшей ориентации в содержании.

Так, составленным планом можно воспользоваться, чтобы вспомнить прочитанное или быстро отыскать в книге нужное место. Представление об основных пунктах плана дает оглавление книги, поэтому во многих случаях наименования глав и разделов можно использовать в качестве пунктов. Составление плана приучает логически мыслить, вырабатывать умение сжато и последовательно излагать суть вопроса в письменной и устной форме.

Существует два способа составления плана: работа над ним по ходу чтения и составление плана после ознакомления с произведением. При этом план получается более последовательным и стройным.

Трудность составления плана состоит в том, что надо выяснить для себя, прежде всего, построение изучаемого текста, ход мыслей автора и лишь затем изложить содержание работы кратко и ясно. При всей своей краткости план дает представление о содержании прочитанного. Следует учесть, что форма плана не исключает цитирования отдельных мет и обобщений. Различают простой и развернутый план. В отличие от простого плана развернутый план не только содержит перечисление вопросов, но и раскрывает основные идей произведения, может включать выдержки из него, схемы, таблицы. Планом, особенно развернутым, необходимо пользоваться при написании выступления или статьи.

В целом развернутый план дает гораздо большее представление о произведении, его основных идеях, задачах, которые в нем решаются. Он может включать положения, замечания, собственные мысли студента.

Важно знать, что составление планов помогает вырабатывать способность к отвлеченному, абстрактному мышлению, но наибольшую

пользу составление плана даст подготовленным лицам, которые бывают достаточно лишь взглянуть на перечень основных вопросов, чтобы воспроизвести содержание прочитанного.

2. Тезисы – более сложная и совершенная форма записи, чем составление плана.

Это сжатое изложение основных мыслей прочитанного произведения или подготовляемого вступления. Особенностью тезисов является их утвердительный характер.

В них сосредотачивается самое главное, только выводы и обобщения, в них меньше доказательств, иллюстрации и пояснений. Тезисы не должны повторять дословно текст, но в ряде мест могут быть близки к нему, воспроизводя некоторые характерные выражения автора, важные для понимания хода его мыслей. Составление тезисов помогает глубже понять основные идеи произведения, выделить главное в нем; приучают сжато, точно и четко сформулировать свои мысли, повышает культуру речи и письма. При составлении тезисов учитывают следующее. Прежде всего, если произведение небольшое, необходимо внимательно изучать его в целом, если большое – изучать по главам и разделам. Затем, когда будут ясны основные идеи, кратко и последовательно излагать их в виде пунктов.

Различают простые и сложные, развернутые тезисы. Если записывают только утверждение чего – либо, такой тезис называют простым, а сложным тезисом будет выражение главной мысли, содержащее, кроме утверждения, еще и краткое ее доказательство.

Часто тезисы формулируются самим автором как выводы и обобщения в заключении книги или разделах книги. Нередко тезисы выделяются в тексте другим шрифтом.

Рекомендуется делать тезисные записи своими словами, причем можно записывать один абзац за другим, учитывая смысловую связь между ними.

Но в большинстве случаев следует составлять сводный тезис, сложный по форме. При этом объединяется несколько утверждений, тесно связанных между собой.

Тезисы по содержанию очень близки к **конспекту**, но конспект носит более описательный характер, и его положения не столь категоричны, как в тезисах. Кроме того, конспект представляет собой более полную форму записи.

Следует отметить, что различие между формами записей условно, но в любой форме запись – важнейшая часть самостоятельной работы с книгой.

3. Выписки. Это записи текста из книги: теоретических положений, статистических данных, имеющих по мнению читателя важное значение.

Достоинство выписок состоит в точности воспроизведения текста книги, удобстве пользования записями при последующей работе, в накоплении обобщений и фактического материала. Выписки полезны для повторения, освежения в памяти прочитанного, для быстрой мобилизации своих знаний, когда необходимо в короткий срок вспомнить материал. Выписки выделяют из текста самое главное и тем самым помогают глубже понять его. Без них трудно обойтись при подготовке доклада, реферата, выступления. Выписки следует рассматривать как составную часть тезисов и конспектов.

Выписывать текст можно и по ходу чтения и после его завершения. В последнем случае надо замечать места, которые потом будут выписаны. Необходимо каждую выписку снабжать ссылкой на источник с указанием соответствующей станицы. Это нужно, чтобы в последствии можно было быстро найти в книге соответствующее место. Целесообразно выписывать из текста только такие места, в которых содержится самое главное, суть вопроса. Выписки должны быть ориентированы на изучение произведения в целом, а не отдельных мест, поскольку положения, вырванные из общего

контакта, понимаются нередко совсем не так, как этого хотел автор. Иначе говоря, отдельно взятые, лишённые пояснений выдержки могут быть не поняты или поняты неправильно.

Выписки бывают дословные (цитаты) и «свободные», когда мысли автора излагаются своими словами. Следует учесть, что большие отрывки, которые трудно цитировать, целесообразнее в краткой форме переложить своими словами, но «яркие» и важные места лучше выписывать дословно. Каждую цитату следует заключать в кавычки. Если ее берут из середины предложения, то после вводных кавычек ставят три точки. Ставят их и в конце цитаты, если из предложения опущены последние слова.

Следует знать, что какого-либо единого метода выписок, годного для всех случаев, не существует, поскольку у каждого человека свои особенности мышления и восприятия, свой подход к теме. Все это влияет на содержание и характер выписок.

Выписки рекомендуется хранить в картотеке, конвертах или папках, на которых следует обозначить общую тему.

4. Аннотация – еще одна форма записи, являющаяся кратким обобщением содержания книги. Ею удобно пользоваться, если имеется намерение вернуться к изучаемому произведению. Аннотация может быть необходима и для того, чтобы не забыть о нем.

Для составления аннотации надо сначала полностью прочитать и глубоко продумать произведение. При всей своей краткости аннотация может содержать отдельные фрагменты авторского текста, а не только оценку книги или статьи.

5. Резюме очень близко к аннотации. Это запись, являющаяся краткой оценкой прочитанного материала. Различие между ними состоит в том, что аннотация сжато характеризует произведение в целом, а резюме концентрирует внимание на его выводах, главных итогах.

6. Конспект – наиболее совершенная и наиболее сложная форма записи. Слово «конспект» происходит от латинского «conspectus», что означает «обзор, изложение». В правильно составленном конспекте обычно выделено самое основное в изучаемом тексте, сосредоточено внимание на наиболее существенном, в кратких и четких формулировках обобщены важные теоретические положения.

Конспект представляет собой относительно подробное, последовательное изложение содержания прочитанного. На первых порах целесообразно в записях ближе держаться тексту, прибегая зачастую к прямому цитированию автора. В дальнейшем, по мере выработки навыков конспектирования, записи будут носить более свободный и сжатый характер.

Конспект книги обычно ведется в тетради. В самом начале конспекта указывается фамилия автора, полное название произведения, издательство, год и место издания. При цитировании обязательная ссылка на страницу книги. Если цитата взята из собрания сочинений, то необходимо указать соответствующий том. Следует помнить, что четкая ссылка на источник – неременное правило конспектирования. Если конспектируется статья, то указывается, где и когда она была напечатана.

Конспект подразделяется на части в соответствии с заранее продуманным планом. Пункты плана записываются в тексте или на полях конспекта. Писать его рекомендуется четко и разборчиво, так как небрежная запись с течением времени становится малопонятной для ее автора. Существует правило: конспект, составленный для себя, должен быть по возможности написан так, чтобы его легко прочитал, и кто-либо другой.

Формы конспекта могут быть разными и зависят от его целевого назначения (изучение материала в целом или под определенным углом зрения, подготовка к докладу, выступлению на занятии и т.д.), а также от характера произведения (монография, статья, документ и т.п.). Если речь

идет просто об изложении содержания работы, текст конспекта может быть сплошным, с выделением особо важных положений подчеркиванием или различными значками.

В случае, когда не ограничиваются переложением содержания, а фиксируют в конспекте и свои собственные суждения по данному вопросу или дополняют конспект соответствующими материалами их других источников, следует отводить место для такого рода записей. Рекомендуется разделить страницы тетради пополам по вертикали и в левой части вести конспект произведения, а в правой свои дополнительные записи, совмещая их по содержанию.

Конспектирование в большей мере, чем другие виды записей, помогает вырабатывать навыки правильного изложения в письменной форме важные теоретических и практических вопросов, умение четко их формулировать и ясно излагать своими словами.

Таким образом, составление конспекта требует вдумчивой работы, затраты времени и труда. Зато во время конспектирования приобретаются знания, создается фонд записей.

Конспект может быть текстуальным или тематическим. В **текстуальном конспекте** сохраняется логика и структура изучаемого произведения, а запись ведется в соответствии с расположением материала в книге. За основу тематического конспекта берется не план произведения, а содержание какой-либо темы или проблемы.

Текстуальный конспект желательно начинать после того, как вся книга прочитана и продумана, но это, к сожалению, не всегда возможно. В первую очередь необходимо составить план произведения письменно или мысленно, поскольку в соответствии с этим планом строится дальнейшая работа. Конспект включает в себя тезисы, которые составляют его основу. Но, в отличие от тезисов, конспект содержит краткую запись не только выводов,

но и доказательств, вплоть до фактического материала. Иначе говоря, конспект – это расширенные тезисы, дополненные рассуждениями и доказательствами, мыслями и соображениями составителя записи.

Как правило, конспект включает в себя и выписки, но в него могут войти отдельные места, цитируемые дословно, а также факты, примеры, цифры, таблицы и схемы, взятые из книги. Следует помнить, что работа над конспектом только тогда будет творческой, когда она не ограничена текстом изучаемого произведения. Нужно дополнять конспект данными из других источников.

В конспекте необходимо выделять отдельные места текста в зависимости от их значимости. Можно пользоваться различными способами: подчеркиваниями, вопросительными и восклицательными знаками, репликами, краткими оценками, писать на полях своих конспектов слова: «важно», «очень важно», «верно», «характерно».

В конспект могут помещаться диаграммы, схемы, таблицы, которые придадут ему наглядность.

Составлению **тематического конспекта** предшествует тщательное изучение всей литературы, подобранной для раскрытия данной темы. Бывает, что какая-либо тема рассматривается в нескольких главах или в разных местах книги. А в конспекте весь материал, относящийся к теме, будет сосредоточен в одном месте. В плане конспекта рекомендуется делать пометки, к каким источникам (вплоть до страницы) придется обратиться для раскрытия вопросов. Тематический конспект составляется обычно для того, чтобы глубже изучить определенный вопрос, подготовиться к докладу, лекции или выступлению на семинарском занятии. Такой конспект по содержанию приближается к реферату, докладу по избранной теме, особенно если включает и собственный вклад в изучение проблемы.

Следующим методом самостоятельной работы с книгой является **реферирование** на определенную тему. Слово реферат употребляется в двух различных значениях:

1. Краткое изложение содержания книги, научной работы;
2. Доклад за заданную тему на основе критического образа литературных источников.

7. Реферат – это один из самых сложных видов самостоятельной работы с книгой, а для этого следует овладеть более простыми приемами работы – разработкой плана, составлением тезисов и конспектов. Подготовка реферата и выступление с его изложением углубляет знания, расширяет кругозор, приучает логически, творчески мыслить, развивать культуру речи.

При просмотре литературы намечается ориентировочный план реферата, в который включается обычно 3-4 основных вопроса или раздела. Каждом из разделов формулируются подвопросы, помогающие последовательно раскрыть содержание проблемы.

В процессе изучения материала формулировки подвопросов и разделов обычно уточняются. При реферировании следует делать выписки, записывать мысли, возникающие при чтении; следует также точно записывать и определения тех понятий, которые будут использованы в реферате. Из прочитанной литературы нужно заимствовать не буквальный текст, а важнейшие мысли, идеи, теоретические положения; можно цитировать небольшие отрывки, приводить диаграммы, схемы, чертежи, но главное – высказывать собственные соображения по вопросам реферата. Приведенные выше советы следует рассматривать как примерные, предполагающие и другие подходы, поскольку у каждого человека вырабатываются свои приемы и навыки составления рефератов. Большую помощь в работе над рефератом оказывают предисловия к монографиям и

сборникам. В них можно найти сведения о цели издания, а также о существующих пробелах в исследовании.

При разработке плана реферата важно учитывать, чтобы каждый его пункт раскрывал одну из сторон избранной темы, а все пункты в совокупности охватывали тему целиком. Различают несколько композиционных решений реферата: во-первых, хронологическое, когда тема раскрывается в исторической последовательности; во-вторых, описательное, при котором тема расчленяется на составные части, в целом раскрывающие определенное явление; в-третьих, аналитическое, когда тема исследуется в ее причинно-следственных связях и взаимозависимых проблемах. Важно следить за тем, чтобы каждый пункт плана был соотнесен с главной темой и не содержал повторения в других пунктах. Важными разделами реферата является вступление и заключение. Во вступлении надо обосновать актуальность темы, обозначить круг составляющих ее проблем, четко и кратко определить задачу своей работы. В заключении делаются краткие выводы, подводятся итоги. В конце реферата должен быть приложен список литературы.

В отличие от тематического конспекта реферат требует большей творческой активности, самостоятельности в обобщении изученной литературы, умения логически стройно изложить материал, оценить различные точки зрения на исследуемую проблему и высказать о ней собственное мнение. В реферате важно связать теоретические положения с практикой.

Итак, реферат – это самостоятельное произведение автора, которое должно свидетельствовать о знании литературы по данной теме, ее основной проблематике, отражать точку зрения автора реферата на эту проблематику, его умение осмысливать явления жизни на основе теоретических знаний.

При оценке реферата обычно руководствуются следующими критериями:

1. Удалось ли его автору раскрыть сущность данной проблемы;
2. Сумел ли автор показать связь рассматриваемой проблемы с жизнью;
3. Проявил ли автор самостоятельность и творческий подход в изложении реферата;
4. Можно ли считать реферат логически стройным и т.д.

5. Методические указания по подготовке к семинарским (практическим) занятиям

Семинарские занятия проводятся в форме дискуссии, на которых проходит обсуждение конкретных экономических ситуаций. Обсуждения направлены на освоение научных основ, эффективных методов и приемов решения конкретных практических задач, на развитие способностей к творческому использованию получаемых знаний и навыков. Основная цель проведения семинара заключается в закреплении знаний полученных в ходе прослушивания лекционного материала. Семинар проводится в форме устного опроса студентов по вопросам семинарских занятий, а также в виде решения практических задач или моделирования практической ситуации. В ходе подготовки к семинару студенту следует просмотреть материалы лекции, а затем начать изучение учебной литературы. Следует знать, что освещение того или иного вопроса в литературе часто является личным мнением автора, построенного на анализе различных источников, поэтому следует не ограничиваться одним учебником или монографией, а рассмотреть, как можно больше материала по интересующей теме.

В ходе самостоятельной работы студенту необходимо отслеживать научные статьи в специализированных изданиях.

Студенту рекомендуется следующая схема подготовки к семинарскому занятию:

1. Проработать конспект лекций;
2. Прочитать основную и дополнительную литературу, рекомендованную по изучаемому разделу;
3. Ответить на вопросы плана семинарского занятия;
4. Выполнить домашнее задание;
5. Проработать тестовые задания и задачи;
6. При затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю.

При подготовке к семинарским занятиям следует руководствоваться указаниями и рекомендациями преподавателя, использовать основную литературу из представленного им списка. Для наиболее глубокого освоения дисциплины рекомендуется изучать литературу, обозначенную как «дополнительная» в представленном списке. При подготовке доклада на семинарское занятие желательно заранее обсудить с преподавателем перечень используемой литературы, за день до семинарского занятия предупредить о необходимых для предоставления материала технических средствах, напечатанный текст доклада предоставить преподавателю.

Цели практических занятий по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий»:

1. закрепление теоретического материала путем систематического контроля за самостоятельной работой студентов;
2. формирование умений использования теоретических знаний в процессе выполнения лабораторных работ;
3. развитие аналитического мышления путем обобщения результатов лабораторных работ;

4. формирование навыков оформления результатов практических работ в виде таблиц, графиков, выводов.

6. Методические указания по подготовке к экзамену

Готовиться к экзамену необходимо в течение всего учебного времени, т.е. с первого дня очередного семестра: вся работа студента на лекциях, семинарских занятиях, консультациях, а также написание рефератов и выполнение курсовых работ и т.п. - это и есть этапы подготовки студента к зачетам и экзаменам. Подготовка к сессии должна быть нацелена не столько на приобретение новых знаний, сколько на закрепление ранее изученного материала и повторение его. Сумму полученных знаний студенту перед сессией надо разумно обобщить, привести в систему, закрепить в памяти, для чего ему надо использовать учебники, лекции, консультации, курсовые работы, рефераты и т.п., а также методические пособия и различного рода руководства. Повторение необходимо производить по разделам, темам.

Методика подготовки к сдаче зачета и экзамена одинакова и состоит из двух взаимосвязанных этапов.

1. Регулярное посещение всех учебных занятий в течение всего семестра: лекций, семинарских занятий, консультаций и т.п., а также активное изучение рекомендованной литературы, отработка (в случае необходимости) в установленные сроки всех пропущенных учебных занятий.

2. Непосредственная подготовка к зачету и экзамену, когда студенту нужно в короткий срок (2-4 дня) охватить весь изученный материал по предмету и успешно сдать экзамен (зачет). А для того, чтобы это успешно сделать, студент, в первую очередь, должен мысленно в спокойной обстановке вспомнить весь материал, изученный за семестр, с тем, чтобы выявить разделы курса (предмета) слабо изученные или плохо понятые при

первоначальном изучении с целью устранения пробелов в своих знаниях. Для успешной подготовки к экзаменам студенту необходимо составить себе своеобразный рабочий график, в котором отразился бы последовательный переход от темы к теме, от раздела к разделу. Во время подготовки к экзаменам могут появиться вопросы. Их нужно записать и получить ответ на предэкзаменационных консультациях. На консультациях преподаватель интересуется, как студентами изучены темы, пройденные в учебном процессе, при необходимости он разъясняет отдельные вопросы этих тем. Иногда преподаватель делает сжатый обзор важнейших тем курса, отмечает те вопросы, на которые студенты, ранее сдававшие экзамен, отвечали плохо. Во время подготовки к экзамену студенту необходимо просмотреть и собственные конспекты прослушанных лекций и самостоятельно проработанных тем семинарских занятий. Это позволит ему восстановить в памяти ранее изученные положения, выявить пробелы в своих знаниях и восполнить их из других источников. Значение предэкзаменационных консультаций очень велико. Они призваны: 1) помочь устранить пробелы в знаниях; 2) помочь систематизировать весь ранее изученный материал; 3) информировать студентов о новейших сведениях по тому предмету, который изучен последним.

Экзамен проводится в форме устного опроса.

Вопросы к экзамену:

Знать

2. Нормативные документы по проектированию СЭС ПП.
3. Этапы и стадии проектирования СЭС ПП.
4. Основные требования к системам электроснабжения
5. Методы определения расчетных электрических нагрузок и рекомендации по их использованию.
6. Определение расчетных электрических нагрузок от однофазных электроприемников и пиковых нагрузок.
7. Расчет нагрузки электроприемников напряжением выше 1 кВ.
8. Определение расчетной нагрузки промышленного предприятия.

9. Определение условного центра электрических нагрузок и построение картограммы нагрузок
10. Построение картограммы нагрузок.
11. Выбор мощности трансформаторов главной понижающей подстанции.
12. Основные требования к схемам СЭС.
13. Общие принципы построения схем электроснабжения промышленных предприятий.
14. Схемы электрических сетей внутри объекта на напряжении 6... 10 кВ.
15. Режимы работы электрических сетей промышленного предприятия.
16. Определение мощности батарей конденсаторов в сетях напряжением выше 1000 В.
17. Определение реактивной мощности, генерируемой СД.
18. Предварительный выбор числа цеховых трансформаторов на предприятии.
19. Выбор оптимального числа трансформаторов цеховых подстанций.
20. Выбор сечений кабельных линий.
21. Выбор сечений шинопроводов.
22. Выбор сечений воздушных линий электропередач.
22. Комплектные трансформаторные блочные подстанции напряжения 35-220 кВ.
23. Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией.
24. Комплектные трансформаторные подстанции 10(6) кВ промышленного типа.
25. Низковольтные комплектные устройства.
26. Условия сопоставимости вариантов инвестирования
27. Оценка эффективности инвестиций
28. Учет изменения во времени приведенных затрат
29. Переходный процесс при КЗ. Основные соотношения между токами при трехфазном КЗ.
30. Допущения при расчете токов КЗ.
31. Система относительных единиц. Определение результирующих сопротивлений.
32. Расчет токов КЗ в СЭС.
33. Определение токов КЗ по расчетным кривым.
34. Способы ограничения токов КЗ.
35. Схемы защиты силовых трансформаторов и линий отходящих от ГПП.
36. Источники оперативного тока.
37. Выбор плавких предохранителей на напряжение до 1000 В.
38. Выбор плавких предохранителей на напряжение выше 1000 в
39. Выбор автоматических выключателей
40. Комплектные распределительные устройства стационарного исполнения внутренней установки напряжением 10 кВ
41. Комплектные распределительные устройства выкатного исполнения внутренней установки напряжением 10 кВ
42. Моноблок «Ладога» компании ОАО «ПО Элтехника»
43. Комплектные распределительные устройства наружной установки
44. Выбор комплектного распределительного устройства.
45. Автоматические выключатели и контакторы
46. Низковольтные комплектные устройства «Нева» ЩО-2000
47. Низковольтное коммутационное оборудование

48. Низковольтные сборки типа TUR
49. Выбор однолинейной схемы ГПП
50. Однолинейные схемы РП
51. Однолинейные схемы цеховых ТП
52. Компоновки открытых и закрытых распределительных устройств (подстанций)
53. Способы повышения надежности и
54. Способы резервирования
55. Основные направления энергосбережения.
56. Потери электроэнергии в электрических сетях.
57. Повышение эффективности электросбережения многоотраслевых технологических процессов и оборудования
58. Конструктивное исполнение ГПП
59. . Конструктивное РП
60. Конструктивное исполнение цеховых ТП
61. Конструкция кабельной линии

Уметь,

Владеть

Задача 1.

Выбрать аппарат защиты и токопровод для компрессора $P_n = 50$ кВт $\cos \varphi = 0,86$, КПД = 0,9. Категория надежности ЭП II.

Выбрать высоковольтный кабель и проверить его по потере напряжения и термическую стойкость.

$S_{расч} = 732$ кВА; $U_n = 6$ кВ; $l = 0,62$ км; $I_{но} = 7,2$ кА; $t_{сз} = 0,12$ сек; $T_a = 0,05$ сек; $t_v = 0,04$ сек.

Цеховые ТП



Задача 2.

Выбрать марку и сечение проводника при следующих условиях прокладки:

$U_n = 0,4$ кВ, $t^0 C = 25^0 C$; $P_n = 70$ кВт $\cos \varphi = 0,81$, КПД = 0,87, помещение химически агрессивной средой.

Задача 3.

Выбрать автоматический выключатель для шлифовального станка $U_n = 0,4$ кВ, $P_n = 45$ кВт, ПВ = 60%, $\cos \varphi = 0,92$, КПД = 0,86.

Задача 4.

Выбрать аппарат защиты для пресса $P_n = 65$ кВт $\cos \varphi = 0,75$, КПД = 0,75. Категория надежности III.

Задача 5.

Выбрать марку и сечение проводника при следующих условиях прокладки: $U_n = 0,4$ кВ, $t^0 C = 30^0 C$ влажность в помещении 70 %; $P_n = 70$ кВт $\cos \varphi = 0,81$, КПД = 0,87.

Задача 6.

Выбрать марку и сечение проводника при следующих условиях прокладки:

$U_n = 0,4$ кВ, $t^0 C = 50^0 C$ производство пыльное, пыль не токопроводящая.

$P_n = 90$ кВт $\cos \varphi = 0,86$, КПД = 0,9.

Задача 7.

Выбрать распределительный пункт (РП) для пяти потребителей: $\cos \varphi = 0,87$,

КПД = 0,65 $P_{1н} = 15$ кВт, $P_{2н} = 28$ кВт, $P_{3н} = 35$ кВт, $P_{4н} = 35$ кВт, $P_{5н} = 35$ кВт.

$U_n = 0,4$ кВ.

Задача 8.

Выбрать распределительный пункт (РП) для потребителей со следующими паспортными данными: $\cos \varphi = 0,75$, КПД = 0,85, $P_{1н} = 80$ кВт, $P_{2н} = 65$ кВт, $P_{3н} = 78$ кВт. $U_n = 0,4$ кВ.

Задача 9.

Выбрать автоматический выключатель для шлифовального станка $U_n = 0,4$ кВ, $P_n = 72$ кВт, ПВ = 40%, $\cos \varphi = 0,85$, КПД = 0,8.

Задача 10.

В цехе установлено:

Вентиляторы $n_1 = 4$, $P_{н1} = 15$ кВт, $K_{u1} = 0,55$, $\cos \varphi = 0,7$.

Компрессоры $n_2 = 2$, $P_{н2} = 40$ кВт, $K_{u2} = 0,40$, $\cos \varphi = 0,75$.

Токарные станки $n_3 = 6$, $P_{н3} = 10$ кВт, $K_{u3} = 0,50$, $\cos \varphi = 0,8$.

Рассчитать полную мощность, потребляемую группой этих ЭП.

Задача 11.

В цехе установлено:

Краны мостовые $n_1 = 2$, $P_1 = 55$ кВт, $K_{u1} = 0,35$, $\cos \varphi = 0,7$.

Шлифовальные станки $n_2 = 6$, $P_2 = 7,5$ кВт, $K_{u2} = 0,4$, $\cos \varphi = 0,8$.

Вентиляторы $n_3 = 3$, $P_3 = 15$ кВт, $K_{u3} = 0,42$, $\cos \varphi = 0,75$.

Рассчитать полную мощность, потребляемую группой этих ЭП.

Задача 12.

Выбрать аппарат защиты и токопровод для насоса $P_n = 75$ кВт $\cos \varphi = 0,95$, КПД = 0,85. Категория надежности ЭП II.

Задача 13.

Выбрать марку и сечение проводника при следующих условиях прокладки:

$U_n = 0,4$ кВ, $t^0 \text{ C} = 20^0 \text{ C}$ производство пыльное, пыль не токопроводящая.

$P_n = 75$ кВт $\cos \varphi = 0,76$, КПД = 0,85.

Задача 14.

Выбрать распределительный пункт (РП) для потребителей со следующими паспортными данными: $\cos \varphi = 0,8$, КПД = 0,92, $P_{1н} = 30$ кВт, $P_{2н} = 45$ кВт, $P_{3н} = 67$ кВт. $U_n = 0,4$ кВ.

Задача 15.

В цехе установлено:

Вентиляторы $n_1 = 4$, $P_{н1} = 15$ кВт,

Станки с ЧПУ $n_2 = 2$, $P_{н2} = 40$ кВт,

Сверлильные станки $n_3 = 6$, $P_{н3} = 10$ кВт,

Рассчитать полную мощность, потребляемую группой этих ЭП.

Задача 16.

В цехе установлено:

Элеваторы $n_1 = 2$, $P_1 = 55$ кВт,

Точильные станки $n_2 = 6$, $P_2 = 15$ кВт,

Вентиляторы $n_3 = 3$, $P_3 = 15$ кВт,

Рассчитать полную мощность, потребляемую группой этих ЭП.

Задача 17.

Выбрать распределительный пункт (РП) для пяти потребителей: $\cos \varphi = 0,72$, КПД = 0,8 $P_{1н} = 22$ кВт, $P_{2н} = 18$ кВт, $P_{3н} = 55$ кВт, $P_{4н} = 50$ кВт, $P_{5н} = 35$ кВт. $U_n = 0,4$ кВ.

Вопросы (задача, задание) для проверки уровня обученности на повышенном уровне
Знать

1. Классификацию способов определения расчетных нагрузок
2. Способы построения зоны рассеяния центра электрических нагрузок и определения места центра электрических нагрузок предприятия
3. Методы экономического сравнения схем электроснабжения с разной степенью надежности.
4. Методику расчета токов КЗ с учетом электродвигателей.
5. Знать автоматику трансформаторных подстанций
6. Знать микропроцессорные защиты, используемые в системах электроснабжения
7. Знать схемы специфических подстанций
8. Знать принципы и этапы внедрения системы энергоменеджмента.

Уметь,

Владеть

Задача 1.

Выбрать троллейный шинопровод для двух мостовых кранов со средним режимом работы, грузоподъемностью 10 и 15 тонн. На первом кране установлены короткозамкнутые двигатели с номинальной мощностью $P_1=33$ кВт (подъем 16 кВт, тележка – 2 кВт, передвижение моста – $2 \cdot 7,5$ кВт); на втором кране установлены короткозамкнутые двигатели с номинальной мощностью $P_2=56$ кВт (подъем 22 кВт, тележка – 5 кВт, передвижение моста – $2 \cdot 7,5$ кВт).

Проверить выбранный шинопровод на потерю напряжения при $U=380$ В в расчетном пролете, $L_{расч}=65$ м, с учетом потерь в магистральном шинопроводе ШМА-73, от которого питается троллейный шинопровод, ШТМ-75. Для АД к.п.д равен 0,91, коэффициент реактивной мощности 0,65, кратность пускового тока равна 6.

Задача 2.

Рассчитать и выбрать плавкие вставки для предохранителей типа ПН-2, защищающих линии, показанные на рисунке 1 и уставку срабатывания автоматического выключателя типа АЗ730С, защищающего распределительный шинопровод. Номинальные данные двигателей, подключенных к силовому шкафу, СШ, следующие:

$P_{1ном} = P_{2ном} = 13$ кВт; $\eta_1 = \eta_2 = 0,84$; $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = 0,83$;

$P_{3ном} = P_{4ном} = 7,5$ кВт; $\eta_3 = \eta_4 = 0,83$; $\cos \varphi_3 = \cos \varphi_4 = 0,82$;

Номинальный ток шинопровода 250 А. Ток трехфазного КЗ в точке K_1 – 6,3 кА, в точке K_2 – 3,2 кА, в точке K_3 – 3,18 кА. Ток однофазного КЗ в точках K_1, K_2, K_3 соответственно, $I^{(1)}_{K1} = 1,5$ кА, $I^{(1)}_{K2} = 800$ кА, $I^{(1)}_{K3} = 750$ кА.

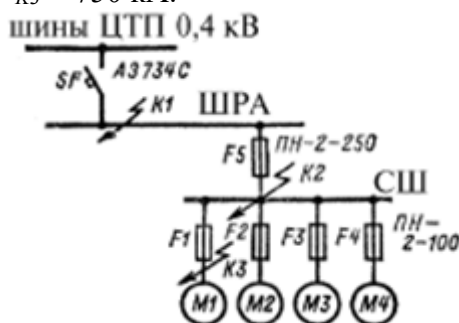


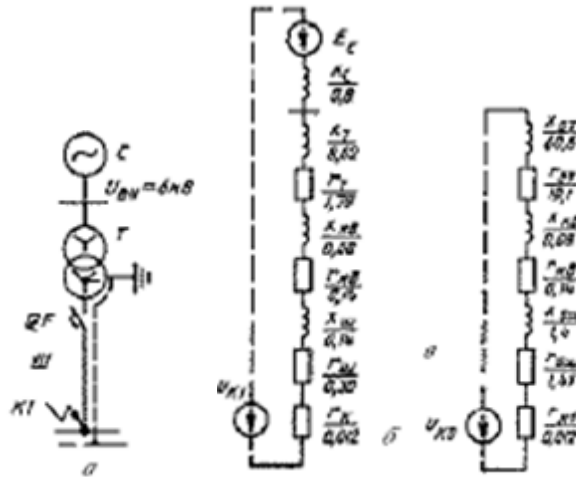
Рисунок 1 - Схема сети

Задача 3.

Четыре шинопровода типа ШРА73-250 подключаются к ЦТП с помощью магистрального шинопровода, проложенного поперек цеха. Размеры цеха 30х70 м. Расчетная нагрузка каждого распределительного шинопровода 200 А. Номинальная мощность двигателя с наибольшим пусковым током 40 кВт, $I_{ном}=70$ А, $I_{пуск}=435$ А. Выбрать тип магистрального шинопровода, тип автоматического выключателя и его уставки для защиты шинопровода. Произвести проверку шинопровода.

Задача 4.

Для схемы, приведенной на рисунке, определить токи при трех- и однофазном КЗ в точке К1.



а) расчетная схема; б) схема замещения прямой последовательности; в) схема замещения нулевой последовательности. Исходные данные.

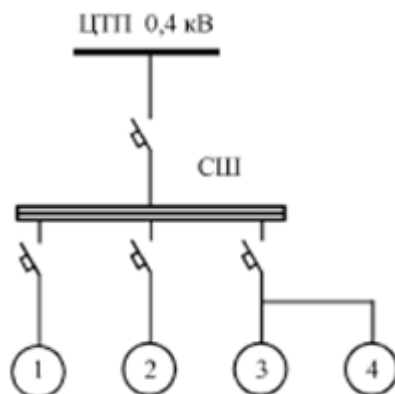
Система С: $S_x=200$ МВ*А; $U_{ср.ВН}=6,0$ кВ.

Трансформатор Т: ТС=1000/6; $S_{Т.ном.}=1000$ кВА; $U_{ВН}=6,3$ кВ; $U_{НН}=0,4$ кВ; $P_{Т.ном.}=11,2$ кВт; $u_x=5,5\%$.

Автоматический выключатель «Электрон» QF: $r_{кз}=0,14$ мОм; $r_{кз}=0,08$ мОм.

Задача 5.

От шин цеховой трансформаторной подстанции (ЦТП), показанной на рисунке, получает питание силовой шкаф (СШ) с автоматическими выключателями, к которому присоединяются 4 асинхронных двигателя (1-4) с короткозамкнутым ротором.



Все двигатели и пусковая аппаратура установлены в помещении с нормальной средой. Технические данные электродвигателей приведены в таблице.

Номер эл.	Тип эл.	Номинальная	Номинальный	Кратность	Пусковой

двигателя	двигателя	мощность, кВт	ток, А	пускового тока	ток, А
1	4A250M8Y3	45	89,55	6,0	537,3
2	4A250M8Y3	45	89,55	6,0	537,3
3	4A250M6Y3	75	16,47	6,0	98,84
4	4A250M6Y3	75	16,47	6,0	98,84

Режим работы двигателей исключает возможность длительных перегрузок, условия пуска легкие, самозапуск крупных двигателей исключен. Один из двигателей (1 или 2) находится в резерве, остальные могут работать одновременно. Требуется определить номинальные токи расцепителей автоматических выключателей и выбрать сечение проводов и кабелей из условий нагрева и соответствия токам расцепителей.

Задача 6.

Выбрать число и мощность силовых трансформаторов для механического цеха с учетом компенсации реактивной мощности. Средние активная и реактивная нагрузки цеха за наиболее загруженную смену составляют: $P_{\text{см}} = 14950$ кВт, $Q_{\text{см}} = 13870$ квар. Напряжение питающей сети 10 кВ. Цех работает в две смены, завод расположен в Сибири. Удельная плотность нагрузки цеха $0,25$ кВА/м². Потребители цеха относятся ко II категории по надежности. Цеховые трансформаторы питаются по магистральной схеме, длина линий в пределах 2 км.

Задача 7.

Определить ток трехфазного КЗ в точках К1, К2, К3 (рисунок 1). Питание осуществляется от системы бесконечной мощности. Параметры, необходимые для расчета приведены на рисунок 1, а Расчет выполнить в относительных единицах.

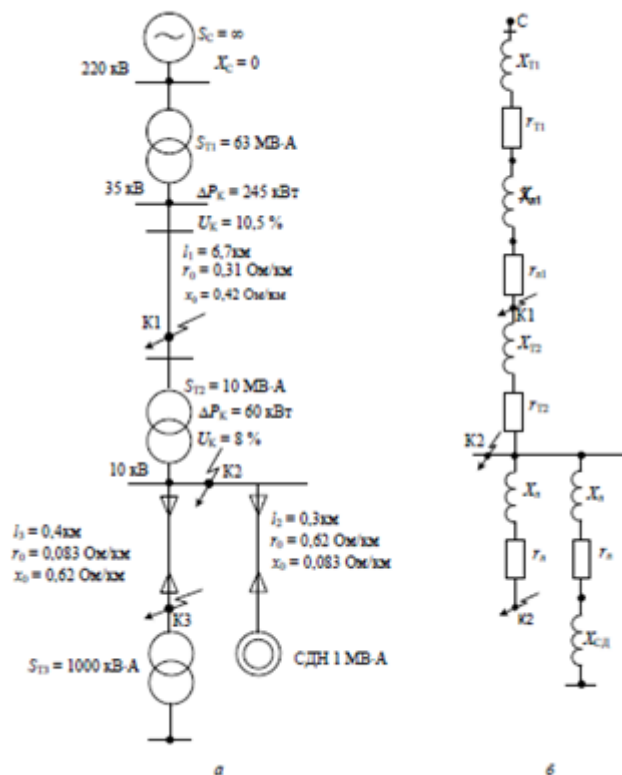


Рисунок 1 – Электрическая схема и схема замещения сети

Задача 8.

Определить ток трехфазного КЗ в точках К1, К2, К3 (рисунок 1). Питание осуществляется от системы бесконечной мощности. Параметры, необходимые для расчета приведены на рисунок 1,а. Расчет выполнить в именованных единицах.

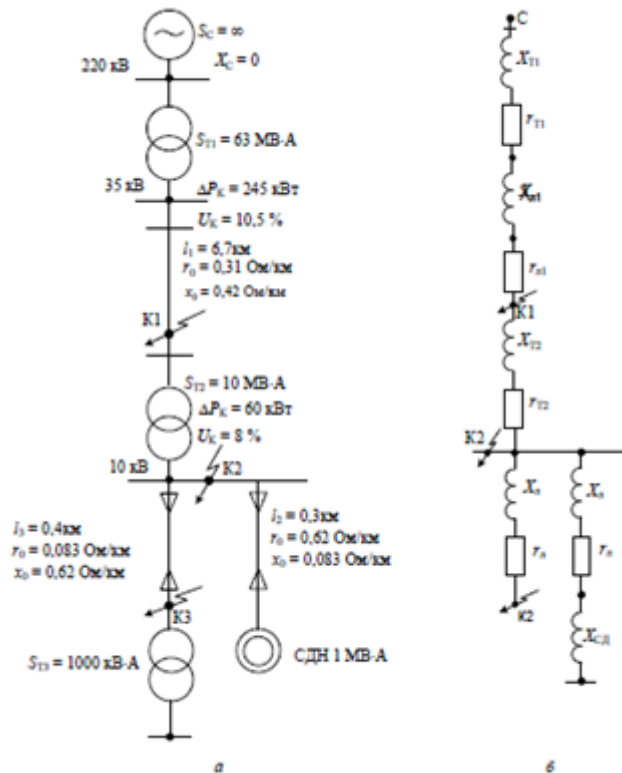


Рисунок 1 – Электрическая схема и схема замещения

Задача 9.

Выбрать число мощности силовых трансформаторов для компрессорной станции с учетом компенсации реактивной мощности, рассчитать суммарную реактивную нагрузку на шинах 10 кВ РП компрессорной станции (рисунок 1) с учетом мощности генерируемой синхронными двигателями. Нагрузка компрессорной на напряжении 0,4 кВ составляет $P_p = P_{см} = 2880$ кВт, $Q_p = Q_{рт} = Q_{см} = 2150$ квар. Компрессорная работает в две смены и расположена в Сибири. Удельная плотность нагрузки компрессорной составляет $0,2$ кВт А/м². Технические данные синхронных двигателей, установленных в компрессорной:

Активная мощность $P_{ном сд}$, кВт	2500
Реактивная мощность $Q_{ном сд}$, квар	1265
Частота вращения n , об/мин	1000
Коэффициент загрузки $K_{сд}$	0,85
Коэффициент мощности $\lg \varphi (\cos \varphi)$	0,84 (0,9)
Количество рабочих СД	7(6+1 резервный)

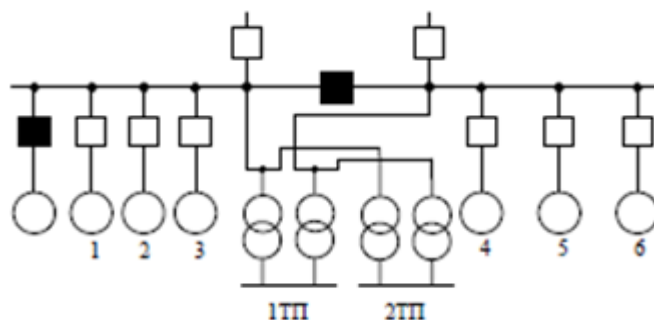


Рисунок 1 - Схема электроснабжения

Задача 10.

Рассчитать мощность компенсирующих устройств для механического завода, расположенного в Сибири. Предприятие работает в две смены. Питание завода осуществляется от ГПП – 110/10 кВ с двумя трансформаторами мощностью 25000 кВ А. Схема электроснабжения завода приведена на рисунке 1. Наибольшие расчетные нагрузки объектов приведены в таблице 1. Экономическая входная реактивная мощность на стороне 110 кВ ГПП, которая задается энергосистемой по наибольшей реактивной мощности предприятия $Q_{M1} = K_{нс.в} Q_p = 0,85 * 22353 = 19000$ квар, составляет $Q_{э1} = 10780$ квар.

Расчетные активные и реактивные нагрузки предприятия

Наименование объекта	Расчетные нагрузки			Количество и мощность цеховых трансформаторов, шт.*кВА	$\Delta Q_{цт}$ квар	$Q_{нк}$ кВ А
	P_p , кВт	$Q_p (Q_p \tau)$, квар	S_p , кВа			
Главный корпус (0,4 кВ)	15500	12400	19850	13*1600	975	6330
Механический цех (0,4 кВ)	14950	13870	20356	12*1600	900	6263,5
Блок вспомогательных цехов (0,4 кВ)	8100	5200	9625	6*1600	450	1680
1РП Компрессорная, в том числе: силовое электрооборудование (0,4 кВ)	15630 2880	-7620 2150	3594	4*1000	196	720
Синхронные двигатели при $\cos \varphi = 1$ (10 кВ)	12750	-9246	15750			
Прочие потребители	1620	987	1897	3*1000	147	-
Всего на шинах 10 кВ ГПП 110/10	55800	24837	61078		2668	14993,5
Итого: с учетом коэффициента максимумов нагрузок $K_m = 0,95$	53010	22353	57530		2668	14993,5

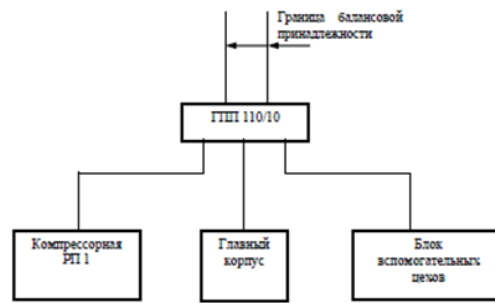


Рисунок 1 – схема электроснабжения механического завода

Задача 11.

На предприятии работают 1000 электродвигателей трехфазного тока 380 В, средняя номинальная мощность которых $P_{cp} = 25$ кВт. Распределительная сеть радиальная, выполнена проводом, проложенным в газовых трубах. Средняя длина каждой линии $l_{по} = 20$ м, средний коэффициент использования двигателя $k_{и.ср} \approx 0,7$

Определить, как изменятся потери в распределительной сети при напряжении 660 В при том же сечении провода.

Задача 12.

Определить наиболее экономичную мощность двухобмоточного трансформатора 10/0,4 (0,69) кВ при расчетных нагрузках 0,8 МВт; 0,6 Мвар. Реактивная нагрузка не компенсируется. Значения других параметров: $T_r = 8600$ ч/год; $T_m = 7200$ ч/год. Стоимость активных потерь равна $C_0 = 0,18$ руб/кВт ч.

Задача 13.

Определить максимальную нагрузку группы электроприемников состоящей из:

- трех асинхронных двигателей мощностью по 40 кВт, двух двигателей мощностью по 60 кВт с $\cos\varphi = 0,8$ и коэффициентом использования равным 0,4;
- одного двигателя мощностью 40 кВт, пяти двигателей по 15 кВт с $\cos\varphi = 0,8$ и коэффициентом использования равным 0,6;
- десяти электродвигателей разной мощности от 3 до 15 кВт с общей мощностью 120 кВт, коэффициентом использования равным 0,4 и ; $\cos\varphi = 0,65$.

Задача 14.

Расчетная нагрузка цеха на шинах 0,4 кВ составляет $S_p = 886,5$ кВА, $T_{max} = 2500$ ч. Потребители относятся ко 2-й категории. Выбрать число и мощность трансформаторов ТП. Удельный ущерб от аварийного перерыва электроснабжения составляет $y_0 = 720$ руб/кВт-ч.

Задача 15.

К КТП цеха размером 30х70 м присоединены четыре распределительных шинопровода, к которым подключаются отдельные электроприемники с суммарной нагрузкой мощностью $P = 420$ кВт при $\cos\varphi = 0,8$ и напряжении 380/220 В. Наибольшая мощность одного электродвигателя $P_{max} = 40$ кВт, $I_{НОМ1} = 70$ А, $I_{пуск} = 435$ А.

Выбрать тип распределительного шинопровода, сечение и марку кабелей для присоединения каждого ШРА к КТП, тип автомата и уставку его защиты.

Задача 16.

Определить годовые потери электроэнергии в трансформаторе мощностью $S_{НОМ} = 400$ кВ • А, напряжением 10/0,4 кВ. Максимальная нагрузка на трансформаторе $S_{max} = 295$ кВ • А при среднем коэффициенте мощности $\cos\varphi = 0,8$ и числе часов использования максимума $T_{max} = 3500$ ч.

Задача 17.

Средняя нагрузка цеха №1 800 кВА, а цеха №2 400 кВА. Средний коэффициент мощности 0,85. Расстояние между цехами 200 м. Стоимость потерь 18,6 тыс. руб/(кВт-год). Требуется решить, нужно ли сооружать подстанцию также при цехе № 2 (вариант 1) или питать его от подстанции при цехе № 1 (вариант 2).

Задача 18.

Для питания производственного корпуса, максимальная и средняя нагрузка которого 14 и 12 МВА, сооружаются пять двухтрансформаторных подстанций с трансформаторами 1,6 МВА. Выяснить, выгодно ли питать все трансформаторы радиальными линиями кабелями $3 \times 95 \text{ мм}^2$ (вариант 1) или при одной из цеховых подстанций выгодно оборудовать РП, к шинам 6 кВ которого присоединить трансформаторы (вариант 2). Расстояние от ГПП до РП 0,3 км. Стоимость активных потерь 18,6 тыс. руб/кВт в год. При варианте 2 общая длина линий к отдельным трансформаторам уменьшается на 4 км.

Задача 19.

Выбрать способ питания восьми трансформаторов 10/0,4 кВ, 1,6 МВА радиальными линиями при $l_{\text{нб}} = 0,4 \text{ км}$ или магистральными линиями по два трансформатора на линию (среднее расстояние между ними 0,1 км). Средняя нагрузка трансформатора 1,2 МВА, стоимость активных потерь 18,6 тыс. руб/кВт в год.

Вопросы для собеседования

по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий»

Вопрос 1.

На какие параметры влияет режим заземления нейтрали в сети 10 кВ промышленного предприятия

Вопрос 2.

На какие параметры влияет режим заземления нейтрали в сети 0,4 кВ промышленного предприятия

Вопрос 3.

Чему равно напряжение в поврежденной фазе и напряжения неповрежденных фаз относительно земли при возникновении однофазного замыкания в сети с изолированной нейтралью?

Вопрос 4.

Как изменяются зарядные токи неповреждённых фаз в сети с изолированной нейтралью при однофазном замыкании на землю?

Вопрос 5. От каких параметров зависит величина коэффициента максимума активной мощности?

Вопрос 6.

При какой мощности, в случае магистрального питания ТП, на вводе трансформатора устанавливается разъединитель и предохранитель?

Вопрос 7.

Трансформаторы какой номинальной мощности нужно использовать при плотности нагрузки более 0,4 кВА/м²?

Вопрос 8.

С учетом каких факторов определяется минимальное значение нормы дисконтирования при сравнении вариантов системы электроснабжения?

Вопрос 9.

Какое максимальное количество кабелей допускается прокладывать по территории предприятия при прокладке в земляных траншеях?

Вопрос 10.

В каких случаях допускается не учитывать активные сопротивления при расчете токов КЗ в сети 0,4 кВ?

Вопрос 11.

В зданиях с какими категориями взрывопожарной опасности допускается размещение силовых трансформаторов ?

Вопрос 12.

Какой объем маслоприемника предусматривается в КТП с масляными трансформаторами?

Вопрос 13.

В каких случаях открытые токопроводы с жесткой ошиновкой выполняются из шин швеллерного профиля?

Вопрос 14.

Как корректируется допустимый ток медного экрана кабеля СПЭ, если его время протекания составляет не 1 сек, а 0,2 сек?

Вопрос 15.

С какой стороны заземляются экраны кабелей из сшитого полиэтилена?

Вопрос 16.

Какие токи должны выдерживать в течение одного часа плавкие предохранители?

Вопрос 17.

По какому условию проверяется предохранитель, идущий к одиночному двигателю с частыми пусками и большой длительностью пускового периода?

Вопрос 18.

По какому условию проверяется предохранитель защиты линии, питающей силовую и смешанную нагрузку?

Вопрос 19.

Укажите условия срабатывания автоматического выключателя по пиковому току.

Вопрос 20.

Укажите условия срабатывания автоматического выключателя по отключающей способности выключателя.

Вопрос 21.

Какие уровни напряжения необходимо поддерживать на шинах 10 кВ ЦП, если величина суммарных нагрузочных потерь электроэнергии - 800 кВт, а суммарных потерь холостого хода – 300 кВт?

Вопрос 22.

Как принять решения о точке размыкания кольцевой сети, если точки потокораздела по активной и реактивной мощности разные?

Вопрос 23.

Как изменяются потери мощности в сети, состоящей из двух параллельно работающих трансформаторов, питающихся по двухцепной линии при отключении одного из трансформаторов нагруженных на 60%?

Вопрос 24.

Какой параметр необходимо знать для выбора номинальных мощностей силовых трансформаторов в селитебной зоне?

Вопрос 25.

В каком случае местоположение ГПП необходимо рассчитывать по полной мощности?

Вопрос 26.

Как определяется масштаб для определения площади круга при построении картограммы нагрузок

Вопрос 27. В каком случае картограмма строится по активной мощности, а в каком по полной?

Вопрос 28.

От каких параметров зависит величина сектора осветительной нагрузки?

Вопрос 29.

Как на картограмме нагрузок различаются высоковольтная и низковольтная нагрузки?

Вопрос 30.

По каким критериям выбирается схема ОРУ главной понизительной подстанции?

Вопрос 31.

В каких случаях рекомендуется использовать двухтрансформаторные подстанции во внутривоздушной сети?

Вопрос 32. Трансформаторы какой мощности рекомендуется использовать при плотности нагрузки 0,22 кВА/м²?

Вопрос 33.

В каких случаях при разработке вариантов СЭС целесообразно использовать сухие трансформаторы?

Вопрос 34.

В каких случаях при разработке вариантов СЭС целесообразно использовать трансформаторы, заполненные негорючим материалом?

Вопрос 35.

Каким нормативным документом необходимо руководствоваться при определении расчетной нагрузки?

Вопрос 36.

Каким нормативным документом необходимо руководствоваться при компенсации реактивной мощности

Вопрос 37.

Каким нормативным документом необходимо руководствоваться при расчетах потерь электроэнергии?

Вопрос 38.

Какими способами можно определить капитальные затраты на установку силовых трансформаторов?

Вопрос 39.

Как определить сопротивление системы при расчете токов КЗ, если мощность КЗ не известна?

Вопрос 40.

Почему в четырехпроводной сети 0,38 кВ применяется глухое заземление нейтрали, а в сети 10 кВ - нейтраль изолирована?

Вопрос 41.

Как определяются номинальные токи плавких вставок предохранителей для различных потребителей?

Вопрос 42.

Какие уровни напряжения необходимо поддерживать на шинах 10 кВ ЦП, если величина суммарных нагрузочных потерь электроэнергии - 800 кВт, а суммарных потерь холостого хода – 300 кВт?

Вопрос 43. Поясните как определяются граничные емкостные токи, начиная с которых должна применяться компенсация емкостного тока в сети 6-10 кВ?

Вопрос 44. Чему равно напряжение в поврежденной фазе и напряжения неповрежденных фаз относительно земли при возникновении однофазного замыкания в сети с изолированной нейтралью?

Вопрос 45. Как изменяются зарядные токи неповрежденных фаз в сети с изолированной нейтралью при однофазном замыкании на землю?

Вопрос 46. На какое время допускается не отключать линию в сети с изолированной нейтралью при однофазном замыкании на землю?

Вопрос 47.

Какой должна быть степень защиты распределительных пунктов в промышленных установках трехфазного тока на напряжение 380 В при закрытых дверцах для напольного и навесного исполнения?

Вопрос 48. Какую нагрузку принимают за расчетную при выборе трансформаторов?

Вопрос 49. К чему приводит использование компенсации реактивной мощности в сети промпредприятия?

Вопрос 51. Как изменится срок службы силового трансформатора при изменении температуры изоляции на 6 °С выше допустимой?

Вопрос 52. Какое число типоразмеров трансформаторов целесообразно использовать при проектировании СЭС?

Вопрос 53. Какие коэффициенты загрузки должны быть обеспечены для двухтрансформаторных подстанций, питающих потребителей 2 категории?

Вопрос 54. В каком случае возможно использование глухого присоединения трансформатора на стороне высокого напряжения?

Вопрос 55. При какой мощности, в случае магистрального питания ТП, на вводе трансформатора устанавливается предохранитель и выключатель нагрузки?

Вопрос 56. При какой мощности, в случае магистрального питания ТП, на вводе трансформатора устанавливается разъединитель и предохранитель?

Вопрос 57. Как изменится срок службы ламп накаливания при длительном повышении напряжения на 10 %?

Вопрос 58. Как выбирается значение нормы дисконтирования при сравнении вариантов СЭС?

Вопрос 59. Какие показатели оценки экономической эффективности проекта используются при сравнении вариантов СЭС?

Вопрос 60. На каком расчетном периоде рекомендуется рассматривать изменение показателей экономической эффективности для электрических сетей?

Вопрос 61.

Какое максимальное количество кабелей допускается прокладывать по территории предприятия при прокладке в кабельных сооружениях?

Вопрос 62. Какие допущения используются при расчете токов КЗ в сети 0,4 кВ?

Вопрос 63. В каких случаях асинхронные двигатели необходимо учитывать при расчете токов КЗ ?

Вопрос 64. Какие параметры необходимо задать для выбора силового пункта?

Вопрос 65. Какие распределительные шкафы рассчитаны на одностороннее обслуживание?

Вопрос 66. Чем определяется выбор степени защиты оборудования?

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка **«отлично»** выставляется студенту, если его ответ соответствует заданным параметрам. Сформированность компетенций на высоком уровне.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если его ответ соответствует заданным параметрам, но не точно используются, или нерационально подобраны средства для раскрытия темы. Сформированность компетенций на базовом уровне.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если его ответ соответствует заданным параметрам, но не точно используются, или нерационально подобраны, средства для раскрытия темы, оперирует неточными формулировками. Сформированность компетенций на удовлетворительном уровне.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, если его ответ не соответствует заданным параметрам, не освоен основной понятийный аппарат, оперирует неточными формулировками, нерационально подобраны средства для раскрытия темы. Сформированность компетенций слабая.

2. Описание шкалы оценивания

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным **55**. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя защиту лабораторных работ и обсуждение вопросов для самостоятельного изучения.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить следующие компетенции:

ПК-1. Способен участвовать в научно-исследовательской деятельности в области электроэнергетики

ПК-2. Способен проводить обоснование проектных решений в области электроэнергетики

ПК-3. Способен применять знание способов производства, транспорта и использования электроэнергии

ПК-4. Способность использовать современные цифровые технологии для решения режимно-технологических задач

Для подготовки к данному оценочному мероприятию необходимо в течение времени, отведенного на самостоятельную работу, подготовить ответы на вопросы. При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования справочной литературой. При проверке задания оцениваются последовательность и комплексность ответов.

Комплект заданий для курсового проекта по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий»

Исходные данные для курсового проекта приведены в методических указаниях по выполнению КП, содержат 50 вариантов задания.

Перечень подлежащих разработке вопросов при выполнении КП:

- описать технологию производства заданного промышленного предприятия с определением степени бесперебойности электроснабжения потребителей в цехах по категориям взрыво-, пожаро- и электробезопасности;
- определить расчетные нагрузки по предприятию и узлам нагрузки;
- выбрать напряжения системы электроснабжения
- выбрать количество и мощность цеховых трансформаторов;
- провести расчет компенсации реактивной мощности в сети 0,4 кВ и уточнить мощность цеховых трансформаторов;
- построить картограмму нагрузок завода;
- определить место расположения ГПП, РП и цеховых трансформаторных подстанций; выбрать количество и мощность трансформаторов на ГПП;
- выбрать схемы электроснабжения предприятия до шин 0,4 кВ цеховых трансформаторов с технико-экономическим обоснованием;
- провести расчет компенсации реактивной мощности в целом по заводу и уточнить мощность трансформаторов на ГПП;
- наметить точки короткого замыкания и провести расчет токов короткого замыкания;
- провести выбор оборудования на ГПП и РП;
- провести выбор сечения сетей напряжением выше 1000 В и способа их прокладки;
- изложить конструктивное исполнение элементов электрической сети;
- описать виды релейных защит для всех элементов схемы электроснабжения.

3. Перечень графического материала

1. Генеральный план завода с нанесением картограммы нагрузок, вариантов и результатов технико-экономического сравнения.
2. Однолинейная схема электроснабжения

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка **«отлично»** выставляется студенту, если расчетно-графическая работа выполнена верно и в полном объеме, а его ответ на защите соответствует заданным параметрам. Сформированность компетенций на высоком уровне.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если расчетно-графическая работы выполнена верно и в полном объеме, а его ответ соответствует заданным параметрам, но не точно используются, или нерационально подобраны средства для раскрытия темы. Сформированность компетенций на базовом уровне.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если расчетно-графическая работа выполнена верно и в полном объеме, а его ответ соответствует заданным параметрам, но не точно используются, или нерационально подобраны, средства для раскрытия темы, оперирует неточными формулировками. Сформированность компетенций на удовлетворительном уровне.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, если расчетно-графическая работа выполнена неверно и/или не в полном объеме. Сформированность компетенций слабая.

2. Описание шкалы оценивания

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным **55**. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

1. Критерии оценивания компетенций

Оценка **«отлично»** выставляется студенту, если его ответ соответствует заданным параметрам. Сформированность компетенций на высоком уровне.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если его ответ соответствует заданным параметрам, но не точно используются, или нерационально подобраны средства для раскрытия темы. Сформированность компетенций на базовом уровне.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если его ответ соответствует заданным параметрам, но не точно используются, или нерационально подобраны, средства для раскрытия темы, оперирует неточными формулировками. Сформированность компетенций на удовлетворительном уровне.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, если его ответ не соответствует заданным параметрам, не освоен основной понятийный аппарат, оперирует неточными формулировками, нерационально подобраны средства для раскрытия темы. Сформированность компетенций слабая.

2. Описание шкалы оценивания

Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным **55**. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Лыкин, А. В. Математическое моделирование электрических систем и их элементов : Учебное пособие / Лыкин А. В. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. – 227 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. – ISBN 978-5-7782-2262-5
2. Стрельников, Н. А. Электроснабжение промышленных предприятий / Н.А. Стрельников. - Новосибирск : НГТУ, 2013. - 100 с. - ISBN 978-5-7782-2193-2,
3. Сибикин, Ю. Д. Основы электроснабжения объектов / Ю.Д. Сибикин. - М.|Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 328 с. - ISBN 978-5-4458-5750-1

Дополнительная литература

4. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение : учеб. пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – Москва : РадиоСофт, 2014. – 328 с. : ил. ; 21. – Библиогр.: с. 326-327. – ISBN 978-5-93037-208-3
5. Справочник по проектированию электрических сетей / [И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро] ; под ред. Д. Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2012. – 376 с. : ил. – Библиогр.: с. 370-373. – ISBN 978-5-4248-0049-8
6. Шлейников, В. Б. Электроснабжение промышленных предприятий : практикум : учебное пособие / В.Б. Шлейников ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» ; Кафедра электроснабжения промышленных предприятий, 1. – Оренбург : ОГУ, 2012. – 99 с. : табл., схем. – <http://biblioclub.ru/>. – Библиогр.: с. 97.