Библиотека СОК

Н. А. ГУРИН
Г. И. ЯНУКОВИЧ

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И УСТАНОВОК

ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Допущено Министерством
народного образования БССР
в качестве учебного пособия
для учащихся средних специальных
учебных заведений
по специальности 18.04
"Монтаж и эксплуатация
электрооборудования предприятий
и гражданских зданий"

Минск "Вышэйшая школа" 1990

ББК 31.29—5я 723
Г 95
УДК 378.147.85:621.31.001.63 (075.32)

Р е ц е н з е н т ы: преподаватель Молодечненского политехникума *А.В.Дробышевский;* кафедра "Электроснабжение промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства" Белорусского политехнического института

Гурин Н.А., Янукович Г.И.

Г 95 Электрооборудование промышленных предприятий и установок. Дипломное проектирование: Учеб. пособие. — Мн.: Выш. шк., 1990. — 238 с.: ил.

ISBN 5-339-00457-0.

Пособие содержит рекомендации по организации процесса дипломного проектирования, методику технико-экономических расчетов с применением вычислительной техники. В приложениях дан необходимый справочный материал.

Предназначается учащимся средних специальных учебных заведений по специальности 18 04 "Монтаж и эксплуатация электрооборудования предприятий и гражданских зданий", может быть полезно студентам электротехнических специальностей.

Г 2202090000—046 / М304 (03)—90 — 77—90

ББК 31.29-5я723

ISBN 5-339-00457-0

© Н.А.Гурин, Г.И.Янукович, 1990

ПРЕДИСЛОВИЕ

Возрастающая роль энергетического комплекса, являющегося одной из безусловных предпосылок решения многих народнохозяйственных задач отражена в Энергетической программе СССР, реализация которой будет закончена к 2000 году [13].

Энергетической программой СССР предусматривается крупная перестройка в промышленности и коренное совершенствование структуры энергопотребления с целью экономии энергии во всех сферах народного хозяйства. Намечается завершить создание Единой энергетической системы страны путем сооружения линий электропередачи напряжением 1150 кВ переменного тока и 1500 кВ постоянного тока, а также значительно улучшить качество отпускаемой потребителям электроэнергии.

В машиностроении и приборостроении будет освоен выпуск эффективного энергосберегающего оборудования и технических средств для регулирования и контроля потребления энергоресурсов.

В электротехнической промышленности планируется создать необходимый научно-технический потенциал для производства электрооборудования на основе сверхпроводимости и использования нетрадиционных источников энергии.

Для реализации задач, намеченных Энергетической программой СССР, потребуется около 20—25 % средств от общего объема капитальных вложений в народное хозяйство.

Дипломное проектирование — это завершающий этап в обучении учащихся техникумов. Его целью является обобщение знаний выпускников по общим и специальным предметам, привитие навыков самостоятельной работы. Учащиеся должны научиться увязывать вопросы энергетики с задачами современности в области научно-технического прогресса.

Данная книга представляет собой учебное пособие по дипломному проектированию для учащихся техникумов по специальности 0303. Она содержит методические рекомендации по организации дипломного проектирования, теоретические и справочные материалы.

В пособии подробно рассмотрены основные технические вопросы проектирования. Вместе с тем большое внимание уделено экономии электрической энергии, экологии окружающей среды, использованию вычислительной техники при выполнении дипломных проектов, технико-экономическим расчетам.

Учебное пособие составлено на основании "Инструкции по дипломному проектированию и защите дипломных проектов в средних специальных учебных заведениях", действующих стандартов, нормативов на проектирование, Правил устройства электроустановок (ПУЭ) и опыта организации дипломного проектирования по специальности "Электрооборудование промышленных предприятий и установок" в техникумах.

Авторы

ГЛАВА 1

ОРГАНИЗАЦИЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА УЧАЩЕГОСЯ В ПЕРИОД ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Рациональная организация труда способствует четкости и ритмичности работы над проектом, обеспечивает качественное и своевременное его выполнение, развивает творческие способности учащегося. Организованный труд позволяет при минимальных затратах добиться высоких результатов.

Основными элементами рациональной организации труда учащегося в период дипломного проектирования являются: плановость, режим дня, организация рабочего места, умение работать самостоятельно. Общий план работы над проектом задается руководителем в задании на дипломное проектирование. Для его реализации учащемуся следует решить ряд конкретных технических задач: разобраться с материалами преддипломной практики и систематизировать их, подобрать типовой проект электрификации аналогичного объекта, разыскать и познакомиться со специальной и справочной литературой, каталогами, стандартами, ценниками, нормативными документами.

Начиная с первого дня работы над проектом рекомендуется составлять на следующий день план работы по сбору, обработке и накоплению материалов к дипломной работе. Он должен быть увязан с расписанием занятий и консультаций, а также внеучебными мероприятиями. Отведенное на дипломное проектирование время (60 дней) следует всемерно экономить, работать ритмично, выполнять задания в соответствии с установленным графиком.

Важное место в организации труда учащегося играет режим дня. Нужно помнить, что наивысшей производительности труда человек достигает в период с 9 до 13 ч и с 16 до 18 ч. Через каждые 45—50 мин работы нужно делать пятиминутные перерывы, а через 2—3 ч устраивать перерывы на 10—15 мин с разными формами отдыха. Желательно в это время выполнить несколько физических упражнений.

Подготовка рабочего места заключается в том, чтобы все канцелярские принадлежности, книги и справочники были рационально размещены. Желательно, чтобы это место было постоянным, так как человек привыкает к нему, знакомая обстановка помогает ему быстрее включиться в работу и способствует более производительному труду.

Умение самостоятельно работать с литературой является неотъемлемым условием успешного выполнения проекта. При работе над книгой рекомендуется ее просмотреть, найти нужный вопрос, изучить его и законспектировать в рабочей тетради. Кроме того, необходимо постепенно в течение всего периода дипломного проектирования составлять список использованной литературы с точным указанием автора, названия книги, места и года издания. Литературу следует пронумеровать и в случае необходимости ссылаться на нее в тексте пояснительной записки, например [5].

Работа над дипломным проектом — это творческий процесс,и нельзя ограничиться лишь готовыми формулами из учебников. Следует регулярно читать

периодическую специальную и общественно-политическую литературу, изучать передовой производственный опыт, анализировать полученную информацию и использовать ее при выполнении дипломного проекта и его защите.

1.2. ДИПЛОМНОЕ ЗАДАНИЕ И ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Выбор темы дипломного проекта — ответственный для учащегося момент. Этот процесс начинается задолго до преддипломной практики и заканчивается официальным получением учащимся задания не позднее чем за 2 недели до нее. Тема должна быть реальной, поэтому подбирается она с учетом места прохождения практики и профиля избранной специальности. Кроме того, должны учитываться индивидуальные наклонности дипломника.

Дипломное проектирование может осуществляться по направлениям А, Б, В, Г. В направление А входят темы по электрооборудованию и электроснабжению цеха (участка), в направление Б — по электроснабжению завода (предприятия), в направление В — по электроприводу и электрооборудованию станка (установки) и в направление Г — по изготовлению действующих моделей, макетов электроустановок (для оснащения лабораторий техникума учебно-наглядными пособиями).

Помимо основной темы, в задание по дипломному проектированию входит также разработка специального вопроса: схемы автоматизации управления электрическим приводом, действующей модели или установки и т.д. Он подбирается исходя из реальных возможностей и потребностей учебного заведения или предприятия, на котором учащийся проходит практику (более подробно изложен в гл. 4).

Выдача заданий для дипломного проектирования оформляется на типовых бланках, содержащих перечень разрабатываемых вопросов. Эти вопросы могут корректироваться руководителем дипломного проектирования в зависимости от специфики проекта.

Для выполнения дипломного проекта учащемуся необходимы технические данные о проектируемом объекте. Часть сведений он собирает во время преддипломной практики, а недостающие получает от руководителя проекта.

Для разработки дипломного проекта направления А необходимы:

1) краткие сведения о технологическом процессе проектируемого цеха (участка), характеристика условий окружающей среды всех помещений;

2) план цеха (расстановка технологического оборудования и производственных машин, кранов, вентиляции и других электроприемников);

3) технические характеристики производственного оборудования (мощность и типы двигателей, требования к управлению электроприводами и их режимам работы и т.д.);

4) сведения о режиме работы цеха (число рабочих смен в сутки); технологической загрузки смен или продолжительности использования максимальной активной и реактивной электрической нагрузки;

5) сведения о расположении и характеристики источников питания, понизительных подстанций, необходимые для расчетов токов короткого замыкания (КЗ).

Для разработки проекта направления Б нужны исходные данные:

1) характеристика предприятия, для которого осуществляется электроснабжение;

2) климатические условия места расположения предприятия;

3) генеральный план предприятия;

4) сведения об электрических нагрузках цехов;

5) характеристики источников питания, их удаленность от предприятия (для расчетов токов короткого замыкания);

6) технические условия компенсации реактивной мощности.

Основные сведения о проектируемом станке, механизме, установке служат исходными данными для разработки проекта направления В:

1) характеристика механической части проектируемого объекта, описание внешнего вида и устройства;

2) данные для определения мощности электропривода;

3) требования к регулированию частоты вращения электропривода;

4) тип передачи к электродвигателям;

5) требования к размещению силового электрооборудования и коммутационной аппаратуре;

6) технические условия автоматизации производственных процессов;

7) характеристики источников питания.

Исходными данными для проекта направления Г являются сведения о проектируемом макете, модели или действующей электроустановке:

1) габариты и масса установки;

2) напряжение питающей сети и род тока;

3) максимальная мощность установки;

4) режим работы установки (длительный, кратковременный, повторно-кратковременный);

5) условия среды, где будет эксплуатироваться установка;

6) правила безопасности труда и противопожарной защиты проектируемой установки;

7) техническая эстетика оформления изготовленной модели или установки;

8) объем пояснительной записки и чертежей по установке или макету (он может быть сокращен на 25—50 % по сравнению с проектами, выполненными по направлениям А, Б и В).

Ниже приведена примерная тематика дипломных проектов.

НАПРАВЛЕНИЕ А

1. Электрооборудование и электроснабжение цеха (механического, инструментального, термического, кузнечного и т.д.) машиностроительного завода.

2. Электрооборудование и электроснабжение цеха (монтажного, сборочного и пр.) электротехнического или радиотехнического завода.

3. Электрооборудование и электроснабжение трамвайного депо.

4. Электрооборудование и электроснабжение опытно-экспериментального завода*.

---

* Указать населенный пункт.

5. Электрооборудование и электроснабжение котельной, компрессорной и насосной станций (с указанием котлов, компрессоров или насосов).

6. Электрооборудование и электроснабжение участка варки стекла завода (указать наименование).

7. Электрооборудование и электроснабжение участка травления плат телевизионного завода*.

8. Электрооборудование и электроснабжение реконструируемого участка сборки микросхем завода (указать завод).

9. Электрооборудование и электроснабжение реконструируемого участка гальванопокрытий радиозавода*.

10. Электрооборудование и электроснабжение мастерских электромонтажных заготовок (указать название организации).

НАПРАВЛЕНИЕ Б

1. Электроснабжение автозавода*.

2. Электроснабжение металлургического завода*.

3. Электроснабжение хлопчатобумажного комбината*.

4. Электроснабжение реконструируемого сахарного завода*.

5. Трансформаторная подстанция 110/10 кВ для электроснабжения (указать предприятие).

НАПРАВЛЕНИЕ В

1. Электропривод и электрооборудование станка (шлифовального, фрезерного, карусельного и пр.).

2. Модернизация электропривода и электрооборудования машин (кузнечно-прессовых, литейных и пр.).

3. Модернизация электропривода и электрооборудования вентиляционных установок завода (наименование).

4. Модернизация электропривода и электрооборудования мостового крана грузоподъемностью 20 т.

5. Модернизация электропривода и электрооборудования грузового лифта грузоподъемностью 1 т.

НАПРАВЛЕНИЕ Г

1. Электропривод и автоматизация плоскошлифовального станка с релейно-контакторным управлением.

2. Электропривод и автоматизация строгального станка с применением магнитных усилителей.

3. Электропривод и элементы автоматизации круглошлифовального станка с числовым программным управлением.

4. Электропривод и автоматизация насосной (компрессорной, вентиляционной) установки.

5. Электропривод с двигателем постоянного тока и тиристорным преобразователем.

---

* Указать населенный пункт.

6. Автоматический контроль технологических процессов.
7. Электронный усилитель (реле, стабилизатор) и т.д.

1.3. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРЕДДИПЛОМНАЯ ПРАКТИКА

Целью преддипломной практики является закрепление теоретических знаний и подготовка учащегося к дипломному проектированию. Во время практики учащемуся нужно собрать необходимые материалы для дипломного проекта и приступить к выполнению некоторых его разделов (например, описанию технологического процесса, характеристике условий работы электрооборудования и т.д.). Объем этих материалов определяется руководителем до начала практики. В конце практики собранные материалы оформляются в виде отчета, который используется учащимися в период дипломного проектирования.

Продолжительность производственной преддипломной практики для учащихся вечернего и заочного обучения в настоящее время 24 дня. Рекомендуется следующее распределение этого времени:

ознакомление со структурой и технологией предприятия — 2 дня;
изучение электрооборудования — 3 дня;
рассмотрение системы электроосвещения — 3 дня;
изучение электроснабжения предприятия и качества электроэнергии — 3 дня;
исследование автоматизированной технологической установки (согласно заданию на дипломное проектирование) — 3 дня;
наблюдение за процессом монтажа, эксплуатации и ремонта электрооборудования и режимом экономии электроэнергии — 2 дня;
ознакомление с организацией охраны труда, окружающей среды и противопожарной техникой — 2 дня;
изучение технико-экономических показателей предприятия — 3 дня;
оформление отчета по практике — 2 дня;
посещение смежного предприятия — 1 день.

Для учащихся дневного обучения продолжительность практики 36 дней и распределение времени увеличивается соответственно в 1,5 раза.

Рассмотрим более подробно содержание преддипломной практики. Во время практики учащийся должен:

1) ознакомиться с производственным процессом предприятия и цеха, выпускаемой им продукцией и ее значением для народного хозяйства. Изучить структуру предприятия, назначение и место каждого цеха и отдела в производственном процессе, их взаимосвязь. Выяснить роль отдела главного энергетика в общей схеме управления и технического руководства предприятием. Ознакомиться с требованиями к электроснабжению предприятия и цеха (качество электроэнергии, бесперебойность и т.д.);

2) изучить электрооборудование предприятия, цеха или подстанции (электрические сети, электрооборудование станков и установок, аппараты управления и защиты и др.), вычертить (или использовать готовые копии чертежей) план цеха или подстанции с расстановкой технологического оборудования. План цеха или подстанции, соответствующий заданию на дипломное проектирование, прилагается к отчету по практике;

3) составить характеристику принятой системы электроосвещения, распределительной сети и управления включением освещения для производственных цехов и административно-бытовых помещений площадью не менее 800 м^2.

Произвести замеры освещенности на рабочих поверхностях. Изучить электроосвещение во взрыво- и пожароопасных зонах, наружное освещение с помощью светильников и прожекторов (указать недостатки схем питания и эксплуатации и дать рекомендации по их устранению);

4) изучить схему электроснабжения предприятия, схему подстанции и конструктивное выполнение распределительного устройства, его оборудование и компоновку, конструктивное выполнение кабельных и воздушных линий электропередачи до 1 кВ и выше, схему распределения электроэнергии от главной понизительной подстанции (ГПП) до цеховой подстанции. Изучить схему коммутации цеховой подстанции, компоновку электрооборудования распределительного устройства 6—10 кВ и оборудование 0,4 кВ; конструктивное выполнение кабельных каналов.

Обратить внимание на производство оперативных переключений (отключение и включение отдельных линий, перевод нагрузки с одного трансформатора на другой и т.д.), ведение оперативного журнала. Ознакомиться с противоаварийными мероприятиями и действиями оперативного персонала при ликвидации аварии.

Рассмотреть организацию ремонта цеховых трансформаторных подстанций. Обратить внимание на значение коэффициента мощности в часы максимальной электрической нагрузки цеха или подстанции. Изучить методику определения коэффициента мощности, ознакомиться с мероприятиями по его повышению. Описать действующие конденсаторные установки. Рассмотреть мероприятия по повышению качества электроэнергии;

5) изучить действующую автоматизированную установку для выполнения специального задания дипломного проекта (компрессорная или насосная станция, поточно-транспортная система, автоматическая сварка, станок, батарея статических конденсаторов и т.д.);

6) ознакомиться с организацией монтажа и системой планово-предупредительного ремонта электрооборудования, а также получить его паспортные данные. Изучить нормы приемо-сдаточных испытаний электрооборудования: трансформаторов, электродвигателей, заземляющих устройств, кабельных и воздушных линий электропередачи.

Рассмотреть организацию межремонтного обслуживания электрооборудования производственных механизмов. Отметить аварии и неисправности, а также мероприятия по их устранению и предупреждению.

Изучить план реконструкции цеха и модернизации оборудования (если такой план имеется), а также мероприятия по экономии электроэнергии;

7) ознакомиться с мероприятиями по созданию безопасных условий труда и противопожарной техникой на предприятии.

Изучить конструктивное выполнение защитного заземления.

Научиться заполнять наряды на производство работ в электроустановках до 1 кВ и выше, а также проводить работы в действующих электроустановках по наряду. Заполненный бланк наряда на производство работ приложить к отчету.

Приобрести практические навыки по оказанию первой помощи пострадавшим от электрического тока.

Рассмотреть организацию испытаний защитных средств, применяемых в

электроустановках, и контроля за правилами пользования ими. Изучить выполняемые на предприятии мероприятия по охране окружающей среды;

8) собрать и систематизировать основные технико-экономические показатели предприятия (общая установленная мощность силовых трансформаторов и электроприемников, расход активной и реактивной энергии и др.) и рассмотреть мероприятия по их улучшению.

Ознакомиться с работой планового отдела предприятия: организацией нормирования труда, применяемыми формами оплаты труда в энергослужбе предприятия и системой хозрасчета в электроцехе.

Изучить состав цеховых расходов и расчеты по определению себестоимости одного киловатт-часа электроэнергии, отпускаемого электроцехом, и себестоимости ремонтных работ. Обратить внимание на составление смет на ремонт электрооборудования;

9) включить в отчет по преддипломной практике следующие материалы: а) планы цехов (строительной части с оконными и дверными проемами, отметкой уровня пола, наименованием помещений); б) планы расположения в цехе технологического и вспомогательного оборудования; в) данные технологического оборудования (тип, марка), установленных на нем электродвигателей с указанием типа, мощности, частоты вращения (однотипному оборудованию присваивается тот же номер и проставляется на плане); г) категорию производства (А, Б, В, Г, Д, Е), характеристику окружающей среды, категорию надежности электроснабжения; д) сведения о режиме работы; е) краткое описание технологического процесса.

1.4. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

К заданию по дипломному проектированию прилагается график работы учащегося над проектом, составленный руководителем проекта. Детальное планирование работы помогает учащемуся сосредоточить внимание на определенных вопросах и выполнить задание в срок. Примерные графики работы над проектом приведены в табл. 1.1—1.4. За время дипломного проектирования (8 недель) учащемуся необходимо разработать указанные в таблицах разделы задания, объем которых по отношению к проекту в целом указан в процентах.

Таблица 1.1
График работы над проектом направления А

Этапы проектирования	Распределение времени по неделям, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Оформление введения. Описание технологического процесса	3							
2. Вычерчивание плана цеха с расстановкой технологического оборудования	7							
3. Выбор рода тока и напряжения для питания силовых и осветительных электроприемников. Выбор силового электрооборудования, аппаратов управления и		6						

Окончание табл. 1.1

Этапы проектирования	Распределение времени по неделям, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
защиты. Разработка мероприятий по обеспечению качества электроэнергии								
4. Расчет нагрузок электрической сети. Разработка плана сети цеха		4						
5. Расчет силовой сети. Выбор марки и площади сечения проводов, кабелей и шинопроводов		5						
6. Вычерчивание второго плана цеха (с расположением технологического оборудования, показанного в тонких линиях)			3					
7. Расчет электрического освещения. Выбор электросветильников и расчет электрической сети освещения			12					
8. Выбор типа компенсирующих устройств, их мощности и места размещения				5				
9. Разработка схемы электроснабжения и мероприятий по экономии электроэнергии, расчет электрических нагрузок в системе электроснабжения				10	9			
10. Вычерчивание планов и разрезов трансформаторной подстанции или распределительного устройства					4			
11. Расчет заземления и выбор молниезащиты					2			
12. Составление спецификаций на необходимое электрооборудование						2		
13. Технико-экономическое обоснование принятых решений по выбору электрооборудования						13		
14. Составление графика планово-предупредительного ремонта или описание проекта производства электромонтажных работ							4	
15. Описание мероприятий по охране труда, окружающей среды и противопожарной защите							3	
16. Разработка специального вопроса по автоматизации технологического процесса или электрооборудования. Вычерчивание листа № 4. Завершение изготовления макета, модели или действующей электроустановки							7	
17. Оформление пояснительной записки и графической части проекта. Проверка и подпись проекта руководителем, консультантами и нормоконтролером. Рецензирование и защита								1

Таблица 1.2

График работы над проектом направления Б

Этапы проектирования	Распределение времени по неделям, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Оформление введения. Изложение кратких сведений о предприятии	2							
2. Составление характеристики потребителей электроэнергии и требования к качеству электроэнергии	2							
3. Заполнение ведомости потребителей электроэнергии с указанием необходимых данных для проектирования. Вычерчивание генерального плана предприятия	6							
4. Расчет электрических нагрузок		4						
5. Выбор места расположения подстанций		2						
6. Составление картограммы нагрузок		3						
7. Выбор схемы внутризаводского электроснабжения		3						
8. Выбор типа и числа подстанций		3						
9. Обоснование компенсации реактивной мощности и намечаемых мероприятий по экономии электроэнергии			5					
10. Определение типа, числа и мощности силовых трансформаторов			4					
11. Выбор главной схемы электрических соединений подстанции			6					
12. Расчет токов короткого замыкания				6				
13. Выбор электрооборудования подстанции				5				
14. Описание релейной защиты				4				
15. Описание компоновки и конструктивного выполнения подстанции. Вычерчивание конструктивных элементов подстанции					7			
16. Расчет молниезащиты					4			
17. Обоснование учета электроэнергии и электрических измерений					4			
18. Расчет заземления подстанции. Разработка мероприятий по охране труда, окружающей среды и противопожарной защите						4		
19. Разработка технологии монтажа (ремонта) электрооборудования проектируемого объекта. Описание потребностей в основных материалах, приспособлениях и специальном инструменте для монтажа (ремонта) электрооборудования объекта						5		

Окончание табл. 1.2

Этапы проектирования	Распределение времени по неделям, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
20. Составление проекта производства электромонтажных работ или планово-предупредительного ремонта электрооборудования объекта, а также сетевого графика на электромонтажные работы						6		
21. Разработка экономической части проекта							12	
22. Разработка специального вопроса. Вычерчивание электрической схемы							2	
23. Оформление материалов дипломного проекта. Проверка и подпись его руководителем, консультантами, нормоконтролером. Рецензирование и защита								1

Таблица 1.3

График работы над проектом направления В

Этапы проектирования	Распределение времени по неделям, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Оформление введения. Составление краткой технической характеристики основных узлов установки или механизма	2							
2. Описание условий, в которых работает электрооборудование установки, и требований к электроприводу и автоматике	3							
3. Выбор и обоснование рода тока, значений питающих напряжений. Требования к качеству электроэнергии	5							
4. Выбор системы электропривода, методов регулирования скорости и торможения. Вычерчивание общего вида установки с электрооборудованием		6						
5. Выбор и расчет главного и вспомогательного электроприводов		4						
6. Определение мощности и выбор выпрямителей или преобразователей		5						
7. Выбор усилителя			3					
8. Выбор аппаратов защиты и автоматики, расчет уставок реле и автоматики			4					
9. Выбор и расчет пусковых, регулировочных и тормозных резисторов			4					

Окончание табл. 1,3

Этапы проектирования	Распределение времени по неделям, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
10. Выбор элементов схемы управления (дросселей, потенциометров, добавочных сопротивлений)			4					
11. Расчет местного освещения				2				
12. Расчет площади сечения проводов и питающих кабелей				2				
13. Описание и анализ принципиальной электрической схемы. Вычерчивание схемы				6				
14. Составление и вычерчивание монтажной схемы				5				
15. Описание организации производства электромонтажных работ					4			
16. Описание системы планово-предупредительного ремонта электрооборудования и составление его графика					2			
17. Описание приемо-сдаточных испытаний электрооборудования установки					4			
18.Разработка мероприятий по экономии электроэнергии					5			
19. Разработка мероприятий по охране труда, окружающей среды и противопожарной защите						2		
20. Расчет технико-экономической части						13		
21. Описание специального вопроса							5	
22. Составление циклограммы взаимодействия электрооборудования установки							2	
23. Описание ревльной части проекта							7	
24. Оформление материалов дипломного проекта. Проверка и подпись проекта руководителем, консультантом и нормоконтролером. Рецензирование и защита								1

Таблица 1.4

График работы над проектом направления Г

Этапы проектирования	Распределение времени по неделям, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Оформление введения. Описание характеристики проектируемой установки или модели	3							
2. Выбор рода тока, значения напряжения. Требования к качеству электроэнергии		4						
3. Выбор электропривода		4						

Окончание табл. 1.4

Этапы проектирования	Распределение времени по неделям, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
4. Выбор аппаратов управления и защиты			4					
5. Выбор площади сечения проводов и кабелей			4					
6. Выбор трансформатора, элементов автоматики и пускорегулирующей аппаратуры				4				
7. Составление технического паспорта и инструкции по эксплуатации установки				4				
8. Разработка мероприятий по охране труда, окружающей среды, противопожарной защите, а также экономии электроэнергии					8			
9. Вычерчивание общего вида установки с электрооборудованием и контрольно-измерительными приборами						8		
10. Вычерчивание принципиальной электрической схемы установки и ее описание							6	
11. Практическая работа по изготовлению установки	7	7	7	7	7	7	8	
12. Оформление пояснительной записки, чертежей, установки для предъявления Государственной квалификационной комиссии (ГКК). Утверждение документации. Рецензирование и защита								1

1.5. ОПИСАНИЕ ПРОЕКТИРУЕМОГО ОБЪЕКТА И ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Основные данные технологического процесса проектируемого цеха (участка) задаются учащемуся в качестве исходного материала для разработки дипломного проекта. Используя их, дипломник должен кратко описать технологический процесс, рассмотреть используемое электрооборудование, дать характеристику условий, в которых работает это оборудование, определить пожароопасные (классы П-I; П-II; П-IIа; П-III) и взрывоопасные (классы В-I; В-Iа; В-Iб; В-Iг; В-II; В-IIа) зоны, вид помещений по условиям окружающей среды (сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие, пыльные, с химически активной или органической средой) и по опасности поражения людей электрическим током (без повышенной опасности, с повышенной опасностью и особо опасные). Кроме того, необходимо указать категорию электроприемников и рассмотреть обеспечение надежности электроснабжения проектируемого цеха (I, II, III категории).

Следует обратить внимание на исполнение и степень защиты электрооборудования. Например, в помещениях с нормальной средой [15] рекомендуют устанавливать электродвигатели исполнения *IP*00 или *IP*20, на открытом воздухе — исполнения *IP*44 или специальные. Если в проектируемом помещении возможно оседание пыли или других веществ, а также выделение химически активных паров или газов, применяют электродвигатели исполнения не менее *IP*44 или продуваемые с подводом чистого воздуха. Электродвигатели, устанавливаемые в сырых местах, должны быть исполнения не менее *IP*43, соответственно во взрывоопасных зонах *IP*51. Степень защиты электрооборудования регламентируют ГОСТ 14254—80 и ГОСТ 17494—87 (прил. 1).

В этом же разделе необходимо кратко рассмотреть строительную часть проектируемого объекта (размеры помещений, расстояния между колоннами, материалы стен, полов, перекрытий и т.д.), используя его готовую технологическую планировку либо вычертив ее по заданию руководителя. Строительные чертежи (планы, разрезы, фасады зданий) составляются по определенным правилам (ГОСТ 21.105—79, ГОСТ 21.502—78 и ОСТ 4.Г0.091—292—80). Пример технологической планировки приведен на рис. 1.1.

Конструктивные элементы, попавшие в разрез, не заштриховывают, а выделяют на чертеже сплошной линией толщиной до 1,4 мм. Контуры элементов зданий, не попавших в разрез, обводят сплошными тонкими линиями, толщина которых в 2 раза меньше толщины линий конструктивных элементов, попавших в разрез.

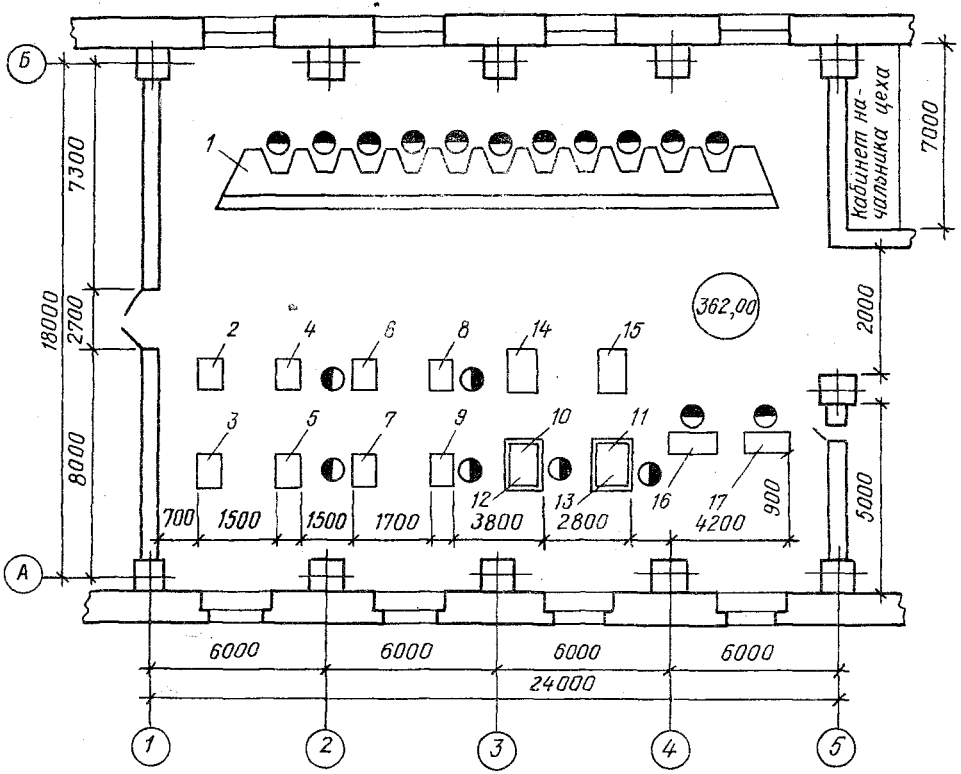
Несущие элементы конструкций зданий (балки, колонны, перегородки не из основного строительного материала) нужно заштриховать по ГОСТ 2.306—68 или затушевать. Окна, двери, ворота изображаются в соответствии с этим же стандартом. Так, окна с двойным остеклением обозначаются двумя продольными линиями, с одинарным — одной линией.

Масштабы строительных чертежей для планов этажей, подвалов, фасадов зданий и разрезов принимаются 1:50; 1:100; 1:200.

На план цеха наносятся сетка колонн и оси, определяющие расположение основных несущих конструкций (стен и колонн). Разбивочные оси наносят штрихпунктирными линиями и обозначают их в кружках диаметром до 8 мм арабскими цифрами и прописными буквами русского алфавита (кроме З, И, О, Х, Ц, Ч, Щ). Маркировку осей нужно располагать по левой и нижней сторонам плана здания слева направо и снизу вверх. Расстояние между осями называют шагом, который может быть 6000, 12 000 мм и т.д. Размеры на строительных чертежах (шаг, пролет, габариты здания) проставляют в миллиметрах без обозначения единиц измерения, но допускается эти размеры показывать в сантиметрах и метрах с обозначением единиц измерения. При расположении осей колонн на равном расстоянии размеры между ними проставляются только в начале и в конце ряда, а общие размеры указывают полностью.

Размеры оконных и дверных проемов, простенков между ними по стене также проставляются на плане. Для этого с наружной стороны стены слева и снизу проводят 3 размерные линии.

На плане помещения указывают его площадь в квадратных метрах с двумя десятичными знаками после запятой и обводят цифры кружком без указания единиц измерения.



№№ на плане	Наименование оборудования	Модель, шифр	Габаритные разм.	Кол.
1	Конвейер	на 11 р.м.		1
2-5	Автомат пайки транзисторов	АПМ-1 ГГ-2129	815×545 ×350	4
6-11	Стол монтажный	Цеховой	1250×750 ×780	6
12-13	Полуавтомат укладки радиоэлементов на плату	УР-6 ГГ-2311		2
14-15	Устройство для установки транзисторов на плату	ГГ-4029 -005	750×630	2
16-17	Стеллаж	ГОСТ 14757-69	1300×400 ×2000	2

Рис. 1.1. Пример оформления технологической планировки

Станки и другое технологическое оборудование показываются на плане в соответствии с масштабом чертежа цеха и с учетом крайних положений движущихся частей станков. С целью удобства обслуживания, наладки и ремонта оборудования, соблюдения безопасности труда и пожаробезопасности должны быть соблюдены расстояния между станками и конструктивными элементами здания не менее 700 мм. Перед каждым станком или иным оборудованием нужно предусмотреть рабочее место шириной не менее 750 мм от фронта станка. Место рабочего на плане обозначается зачерненным наполовину кружком диаметром 5 мм, светлая часть кружка соответствует положению рабочего лицом к станку.

Контуры производственного оборудования обводят сплошными основными линиями, а подкрановые пути, мостовые краны, кран-балки — штриховыми линиями. Рядом с изображением подъемных кранов указывают их грузоподъемность. Производственное оборудование или станки нумеруют в соответствии с порядковым номером экспликации, выполняемой на плане участка (цеха), в которой приводится расшифровка применяемых условных обозначений. Форма и размеры граф экспликации стандартами не установлены. Можно рекомендовать оформлять ее в виде таблиц шириной 185 мм с указанием номера на плане, наименования оборудования, модели, габаритных размеров и его количества.

На чертежах планов и разрезов проектируемых помещений и наружных установок обозначаются границы взрывоопасных и пожароопасных зон, класс помещения по условиям среды в соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок (ПУЭ), категории и группы взрывоопасных смесей, которые могут образоваться в этих помещениях, а также, по возможности, указываются наименования взрывоопасных газов и паров.

В качестве примера ниже приводится краткое описание технологического процесса цеха изготовления технологической оснастки.

Проектируемый объект — это цех изготовления технологической оснастки. Он входит в состав вспомогательных цехов и состоит из следующих отделений: заготовительного, механического, координатно-расточного, шлифовального, а также участка сборки штампов. В цехе установлено оборудование, на котором производится токарная, сверлильная, шлифовальная обработка металла.

Наибольший удельный вес в объеме выпускаемой цехом продукции занимают штампы холодной штамповки, пресс-формы, приспособления.

Технологический процесс изготовления штампов для холодной штамповки состоит из следующих этапов:

а) получение заготовок;

б) слесарная обработка деталей штампов;

в) термическая обработка деталей штампов;

г) механическое шлифование деталей штампов после термической обработки;

д) ручное шлифование деталей штампов и их доводка;

е) сборка, испытание и отладка штампов.

В цехе установлены станки: шлифовальные, токарные, фрезерные, сверлильные, координатно-расточные и др.

На токарных станках производится обработка наружных, внутренних и торцевых поверхностей тел вращения цилиндрической, конической и фасонной формы, а также прорезание канавок, нарезание наружной и внутренней резьбы.

Фрезерные станки предназначены для обработки наружных плоских и фасонных поверхностей, прорезания канавок.

Шлифовальные станки служат для обработки наружных и внутренних поверхностей деталей.

Сверлильные станки используются для получения сквозных и глухих отверстий в деталях с помощью сверл, для развертывания и чистой обработки отверстий, предварительно полученных литьем или штамповкой, и выполнения других операций.

Координатно-расточные станки применяются для обработки отверстий с высокой точностью (в пределах 0,05—0,001 мм) без предварительной разметки поверхности детали. На координатно-расточных станках можно производить сверление, разметку, а также расточные работы и фрезерование торцевыми фрезами.

Все станки в цехе размещаются согласно технологической последовательности обработки деталей и их поступления от станка к станку. При размещении оборудования учтены нормы расстояний для безопасных перемещений деталей и самих рабочих в процессе работы.

Полная экспликация технологического оборудования приводится на листе № 1 графической части проекта.

Цех изготовления технологической оснастки имеет следующие размеры: длина — 72 м; ширина — 36 м; высота — 7 м; площадь — 2592 $м^2$.

Цех — это часть главного корпуса завода, расположенного в одноэтажном здании. Перекрытия выполнены из железобетона по железобетонным фермам. Несущими конструкциями являются железобетонные колонны. Ширина пролетов 6 м. Полы в цехе бетонные.

По огнестойкости цех изготовления технологической оснастки относится ко 2-й степени.

Для транспортирования деталей и узлов, а также для погрузки и разгрузки заготовок, полученных из других цехов завода, в цехе установлены кран и кран-балка. Для транспортировки грузов, ведения различных ремонтных работ, быстрой эвакуации людей на случай пожара и аварии имеются ворота, выполненные из металла.

Цех изготовления технологической оснастки по характеристике окружающей среды относится к помещениям с нормальными условиями. Относительная влажность в помещении в теплый период года составляет 40—44 %, а в холодный — 40 %; температура воздуха 18—22 °С, выделение химически активных веществ и токопроводящей пыли отсутствует. Запыленность воздушной среды — 3 $мг/м^3$.

Производственный уровень шума в цехе составляет 78—82 дБ, для поддержания нормальных условий работы в нем установлены вентиляторы.

Работа в цехе предусмотрена в две смены.

В отношении пожароопасности производство цеха относится к категории Д.

ГЛАВА 2
ОФОРМЛЕНИЕ, НОРМОКОНТРОЛЬ И ЗАЩИТА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

2.1. ОБОЗНАЧЕНИЕ ЧАСТЕЙ ПРОЕКТА

Основные элементы дипломных проектов — пояснительная записка и графическая часть — должны быть оформлены в соответствии с требованиями ЕСКД и другими нормативными документами, а также стандарта учебного заведения.

Ниже приводятся рекомендации по оформлению дипломных проектов. Всем частям дипломного проекта присвоены обозначения по ГОСТ 2.102—68 (табл. 2.1).

Таблица 2.1
Обозначения частей проекта

Части дипломного проекта	Обозначения
Пояснительная записка	МПТ.0303.25.000ПЗ
Графическая часть:	
первый лист	МПТ.0303.25.100
второй лист	МПТ.0303.25.200
третий лист	МПТ.0303.25.300
четвертый лист	МПТ.0303.25.400
пятый лист	МПТ.0303.25.500
электротехнический чертеж	МПТ.0303.25.100ЭМ
сборочный чертеж	МПТ.0303.25.100СБ
чертежи деталей:	
первая деталь	МПТ.0303.25.101
вторая деталь	МПТ.0303.25.102
и т.д.	
спецификация	МПТ.0303.25.200СП

Примечание. МПТ — наименование учебного заведения (Минский политехникум); 0303 — шифр специальности; 25 — номер приказа на дипломное проектирование; 100 — номер чертежа; ПЗ — пояснительная записка; ЭМ — марка электротехнического чертежа (см. табл. 2.2); СП — спецификация; СБ — сборочный чертеж.

Таблица 2.2
Марки электротехнических чертежей и типы схем

Марка чертежа, тип схемы	Рекомендуемая область применения в дипломных проектах
ЭМ	Планы расположения силового электрооборудования и прокладки электрических сетей. Чертежи заземления. Чертежи электромонтажных конструкций. Габаритные чертежи низковольтных комплектных устройств, в том числе комплектных трансформаторных подстанций
ЭО	Планы расположения электрического оборудования и прокладки электрических сетей внутреннего освещения. Чертежи конструкций и деталей для установки электрического оборудования внутреннего освещения

Окончание табл. 2.2

Марка чертежа, тип схемы	Рекомендуемая область применения в дипломных проектах
ЭН	Планы освещения территории промышленных предприятий. Чертежи конструкций, предназначенных для установки осветительных приборов и электрооборудования
ЭС	Планы расположения электрооборудования подстанций и линий электропередачи
Э1	Структурные схемы, которые изображают основные функциональные части установки и взаимосвязи между ними
Э2	Функциональные схемы, которые изображают функциональные части установки, участвующие в процессе, иллюстрируемом схемой, и связи между этими частями
Э3	Принципиальные схемы установки, которые определяют полный состав электрических элементов и связи между ними, а также дают детальное представление о принципе ее работы
Э4	Схемы соединений (монтажные) составных частей установки, ее устройств с входными и выходными элементами и соединениями между ними
Э5	Схемы внешних подключений установки с входными и выходными элементами и подводимыми к ним концами проводов и кабелей внешнего монтажа
Э6	Схемы общие устройств и элементов, входящих в комплекс с соединениями их между собой
Э7	Схемы расположения составных частей установки (при необходимости указать связи между ними, конструкцию, помещение или местность, на которых составные части расположены)

Примечание. При выполнении чертежа на двух и более листах к его базовой марке добавляется через точку порядковый номер, например ЭМ1.1, ЭМ1.2 и т.д.

Рекомендуется разрабатываемым электротехническим чертежам присваивать марки по ГОСТ 21.101–79, а схемы классифицировать по типам в соответствии с ГОСТ 2.701–84 (табл. 2.2).

2.2. ОФОРМЛЕНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА, ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА И СОДЕРЖАНИЯ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Основные надписи чертежей регламентируются ГОСТ 2.104–68, ГОСТ 21.103–78, масштабы чертежей – ГОСТ 2.302–68, линии – ГОСТ 2.303–68, форматы – ГОСТ 2.301–68, шрифты – ГОСТ 2.304–81, изображения, виды – ГОСТ 2.305–68, обозначения материалов – ГОСТ 2.306–68.

Графическая часть и изображаемые элементы проекта должны соответствовать требованиям Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и других нормативно-технических документов.

При вычерчивании электрических схем установок и планов расположения электрооборудования промышленных предприятий используют в основном условные графические изображения стандартов ЕСКД, системы проектной документации для строительства (СПДС) и СЭВ:

ГОСТ 2.702—75. Правила выполнения электрических схем
ГОСТ 2.710—81. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах
ГОСТ 2.721—74. Обозначения общего применения
ГОСТ 2.722—68. Машины электрические
ГОСТ 2.723—68. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы и магнитные усилители
ГОСТ 2.725—68. Устройства коммутирующие
ГОСТ 2.726—68. Токосъемники
ГОСТ 2.727—68. Разрядники, предохранители
ГОСТ 2.728—74. Резисторы, конденсаторы
ГОСТ 2.729—68. Приборы электроизмерительные
ГОСТ 2.730—73. Приборы полупроводниковые
ГОСТ 2.731—81. Приборы электровакуумные
ГОСТ 2.732—68. Источники света
ГОСТ 2.742—68. Источники тока электрохимические
ГОСТ 2.743—82. Элементы цифровой техники
ГОСТ 2.745—68. Электронагреватели, устройства и установки электротермические
ГОСТ 2.747—68. Размеры условных графических обозначений
ГОСТ 2.755—87. Устройства коммутационные и контактные соединения
ГОСТ 2.756—76. Воспринимающая часть электромеханических устройств
ГОСТ 21.607—82. Электрическое освещение территории промышленных предприятий. Рабочие чертежи
ГОСТ 21.608—84. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи
ГОСТ 21.613—88. Силовое электрооборудование. Рабочие чертежи
ГОСТ 21.614—88. Изображения условные графические электрооборудования и проводок на планах
СТ СЭВ 5679—86. Обозначения общего применения в электрических схемах

На всех листах графической части проекта выполняется *основная надпись* по ГОСТ 2.104—68, форма 1 (рис. 2.1).

Для удобства чтения схемы краткие технические данные ее элементов и устройств вместе с их позиционными обозначениями заносят в *перечень элементов схемы,* заполняя его сверху вниз. Перечень элементов оформляют в виде таблицы и располагают над основной надписью. Продолжение его помещают слева от основной надписи. Расстояние между перечнем элементов и основной надписью должно быть не менее 12 мм.

Некоторые обозначения электрооборудования на планах и в электрических схемах приведены в прил. 2—4.

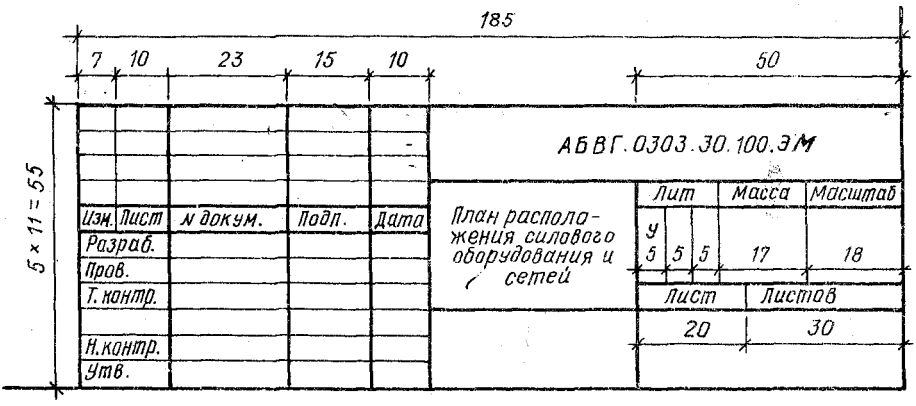


Рис. 2.1. Основная надпись на чертежах

Титульный лист является первым листом пояснительной записки дипломного проекта. На нем должны быть следующие надписи: 1) наименование министерства; 2) наименование учебного заведения; 3) специальность; 4) тема проекта; 5) пояснительная записка дипломного проекта; 6) фамилии и подписи руководителя проекта, консультантов и учащегося, выполнившего проект, а также дата его подписания.

Пример оформления титульного листа приведен в прил. 5.

После титульного листа к пояснительной записке (ПЗ) подшиваются *задания на дипломное проектирование, лист нормоконтроля* и *ведомость проекта,* которые не имеют нумерации. Затем прилагается *содержание пояснительной записки.* Здесь располагается основная надпись по ГОСТ 2.104—68 (форма 2), ГОСТ 21.103—78 (форма 3) и стандарту учебного заведения, а также указываются основные разделы и части проекта, страницы разделов и тем (прил. 6).

На последующих листах пояснительной записки основные надписи оформляются по ГОСТ 2.104—68 (форма 2а), здесь допускается указывать только шифр и номер листа.

2.3. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Общие требования к оформлению пояснительной записки изложены в ГОСТ 2.105—79. В соответствии с этим стандартом ПЗ дипломного проекта подшивается в специальную папку для дипломного проекта или переплетается с надписью на обложке "Дипломный проект".

ПЗ составляется на листах формата А4 ГОСТ 2.301—68.

Текст выполняется машинописным либо рукописным способом черными, синими или фиолетовыми чернилами. Таблицы, рисунки, схемы необходимо оформлять карандашом.

Расстояние от рамки до границы текста: в начале строк — не менее 5 мм; в конце строк — не менее 3 мм; при абзаце или красной строке — не менее 15 мм.

Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней внутренней рамки листа должно быть не менее 10 мм.

Описки, графические неточности, ошибки в расчетах, обнаруженные в процессе выполнения проектов, допускается аккуратно исправлять с нанесением на том же листе исправленного текста (графики).

Пояснительные записки, содержащие сплошной текст, делятся на разделы и подразделы.

Каждый раздел пояснительной записки рекомендуется выполнять с нового листа.

Разделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами с точкой в пределах всей пояснительной записки. Подразделы нумеруют в пределах каждого раздела. В номера подразделов входит и номер раздела, отделенный точкой.

Если в подразделе имеются пункты, то нумерация их выполняется в пределах каждого подраздела и номер пункта должен состоять из номеров раздела, подраздела и пункта, разделенных точками. В конце номера пункта также ставится точка. Пункты текста записывают с абзаца. Цифры, указывающие

номера пунктов, не должны выступать за границу абзаца. Ниже приведен пример нумерации раздела и подраздела.

6. Электрическое освещение
6.6. Расчет освещения
6.6.1.
6.6.2. } Номера пунктов шестого подраздела шестого раздела пояснительной записки
6.6.3.
6.7. Схемы питания осветительных установок
6.7.1.
6.7.2. } Номера пунктов седьмого подраздела шестого раздела пояснительной записки
6.7.3.

Каждый подпункт в пределах пункта должен начинаться с новой строки со строчной буквы русского алфавита со скобкой. В конце подпункта, если за ним следует еще один подпункт, ставят точку с запятой. Содержащиеся в пунктах или в подпунктах пояснительной записки отдельные требования, указания, излагаемые в виде вывода (перечисления), начинаются с абзаца.

Наименования разделов должны быть краткими и соответствовать содержанию текста. Они записываются в виде заголовков (с красной строки) прописными буквами. Перенос слов в заголовках не допускается, в конце точка не ставится. Если заголовок состоит из двух предложений, то их разделяют точкой.

Текст содержания пояснительной записки должен быть четким, лаконичным и отражать суть вопроса. Терминология и определения принимаются едиными в соответствии с установленными стандартами, а при их отсутствии — общепринятыми в научно-технической литературе. Изложение материала должно идти от первого лица множественного числа (определяем, принимаем) или от третьего лица единственного числа (определяется, принимается).

Сокращение слов в тексте и подписях под иллюстрациями не допускается; исключение составляют сокращения, общепринятые в русском языке, а также установленные соответствующими стандартами и нормативно-техническими документами.

Условные буквенные обозначения электротехнических, механических, математических и физических величин, а также условные графические обозначения должны соответствовать действующим стандартам. В тексте пояснительной записки перед обозначением параметра дают его пояснение, например, номинальная мощность $P_{ном}$. Порядок ведения расчетной части должен соответствовать следующей схеме: искомые величины — формула — подстановка значений в формулу в строгой последовательности — ответ. Другие математические вычисления в записке не приводятся.

В формулах в качестве символов следует применять буквенные обозначения, установленные соответствующими стандартами. Обозначения величин и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть расшифрованы непосредственно под формулой. Расшифровку каждого символа дают с новой строки в той последовательности, в какой они приведены в формуле. Первая строка расшифровки должна начинаться со слова "где" без двоеточия после него. Ниже дан пример описания формулы.

Ток нагрузки электродвигателя

$$I_{\text{нагр}} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \eta_{\text{п}} \cos\varphi_{\text{п}}}, \qquad (2.1)$$

где $P_{\text{ном}}$ — номинальная мощность электродвигателя, кВт; $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение сети, В; $\eta_{\text{п}}$ — паспортный коэффициент полезного действия электродвигателя; $\cos\varphi_{\text{п}}$ — паспортный коэффициент мощности электродвигателя.

Единица одной и той же величины в пределах пояснительной записки должна быть постоянной и соответствовать ГОСТ 8.417—81. Если в тексте приводится ряд значений одной величины, то ее единицу указывают только в конце ряда, например, 110, 220, 380 В.

Формулы в пояснительной записке нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера самой формулы, разделенных между собой точкой. Номер формулы указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках (см. предыдущий пример). Ссылки в тексте на порядковый номер формулы дают в скобках. Например: *P* в формуле (2.1).

Ссылки на литературу в пояснительной записке выполняются в квадратных скобках арабскими цифрами. Например: ... [1]. Если нужно указать страницу, то пишут так: [1, с. 9 ...].

Цифровой материал рекомендуется оформлять в виде таблицы. Нумерация таблиц должна быть сквозной в пределах раздела арабскими цифрами, например таблица 1.1, 1.2, 1.3. Слово "Таблица" при наличии тематического заголовка пишут над заголовком, в правом углу. Если в разделе ПЗ одна таблица, то номер ей не присваивается и слово "Таблица" не пишется.

Заголовки граф в таблицах начинают с прописных букв, а подзаголовки — со строчных, если они составляют одно предложение с заголовком. Если подзаголовок имеет самостоятельное значение, то его пишут с прописной буквы. Заголовки обычно ставят в единственном числе. Диагональное деление головки таблиц не допускается. Высота строк таблиц ПЗ должна быть не менее 8 мм.

При переносе таблицы на другой лист, головку таблицы повторяют и над ней указывают "Продолжение табл. ... ".

Таблицы с большим количеством граф делят на части и помещают одну часть под другой, указывая над последующими частями слово "Продолжение табл. ..." Если в пояснительной записке две таблицы и более, то после слова "Продолжение" указывают порядковый номер таблицы (например, табл. 3.1). Тематический заголовок помещают только над первой частью таблицы.

Графу "№ п/п" в таблицу не включают. При необходимости нумерации показателей или каких-либо данных в боковике таблицы порядковые номера указывают в графе перед их наименованием. Для облегчения ссылок в тексте ПЗ допускается нумерация граф (например, в табл. 2.3).

В заголовках граф указываются единицы физических величин, которые присоединяются к предшествующей части заголовка без предлога и не в скобках, а сразу после запятой (например, в табл. 2.4).

Повторяющийся в графе текст, если он состоит из одного слова, допускается заменять кавычками. Если он состоит из двух и более слов, то при первом повторении его заменяют словами "То же", а далее кавычками (например,

Таблица 2.3

Показатели	Тип, марка оборудования	Год поступления на предприятие
1. Силовой трансформатор	ТМ-250	1981
2. Кабель	ААБГ-10 кВ (3х50)	1975

Таблица 2.4

Мощность цеха $P_{уст}$, кВт	Активная силовая нагрузка, кВт	Реактивная нагрузка, квар
100	60	40
260	180	110
310	210	190

Таблица 2.5

Потребитель	Нагрузка
Трансформатор силовой	Установленная
То же	_ "_
_ "_	_ "_

Таблица 2.6

Количество заземлителей	Коэффициент использования заземлителей, размещенных	
	в ряд	по контуру
5	0,87	_
10	0,83	0,78

в табл. 2.5).

Ставить кавычки вместо повторяющихся цифр, марок, знаков и символов не допускается. Если цифровые или иные данные в таблице не приводятся, то в графе ставят прочерк (например, в табл. 2.6).

Числовые величины в одной графе должны иметь одинаковое количество десятичных знаков, как в предыдущем примере.

На все таблицы должны быть ссылки в тексте, при этом слово "Таблица" пишут полностью, если таблица не имеет номера, и сокращенно, если имеет номер. Например:

"... в табл. 2.7".

Каждый рисунок в тексте ПЗ должен иметь наименование и нумерацию в пределах раздела, например рис.2.1. На все рисунки должна быть ссылка в тексте. Например:

"... на рис. 2.1."

В конце пояснительной записки проекта приводится список литературы в соответствии с требованиями стандарта предприятия (СТП).

2.4. НОРМОКОНТРОЛЬ В ДИПЛОМНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Цель и задача нормоконтроля состоят в соблюдении в дипломных проектах норм и требований, установленных государственными, отраслевыми, республиканскими стандартами и стандартами стран СЭВ.

При нормоконтроле дипломного проекта в целом проверяется:

а) комплектность документации;

б) соответствие обозначения, присвоенного проекту, принятой в техникуме системе обозначений проектов;

в) правильность выполнения основной надписи;

г) правильность примененных сокращений слов;

д) наличие и правильность ссылок на стандарты и другие нормативно-технические документы.

Нормоконтроль графической части заключается в проверке:

а) выполнения чертежей в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД и СПДС на форматы, масштабы, изображения (виды, сечения, разрезы), нанесение размеров;

б) условных обозначений конструктивных элементов;

в) соответствия условных графических обозначений элементов, входящих в схему, требованиям ЕСКД, СПДС;

г) соответствия наименований, обозначений и количества элементов, указанных на схеме, данным, приведенным в спецификациях;

д) правильности использования типовых электрических схем соединений.

При нормоконтроле пояснительной записки проверяется:

а) соблюдение требований стандарта на текстовые конструкторские документы (ГОСТ 2.105–79, ГОСТ 2.106–68) и стандарта учебного заведения;

б) соответствие показателей и расчетных величин нормативным документам, установленным в стандартах и других нормативно-технических документах;

в) наличие и правильность ссылок на литературу;

г) соблюдение требований стандарта нумерации разделов и подразделов, таблиц, рисунков и подписей к ним;

д) соблюдение единиц СИ;

е) правильность нумерации страниц.

Нормоконтроль является завершающим этапом разработки конструкторской документации по дипломному проекту, которая предъявляется для проверки нормоконтролеру не позже чем за 7 дней до начала работы ГКК. Его рекомендуется проводить в два этапа:

а) общие консультации по всем частям проектов в начале проектирования;

б) проверка графической части и пояснительной записки в конце проектирования (проводится при наличии подписей лиц, ответственных за дипломное проектирование).

Если дипломный проект соответствует всем требованиям, нормоконтролер подписывает чертежи в отведенном месте основной надписи по ГОСТ 2.104—68 (форма 1), ГОСТ 21.103—78 (форма 1) и пояснительную записку в отведенном месте основной надписи по ГОСТ 2.104—68 (форма 2), ГОСТ 21.103—78 (форма 3).

Нормоконтролер имеет право возвращать графическую часть дипломного проекта и пояснительную записку без рассмотрения в случаях отсутствия обязательных подписей, небрежного выполнения чертежей и требовать от учащихся разъяснений, дополнительных материалов по вопросам, возникшим при проверке.

Нормоконтролер несет ответственность за соблюдение в дипломных проектах действующих стандартов и других нормативно-технических документов наравне с лицами, ответственными за дипломное проектирование. За правильность технических решений в дипломном проекте и номенклатуру применяемых электротехнических изделий отвечает руководитель проекта.

Изменения и исправления, указанные нормоконтролером и связанные с нарушением стандартов и других нормативно-технических документов, обязательны для внесения в дипломный проект.

Сделанные пометки должны сохраняться до окончательного подписания документа. Все замечания и предложения нормоконтролера оформляются листом нормоконтроля, образец которого приведен ниже.

Лист нормоконтроля дипломного проекта

учащегося группы _____ специальность _____

_____ техникума _____

(фамилия, имя, отчество)

Тема дипломного проекта _____

_____

Листы графической части, страницы записки	Замечания нормоконтролера	Замечания устранены	
		подпись учащегося	подпись руководителя проекта

Нормоконтролер (подпись) Ф.И.О.

2.5. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

После окончания работы над проектом учащийся представляет пояснительную записку и чертежи руководителю, консультантам отдельных частей проекта и нормоконтролеру для проверки и подписания. К этому сроку руководитель пишет отзыв о дипломном проекте и сдает его в учебную часть, которая направляет дипломный проект учащегося на рецензирование. Рецен-

зентом может быть преподаватель этого же или другого техникума либо специалист предприятия, назначенный учебной частью. Рецензент дает заключение о соответствии проекта заданию, его качестве, использовании в проекте последних достижений науки и техники и отмечает недостатки проекта.

Учащийся знакомится с рецензией до защиты дипломного проекта. Вносить изменения и поправки в проект после рецензии не допускается. Не позже чем за день до защиты все материалы дипломного проекта сдаются в учебную часть. Защита дипломного проекта проводится открыто в учебном заведении или на предприятии (если проект имеет практическое значение) перед Государственной квалификационной комиссией из 5—6 человек.

При защите графическая часть проекта вывешивается для обозрения, а пояснительная записка с отзывом руководителя, рецензией и ведомостью оценок учащегося по всем предметам за время обучения в техникуме представляются в ГКК. Если учащийся изготовил к проекту макет, прибор или установку, то эта часть дипломной работы также представляется к защите. Для защиты учащемуся отводится 20—25 мин. За это время он должен сделать доклад по разрабатываемой теме, в котором следует охарактеризовать проектируемый объект, обосновать принятые технические решения по электрооборудованию, электроосвещению, электроснабжению, объяснить принцип действия разработанного автоматизированного электропривода и назвать технико-экономические показатели.

После доклада зачитывается отзыв руководителя о качестве дипломного проекта и рецензия на него. Учащийся должен ответить на замечания рецензента. Затем члены ГКК могут задавать учащемуся вопросы по проекту, а также теоретические вопросы по предметам, изучаемым в техникуме. Вопросы и ответы учащегося протоколируются.

По окончании защиты ГКК выносит решение об оценке дипломного проекта. При этом учитываются: практическая ценность проекта и его актуальность, качество графической части и оформление пояснительной записки, содержание доклада и правильность ответов, успеваемость учащегося по всем предметам за период обучения в техникуме, оценка проекта руководителем и рецензентом.

ГЛАВА 3
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

3.1. ВЫБОР РОДА ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

При проектировании электрооборудования необходимо выбрать род тока (переменный или постоянный) и напряжение сети.

Для силовых электрических сетей промышленных предприятий в основном применяется трехфазный переменный ток. Постоянный ток рекомендуется использовать в тех случаях, когда он необходим по условиям технологического процесса (зарядка аккумуляторных батарей, питание гальванических ванн и магнитных столов), а также для плавного регулирования частоты вращения электродвигателей. Если необходимость применения постоянного тока не вызвана технико-экономическими расчетами, то для питания силового электрооборудования используется трехфазный переменный ток.

При выборе напряжения следует учитывать мощность, количество и расположение электроприемников, возможность их совместного питания, а также технологические особенности производства.

На выбор напряжения (от центрального распределительного пункта (ЦРП) до трансформаторных подстанций (ТП)) существенное влияние оказывает предполагаемое наличие на объекте электродвигателей напряжением выше 1 кВ (6, 10 кВ), электрических печей и других электроприемников.

Для питания цеховых ТП чаще применяется напряжение 10 кВ.

При выборе напряжения для питания непосредственно электроприемников необходимо обратить внимание на следующие положения.

1. Номинальными напряжениями, применяемыми на промышленных предприятиях для распределения электроэнергии (по ГОСТ 721—77), являются 10; 6; 0,66; 0,38; 0,22 кВ.

2. Применять на низшей ступени распределения электроэнергии напряжение выше 1кВ рекомендуется только в случае, если установлено специальное электрооборудование, работающее при напряжении выше 1 кВ.

3. Если двигатели необходимой мощности изготавливаются на несколько напряжений, то вопрос выбора напряжения должен быть решен путем технико-экономического сравнения вариантов.

4. В случае, если применение напряжения выше 1 кВ не вызвано технической необходимостью, следует рассмотреть варианты использования напряжения 380 и 660 В. Применение более низких напряжений для питания силовых потребителей экономически не оправдано.

5. При выборе одного из двух рекомендуемых напряжений необходимо исходить из условия возможности совместного питания силовых и осветительных электроприемников от общих трансформаторов.

6. С применением напряжения 660 В снижаются потери электроэнергии и расход цветных металлов, увеличивается радиус действия цеховых подстанций, повышается единичная мощность применяемых трансформаторов и в результате сокращается количество подстанций, упрощается схема электроснабжения на высшей ступени распределения энергии. Недостатками напряжения 660 В являются невозможность совместного питания сети освещения и

силовых электроприемников от общих трансформаторов, а также отсутствие электродвигателей небольшой мощности на напряжение 660 В, так как в настоящее время такие электродвигатели нашей промышленностью не выпускаются.

7. На предприятиях с преобладанием электроприемников малой мощности более выгодно использовать напряжение 380/220 В (если не доказана целесообразность применения иного напряжения).

8. Напряжение сетей постоянного тока определяется напряжением питаемых электроприемников, мощностью преобразовательных установок, удаленностью их от центра электрических нагрузок, а также условиями окружающей среды.

3.2. ВЫБОР СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

При выборе силового электрооборудования (электродвигателей, электропечей, сварочных аппаратов, гальванических ванн, трансформаторов, выпрямителей и пр.) следует предусматривать применение его новых модификаций, освоенных или планируемых к выпуску электропромышленностью, сравнив несколько вариантов их применения и выбрав экономически целесообразный по минимуму приведенных затрат [6]. Применяемое электрооборудование должно обеспечивать возможность выполнения электромонтажных работ на проектируемом объекте индустриальными методами, проведения подготовительных работ в мастерских электромонтажных заготовок (МЭЗ), а также механизацию работ на объекте.

Для выбора конструкции, вида исполнения и способа установки проектируемого оборудования исходными данными должны служить номинальное напряжение питающей сети и условия окружающей среды. Мощность электрооборудования должна выбираться такой, чтобы исключить недопустимый его нагрев в нормальных условиях эксплуатации.

При разработке дипломных проектов учащимся часто приходится выбирать электродвигатель для технологического и сантехнического оборудования,

Таблица 3.1

Технические характеристики оборудования

Технологическое оборудование							Электро		
наименование	тип, марка	количество однотипного оборудования	тип передачи	способ регулирования частоты вращения	мощность на приводном валу, кВт	частота вращения, $мин^{-1}$	тип	номинальная мощность $P_{ном}$, кВт	номинальная частота вращения n, $мин^{-1}$
Станок токарный	1К62	1	Клиноременная	—	7,0	1400	4А112М4У3	7,5	1425

поступающего на проектируемый объект не укомплектованным. Однако по указанию руководителя дипломного проекта выбор электродвигателей может осуществляться и для оборудования, поставляемого комплектно с электродвигателями.

Выбранный электродвигатель должен отвечать следующим требованиям:

а) механические характеристики двигателя должны соответствовать характеристикам рабочего механизма;

б) мощность электродвигателя должна максимально использоваться в процессе работы;

в) исполнение электродвигателя должно отвечать условиям окружающей среды;

г) характеристики электродвигателя должны соответствовать параметрам питающей сети.

Кроме того, необходимо знать следующие исходные данные механизма, для которого предназначен электродвигатель: наименование и тип; максимальную мощность на приводном валу механизма, если режим работы продолжительный и нагрузка постоянна, а в остальных случаях — графики изменения тока, мощности или моментов сопротивления в функции времени; частоту вращения приводного вала механизма; способ сочленения механизма с валом электродвигателя (при наличии передачи указывается род передачи и передаточное число); значение момента сопротивления при пуске; пределы регулирования частоты вращения приводимого механизма; характер и качество необходимой регулировки частоты вращения (плавное или ступенчатое регулирование частоты); частоту пусков или включений привода в течение 1 ч; характеристику окружающей среды.

При наличии всех данных производится выбор типа электропривода, причем прежде всего рассматривается возможность применения асинхронного привода. Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором просты в эксплуатации, дешевы, выпускаются электропромышленностью в широком ассортименте. Их следует применять в тех случаях, когда использование синхронного электродвигателя экономически нецелесообразно. Если необходимо

двигатели					Аппаратура управления и защиты				
КПД $\eta_{ном}$, %	$\cos\varphi_{ном}$	номинальное напряжение $U_{ном}$, В	номинальный ток $I_{ном}$, А	кратность пускового тока $K_i = I_п/I_{ном}$	тип пусковой аппаратуры	тип теплового реле	тип плавкого предохранителя	номинальный ток плавкой вставки, А	номинальный ток расцепителей автоматов, А
87,5	0,88	380	15,16	7,5	ПМЛ-2220	РТЛ-20	НПН-60	45	16

регулирование частоты вращения и по пусковым условиям не проходит асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором (имеющий большой пусковой ток), применяют асинхронный с фазным ротором.

Синхронные электродвигатели рекомендуется использовать для механизмов с длительным режимом работы и не требующих регулирования частоты вращения при мощности более 100 кВт, так как они имеют более высокий коэффициент полезного действия (КПД), возможность повышать $\cos\varphi$ системы электроснабжения и, кроме того, у них меньшие эксплуатационные расходы по сравнению с асинхронными. Электродвигатели постоянного тока применяют в том случае, если нужно плавно регулировать частоту вращения в больших пределах.

При выборе типа электродвигателя необходимо учитывать его экономические показатели: стоимость и затраты на монтаж двигателя с аппаратурой управления, источниками питания и преобразователями, а также его КПД. Габариты, масса электродвигателя и эксплуатационные требования к нему также принимаются во внимание. После технико-экономического сравнения нескольких типов электродвигателей выбирается наиболее экономичный вариант.

При наличии всех данных определяется требуемая мощность электродвигателя (гл. 4) и наконец производится выбор его по каталогу с учетом указанных выше требований. Результаты расчетов и паспортные данные выбранного электродвигателя оформляются в виде таблицы (табл. 3.1).

3.3. ВЫБОР АППАРАТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Выбор аппаратов управления (магнитных пускателей, контакторов, автоматических выключателей, рубильников) и защиты (предохранителей, автоматических выключателей, тепловых реле) производится по номинальному току нагрузки, номинальному напряжению и роду тока питающей сети. Чтобы предохранители и выключатели надежно защищали электроприемники и сети от коротких замыканий и перегрузки, они проверяются по номинальному току плавкой вставки и соответственно току срабатывания расцепителя. Кроме того, они должны быть проверены на селективность. Эксплуатационные требования и условия среды в месте установки аппаратов также должны учитываться при их выборе.

Для управления электродвигателями длительного и повторно-кратковременного режимов работы рекомендуется применять магнитные пускатели и контакторы, обеспечивающие защиту их от перегрузки и нулевую защиту. Они предназначены для частых коммутаций рабочих токов и редких отключений при токах перегрузки. Длительная эксплуатация аппаратов обеспечивается в условиях не только включения, но и отключения пусковых токов. Управление электродвигателями мощностью до 10 кВт осуществляют с помощью автоматических выключателей и рубильников при условии, что электродвигатели вместе с рабочим механизмом расположены в отдельных помещениях или ограждены и доступ к ним возможен лишь обслуживающему персоналу. Для группы электродвигателей, служащих приводом одной машины или же ряда машин, осуществляющих единый технологический процесс, следует, как правило, применять общую аппаратуру управления, в остальных

случаях каждый электродвигатель должен иметь отдельные аппараты управления и защиты [15].

При управлении из нескольких мест необходимо предусматривать аппараты (выключатели, переключатели), не дающие возможность дистанционного пуска механизма или линии, остановленных на ремонт. В случаях, когда оператор проектируемого механизма не сможет определить по состоянию аппарата управления, включена или отключена главная цепь электродвигателя, рекомендуется применять световую сигнализацию.

Аппараты управления следует располагать ближе к электродвигателям в местах, удобных для обслуживания. Если с места, где установлен аппарат управления электродвигателем, не виден приводимый им механизм и если этот механизм имеет постоянный обслуживающий персонал, необходимо предусмотреть следующие мероприятия для предотвращения несчастных случаев: а) установку кнопки пуска электродвигателя непосредственно у механизма; б) сигнализацию или звуковое оповещение о предстоящем пуске механизма; в) установку вблизи электродвигателя и приводимого механизма аппаратов для аварийного отключения электродвигателя, исключающих возможность пуска (кроме крышных вентиляторов).

Управление переносными электроприемниками возможно с помощью штепсельных соединений мощностью не более 1 кВт.

Для защиты от коротких замыканий электрических сетей и электроустановок рекомендуется в первую очередь применять плавкие предохранители и только в случае необходимости (автоматизация управления, частые аварийные отключения, быстрое восстановление питания) —автоматические выключатели. Предпочтение при выборе нужно отдавать предохранителям с наполнителем: НПН, ПН-2, ПП-17, ПП-18. Они наполнены мелкозернистым кварцевым песком и выпускаются на номинальные токи от 60 до 1000 А. Предохранители с разборным патроном без наполнителя типа ПР-2 применяются на номинальные токи 15—60 А. Применение установочных автоматических выключателей рекомендуется в цеховых распределительных устройствах на щитах подстанций для защиты отходящих линий, если иные выключатели применять нельзя. Защиту электродвигателей от коротких замыканий рекомендуется осуществлять с помощью предохранителей или автоматических выключателей, а от перегрузок — с помощью тепловых реле. При этом необходимо предусмотреть следующие виды защиты:

а) от коротких замыканий и от замыканий на корпус;

б) от перегрузок (за исключением электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы);

в) от минимального напряжения (для некоторых электродвигателей постоянного и переменного тока самозапуск недопустим);

г) от чрезмерного повышения частоты вращения (в случае необходимости для электродвигателей постоянного тока).

Аппараты защиты рекомендуется устанавливать во всех местах сети, где площадь сечения проводника уменьшается (по направлению к местам потребления электроэнергии), а также там, где это необходимо для соблюдения селективности защиты, причем непосредственно в местах присоединения защищаемых проводников к питающей линии. В случае необходимости допускается принимать длину участка между питающей линией и защитным аппаратом

ответвления до 6 м, а для ответвлений, выполняемых в труднодоступных местах — до 30 м [3]. Технические данные аппаратуры управления и защиты указывают в таблице (табл. 3.1).

3.4. ВЫБОР СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ДЛЯ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЦЕХА

Распределение электроэнергии на низшей ступени во многом зависит от схемы питания электроприемников. При выборе схемы электрической сети для питания электрооборудования цеха рассматривают ее коммутационную гибкость, надежность питания, экономичность, а также возможность применения индустриальных методов монтажа электрической сети.

Электрическая сеть может выполняться по радиальной, магистральной и смешанной схемам.

При радиальной схеме достаточно мощные электроприемники, как правило, получают питание непосредственно от подстанции, а группа менее мощных и близко друг к другу расположенных электроприемников — посредством распределительных пунктов, устанавливаемых как можно ближе к геометрическому центру нагрузки. Распределительные пункты линии присоединяются к главным распределительным щитам через рубильники и предохранители или автоматы (рис. 3.1, 3.2). При использовании радиальной схемы увеличивается количество аппаратов управления и защиты, а также протяженность сети, что требует больших капитальных затрат, однако данная схема надежна и проста в эксплуатации.

Магистральные схемы рекомендуется применять в следующих случаях:

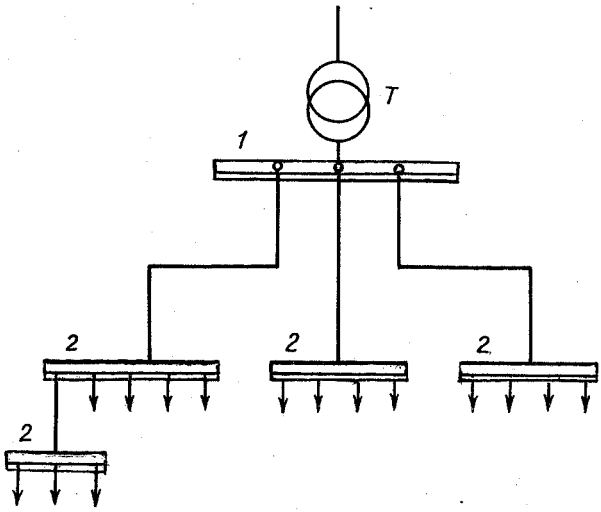


Рис. 3.1. Радиальная схема питания распределенных нагрузок:
1 — распределительный пункт подстанции; *2* — распределительный силовой пункт

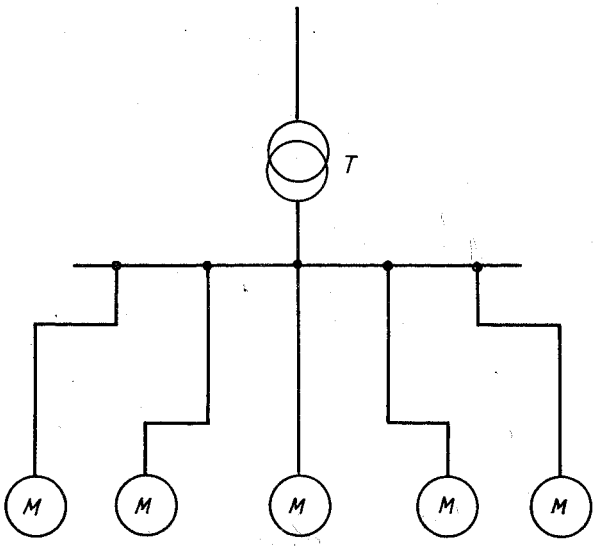


Рис. 3.2. Радиальная схема питания сосредоточенных нагрузок

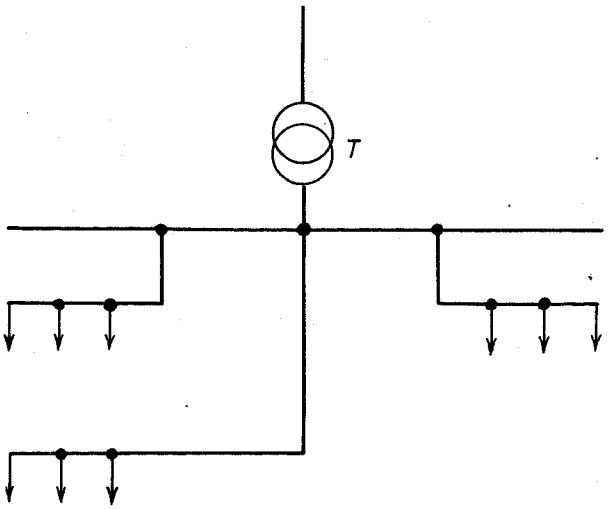


Рис. 3.3. Магистральная схема питания

а) когда нагрузка имеет сосредоточенный характер, но отдельные узлы нагрузки расположены в одном направлении по отношению к подстанции и на сравнительно небольшом расстоянии друг от друга;

б) когда нагрузка сравнительно равномерно распределена (рис. 3.3).

В практике проектирования чисто радиальные и магистральные схемы применяются редко. Чаще пользуются смешанными схемами, включающими элементы первых двух.

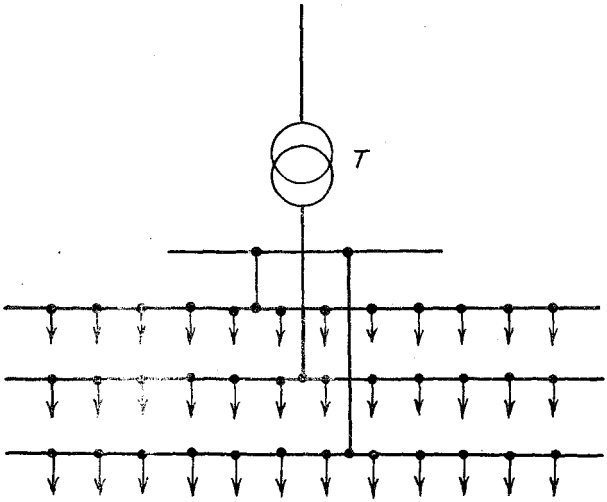


Рис. 3.4. Магистральная схема с линиями сборки

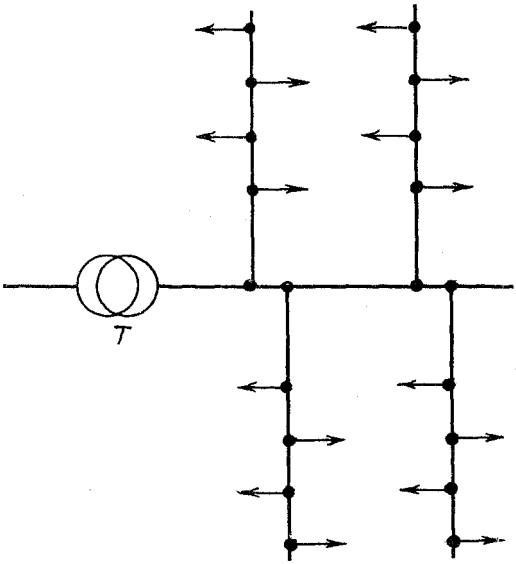


Рис. 3.5. Схема блока "трансформатор—магистраль"

Для цехов, имеющих правильную планировку оборудования (механические, механосборочные) и распределенную нагрузку, рекомендуется применять непосредственное подключение электроприемников к распределительным шинопроводам, которые питаются от распределительного пункта подстанции (рис. 3.4, 3.5). Распределительные шинопроводы выполняются в закрытых коробках и подключаются к магистральным через рубильники и предохранители. Все ответвления от магистральных и распределительных шинопроводов должны иметь защиту плавкими предохранителями или автоматами.

Категория потребителей существенно влияет на выбор схемы питания. Для электроприемников первой категории обязательно нужно предусматривать питание от двух независимых источников, к числу которых могут быть отнесены силовые трансформаторы, если они подключены к различным, не связанным между собой секциям распределительного устройства высшего напряжения. При этом резервное питание должно иметь автоматическое включение (АВР). Резервное питание электроприемников второй категории может не иметь АВР, а включаться дежурным персоналом. Принципы построения схем электроприемников второй категории такие же, как и для электроприемников первой категории. Отличие состоит лишь в том, что у них второго источника питания может и не быть.

На выбор схемы распределения электроэнергии оказывает также влияние характер производства. Электроприемники механизмов, связанных между собой определенной технологической зависимостью, должны быть объединены рабочим и резервным питанием.

3.5. ВЫБОР ЭЛЕКТРОПРОВОДОК

Для проектируемых помещений необходимо выбрать и обосновать вид электропроводки, конструктивные формы и способ прокладки которой зависят от характеристики помещений и условий окружающей среды.

По способу выполнения стационарные электропроводки делятся на о т к р ы т ы е (прокладываются непосредственно по строительным элементам зданий и сооружений, на лотках и в коробах, на тросах, изоляторах, роликах и клицах) и с к р ы т ы е (прокладываются внутри конструктивных элементов зданий и сооружений, в трубах, каналах, под штукатуркой).

Виды электропроводок и способы прокладки проводов и кабелей по [15] приведены в табл. 3.2—3.4.

Одной из разновидностей скрытых электропроводок является *модульная силовая распределительная сеть.* Эта электропроводка представляет собой проложенные в полу цеха магистрали (рис. 3.6) (провода с алюминиевыми жилами в винипластовых или стальных тонкостенных трубах) и распределительные модульные коробки, предназначенные для протяжки и ответвления проводов к электроприемникам или для установки на них распределительных колонок. Коробки располагаются по всей длине магистрали с определенным шагом, называемым "модулем". Магистрали прокладывают по всей площади цеха. Расстояние между коробками зависит от габаритов оборудования и принимается равным 2—3 м. Магистрали для модульных сетей выполняются четырехпроводными в трубах диаметром 40 мм. Основным элементом модульных распределительных сетей являются металлические модульные коробки КМ-2 или КМ-4, которые устанавливаются на черновом полу цеха заподлицо с чистым полом. Коробка КМ-2 имеет 2 патрубка с трубной резьбой $1\,^1/_2$" и предназначена для протяжки магистральных проводов и установки на ней распределительной колонки (рис. 3.7). Коробка КМ-4 имеет 2 патрубка с трубной резьбой $1\,^1/_2$" и 2 патрубка с резьбой 1", выведенных на уровень плоскости крышки. Эта коробка предназначена для протяжки магистральных проводов и выполнения ответвлений от них проводом меньшего сечения к электроприемникам, расположенным ближе 3 м от модульной коробки.

Таблица 3.2

Виды электропроводок и способы прокладки проводов и кабелей

Условия окружающей среды	Способ прокладки электропроводок	Провода и кабели
	Открытые электропроводки	
Сухие и влажные помещения	На роликах и клицах	Незащищенные одножильные провода
Сухие помещения	То же	Скрученные двухжильные провода
Помещения всех видов и наружные установки	На изоляторах, роликах	Кабель в неметаллической и металлической оболочках
Наружные установки	Непосредственно по поверхности стен, потолков и на струнах	Кабель в неметаллической и металлической оболочках
Помещения всех видов	То же	Незащищенные и защищенные одно- и многожильные провода. Кабели в неметаллической и металлической оболочках
Помещения всех видов и наружные установки	На лотках и в коробах, на тросах	То же, а также специальные провода с несущим тросом
	Скрытые электропроводки	
Помещения всех видов и наружные установки	В неметаллических трубах из сгораемых материалов, в замкнутых каналах строительных конструкций, под штукатуркой. Исключение составляют помещения сырые, особо сырые и наружные установки, где запрещается применять стальные трубы и стальные короба с толщиной стенок 2 мм и менее, а также изоляционные трубы	Незащищенные и защищенные одно- и многопроволочные провода. Кабели в неметаллической оболочке
	Открытые и скрытые электропроводки	
Помещения всех видов и наружные установки	В металлических гибких рукавах. В стальных трубах (обыкновенных и тонкостенных) и глухих стальных коробах. В неметаллических трубах и неметаллических глухих коробах из трудносгораемых материалов. В изоляционных трубах с металлической оболочкой. Исключение составляют помещения сырые, особо сырые и наружные установки, где запрещается применять изоляционные трубы	То же

Таблица 3.3

Виды электропроводок по условиям пожарной безопасности

Способ прокладки электропроводок по основаниям и конструкциям из материалов		Провода и кабели
сгораемых	несгораемых или трудносгораемых	
	Открытые электропроводки	
На роликах, изоляторах или с подкладкой несгораемых материалов	Непосредственно	Незащищенные провода. Защищенные провода и кабели в оболочке из сгораемых материалов
Непосредственно	То же	Защищенные провода и кабели в оболочке из несгораемых и трудносгораемых материалов
В трубах и коробах из несгораемых материалов	В трубах и коробах из трудносгораемых и несгораемых материалов	Незащищенные и защищенные провода и кабели в оболочке из сгораемых, трудносгораемых материалов
	Скрытые электропроводки	
С подкладкой несгораемых материалов и последующим оштукатуриванием или защитой со всех сторон сплошным слоем других несгораемых материалов	Непосредственно	Незащищенные провода, защищенные провода в оболочке из сгораемых материалов
Непосредственно	Непосредственно	Незащищенные провода, защищенные провода и кабели в оболочке из несгораемых материалов
В трубах и коробах из трудносгораемых материалов, с подкладкой под трубы и короба несгораемых материалов и последующим заштукатуриванием	В трубах и коробах: из сгораемых материалов — замоноличенно, в бороздах, в сплошном слое несгораемых материалов	Незащищенные провода и кабели в оболочке из сгораемых, трудносгораемых и несгораемых материалов
То же из несгораемых материалов — непосредственно	То же из трудносгораемых и несгораемых материалов — непосредственно	То же

Таблица 3.4

Виды прокладок кабелей и проводок во взрывоопасных зонах

Кабели и провода	Способ прокладки	Сети выше 1 кВ	Силовые сети и вторичные цепи до 1 кВ	Осветительные сети
Бронированные кабели	Открыто — по стенам и строительным конструкциям на скобах и кабельных конструкциях: в коробах, лотках, на тросах, кабельных и технологических эстакадах, в каналах; скрыто — в земле, блоках	В зонах любого класса		
Небронированные кабели в резиновой, поливинилхлоридной и металлической оболочках	Открыто — при отсутствии механических и химических воздействий; по стенам и строительным конструкциям на скобах и кабельных конструкциях, в лотках, на тросах	В-Iб В-IIа В-Iг	В-Iб В-IIа В-Iг	В-Iа В-Iб В-IIа В-Iг
	В каналах пылеуплотненных (например, покрытых асфальтом) или засыпанных песком	В-II В-IIа	В-II В-IIа	В-II В-IIа
	Открыто — в коробах	В-Iб В-Iг	В-Iа В-Iб В-Iг	В-Iа В-Iб В-Iг
	Открыто и скрыто в стальных водогазопроводных трубах	В зонах любого класса		
Изолированные провода	То же	То же		

Модульные коробки рассчитаны на прокладку алюминиевых магистральных проводов площадью сечения до 35 мм^2 и нулевого провода площадью сечения до 25 мм^2, который соединяется с нулевой клеммой, имеющейся в коробке. Общая нагрузка на магистраль не должна превышать 95 А, а при значительных нагрузках однофазных приемников нагрузка на магистраль снижается до 85 А. Ответвления от магистральных проводов к электроприемникам и распределительным колонкам выполняются без разрезания проводов с помощью сжимов типа У733м (рис. 3.8).

Монтаж модульной распределительной сети ведется в два этапа:

1) устанавливаются модульные коробки и прокладываются винипластовые или стальные тонкостенные трубы на черновом полу цеха. При этом плоскости крышек модульных коробок должны быть заподлицо с чистым полом;

2) затягиваются магистральные провода в трубы и коробки, устанавливаются распределительные колонки и прокладываются отходящие линии от колонок к электроприемникам.

Модульные силовые распределительные сети целесообразно применять в производственных помещениях (цехах) с нормальной окружающей средой и равномерно размещенными электроприемниками. Их располагают по всей площади помещения, где происходит частая смена технологического оборудо-

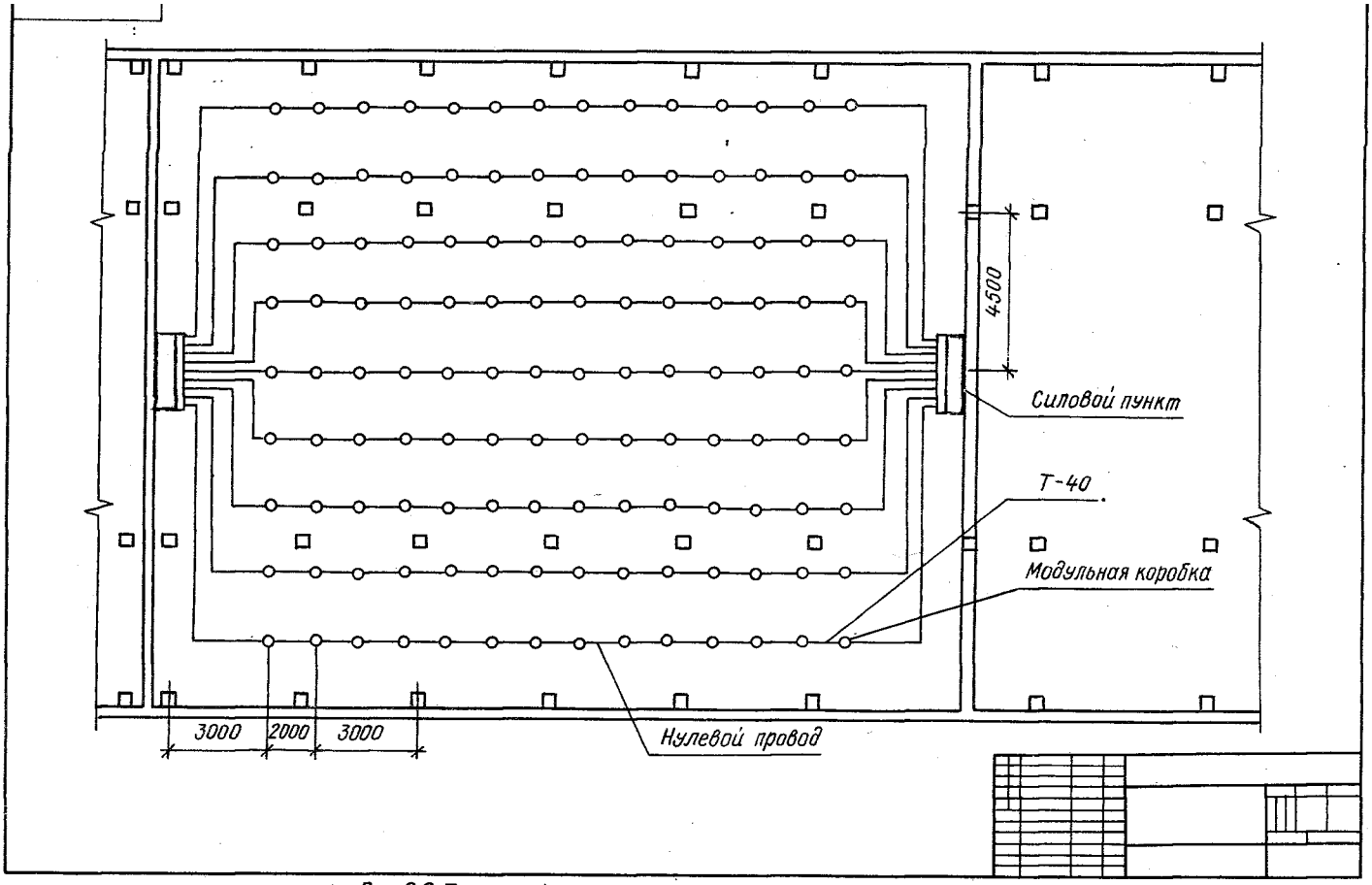
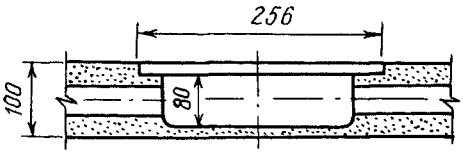
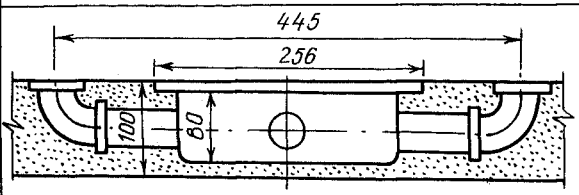
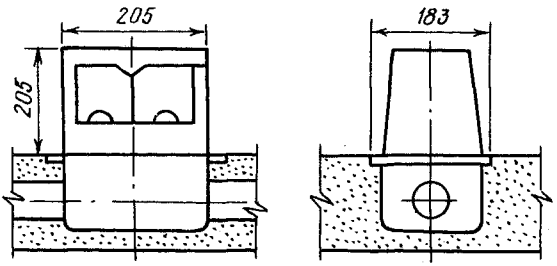
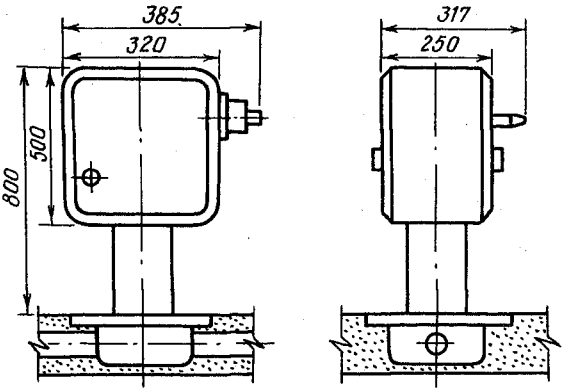


Рис. 3.6. Пример оформления плана расположения модульных магистралей

Наименование и вид	Эскиз	Обозначение установочных чертежей
Установка модульной коробки КМ-2 в полу		5.407-6.В1 п.14
Установка модульной коробки КМ-4 в полу		5.407-6.В1 п.15
Установка колонки КРР-4 со штепсельными розетками на 4 группы на модульной коробке КМ-2		5.407-6.В1 п.17
Установка колонки с предохранителями на 2 группы на модульной коробке КМ-2		5.407-6.В1 п.18

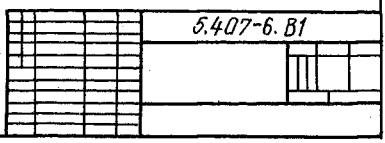
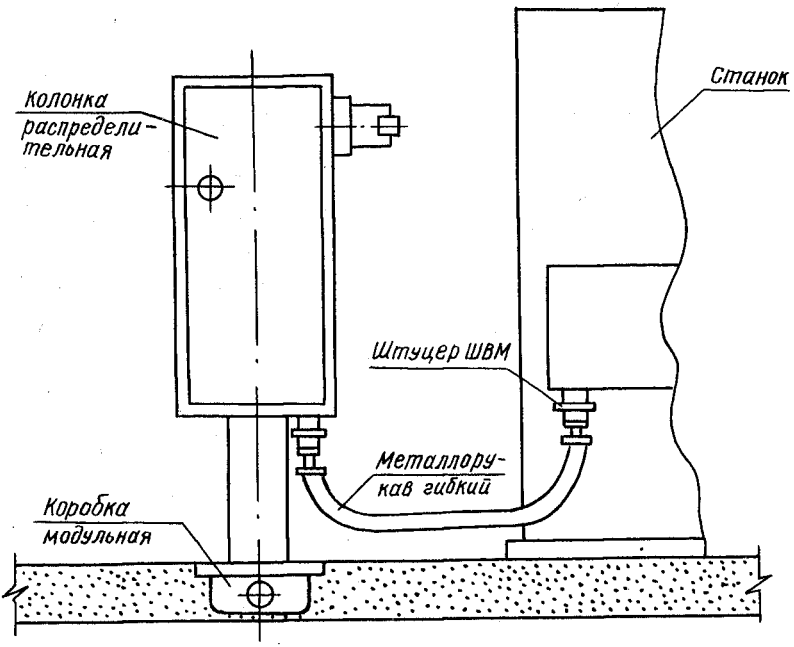


Рис. 3.7. Пример установки коробок и колонок в полу



5.407-6.81

Рис. 3.8. Пример прокладки проводов от колонки к токоприемнику

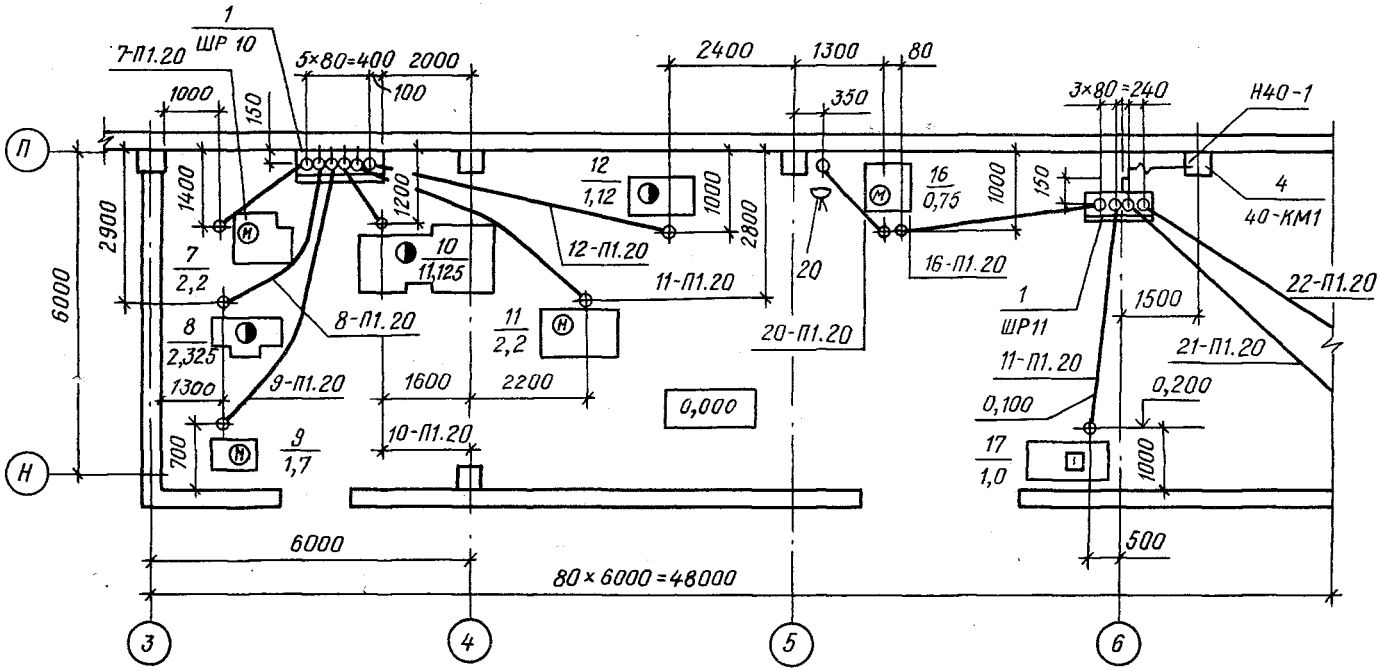


Рис. 3.9. Пример плана расположения силового электрооборудования и прокладки электрических сетей

вания, т.е. перепланировка. Модульные сети по сравнению с распределительными шинопроводами отвечают технологическим требованиям к повышенной чистоте помещений цеха, улучшают его эстетику, не затрудняют работу кранов и подъемных механизмов, а также не затемняют рабочие места.

Пример оформления плана помещения с силовыми сетями приведен на рис. 3.9. Электрооборудование и проводки на плане изображаются в соответствии с ГОСТ 21.614—88 (см. прил. 2). Технические данные шкафов распределительных серии ШР-11 приведены в прил. 7.

В настоящее время для электропроводок широко применяются пластмассовые трубы: винипластовые, полиэтиленовые и полипропиленовые. Их использование позволяет экономить стальные (водогазопроводные и тонкостенные электросварные) трубы, а также снизить трудоемкость трубных электропроводок.

Пластмассовые трубы нельзя прокладывать во взрыво- и пожароопасных зонах, а также открыто в лечебных и детских учреждениях. Кроме того, винипластовые трубы запрещается применять в животноводческих помещениях, а полиэтиленовые и полипропиленовые — в жилых общественно-административных и повышенной этажности зданиях.

ГЛАВА 4
АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И РЕАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

4.1. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Вопросам автоматизации электропривода промышленного технологического оборудования или процессов могут быть посвящены как дипломные проекты в целом, так и отдельные их разделы (чаще всего спецзадания). Примерные темы проектов по автоматизации электропривода приведены в гл. 2 (направление Г). При разработке темы по автоматизации электропривода или выполнении спецзадания учащемуся необходимо рассчитать мощность электродвигателя установки или механизма, выбрать защитную или пускорегулирующую аппаратуру, элементы автоматики, составить и описать принципиальную, а в отдельных случаях и монтажную электрические схемы, а также составить циклограмму (диаграмму включений) различных элементов электрической схемы.

Рассмотрим методику расчета мощности электродвигателей типового технологического оборудования.

Мощность электродвигателей $P_{дв}$ должна соответствовать мощности приводимого механизма. Для некоторых промышленных механизмов $P_{дв}$ можно рассчитать по нижеприведенным формулам [4].

Для *сверлильных станков* мощность резания (кВт)

$$P_z = Mn_{шп}/9550,$$

где M — вращающий момент на шпинделе, Н·м; $n_{шп}$ — частота вращения шпинделя, об/мин.

Для *расточных станков* мощность двигателя подачи (кВт)

$$P_{дв.п} = \frac{F_{п max} V_{б.п} \cdot 10^{-3}}{60\eta_п}$$

где $F_{п max}$ — наибольшее усилие подачи, действующее на рабочей части диапазона, Н; $v_{б.п}$ — наибольшая скорость быстрого перемещения, м/мин; $\eta_п$ — КПД передачи.

Для *фрезерных станков*

$$P_{дв} = \frac{P_{z ном}}{\eta_{ст.ном}} = \frac{F_z v_z \cdot 10^{-3}}{60\eta_{ст.ном}},$$

где $P_{z ном}$ — мощность резания, кВт; $\eta_{ст.ном}$ — КПД станка при номинальной нагрузке (0,75–0,8); F_z — усилие резания или наибольшее тяговое усилие на столе, Н; v_z — нормативная скорость резания или наибольшая скорость быстрого перемещения, м/мин.

Для *токарных станков*

$$P_{дв} = \frac{P_z}{\eta_{ст}} = \frac{F_z v_z \cdot 10^{-3}}{60\eta_{ст}},$$

где P_z — мощность резания, кВт; $\eta_{ст}$ — КПД станка при данной мощности резания; F_z — усилие резания, Н; v_z — скорость резания, м/мин.

Для *вентиляторов*

$$P_{дв} = \frac{k_з Q_в H}{1000\eta\eta_п},$$

где $k_з$ — коэффициент запаса; $Q_в$ — подача вентилятора, м^3/с; H — давление, Па; η — КПД вентилятора (0,4—0,85); $\eta_п$ — КПД передачи.

Для *насосов*

$$P_{дв} = \frac{k_з \gamma_п Q_н H}{1000\eta_н\eta_п}, \qquad (4.1)$$

где $k_з$ — коэффициент запаса; $\gamma_п$ — плотность жидкости, Н/м^3; $\eta_н$ — КПД насоса (0,6—0,9); H — напор, м; $Q_н$ — подача насоса, м^3/с.

Для *компрессоров*

$$P_{дв} = \frac{k_з Q_к}{1000\eta_к\eta_п} \cdot \frac{A_и + A_а}{2},$$

где $Q_к$ — подача компрессора, м^3/с; $A_и$ — удельная работа изотермического сжатия, Па/м^3; $A_а$ — удельная работа адиабатического сжатия, Па/м^3; $\eta_к$ — КПД компрессора (0,62—0,8).

Для *станков резания древесины*

$$P_{дв} = \frac{kbhv}{\eta},$$

где k — удельное сопротивление резания, Дж/м^3; b — ширина стружки или пропила, м; h — толщина стружки (при строгании) или высота срезанного слоя или пропила (при фрезеровании и пилении), м; η — КПД передачи; v — скорость передачи, м/с.

Для *конвейеров, транспортеров*

$$P_{дв} = \frac{k_з F v_к}{1000\eta},$$

где F — результирующее тяговое усилие конвейера, Н; $v_к$ — скорость движения конвейера, м/с.

Для *лифтов, механизмов подъема крана*

$$P_{дв} = \frac{G_к + G_п - G_{пр}}{1000\eta} v,$$

где $G_к$ — сила тяжести кабины, Н; $G_п$ — сила тяжести поднимаемого груза, Н; $G_{пр}$ — сила тяжести противовеса, Н; v — скорость движения кабины, м/с; η — КПД механизма (0,75—0,8).

Для *механизмов передвижения тележки крана*

$$P_{дв} = K_т \frac{G_v \cdot 7{,}5}{1000},$$

где G_v — сила тяжести механизма с грузом, Н; $K_т$ — коэффициент, равный 4—6 для подшипников качения и 6—8 — для подшипников скольжения.

Для *механизмов передвижения моста крана с подшипниками качения*

$$P_{дв} = K_{м1} \frac{G_v \cdot 7{,}5}{1000},$$

где $K_{м1}$ — эмпирический коэффициент, равный 3.

4.2. ВЫБОР ЗАЩИТНЫХ АППАРАТОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Выбор плавких вставок предохранителей. Для защиты *одиночного электродвигателя* от коротких замыканий номинальный ток плавкой вставки предохранителя $I_{вст}$ определяется из двух условий: а) по длительному расчетному току двигателя $I_{вст} \geqslant I_{дл}$; б) по максимальному значению кратковременного тока двигателя при его пуске

$$I_{вст} \geqslant \frac{I_п}{\alpha}, \qquad (4.2)$$

где $I_п$ — пусковой ток электродвигателя, А; α — коэффициент, характеризующий условия пуска (для электродвигателей механизмов с легкими условиями пуска $\alpha = 2{,}5$, с тяжелыми условиями пуска — $\alpha = 1{,}6$—2, для электродвигателей ответственных механизмов $\alpha = 1{,}6$).

Для защиты *группы электродвигателей* номинальный ток плавкой вставки предохранителя выбирается по тем же условиям, однако вместо $I_п$ принимается максимальный кратковременный ток линии

$$I_{max} = I'_п + I'_{дл},$$

где $I'_п$ — пусковой ток двигателя или группы двигателей, одновременно включаемых, при пуске которых кратковременный ток линии достигает наибольшего значения, А; $I'_{дл}$ — длительный расчетный ток линии, определяемый

без учета рабочего тока двигателя (или группы двигателей), для которых определялось значение $I'_{п}$, А.

Пример 4.1. Выбрать тип предохранителя и ток плавкой вставки для защиты асинхронного электродвигателя типа 4А250М8У3 мощностью $P_{ном}$ = 45 кВт; η = 91 %; $\cos\varphi$ = = 0,84; $U_{ном}$ = 380 В; $\frac{I_{п}}{I_{ном}}$ = 6, пуск двигателя легкий.

По формуле (2.1) определяется номинальный ток электродвигателя (он же является и током нагрузки).

Р е ш е н и е. $I_{нагр} = \frac{45 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0{,}91 \cdot 0{,}84} = 89{,}5$ А.

Наибольшее значение тока плавкой вставки округляется до ближайшего большего значения номинального тока плавкой вставки предохранителя (дается в справочной литературе).

По первому условию $I_{вст} \geqslant 89{,}5$.

По второму условию (по пусковому току), согласно (4.2),

$$I_{вст} = \frac{6 \cdot 89{,}5}{2{,}5} = 214{,}8 \text{ А}.$$

Так как по второму условию ток плавкой вставки больше, то принимаем это значение и округляем до ближайшего (250 А). Таким образом, выбираем предохранитель типа ПН-2-250 со вставкой на 250 А.

Выбор автоматических выключателей и тепловых реле магнитных пускателей. Номинальный ток электромагнитного или комбинированного расцепителя автоматического выключателя $I_{э}$ выбирается по длительному расчетному току

$$I_{э} \geqslant I_{дл}.$$

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя $I_{ср.э}$ проверяется по максимальному значению кратковременного тока:

$$I_{ср.э} \geqslant 1{,}25 \cdot I_{max}.$$

Номинальный ток теплового расцепителя автоматического выключателя или нагревательного элемента теплового реле магнитного пускателя выбирается по длительному расчетному току:

$$I_{т} \geqslant I_{дл},$$

где $I_{т}$ — номинальный ток теплового расцепителя автомата, А.

Выбор автоматов для защиты цепей управления напряжением 24 В постоянного тока. Максимальный ток срабатывания отсечки автомата выбирается из условия надежного отключения тока короткого замыкания

$$I_{м.э} \leqslant I_{к.з}, \qquad (4.3)$$

где $I_{м.э}$ — максимальный ток срабатывания отсечки автомата, А; $I_{к.з}$ — минимальный ток короткого замыкания цепи управления, определяемый по формуле

$$I_{к.з} = \frac{0{,}9U_0}{r + R_л},$$

где U_0 — расчетное напряжение холостого хода источника питания, В; r — выходное сопротивление источника питания, Ом; $R_л$ — сопротивление проводов, Ом.

Выбор автоматов для защиты цепей управления напряжением 110 В однофазного переменного тока. Ток отсечки автомата выбирается из условия отстройки от пускового тока

$$I_{уэ} \geqslant I_{2п},$$

где $I_{уэ}$ — ток отсечки автомата, А; $I_{2п}$ — пусковой ток, А.

Максимальный пусковой ток определяется с учетом параметров понизительного трансформатора и повышения напряжения в сети до 10 %:

$$I_{2п} = \frac{1{,}1U_{2н}}{K_z Z_{тр} + Z_а + Z_{2п} + Z_л},$$

где $U_{2н}$ — номинальное значение ЭДС вторичной обмотки трансформатора; K_z — коэффициент изменения сопротивления трансформатора, равный 0,75; $Z_{тр}$ — сопротивление трансформатора, Ом; $Z_а$ — сопротивление автомата, принимается 0,035 Ом; $Z_{2п}$ — пусковое сопротивление схемы; $Z_л$ — сопротивление проводов линии.

Проверка надежности отключения минимальных токов короткого замыкания для вторичной обмотки трансформатора производится по условию (4.3)

$$I_{м.э} \leqslant I_{2к.з},$$

где $I_{2к.з}$ — ток короткого замыкания вторичной обмотки трансформатора.

Минимальное значение тока короткого замыкания (если считать, что при коротком замыкании напряжение снижено на 10 %)

$$I_{2к.з} = \frac{0{,}9U_{2н}}{Z_{2тр} + Z_{2к.з}},$$

где $Z_{2тр}$ — полное сопротивление трансформатора, приведенное к напряжению вторичной обмотки; $Z_{2к.з}$ — сопротивление внешней цепи короткого замыкания (сопротивление автомата и линии).

Сопротивление линии подсчитывается по формуле

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где ρ — удельное сопротивление проводника, Ом·м; l — длина проводов линии, м; S — площадь сечения провода линии, м^2.

Таблица 4.1

Результаты выбора автомата типа . . . с каталожным номером . . .

Параметры	Условия выбора	Расчетное значение	Паспортные данные
Род тока	Соответствие		
Номинальное напряжение, В	$U_{п} \geq U_{р}$		
Номинальный ток, А	$I_{п} \geq I_{р}$		
Число расцепителей:			
защиты от коротких замыканий	Соответствие		
электромагнитных	— " —		
защиты от перегрузки	— " —		
минимального напряжения	— " —		
независимых	— " —		
Номинальный ток расцепителя, А	$I_{п.р} \geq I_{р.р}$		
Кратность тока отсечки	$K_{п.э} > K_{р.э}$		
Ток отсечки, А	$I_{п.у.э} > I_{р.у.э}$		
Проверка по токам короткого замыкания, А:			
стойкости	$I_{к.з} < I''_{п}$		
чувствительности	$I_{к.з} \geq 3I_{п.а.н}$ $I_{к.з} (1{,}4 - 1{,}25) I_{п.у.э}$		
Конструктивное исполнение	Соответствие		

Примечание. Индексами "п" и "р" обозначены паспортные и расчетные значения условий выбора аппарата.

Результаты проведенных расчетов и техническое обоснование принятых решений по выбору аппаратуры необходимо оформить в виде таблицы (табл. 4.1).

4.3. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Принципиальная электрическая схема отражает взаимные связи между отдельными электрическими устройствами, аппаратами, приборами и средствами автоматизации с учетом принципа действия и последовательности работы отдельных ее элементов. Прежде чем составить схему, необходимо определить систему подключения к сети электродвигателей, катушек пускателей и реле, электромагнитов, приборов, регуляторов и других элементов, выявить их общие коммутационные аппараты и аппараты защиты. Принципиальную электрическую схему изображают в положении отключенного питания, когда на аппараты и их части нет принудительных воздействий. Такое положение является исходным для электрической схемы.

При *разработке принципиальной электрической схемы* рекомендуется придерживаться определенной последовательности:

1) ознакомиться с назначением, устройством и технологией работы механизма, его особенностями;

2) составить технические условия (задание на проектирование) на электропривод и схему управления;

3) вычерчить принципиальную электрическую схему;

4) изучить схему в целом и выделить типовые схемные решения и узлы;

5) определить функциональное назначение всего электрооборудования схемы;

6) указать марки аппаратов схемы;

7) соединить схему с источниками питания;

8) установить по схеме наличие замкнутых цепей протекания тока или передачи потенциала при подаче питания;

9) рассмотреть, какие аппараты включаются при подаче питания;

10) установить цепи, в которых переключаются контакты аппаратов;

11) выбрать режим работы схемы и механизма и найти в схеме аппарат, включением которого начинается работа механизма;

12) установить взаимодействие аппаратов и электроприводов исполнительных механизмов, начиная с первого этапа его работы;

13) выделить в схеме, какие дополнительные переключения производятся после первого этапа работы механизма по технологическим факторам;

14) рассмотреть по схеме аппараты, дающие команду на переход ко второму этапу работы;

15) установить по схеме момент окончания цикла работы и ее возврата в исходное состояние;

16) вычертить циклограмму (диаграмму включений) аппаратов схемы;

17) указать марки проводов принципиальной электрической схемы;

18) составить перечень элементов электрической схемы.

Технические условия на электропривод и схему управления должны отражать:

назначение привода, режимы его работы, нагрузку и мощность; частоту вращения, плавность и диапазон ее регулирования;

условия пуска, конструктивное исполнение и защиту от окружающей среды, а также способы крепления электродвигателя;

назначение тяговых и тормозных электромагнитов, электромагнитных плит и муфт, их тяговое усилие и момент вращения, а также конструктивное исполнение;

режимы работы схемы управления и работы механизма в целом;

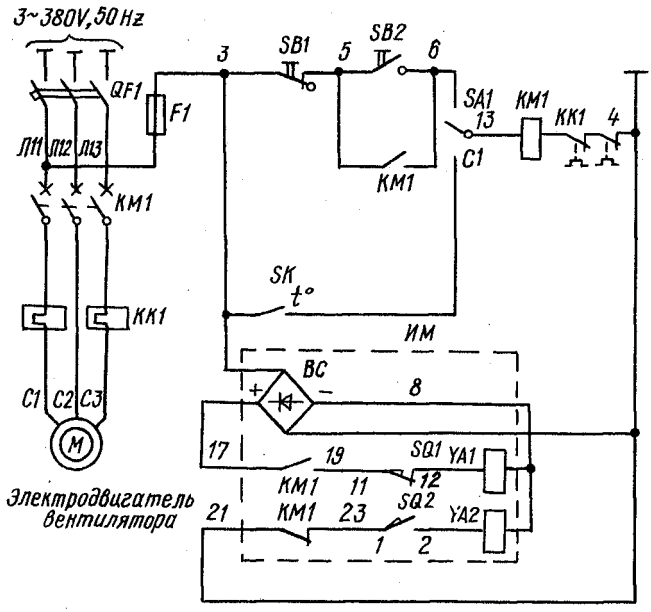
последовательность операций технологического процесса;

параметры управления, контроля и защиты электрической схемы;

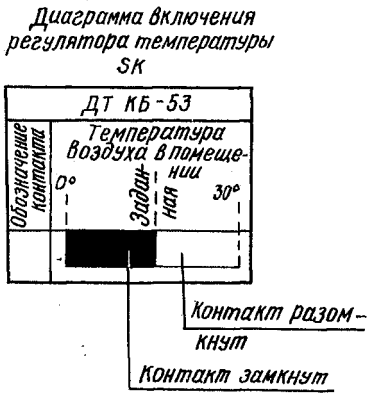
необходимость блокировок и ограничения перемещения частей механизма;

необходимость сигнализации и измерений различных технологических параметров.

Описание электрической схемы начинается с рассмотрения состояния аппаратов, когда они отключены, т.е. при отсутствии питания и командных воздействий. При описании схемы отмечается последовательность действия электрооборудования для рабочих и наладочных режимов, т.е. какие аппараты изменяют свое состояние при переходе к первому этапу работы, затем ко второму под воздействием управляющих команд и при взаимодействии между собой, прослеживается прохождение команд по различным цепям и аппаратам схемы. Обращается внимание на блокировки и защиту электрооборудо-



Питание ~220V		
Местное		Управление электродвигателем вентилятора
Автоматическое		
Открыть	Главный электромагнит	Управление исполнительным механизмом клапана на теплоносителе
Закрыть		



Поз	Обоз.	Наименов.	Тип	Кол	Тех. х-ка	Прим.
1	QF1	Автоматический выключат.	АЕ-2043	1		
2	КМ1	Пускатель магнитн.	ПМЛ-112	1		
3	КК1	Реле тепловое	ТРЛ-10 Iуст=4А	1		
4	F1	Предохранитель	ПРС-6П	1		
5	SA1	Переключатель пакетный	ППМ2-10/Н2	1		
6	SB	Кнопка управлен.	КЕО-11 исп.2	1		
7	SK	Датчик температуры	ДТ КБ-53	1	0-30°С	
8	ИМ	Исполнительный механизм	ЕСПА-200	1		

Рис. 4.1. Пример принципиальной электрической схемы

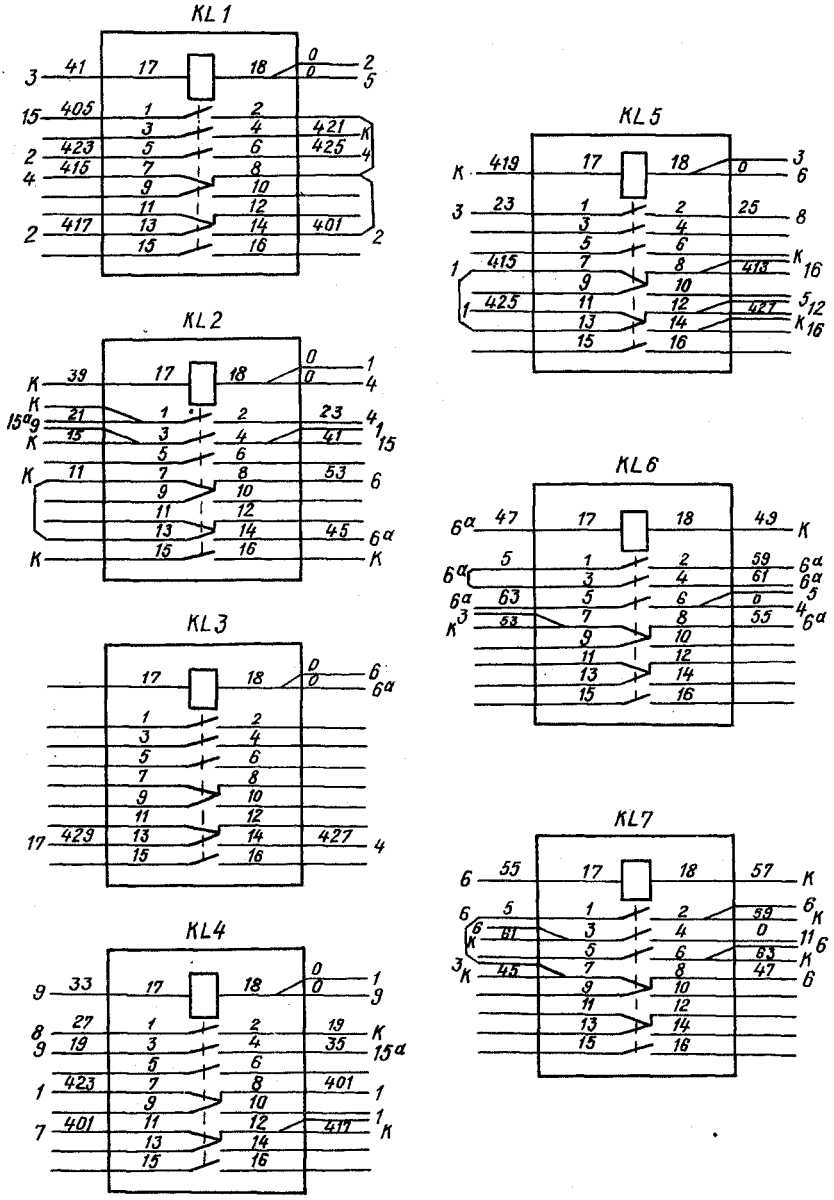
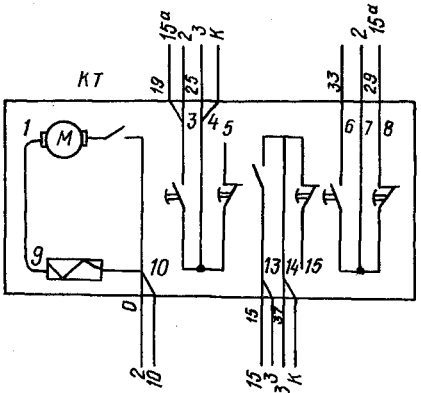
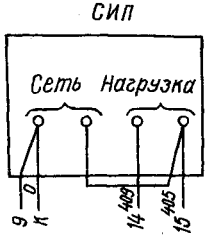
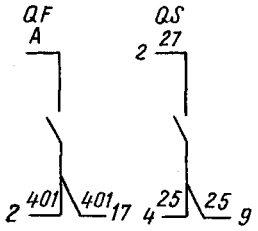


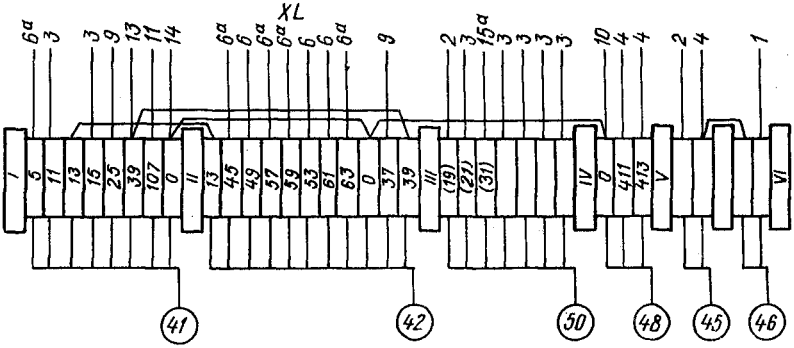
Рис. 4.2. Пример монтажной







Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
KL1-KL7	Реле универсальное ~220В	7	
QF	Автоматический выключат.	1	
QS	Пакетный выключатель	1	
КТ	Реле времени моторное ~220В	1	
СИП	Ступенчатый импульсный прерыв.	1	
XL	Клеммник	1	



электрической схемы

вания от ненормальных режимов работы, а также вопросы электробезопасности.

К описываемой схеме необходимо составить перечень элементов электрооборудования, с их обозначением на схеме и техническими данными, а также диаграммы работы переключателей управления и циклограммы срабатывания конечных выключателей, командоаппаратов и т.д. Циклограммы отражают динамику работы схемы и позволяют графически проанализировать ее.

Примеры выполнения принципиальной и монтажной электрических схем представлены на рис. 4.1 и 4.2. Основные условные обозначения на электрических схемах даны в прил. 4.

4.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Расчет электроприводов начинается с краткой технической характеристики и описания его основных узлов, изучения кинематических схем и технологических особенностей исполнительного механизма. Затем составляются технические требования на проектирование электрооборудования и производится выбор и технико-экономическое обоснование системы электропривода, а также расчет мощности электродвигателя в статическом режиме работы [2]. После этого приступают к расчету характеристик электропривода, на которые существенное влияние оказывают переходные процессы в момент пуска и торможения. Поэтому весьма важно при разработке электропривода учитывать эти режимы. Исключение составляют приводы механизмов, редко пускаемые и длительно работающие (насосы, вентиляторы, компрессоры и т.д.), для которых переходные процессы допускается не учитывать. Переходные режимы рассматривают с целью определения времени их протекания и определения зависимостей $\omega = f(t)$; $M = f(t)$ и $I = f(t)$ во время разгона, торможения и реверсирования электродвигателя, а также при его переходе с одной угловой скорости на другую и резком изменении нагрузки.

Пусковой и тормозной моменты электропривода должны поддерживаться в определенных пределах, обеспечивающих соответствующее время пусков и остановок двигателя. Расчет механических характеристик проектируемого электропривода сводится к обеспечению режима его работы, заданного условием. Построение характеристик и определение значений пусковых и тормозных сопротивлений подробно рассмотрены в [23]. Там же изложен и порядок расчета переходных процессов в системах электропривода с преобразовательными устройствами.

Проект, кроме того, должен содержать решения по выбору рода тока и значения напряжения для питания электропривода, аппаратов управления и защиты, расчеты питающих проводов и кабеля.

Одним из основных элементов электропривода является магнитный пускатель. В настоящее время широкое применение получили *пускатели электромагнитные серии ПМЛ*. Эти пускатели применяются для дистанционного пуска и остановки трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, а также для защиты электродвигателей от перегрузок недопустимой продолжительности и токов, возникающих при обрыве одной из фаз (в исполнении с трехполюсными тепловыми реле серии РТЛ). Они выпускаются для работы на переменном токе при номинальном напряжении втягивающих кату-

Таблица 4.2

Структура условного обозначения пускателей серии ПМЛ

1-я цифра величина пускателя по току $I_{ном}$, А	2-я цифра — исполнение пускателя по назначению и наличию РТЛ	3-я цифра — исполнение пускателя по степени защиты и наличию кнопок	4-я цифра — число контактов вспомогательной цепи и род тока
1—10 2—25 3—40 4—63 5—80 6—125 7—200	1 — нереверсивный без РТЛ 2 — нереверсивный с РТЛ 5 — реверсивный без РТЛ с электрическими и механическими блокировками 6 — реверсивный пускатель с РТЛ с электрическими и механическими блокировками 7 — пускатель "звезда — треугольник" с РТЛ	0 — IP00, IP40 без кнопок 1 — IP54 без кнопок 2 — IP54 с кнопками "Пуск" и "Стоп" 3 — IP54 с кнопками "Пуск" и "Стоп", сигнальной лампой 4 — IP00, IP40 без кнопок	0 — 1з на 10—25 А, 1з + 1р на 40—200 А, переменный ток 1 — 1р на 10—25 А, 2з + 2р на 80—200 А, переменный ток 2 — 3з + 3р на 80—200 А, переменный ток 3 — 3з + 1р на 80—200 А, переменный ток 4 — 5з + 1р на 80—200 А, переменный ток 5 — 1з на 10—25 А, переменный ток 6 — 1р на 80—25 А, постоянный ток

шек 27; 40; 42; 60; 115; 220; 230; 380; 400; 660; 690 В, а также на постоянном токе при напряжении 27; 48; 60; 110; 220 В.

Номинальный ток контактов вспомогательной цепи — 10 А.

У нереверсивных пускателей имеется одна кнопка "Пуск", у реверсивных — две. Кнопка "Стоп" осуществляет отключение пускателя в исполнении с тепловым реле и выполняет возврат реле в рабочее положение после его срабатывания.

Расшифровка условного обозначения пускателя показана в табл. 4.2. В ней не приведены цифры 5, 6, 7 структуры, которые обозначают исполнение климатическое по сейсмостойкости и износостойкости.

4.5. РАЗРАБОТКА МАКЕТОВ ДЕЙСТВУЮЩИХ УСТАНОВОК

Заданием дипломного проекта может быть предусмотрено изготовление макетов действующих моделей или электроустановок. Такому заданию может быть полностью посвящен дипломный проект или его часть (спецзадание, спецвопрос). Оно выполняется чаще всего группой учащихся, обладающих практическим опытом по монтажу электрооборудования, а также участниками кружков технического творчества.

В качестве примера ниже приводится ряд тем дипломных проектов, которые нашли применение на практике:

разработка, монтаж и оформление лабораторного стенда (стола, установки);

монтаж и наладка технических средств обучения (ТСО) в кабинете; автоматизация технических средств кабинета (лаборатории); изготовление информационного табло и др.

В форме спецвопросов рекомендуется выдавать небольшие по объему задания с обязательным уменьшением графической части на 1 лист и пояснительной записки на 10—20 страниц. Например: 1) наладка лабораторной установки; 2) изготовление учебно-наглядного пособия; 3) изготовление действующей модели установки, станка, приспособления и т.д.; 4) изготовление линейного электродвигателя.

После получения задания учащийся должен подготовить материальную базу для выполнения работ, т.е. получить у руководителя необходимые материалы, приборы и оборудование.

Если заданием дипломного проекта предусмотрено выполнение действующего макета, установки, табло, то к разрабатываемой установке учащийся прилагает пояснительную записку в объеме 30—40 страниц и чертежи на 2—3 листах. Пояснительная записка должна содержать: 1) введение; 2) общее описание (характеристику) изготовленной установки, макета или табло, его назначение и технические данные (мощность, массу, габариты и т.п.); 3) описание электрооборудования установки (трансформаторов, электродвигателей, аппаратуры управления, электроламп, радиодеталей, реле и т.д.) с необходимыми расчетами и спецификациями; 4) разработку технической эстетики и компоновки специальных узлов изготовленной установки или макета; 5) инструкцию по технической эксплуатации изготовленной установки; 6) указания по безопасности труда и противопожарной защите при эксплуатации изготовленной установки или макета; 7) смету или калькуляцию на изготовление разработанной установки или макета.

На чертежах, прилагаемых к пояснительной записке, могут быть показаны: общий вид с разрезами изготовленной установки или макета; электрические схемы установки (принципиальные и монтажные); планы размещения изготовленных установок (электроплакатница, электроэкзаменатор, автоматическое зашторивание окон, киноэкран, диапроектор и т.д.) в помещениях, где они устанавливаются, с электрической сетью; деталировочные чертежи, чертежи блоков и узлов изготовленной установки или модели.

Если установка или макет, изготовленные дипломниками, являются разработкой спецвопроса к дипломному проекту, то прилагать к ним чертежи необязательно. В пояснительной записке учащийся должен только кратко (на 1—2 страницах) их описать.

Дипломные проекты в виде изготовленного макета, установки вместе с пояснительной запиской и чертежами представляются ГКК к защите и остаются в техникуме в качестве учебно-наглядных пособий или лабораторного оборудования. Эстетично оформленные макеты и установки представляются на выставки технического творчества учащихся техникума, а также ВДНХ.

4.6. ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ ТЕМ, ИМЕЮЩИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Наряду с тематикой дипломных проектов учебного характера или даже привязанной к конкретным объектам может также широко использо-

ваться реальное проектирование. Оно основано на решении ряда задач, имеющих практическое значение, разработки которых предусматривается внедрить в производство. Темы таких проектов и их содержание согласовываются руководителем дипломного проекта с предприятиями, по предложениям которых разрабатывается дипломный проект.

Тематика дипломных проектов может включать вопросы электрооборудования и электроснабжения цехов, электрооборудования промышленных установок, трансформаторных подстанций, автоматизации технологических процессов.

Для выполнения реальных дипломных проектов привлекаются наиболее успевающие учащиеся. Руководителями желательно назначать производственников того предприятия, по которому выполняется проект.

Учащиеся, желающие выполнить реальный дипломный проект, обращаются к преподавателям с соответствующей просьбой. Они обязательно должны проходить преддипломную практику на данном предприятии, разобраться с технологией производства, используемым электротехническим оборудованием, четко уяснить стоящие перед ними задачи. К работе над проектом должны относиться серьезно, творчески, с чувством ответственности за порученное дело.

Дипломный проект может быть реальным полностью или только его часть, например спецвопрос.

Если учащемуся не представляется возможным выбрать тему или выполнить проект реальным по предложениям предприятия в полном объеме, он может разработать только отдельный вопрос и отнести его к специальной части проекта. Такими вопросами могут быть: разработка электрической схемы станка, установки, прибора, модернизация существующей электрической схемы технологического оборудования.

В проект могут включаться также вопросы применения стандартизации электрооборудования, экономичности работы энергослужбы предприятия, структуры службы и системы оплаты труда работников электроцеха, разработки электрооборудования и автоматизации производственной установки (станка), внедрения новой техники, разработки схемы управления электродвигателем с тиристорным преобразователем, а также схемы числового программного управления механизмов и др.

Учебные заведения очень часто заключают хозяйственные договоры с предприятиями на выполнение различных экспериментально-конструкторских работ (ЭКР). Это такие работы, как разработка документации на реконструкцию (модернизацию) действующего электрооборудования промышленных предприятий, проектирование электрических схем, изготовление конструктивных чертежей, альбомов электроизделий, проектов производства электромонтажных работ и т.д. К выполнению ЭКР привлекаются учащиеся-дипломники. Материалы ЭКР могут быть использованы в качестве темы дипломного проекта или спецвопроса.

Дальнейший ход работы над дипломным проектом и порядок его защиты в основном не отличаются от работы над обычным проектом.

Реальность проекта отражается в бланке-заданий записью "Рекомендован предприятием к внедрению в производство". О том, что проект пригоден для внедрения, делает заключение ГКК во время его защиты.

Чтобы передать материалы дипломного проектирования в производство, учащемуся необходимо снять с них копии и передать их заинтересованной организации. Взамен он должен получить справку о том, что его дипломный проект внедрен в производство.

Разработка реального дипломного проекта или спецвопроса и внедрение их в производство связаны с определенными трудностями организационного характера. Однако это все окупается моральным удовлетворением полезности выполненной работы и более высокой оценкой ГКК. Участие в общественно полезном труде при решении народнохозяйственных задач сближает процесс обучения с производством.

ГЛАВА 5.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

5.1. ПРОЕКТ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ

В дипломный проект может быть включено задание по разработке проекта производства электромонтажных работ (ППЭР) цеха или предприятия в целом.

Согласно [9], производство электромонтажных работ на вновь сооружаемых промышленных предприятиях, реконструируемых и расширяемых действующих, разрешается начинать только после организационно-технической подготовки к их осуществлению. Организационно-техническая подготовка к электромонтажу должна обеспечить планомерное выполнение монтажных работ индустриальными поточными методами, ввод в эксплуатацию объектов в установленные сроки, высокое качество работ, прогрессивные методы электромонтажа.

Проекты производства электромонтажных работ должны основываться на передовом опыте, учитывать совмещение общестроительных, монтажных и специальных работ. Их целью является повышение уровня производительности труда и механизации, сокращение и снижение себестоимости работ. Проекты предусматривают проведение следующих мероприятий:

а) первоочередное выполнение подготовительных работ;

б) концентрацию кадров и основных материально-технических ресурсов;

в) достижение непрерывности и поточности в производстве строительно-монтажных работ;

г) применение в электромонтаже сборных конструкций и оборудования, монтажных заготовок, изготовляемых на монтажно-заготовительном участке, и др.;

д) комплексную механизацию работ с применением для этого комплектов машин и максимальное использование их производительности, а также применение средств малой механизации;

е) уменьшение объема временных сооружений и приспособлений за счет первоочередного сооружения и временного использования для нужд монтажа постоянных сооружений и приспособлений и применения типовых инвентарных и передвижных сборно-разборных установок, приспособлений и инвентаря;

ж) применение наиболее прогрессивных форм управления электромонтажом (укрупнение, специализация, хозрасчет, арендный подряд и др.);

з) соблюдение правил производственной санитарии, безопасности труда и противопожарной техники.

Проект производства электромонтажных работ должен содержать:

1) пояснительную записку, содержащую краткую характеристику монтажного объекта с приведением основных физических показателей, сметной стоимости объекта, указаний по технологии и механизации работ, безопасности труда и сдаче объекта в эксплуатацию. В пояснительную записку включаются также всевозможные изменения основного проекта, способствующие повышению качества, сокращению сроков работ, экономии материалов, внедрению крупноблочного монтажа, типовых конструкций, обязательной и передовой технологии, выполнению работ в две стадии, а также ведомости закладных

деталей, комплектовочные ведомости на электрооборудование и электроматериалы, спецификации на кабельные изделия, провода, трубы, ведомости необходимых механизмов и приспособлений, расчет потребности в рабочей силе;

2) план цеха с нанесенными силовыми сетями и электрооборудованием с указанием монтажных зон и проходов (схема организации работ);

3) графики поступления на объект монтажных изделий, оборудования и основных материалов, движения рабочей силы по профессиям, работы основных строительно-монтажных машин и механизмов. В качестве примера см. табл. 5.1, 5.2, 5.3;

4) технологические карты на сложные и выполняемые новыми методами работы. На остальные виды работ составляются схемы производства работ или используются типовые технологические карты;

5) перечень подготовительных работ с указанием их объемов (табл. 5.4);

6) чертежи монтажных узлов и блоков, эскизы на нетиповые детали, конструкции, при необходимости указываются способы такелажа, транспортировки и монтажа блоков;

7) календарный или сетевой график выполнения электромонтажных работ по объекту (табл. 5.5).

Состав, объем и содержание ППЭР уточняются руководителем дипломного проектирования.

Таблица 5.1
График поступления на объект монтажных конструкций, материалов и оборудования

Материалы и оборудование	Единица измерения	Количество	Месяцы			
			I	II	III	...
1. Трубы стальные диаметром, мм:						
50	м	200	200	—	—	
25	м	500	500	—	—	
2. Трос стальной диаметром 6 мм	м	400	400	—	—	
3. Скобы концевые с натяжными крюками	шт.	8	8	—	—	
4. Крюки для промежуточной подвески	шт.	70	70	—	—	

Таблица 5.2
График движения рабочих по объекту "Ремонтно-механический цех"

Профессия	Общая потребность, чел.-дн.	Среднесуточное число рабочих по месяцам				
		I	II	III	IV	...
Электромонтеры	410	3,0	6,0	—	—	
И т.д.						

Пример сокращенного проекта производства электромонтажных работ объекта "Ремонтно-механический цех", участка генераторов высокой частоты приведен ниже.

В состав ППЭР входят разделы 1—4:

1. Схема организации работ и рабочих мест с указанием фронта работ, границ захвата, перемещения бригад и машин (рис. 5.1).

2. Основные указания по выполнению работ (о последовательности, методах производства работ, организации труда и прочие).

До начала монтажа генератора высокой частоты необходимо проложить трубы для электропроводок, залить фундаменты с деревянными пробками в тех местах, где предусматриваются анкерные болты. Монтаж генераторов высокой частоты начинается с расконсервации оборудования и затем отдельные агрегаты следует перемещать автокраном грузоподъемностью 3 т с удлиненной стрелой на фундаменты № 1 и № 2. Перемещение агрегатов на фундаменты № 3 и № 4 производить кран-балкой грузоподъемностью 3 т, которая должна быть смонтирована и пущена в эксплуатацию ко времени начала монтажа генераторов ВЧ.

3. Календарный график работ (табл. 5.6).

4. Производственная калькуляция затрат, состоящая из пунктов А, Б, В (табл. 5.7—5.9).

Таблица 5.3

График работ основных строительных машин на объекте "Ремонтно-механический цех"

Машины	Количество машин	Количество машино-смен				
		всего	по месяцам			
			I	II	III	IV
1. Автовышка	1	6	6			
2. Автокран грузоподъемностью 3 т	1	3	3			
И т.д.						

Таблица 5.4

Перечень и объем подготовительных работ

Мероприятия	Единица измерения	Количество	Срок выполнения
1. Расчистка территории под монтаж	$м^2$	200	20 апреля
2. Создание временного приобъектного склада	$м^2$	100	22 апреля
3. Монтаж временных электрических сетей	км	1	25 апреля
4. Перенос действующей кабельной линии	км	0,2	27 апреля
5. Устройство радио- и телефонной связи	точка	2	20 апреля
6. Установка закладных частей в строительных конструкциях	шт.	150	3 мая
7. Подготовка трасс проводок	Согласно проекту		5 мая
И т.д.			

Таблица 5.5

Календарный график производства работ на объекте "Ремонтно-механический цех"

Наименование работ	Объем работ		Трудоемкость по ЕНиР, чел.-ч	Потребные машины		Продолжительность работ, дни	Количество смен	Число работающих в смену, чел.	Номер бригады	Дни месяца							
	единица измерения	количество		наименование	количество машин, шт.					1	2	3	4	5	6	7	8
1. Прокладка стальных труб диаметром, мм:																	
50	100 м	6	69	—	—	3	1	3	Бригада № 1	———							
25	100 м	15	115,5	—	—	5,5	1	3	Бригада № 1	———					В		
2. Подвеска тросов с проводами	100 м	12	120	Автовышка	1	5,7	1	3	— " —				———		В	———	
И т.д.																	

Примечания: 1. Рабочие дни в графике показаны линией.

2. Выходные дни обозначены буквой "В".

3. Единица измерения объема работ 100 м принята в соответствии с едиными нормами и расценками (ЕНиР) № 23.

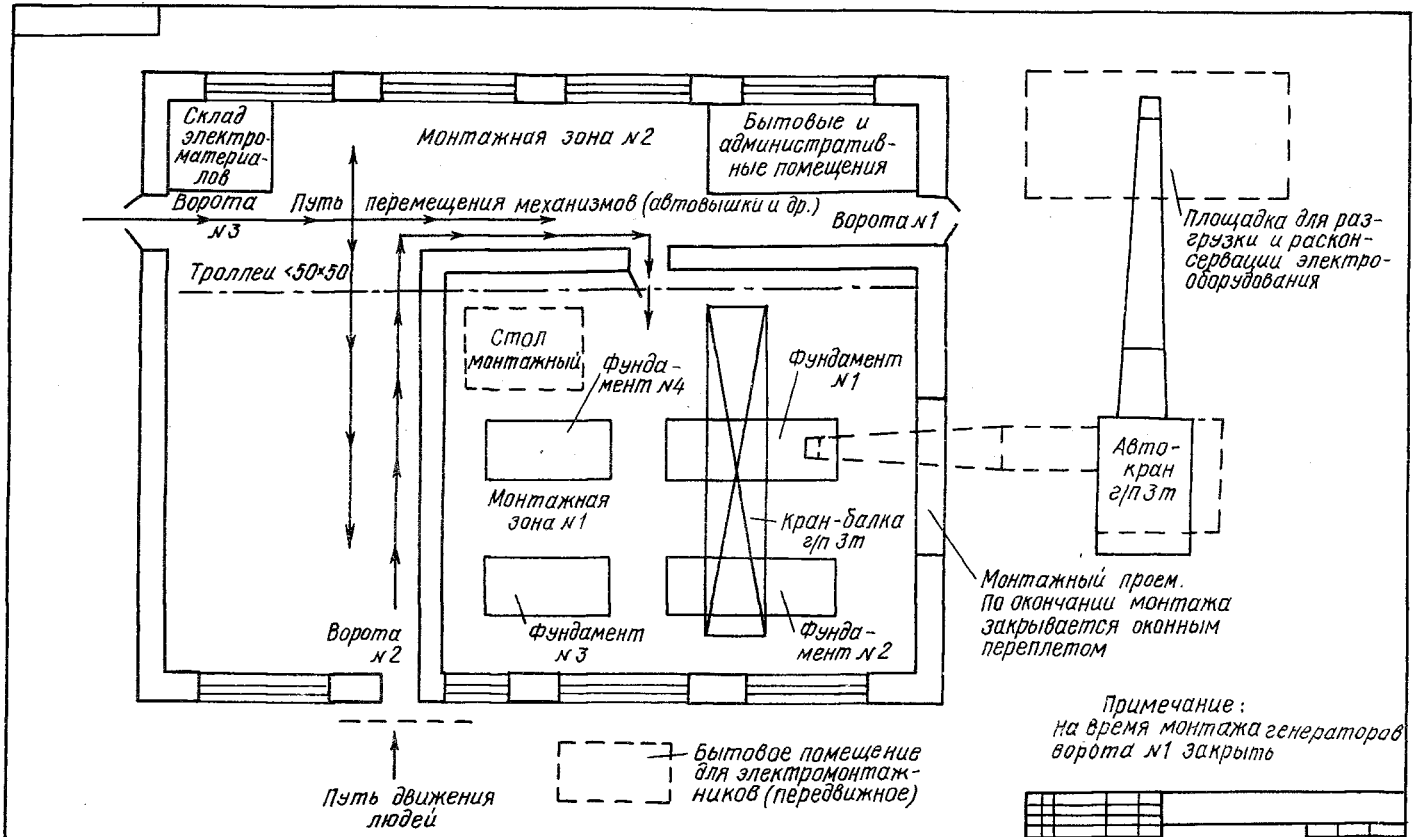


Рис. 5.1. План цеха со схемой организации работ

Таблица 5.6
График выполнения работ

Состав работ	Единица измерения	Объем работ	Трудоемкость по ЕНиР, чел.-ч	Состав бригады		График работы по дням или часам					
				профессия	количество, чел.	1	2	3	4	5	6
Монтаж шкафов	шт.	4	5,2	Электромонтер	3	———					
И т.д.											

Таблица 5.7
А. Трудовые затраты

Основание	Описание работ	Состав бригады, звена	Единица измерения	Объем работ	Норма времени на единицу измерения, чел.-ч	Расценка, руб.	Количество чел.-ч на весь объем работ	Стоимость всего объема работ, руб.
23-1-12 п. 7	Прокладка труб в борозде	4-го разряда — 1 чел., 2-го разряда — 2 чел.	100 м	1	11,5	4,71	11,5	4,71
И т.д.								

Примечание. В графе "Основание" указывается нормативный источник. В табл. 5.7 делается ссылка на сборник ЕНиР № 23, 2.1 гл. 12, п. 7.

Таблица 5.8
Б. Основные материалы, конструкции и оборудование

Наименование	Единица измерения	Количество	Стоимость единицы, руб.	Стоимость всего объема работ, руб.
Трубы стальные	т	1,0	110	110
И т.д.				

Таблица 5.9

В. Машины, оборудование, механизированный инструмент, инвентарь и приспособления

Наименование	Единица измерения	Количество	Стоимость 1 машино-смены, руб.	Стоимость всего объема работ, руб.
1. Автокран грузоподъемностью 3 т	Машино-смена	2	45	90
2. Электросварочный аппарат	Машино-смена	30	9	270
И т.д.				

5.2. ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ

Организация труда при монтаже силового и осветительного оборудования должна основываться на передовых индустриальных методах, например поточном и крупноблочном монтаже. В основу индустриальных методов производства электромонтажных работ положен принцип наименьшей связи их со строительной площадкой.

Монтажные работы выполняются в два этапа и сводятся к сборке отдельных узлов, изготовленных на заводах и в мастерских.

На *первом этапе* одновременно с общестроительными выполняются подготовительные электромонтажные работы: установка закладных частей в строительные конструкции, подготовка трасс проводок, монтаж глубинных заземлителей, установка крепежных конструкций и другие, несвоевременное производство которых может привести к повреждению строительной части здания. Параллельно с подготовительными работами в зоне монтажа в мастерских МЭЗ выполняется подготовка к монтажу комплектных заводских изделий и изготовляются укрупненные монтажные узлы и блоки.

На *втором этапе* выполняются собственно монтажные работы: установка комплектных изделий, монтаж узлов и блоков, прокладка кабельных сетей и т.д. Отделочные работы (побелка, покраска, устройство полов и т.д.) должны проводиться после электромонтажных работ первого этапа, так как их выполнение в неподготовленных зданиях и сооружениях влечет за собой значительные материальные и трудовые потери. Собственно электромонтажные работы в производственных помещениях должны вестись одновременно с монтажом технологического оборудования после окончания общестроительных работ.

Заготовку и изготовление укрупненных узлов и блоков открытых токопроводов, троллеев, труб, ошиновок, а также проводок осветительной сети следует осуществлять в мастерских МЭЗ. Крепление проводок необходимо выполнять, применяя передовую технологию: по металлическим основаниям — сваркой; по бетонным и кирпичным основаниям — пристреливанием, приваркой к закладным деталям или вмазкой в просверленные отверстия.

Ниже приведен пример технологии электромонтажных работ по распределительным устройствам и трансформаторным подстанциям.

Первая стадия монтажных работ, подготовительная, включает установку закладных деталей для крепления электроконструкций, оборудования, шин заземления, труб для вывода кабелей из каналов, прокладку труб в фундаменте для кабелей, а также другие работы, связанные с пробивкой строительных конструкций и заделкой их. Вторая стадия предусматривает установку электроконструкций, укрупненных узлов, оборудования, присоединение кабелей, проводов, шин, прокладку вторичной коммутации, подключение аппаратов и приборов, регулировку и наладку их. Электромонтажные работы второй стадии должны производиться в помещениях, где полностью закончены строительные и отделочные работы. Прием помещения под монтаж электрооборудования оформляется приемосдаточным актом.

В период подготовительных работ должно быть обеспечено получение комплектных распределительных устройств (КРУ), щитов, пультов, шкафов и т.п., укрупнение элементов электроустановок в блоки и узлы и комплектация оборудования и материалов в мастерских МЭЗ (сборка гирлянд изоляторов, комплектование зажимов, заготовка узлов гибких шин, изготовление металлических конструкций и крепежных деталей, опор, молниеотводов, ограждений, крепежных и закладных конструкций).

Поступающие на площадку конструкции следует укладывать около предназначенных для них фундаментов. Металлические конструкции для удобства транспортировки необходимо выполнять из разъемных элементов, собираемых на монтажной площадке. В закрытых распределительных устройствах (РУ) следует применять камеры, щиты (управления, защиты и распределительные), а также другие электроконструкции, изготовленные на заводах электропромышленности или в мастерских МЭЗ.

Технология электромонтажных работ по монтажу кабельной линии должна предусматривать сосредоточение всех работ по прокладке кабеля на специализированном участке, применение стендовой заготовки кабеля, заключающейся в том, что на технологической линии в мастерской МЭЗ по предварительным данным осуществляется отмеривание, отрезание, перемотка кабеля на инвентарный барабан, монтаж концевых муфт и заделок, а также испытание заготовленного кабеля повышенным напряжением.

При разработке технологии сооружения воздушных линий (ВЛ) электропередачи необходимо предусмотреть выполнение работ по сооружению ВЛ специализированными бригадами механизированным способом. На строительстве ВЛ нужно применять комплексную механизацию трудоемких работ (сборка и установка опор, раскатка и натяжение проводов и тросов, погрузочно-разгрузочные работы и т.п.). Монтаж ВЛ должен производиться поточным методом. Элементы опор ВЛ следует доставлять на трассу комплектно и с возможно максимальным укрупнением отдельных узлов.

Рассмотрим подробнее организацию работ индустриальным методом.

Под индустриальным методом ведения электромонтажных работ понимается такой метод, при котором монтаж электрооборудования сводится к сборке и установке доставленных к месту работ готовых заводских изделий (комплектных щитов, комплектных трансформаторных подстанций, узлов и блоков шинопроводов, магнитных станций и т.п.).

Крупноблочный индустриальный метод резко сокращает продолжительность монтажа и объем электромонтажных работ, стоимость электротехнических установок и сроки разработки проектной документации на объект.

При индустриальном методе ведения электромонтажных работ значительная часть их выполняется вне зоны монтажа (на заводах, в мастерских МЭЗ) и только подготовительные работы осуществляют одновременно со строительными и специализированными. Применение комплектных крупноблочных устройств, изготовленных заводами электротехнической промышленности,

является основным путем индустриализации электромонтажных работ. При разработке проекта должна быть предусмотрена возможность ведения электромонтажных работ индустриальными методами с максимальным использованием заводского электрооборудования, укомплектованного в крупные узлы и блоки, типовых монтажных изделий и современного механизированного инструмента.

К типовым электромонтажным изделиям относятся: перфорированные полосы, ленты, сталь швеллерная (для изготовления каркасов щитков, сборки пусковых устройств, а также для подвески собранных в блоки люминесцентных светильников), профильные рейки (для монтажа проводов и кабелей на клицах). Перфорированные стальные изделия идут на изготовление индустриальным путем опорных конструкций, что уменьшает трудовые затраты в МЭЗ и на объекте. Лотки для прокладки кабелей и проводок, представляющие собой легкие металлические конструкции со стандартными размерами, обладают по сравнению с дефицитными и дорогостоящими трубами большими преимуществами: хорошими условиями охлаждения проводов и кабелей, свободным доступом к ним, простотой замены, удобством прокладки по сложным трассам. В связи с выпуском контрольных кабелей с алюминиевыми жилами эффективным оказалось применение шайб-звездочек для присоединения жил к аппаратам с помощью моментных отверток. Весьма удобны полиэтиленовые колпачки, применяемые вместо обмотки соединяемых проводов изоляционной лентой, а также резиновые перчатки с трубками для оконцевания кабелей. Использование индустриальных эпоксидных муфт дает большую экономию рабочего времени при соединении кабелей.

К типовым электромонтажным изделиям относятся также кострукции для крепления троллеев из полосовой, круглой и угловой стали, держатели для крепления светильников, сальники для ввода проводов, муфты для соединения металлорукавов с трубами, троллеедержатели и др.

Полный перечень типовых электромонтажных изделий с технической характеристикой приведен в справочнике [27].

5.3. ГРАФИКИ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

Для организации производства электромонтажных работ используются линейные (календарные) и сетевые графики. В линейных (календарных) графиках отражаются сроки начала и окончания работы, последовательность выполнения операций. Однако такие графики не отражают все взаимосвязи между отдельными видами работ. При изменении условий монтажа эти графики необходимо полностью перерабатывать. Кроме того, в линейных графиках не выделяется работа, определяющая срок электромонтажа.

В настоящее время широкое распространение получили с е т е в ы е г р а ф и к и, которые имеют ряд преимуществ в сравнении с линейными, а именно:

1) на графике выделены работы, от которых зависит продолжительность электромонтажа;

2) отсутствует необходимость детальной проверки руководителем всех работ по графику, его внимание сосредоточивается только на работах, расположенных на критическом и близких к нему путях;

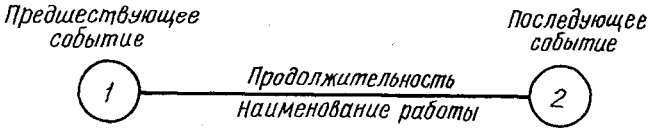


Рис. 5.2. Обозначение работы

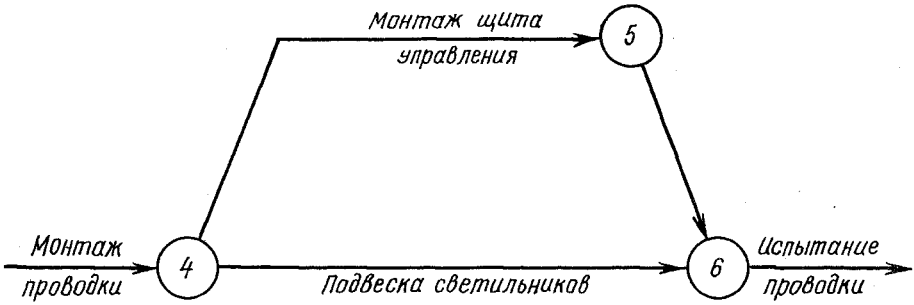


Рис. 5.3. Изображение параллельной работы

3) возможно прогнозирование хода электромонтажа, т.е. можно предвидеть, каким образом отклонение от графика отразится на выполнении последующих работ и, в конечном счете, на сроке монтажа;

4) определяются взаимосвязи между отдельными работами, т.е. по графику можно установить, какие трудовые операции должны быть выполнены до начала следующей работы;

5) обеспечивается наглядное представление о технологической последовательности работ; сетевой график является графической моделью процесса монтажа;

6) нет необходимости в многократной переделке графиков из-за изменения условий на монтажной площадке, достаточно лишь изменить цифры, показывающие продолжительность работ;

7) обработку данных можно производить с помощью электронно-вычислительных машин.

Элементами сетевого графика являются событие, работа и зависимость.

Событие — факт окончания одной или нескольких работ, необходимый и достаточный для начала последующих работ, например, "трубы уложены", "светильники подвешены" и т.п. Событие, не имеющее никаких предшествующих работ, называется начальным и соответствует началу электромонтажа на объекте.

Работа — производственный процесс, требующий затрат времени и ресурсов. Например, "монтаж КТП", "монтаж силового оборудования".

Зависимость отражает правильную взаимосвязь работ при построении сетевого графика (не потребляет ни времени, ни ресурсов).

Работа на сетевом графике изображается одной сплошной стрелкой, а зависимость — пунктирной. Длина и направление стрелок не связаны с продолжительностью работ. Продолжительность работы в единицах времени (напри-

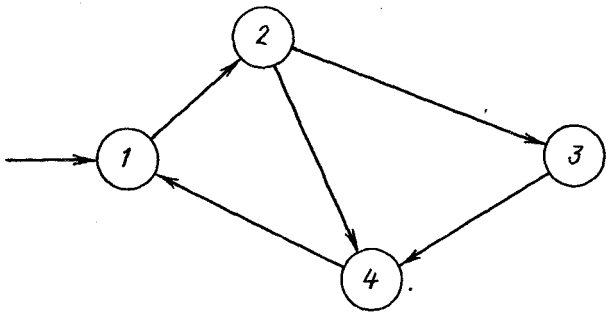


Рис. 5.4. Замкнутый контур (цикл)

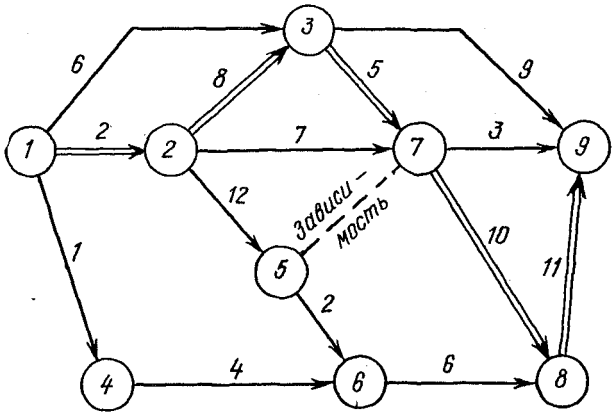


Рис. 5.5. Сетевой график с нанесенным критическим путем

мер, в днях) проставляется над стрелкой, наименование работы — под стрелкой. Событие изображается кружком и нумеруется.

Работа кодируется номерами двух событий: предшествующего и последующего. Код работы, изображенной на рис. 5.2, *1—2*.

Построение сетевых графиков осуществляется по следующим правилам:

а) направление стрелок в сетевом графике следует принимать слева направо;

б) график должен иметь простую форму без излишних пересечений, большинство работ следует изображать горизонтальными линиями;

в) при выполнении параллельных работ, т.е. если одно событие служит началом двух или более работ, заканчивающихся другим событием, вводится зависимость и дополнительное событие (рис. 5.3);

г) в сетевом графике не должно быть замкнутых контуров (циклов), т.е. работы не должны возвращаться к тому событию, из которого они вышли. Если таковые обнаружены при первоначальном построении сетевого графика, это свидетельствует об ошибке в исходных данных (рис. 5.4).

Непрерывная последовательность работ в сетевом графике называется *путем*. Длина пути определяется суммарной продолжительностью составляю-

Таблица 5.10

Карточка-определитель работ для сетевого графика

Наименование работ	Объем работ: единица измерения	Объем работ: количество	Сметная стоимость, руб.	Средняя выработка, руб.	Трудоемкость, чел.-дн.	Продолжительность работы, дн.
1. Прокладка труб диаметром, мм						
до 25	100 м	750	488	43	11,3	
до 40	100 м	140	86	43	2	5
до 70	100 м	70	137	43	3,7	
2. Затяжка проводов площадью сечения, мм^2:						
2,5	100 м	500	132	23	6	
до 6	100 м	240	85	23	4	
до 35	100 м	100	119	48	2,5	5
до 70	100 м	100	64,5	55	1,1	
до 95	100 м	30	61	55	1,1	
до 150	100 м	30	78,5	55	1,5	
3. Монтаж шинопровода	100 м	78	2259	65	35	10
4. Прокладка кабеля	100 м	525	1974,5	117	17	5
5. Монтаж и сдача КТП	шт.	1	629	41	15	4
6. Монтаж						
а) шин заземления	100 м	200	108,8	23	5	2
б) распределительных пунктов	шт.	5	74,34	60	2	
7. Монтаж магнитных пускателей	шт.	8	75,8	19,5	4	2
8. Монтаж:						
а) освещения	шт.	172	3791,32	60	63	10
б) осветительной сети	100 м	1000				
9. Подготовка к включению	шт.	32	68,19	12	5,7	3

щих его работ. Путь наибольшей длины между начальным и конечным событием называется *критическим*. Его длина определяет срок электромонтажа. Работы, лежащие на критическом пути, называются критическими (рис. 5.5).

Сокращение или увеличение продолжительности критических работ соот-

Количество рабочих в бригаде, чел.	Состав бригады		Дни
	разряд	количество, чел.	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
3	IV	1	——— В В —
	II	2	
3	IV	1	
	II	2	——— В В ———
3	V	1	——— В В ——— В В —
	II	2	
4	IV	1	——— В В —
	III	1	
	II	2	
4	VI	1	——— В В
	III	2	
	II	1	
4	VI	1	В В ———
	III	1	
	II	2	

Дни

			16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
2	III	1	
	II	1	———
6	V	1	——— В В ——— В В ———
	IV	1	
	II	4	
2	V	1	
	II	1	———

ветственно сокращает или увеличивает общую продолжительность работ по объекту.

В сетевом графике между начальным и конечным событиями возможны несколько путей, например, на рис. 5.5 пути *1–3–9, 1–2–7–9* и т.д.

Все работы по сетевому графику заканчиваются для рассматриваемого примера на 36-й день, т.е. когда выполнены все работы критического пути.

Составление модели сетевого графика является первым этапом его разработки. Для этого необходимо иметь: 1) нормы продолжительности монтажа и срок окончания работ; 2) проектно-сметную документацию на объект; 3) проект производства электромонтажных работ и технологические карты; 4) опытные данные о технологии монтажа (организация работ, продолжительность, трудозатраты) аналогичных объектов; 5) действующие нормы и расценки на электромонтажные работы; 6) сведения о сложившейся структуре и наличии ресурсов монтажной организации, материально-технической базе монтажа (парке машин и механизмов, мощности МЭЗ и т.д.); 7) данные о продолжительности выполнения отдельных работ на основании практического опыта.

На основании этих данных заполняется табл. 5.10, которая служит исходным документом для составления сетевого графика.

При составлении сетевого графика производства работ устанавливается конечная цель (конечное событие) и определяется критический путь и запас времени.

Конечной целью является ввод в эксплуатацию объекта.

Разработка исходного сетевого графика начинается с составления укрупненной схемы графика с ограниченным количеством событий. Сетевые графики могут иметь различную степень детализации в зависимости от принятой схемы производства работ (деление объекта на участки, зоны и т.д.).

5.4. РАСЧЕТ СЕТЕВОГО ГРАФИКА

Следующим этапом при составлении сетевого графика является его расчет, который заключается в определении раннего и позднего начала и окончания работ, критического пути и работ, лежащих на нем, запасов времени и календарных дат.

Раннее начало работы — это самое раннее время, в которое может быть начата данная работа. Оно определяется продолжительностью самого длинного пути от начального до предшествующего события.

Раннее окончание работы — время окончания работы, если она начата в ранний срок. Это время определяется суммой раннего начала и продолжительности данной работы.

Позднее начало работы — время начала работы, которое не вызовет увеличения общего срока монтажа. Оно определяется разностью продолжительности критического пути $T_{кр}$ и самого длинного пути от предшествующего до конечного события.

Позднее окончание работы — время окончания работы, если она начата в поздний срок. Это время определяется суммой позднего начала и продолжительности данной работы.

При расчетах сетевого графика применяются следующие обозначения:

t_{i-j} — продолжительность работы;

$T^{р.н}_{i-j}$ — раннее начало работы;

$T_{i-j}^{р.о}$ — раннее окончание работы;

$T_{i-j}^{п.н}$ — позднее начало работы;

$T_{i-j}^{п.о}$ — позднее окончание работы;

R_{i-j} — общий запас времени;

r_{i-j} — частный запас времени;

$i-j$ — рассматриваемая работа,

$h-j$ — предшествующая работа;
$j-k$ — последующая работа;
$i-z$ — завершающая работа.

Общий запас времени — это время, на которое можно перенести начало работы или увеличить ее продолжительность без изменения начала последующих работ.

Например, для графика, изображенного на рис. 5.5, для работы *6—8*

$$T_{i-j}^{р.н} = \max T_{h-i}^{р.о} = 2 + 12 + 2 = 16 \text{ дн.};$$

$$T_{i-j}^{р.о} = T_{i-j}^{р.н} + t_{i-j} = 16 + 6 = 22 \text{ дн.};$$

$$T_{i-j}^{п.н} = T_{i-j}^{п.о} - t_{i-j} = 36 - (6 + 11) = 19 \text{ дн.};$$

$$T_{i-j}^{п.о} = \min T_{j-k}^{п.н} = 19 + 6 = 25 \text{ дн.}$$

Позднее начало и окончание определяются для всех работ графика последовательно, начиная с конечного события.

Сопоставление ранних и поздних характеристик работ выявляет критический путь и запасы времени. Если эти характеристики совпадают, то работы лежат на критическом пути и запасы времени у них отсутствуют. Для остальных работ определяются запасы времени, представляющие собой разность поздних и ранних характеристик.

Общий запас времени определяется разностью позднего и раннего начала или окончания работы, например для работы *6—8*

$$R_{6-8} = T_{6-8}^{п.н} - T_{6-8}^{р.н} = 19 - 16 = 3 \text{ дн.}$$

или $R_{6-8} = T_{6-8}^{п.о} - T_{6-8}^{р.о} = 25 - 22 = 3$ дн.

Частный запас времени имеет место при условии "вхождения" в событие двух или более работ и определяется разностью раннего начала последующей работы и раннего окончания данной работы.

Для работы *6—8*

$$r_{6-8} = T_{8-9}^{р.н} - T_{6-8}^{р.о} = 25 - 22 = 3 \text{ дн.}$$

После определения критического пути производят сравнение его с заданным сроком монтажа. Для нашего примера $t_{кр} = \max T_{i-z}^{р.о} = 36$ дн. Если критический путь не превышает заданного срока, то график утверждается и служит документом для оперативного управления и контроля за ходом работ.

При расчете сетевых графиков каждое событие делится на 4 сектора, в которых указываются все необходимые для расчета данные о работах и событиях графика (рис. 5.6). Расчет ведется непосредственно на графике.

Рассмотрим порядок расчета сетевого графика.

1. Раннее начало исходных работ равно нулю. Раннее начало любой работы графика равно наибольшей из сумм ранних начал и продолжительностей предшествующих работ:

$$T_{i-j}^{р.н} = \max (T_{h-i}^{р.н} + t_{h-i}).$$

Для работ *3–7* и *3–9* (рис. 5.5):

$$T_{1-3}^{р.н} + t_{1-3} = 0 + 6 = 6 \text{ дн.};$$

$$T_{2-3}^{р.н.} + t_{2-3} = 2 + 8 = 10 \text{ дн.};$$

$$T_{3-7}^{р.н} = T_{3-9}^{р.н} = 10 \text{ дн.}$$

2. Время позднего свершения завершающего события графика (позднее окончание завершающих работ) равно времени его раннего свершения:

$$T_9^{п} = T_9^{р} = 36 \text{ дн.}$$

Позднее окончание любой работы сетевого графика равно наименьшей из разностей поздних окончаний последующих работ и их продолжительностей:

$$T_{i-j}^{п.о} = \min(T_{i-k}^{п.о} - t_{j-k}).$$

Для работ *3–7*, *2–7* и *5–7*:

$$T_{7-9}^{п.о} - t_{7-9} = 36-3 = 33 \text{ дн.};$$

$$T_{7-8}^{п.о} - t_{7-8} = 25 - 10 = 15 \text{ дн.};$$

$$T_{3-7}^{п.о} = T_{2-7}^{п.о} = T_{5-7}^{п.о} = 15 \text{ дн.}$$

3. Критический путь определяется по событиям, ранние и поздние сроки свершения которых (числа в правых и левых секторах) равны между собой. На графике его необходимо выделить. В нашем примере критический путь проходит по событиям *1–2–3–7–8–9*.

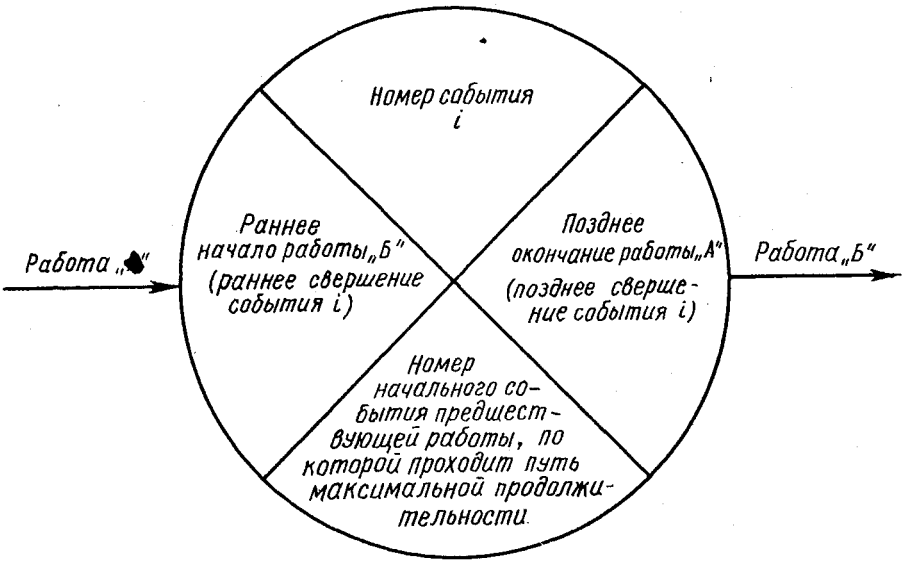


Рис. 5.6. Событие

Таблица 5.11
Результаты расчета сетевого графика

Номер начального события предшествующей работы	Шифр работы	Продолжительность работ, дн.	Раннее		Позднее		Резервы	
			начало работ, дн.	окончание работ, дн.	начало работ дн.	окончание работ, дн.	общие, дн.	частные, дн.
h	$i-j$	t_{i-j}	$T^{р.н}_{i-j}$	$T^{р.о}_{i-j}$	$T^{п.н}_{i-j}$	$T^{п.о}_{i-j}$	R_{i-j}	r_{i-j}
–	1–2	2	0	2	0	2	0	0
–	1–3	6	0	6	4	10	4	4
–	1–4	1	0	1	14	15	14	1
1	2–3	8	2	10	2	10	0	0
1	2–4	0	2	2	15	15	13	0
1	2–5	12	2	14	3	15	1	0
1	1–7	7	2	9	8	15	6	6
1; 2	3–7	5	10	15	10	15	0	0
1; 2	3–9	9	10	19	27	36	17	17
1; 2	4–6	4	2	6	15	19	13	10
2	5–6	2	14	16	17	19	3	0
2	5–7	0	14	14	15	15	1	1
4; 5	6–8	6	16	22	19	25	3	3
2; 3; 5	7–8	10	15	25	15	25	0	0
2; 3; 5	7–9	3	15	18	13	36	18	18
6; 7	8–9	11	25	36	25	36	0	0

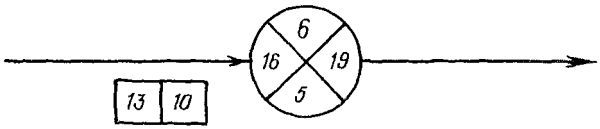


Рис. 5.7. Резервы времени

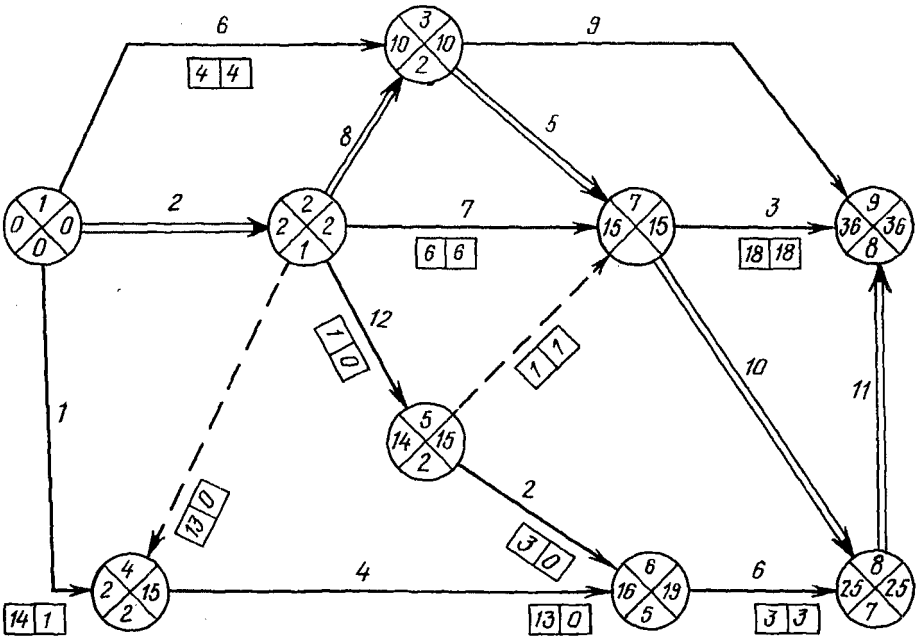


Рис. 5.8. Сетевой график

4. Запасы (резервы) времени определяются по формулам:

$$R_{i-j} = T^{\text{п.о}}_{i-j} - (T^{\text{р.н}}_{i-j} + t_{i-j});$$

$$r_{i-j} = T_{j-k} - (T^{\text{р.н}}_{i-j} + t_{i-j}).$$

Например, для работы *4–6*

$$R_{4-6} = T^{\text{п.о}}_{4-6} - (T^{\text{р.н}}_{4-6} + t_{4-6} = 19 - (2 + 4) = 13 \text{ дн.};$$

$$r_{4-6} = T^{\text{р.н}}_{6-8} - (T^{\text{р.н}}_{4-6} + t_{4-6}) = 16 - (2 + 4) = 10 \text{ дн.}$$

Значения резервов времени записываются на графике, как показано на рис. 5.7.

Результаты расчета сетевого графика сводят в табл. 5.11.

Сетевой график с нанесенными ранними и поздними свершениями событий и резервами времени примет вид, изображенный на рис. 5.8.

ГЛАВА 6

ЭКОНОМИЯ И КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

6.1. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ УСТАНОВКАМИ

При выборе оборудования и системы электроснабжения проектируемого объекта дипломник должен продумать и обосновать расчетом мероприятия, направленные на экономию отдельных видов энергии, используемых на промышленных предприятиях. Полученный результат затем пересчитывается на экономию электрической энергии.

К основным путям рационального использования энергии можно отнести:

а) применение наиболее рационального вида энергоносителя (электроэнергии, пара, горячей воды, каменного угля, газа, мазута, торфа и пр.), подтвержденное технико-экономическим анализом затрат во всех звеньях энергетического хозяйства, сохранением производительности труда и качества продукции;

б) интенсификацию технологических процессов (уменьшение времени на обработку изделия и вспомогательные операции, автоматизация и механизация трудовых процессов, полная загрузка плавильных и термических печей с уменьшением в них тепловых потерь и пр.);

в) выбор рациональной системы электроснабжения (оптимального числа и мощности силовых трансформаторов на подстанциях с их связями между собой на случай отключения в нерабочее время, применение глубоких вводов напряжением до 110 кВ, размещение цеховых подстанций в центре нагрузок и рациональное применение косинусных конденсаторов и синхронных двигателей для разгрузки сетей и трансформаторов от реактивных токов);

г) применение более экономичного энергоносителя вместо сжатого воздуха (электрического, вентиляционного дутья и др.);

Таблица 6.1

Коэффициенты перевода одного вида энергии в другой для сравнительных энергоэкономических расчетов

Вид энергии	Электроэнергия, кВт·ч	Тепловая энергия		Механическая энергия, кДж	Условное топливо, кг	Нормальный пар, кг
		ккал	кДж			
Электроэнергия, кВт·ч	1	860	$3{,}6\cdot10^{3}$	$3{,}6\cdot10^{3}$	0,123	1,344
Тепловая энергия:						
ккал	$1{,}163\cdot10^{-3}$	1	4,2	—	$143\cdot10^{-6}$	$1{,}562\cdot10^{-3}$
кДж	$0{,}28\cdot10^{-3}$	—	1	1	—	—
Механическая энергия:						
кДж	$0{,}28\cdot10^{-3}$	—	1	1	—	—
Условное топливо, кг	8,141	2000	—	—	1	10,93
Нормальный пар, кг	0,744	640	—	—	$91{,}5\cdot10^{-3}$	1

Таблица 6.2

Показатели оценки проектных решений по экономии электроэнергии

Принятое в проекте решение	Единица измерения	Аналог	Потери мощности от передаваемой, %	Годовая экономия электроэнергии $W \cdot 10^3$, кВт·ч
1	2	3	4	5
Электроустановки до 1 кВ				
Компенсация реактивной мощности до степени 0,4 квар/кВт за счет:				
1) установки конденсаторов на шинах комплектной трансформаторной подстанции (КТП), питающих кабельные сети	КТП	$\cos\varphi$ Естественный	0,2	
2) установки конденсаторов на магистральных шинопроводах (дополнительно к п. 1)	100 м шинопровода	$\cos\varphi$ Естественный	0,2	
Электрическая сеть:				
1) магистральный шинопровод ШМА73, 1600 А	1 км шинопровода	Кабель АВВГ 4х2 (3х120 + + 1х50) на конструкциях		150
2) приближение трансформатора 10/0,4 кВ к центру нагрузки на 10 м	1 цеховая подстанция мощностью 1000–2500 кВ·А	От внешних стен здания со стороны ввода питающих линий 10 кВ		12
3) шинопровод ШРА4, 250-630А	1 км шинопровода	Кабель АВВГ на конструкциях		70
4) световод	1 кВт	Взрывозащищенные светильники с лампами накаливания		
Электроустановки свыше 1 кВ				
Перевод питания на повышенное напряжение с соответствующим выбором проводников сети:				
1) 10 кВ	1 км линии	6 кВ	0,4	
2) 35 кВ	То же	То же	0,75	

Окончание табл. 6.2

1	2	3	4	5
Сокращение ступеней трансформации двухступенчатой схемы электроснабжения промышленных предприятий на напряжениях:		Трехступенчатая схема электроснабжения		
1) 110 и 10 (6) кВ	1 МВ·А сокращаемой трансформаторной мощности	110,35 и 10 (6) кВ		20
2) 220 и 10 (6) кВ	1 МВ·А сокращаемой трансформаторной мощности	220; 110 и 10 (6) кВ		12
3) 35 и 0,4 кВ	— " —	35,6 и 0,4 кВ		35
Компенсация реактивной мощности в сетях 6—10 кВ промышленных предприятий:				
1) питающих кабельные линии 10 кВ	1 км		0,14	
2) питающих кабельные линии 6 кВ	1 км		0,25	
Глубокий ввод 110-220 кВ к подстанции мощностью до 2х80 МВ·А (от внешней ограды предприятия со стороны ввода питающих линий 110 (220) кВ)	1 МВ·А передаваемой мощности на 1 км линии	Кабельные линии: 10 кВ;		20
		6 кВ		37
Токопроводы 6-10 кВ:				
1) подвесной трубчатый 2-цепной 2 (140х10); нагрузка каждой фазы 2200 А в нормальном режиме	1 км	Кабели ААШвУ на кабельной эстакаде при той же степени резервирования		200
2) подвесной трубчатый 2-цепной 2 (140х10); нагрузка каждой 1700 А в нормальном режиме	1 км	То же		270
3) то же, нагрузка каждой 1500 А в нормальном режиме	1 км	— " —		280

Примечание. Для получения экономии значение потери мощности умножается на годовое число часов использования максимальной мощности.

д) снижение потерь электроэнергии в трансформаторах и сетях (рациональная загрузка трансформаторов и сетей, применение шинопроводов вместо кабелей и т.д.);

е) использование вторичных энергоносителей (тепло отработанных газов, горячей воды и др.);

ж) выбор экономически обоснованного режима работы в течение суток технологического и энергетического оборудования;

з) утилизацию отходов (сжигание в топках котельных сгораемых отходов производства), организацию безотходного производства и др.;

и) использование природных энергоносителей.

Более подробно с этими вопросами можно ознакомиться в [1]. При выборе вида энергоносителя рекомендуется пользоваться коэффициентами, приведенными в табл. 6.1.

Для расчета экономии электроэнергии при сравнении вариантов проектных решений рекомендуется пользоваться данными табл. 6.2.

6.2. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Газоразрядные лампы (ГЛ) являются более экономичными по сравнению с лампами накаливания (ЛН), поэтому их и рекомендуется применять в первую очередь во всех промышленных осветительных установках (ОУ). К газоразрядным источникам света относятся люминесцентные лампы (ЛЛ), ртутные лампы высокого давления (ДРЛ), металлогалогенные лампы (МГЛ), натриевые лампы высокого давления (НЛВД). Лампы накаливания допускается использовать лишь в отдельных случаях, а именно:

а) в помещениях с тяжелыми условиями и во взрывоопасных зонах;

б) в помещениях с временным пребыванием людей;

в) в помещениях с постоянным пребыванием людей (при технико-экономической целесообразности);

г) в помещениях с повышенной опасностью поражения людей электрическим током (при использовании напряжения не выше 115 В);

д) для местного освещения;

Таблица 6.3.

Энергетическая эффективность различных источников света

Источник света	Относительная установленная мощность, %	Принятые при расчете	
		средняя световая отдача источника света η, лм/Вт	коэффициент, учитывающий потери мощности в ПРА
ЛЛ	100	70	1,2
ДРЛ	128	50	1,1
МГЛ	77	83	1,1
НЛВД	65	100	1,1
ЛН	220	15,3	1,0

е) при невозможности установки светильников с ГЛ по конструктивным соображениям;

ж) при недопустимости радиопомех;

з) для эвакуационного освещения.

Выбор наиболее рационального варианта применения источников света производится на основании их энергетической эффективности. Усредненная энергетическая эффективность различных источников света и потерь в пускорегулирующих аппаратах (ПРА) по [10] представлена в табл. 6.3.

Оценить возможную экономию электроэнергии от замены одних источников света другими при отклонении расчетной освещенности $E_р$ от нормированной $E_н$ в пределах от 0,9 до 1,2 можно с помощью табл. 6.4.

Выбор экономически целесообразного варианта ОУ по типу применяемых ламп следует производить по минимуму приведенных затрат путем проведения повариантных расчетов с помощью вычислительной техники, используя справочные материалы табл. 6.5 [10].

Если отсутствуют требования к цветоразличению, то по технико-экономическим соображениям нужно применять:

а) люминесцентные лампы типа ЛБ, так как они имеют большую световую отдачу;

б) для тяжелых условий среды — рефлекторные лампы типа ЛБР, обеспечивающие экономию электроэнергии до 20 % по сравнению с лампами ЛБ;

в) при работе ламп в зоне повышенной температуры — амальгамные лампы (ЛБА), создающие экономию электроэнергии до 25 % в сравнении с ЛБ.

Лампы НЛВД применяют в помещениях на высоте не менее 10 м при отсутствии требований к цветопередаче и производстве работы малой точности. Значительной экономии электроэнергии можно достичь при правильном подборе типов светильников и их размещении в помещении. Если в помещениях с подвесными потолками установлены кондиционеры или вентиляторы, то рекомендуется применять специальные встраиваемые светильники, совмещенные с системой кондиционирования или вентиляции, которые позволяют снизить расход электроэнергии на 15—20 %. При заданном типе ламп нужно стремиться к выбору светильников с максимальной единичной мощ-

Таблица 6.4

Возможная экономия электроэнергии за счет использования более эффективных источников света

Заменяемые источники света	Пределы возможной экономии, %	Среднее значение экономии, %
ЛЛ на МГЛ	от −2 до +42	23
ДРЛ на МГЛ	от +20 до +55	40
ДРЛ на ЛЛ	от −4 до +42	22
ДРЛ на НЛВД	от +34 до +62	50
ЛН на МГЛ	от +53 до +74	65
ЛН на ЛЛ	от +39 до +66	54
ЛН на ДРЛ	от +22 до +56	41
ЛН на НЛВД	от +61 до +78	71

Таблица 6.5

Справочные материалы для технико-экономической оценки вариантов ОУ

Источник света	Мощность светильника, Вт	$З_{кап}$, руб.	$С_а$, руб.	$С_ч$, руб.	$С_л$, при годовом числе		
					700	2250	4150
МГЛ	250	11,1	5,1	0,57	3,22	4,3	5,8
	400	14,8	8,1	0,57	4,0	6,0	8,8
	700	22,2	12,6	0,57	7,1	10,1	13,9
	1000	29,5	15,9	0,57	10,6	15,1	20,8
	2000	44,7	26,6	0,57	80,2	108,4	140,4
ДРЛ	250	6,5	4,5	0,57	0,4	1,1	1,8
	400	9,2	6,5	0,57	0,5	1,5	2,3
	700	14,5	10,4	0,57	0,7	2,1	3,3
	1000	19,1	13,7	0,57	0,9	2,8	4,4
	2000	34,6	24,7	0,57	1,7	5,2	8,2
ЛЛ	2x40	4,2	3,2	0,62	0,01	0,2	0,4
	2x65	5,2	3,9	0,62	0,02	0,2	0,4
ЛЛ	2x80	5,6	4,3	0,62	0,02	0,2	0,4
ЛН	100	1,8	1,4	0,57	0,3	0,9	1,6
	150	2,5	2,0	0,57	0,3	0,9	1,6
	200	3,1	2,4	0,57	0,3	0,9	1,6
	300	4,3	3,4	0,57	0,3	1,0	1,9
	500	6,8	5,5	0,57	0,3	1,1	2,0
	750	9,7	7,7	0,57	0,5	1,6	3,0
	1000	12,5	10,0	0,57	0,5	1,7	3,1
	1500	18,2	14,5	0,57	0,7	2,1	3,9

Примечания: 1. Полные годовые затраты и эксплуатационные расходы приведе-
2. Условные обозначения расшифровываются следующим образом: $З_{кап}$ — капиталь-
ффективности капвложений; $С_а$ — отчисления на амортизацию ОУ; $С_ч$ — стоимость 4 чис-
лектроэнергии, потребляемой одним светильником за год; при изменении годового чис-
вте (0,015 руб/(кВт·ч)) значение $С_э$ изменяется прямо пропорционально изменению каж-

остью ламп с условием, что это не повлечет за собой ухудшения каче-твенных показателей освещения.

Применение комплектных осветительных устройств со щелевыми свето-одами для помещений с тяжелыми условиями среды (взрывоопасных, пыль-ых и т.д.) может привести к экономии электроэнергии на 10—15 % по срав-ению с обычными светильниками для этой среды.

Рациональное управление освещением также способствует значительной кономии электроэнергии. Возможность отключения рядов светильников, па-аллельных окнам, в помещениях с боковым естественным светом группами риводит к снижению расходов электроэнергии на 5—10 %. В крупных цехах елесообразно предусмотреть дистанционное управление освещением, позво-яющее включать и выключать ОУ с учетом графика работы предприятия. При том управление освещением может осуществляться автоматически при по-ощи реле времени по разработанному графику или фотореле, а также вруч-

руб.			$C_э$, руб.				$З_{г.п}$, руб.	
часов использования освещения T, ч								
4800	700	2250	4150	4800	700	2250	4150	4800
6,3	3,0	9,6	17,6	20,4	24,0	31,7	41,2	44,5
9,7	4,8	15,3	28,2	32,6	32,2	44,7	60,5	65,8
15,3	8,3	26,8	49,4	57,1	50,8	72,3	98,7	107,8
22,9	11,9	38,2	70,5	81,6	68,4	99,3	13,73	150,5
151,6	23,8	76,5	141,1	163,1	175,9	256,8	353,4	386,6
2,2	3,0	9,6	17,6	20,4	15,0	22,3	31,3	34,2
2,9	4,8	15,3	28,2	32,6	21,6	33,1	46,8	51,8
4,1	8,3	26,8	49,4	57,1	34,5	54,3	78,2	86,6
5,4	11,9	38,2	70,5	81,6	46,1	74,4	108,3	120,4
10,0	23,8	76,5	141,1	163,2	85,4	141,6	209,2	233,1
0,5	1,1	3,5	6,4	7,4	9,1	11,7	14,8	15,9
0,5	1,8	5,6	10,4	12,1	11,5	15,6	20,6	22,3
0,5	2,2	6,9	12,8	14,8	12,7	17,6	23,7	25,8
1,9	1,1	3,5	6,4	7,4	5,2	8,2	11,8	13,1
1,9	1,6	5,2	9,6	11,1	7,0	11,2	16,3	18,1
1,9	2,2	6,9	12,8	14,8	8,6	13,9	20,5	22,8
2,2	3,2	10,4	19,2	22,3	11,8	19,7	29,4	32,8
2,3	5,4	17,4	32,1	37,1	18,6	31,4	47,0	52,3
3,5	8,1	26,1	48,1	55,6	26,6	45,9	69,1	77,1
3,6	10,8	34,8	64,1	74,2	34,4	59,6	90,3	100,9
4,6	16,2	52,1	96,2	111,2	50,2	37,5	133,4	149,1

ны из расчета на 1 светильник.
ные затраты на установку одного светильника, умноженные на нормативный коэффициент ток одного светильника в год; $C_л$ — стоимость замены ламп за один год; $C_э$ — стоимость ла часов использования ОУ или стоимости электроэнергии по сравнению с принятой при расдой из этих величин; $З_{г.п}$ — годовые приведенные затраты.

ную. Несмотря на некоторое увеличение капитальных затрат, при дистанционном управлении ОУ достигается экономия электроэнергии до 10–20 % в зависимости от конкретного предприятия и длительности дневного времени.

6.3. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Основными показателями качества электроэнергии (ПКЭ) являются отклонение напряжения δU, размах изменения напряжения δU_t, доза колебаний напряжения ψ, коэффициент обратной последовательности напряжения K_{2U}, коэффициент нулевой последовательности напряжения K_{0U}, коэффициент несинусоидальности кривой напряжения $K_{нсU}$, коэффициент n-й гармонической составляющей $K_{U(n)}$, отклонение частоты Δf, длительность провала напряжения $\Delta t_п$, импульсное напряжение $U_{имп}$ (ГОСТ 13109–87). По результатам преддипломной практики учащийся должен найти пути поддержания

показателей качества электроэнергии на предприятии и разработать в проекте рекомендации по их обеспечению. Рекомендации желательно подтвердить расчетом возможного экономического эффекта от их внедрения.

Отклонение напряжения δU есть величина, равная разности между значением напряжения в данной точке системы электроснабжения в рассматриваемый момент времени U и его номинальным или базовым значением $U_{ном}$. Оно обычно выражается в процентах:

$$\delta U = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100.$$

Допускается отклонение напряжения в нормальном режиме работы электрической сети напряжением до 1 кВ в течение не менее 95 % времени каждых суток в пределах ± 5 %, в послеаварийном режиме ± 10 %.

Отклонение напряжения от допустимых норм значительно снижает эффективность работы электрооборудования: асинхронных и синхронных электродвигателей, электротермических установок, вентильных преобразователей и осветительных приборов. Так, при отклонениях напряжения в сети изменяется частота вращения ротора электродвигателя, а также увеличиваются его активные потери и потребляемая реактивная мощность. Дополнительные затраты, вызванные работой электродвигателя при напряжении, отличном от номинального, можно подсчитать по формуле [3]:

$$\Delta З_а = C_р \delta(\Delta Q_{ном}) + C_{эн}[\delta P_{\Delta п} + \delta(\Delta P_{ном})] + \\ + У_{\Delta п} + У_и, \qquad (6.1)$$

где $\delta(\Delta Q_{ном})$, $\delta(\Delta P_{ном})$ — приращения потребляемой реактивной мощности и соответственно активных потерь по сравнению со значением этих величин при номинальном напряжении; $\delta P_{\Delta п}$, $У_{\Delta п}$ — приращения потребляемой активной мощности и соответственно ущерб, связанные с изменением частоты вращения; $C_{эн}$ — стоимость 1 кВт·ч электроэнергии; $У_и$ — дополнительные затраты, обусловленные изменением срока службы изоляции; $C_р$ — удельная стоимость реактивной мощности источника.

Значения составляющих функции $\Delta З_а$ по формуле (6.1) не однозначны. Для ориентировочных расчетов асинхронных электродвигателей до 100 кВт в дипломных проектах можно использовать следующие данные:

а) $\delta(\Delta Q_{ном})$ изменяется от −0,1 до +0,25 квар/кВт при отклонении значения напряжения в сети в пределах ±10 % от номинального;

б) $\delta P_{\Delta п}$ изменяется в соответствии с расчетной формулой мощности электродвигателя. При отклонениях напряжения в пределах ± 10 % активную мощность на валу двигателя можно считать практически неизменной;

в) при отклонении напряжения в пределах ± 10 % потери активной мощности у полностью загруженного двигателя изменяются от −1 до +2 % от номинальной мощности;

г) при отклонении напряжения на 5, 10 и 15 % частота вращения снижается

соответственно на 0,2–0,4; 0,5–1,0; 0,8–1,6 %, что приводит к прямому уменьшению производительности оборудования, т.е. к ущербу;

д) срок службы изоляции T_c снижается при повышении напряжения и, наоборот, возрастает при его уменьшении. Расчет его можно выполнять по формуле

$$T_c = T_н / K_{о.н},$$

где $T_н$ — срок службы изоляции при номинальном напряжении и номинальной нагрузке, ч; $K_{о.н}$ — коэффициент, зависящий от знака и величины отклонения напряжения, а также величины загрузки двигателя (при $-0{,}2 \leqslant \delta U < 0$ $K_{о.н} = (47\delta U^2 - 7{,}55\delta U + 1) K^2_{з.д}$, при $+0{,}2 \geqslant \delta U > 0$ $K_{о.н} K^2_{з.д}$); $K_{з.д}$ — коэффициент загрузки электродвигателя.

На практике можно считать, что для асинхронных электродвигателей до 100 кВт изменение напряжения на 1 % в диапазоне его допустимых отклонений влечет увеличение потребляемой реактивной мощности на 3 %. Отклонение напряжения в пределах 5–10 % $U_{ном}$ приводит к увеличению активных потерь до 0,03 $\Delta P_{ном}$ [3].

Размах изменения напряжения δU_t — это величина, равная разности между амплитудным или действующим значением напряжения до и после одиночного изменения напряжения. Она определяется в процентах по формуле

$$\delta U_t = \frac{(U_i - U_{i+1})}{\sqrt{2} \cdot U_{ном}} \cdot 100,$$

где U_i, U_{i+1} — значения следующих друг за другом экстремумов (или экстремума и горизонтального участка) огибающей амплитудных значений напряжения, В (кВ).

Величина δU_t при нормальном режиме работы электрической сети не нормируется.

Серию единичных изменений напряжения во времени называют *колебаниями напряжения*. Колебания напряжения отрицательно сказываются на зрительном восприятии предметов и на производительности труда работников. При колебаниях напряжения в промышленных электрических сетях снижается производительность электропечей, электролизных установок, машин точечной сварки и другого технологического оборудования. В результате появляется брак продукции на предприятиях.

Несимметрия напряжений трехфазной сети характеризуется *коэффициентом обратной последовательности напряжения* K_{2U} (%):

$$K_{2u} = \frac{U_{2(1)}}{U_{ном}} \cdot 100,$$

где $U_{2(1)}$ — действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений, В (кВ),

а также *коэффициентом нулевой последовательности напряжений* K_{0U} (%):

$$K_{0u} = \frac{U_{0(1)}}{U_{\text{ном.ф}}} \cdot 100,$$

где $U_{0(1)}$ — действующее значение нулевой последовательности основной частоты, В (кВ); $U_{\text{ном.ф}}$ — номинальное значение фазного напряжения, В (кВ).

Значения этих коэффициентов в нормальном режиме работы электрической сети не должны превышать 2 %.

Несимметрия напряжения в электрических сетях возникает при наличии в них однофазных нагрузок (особенно мощных сварочных агрегатов, электропечей). В этом случае в сетях появляются дополнительные потери электроэнергии, сокращаются сроки службы и в целом снижаются экономические показатели работы электрооборудования.

Искажение формы кривой переменного напряжения характеризуется *коэффициентом несинусоидальности кривой напряжения* $K_{\text{нс}U}$ (%):

$$K_{\text{нс}U} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{N} U_{(n)}^2}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100,$$

где $U_{(n)}$ — действующее значение n-й гармонической составляющей напряжения, В (кВ); n — порядок гармонической составляющей напряжения; N — порядок последней из учитываемых гармонических составляющих напряжения, а также *коэффициентом n-гармонической составляющей напряжения* $K_{U(n)}$ (%):

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100.$$

При определении показателя $K_{\text{нс}U}$ допускается не учитывать гармонические составляющие порядка $n > 40$ и значение которых менее 0,3 %. Значение этого коэффициента в электрической сети напряжением до 1 кВ при нормальном режиме работы не должно превышать 5 %, в сети напряжения 6—20 кВ — 4 %. Значения $K_{U(n)}$ не нормируются.

Искажение формы кривой напряжения возникает в электрических сетях с вентильными преобразователями, ртутными и люминесцентными лампами, мощными магнитными усилителями и др. Неблагоприятное влияние высших гармоник напряжения и тока сказывается на работе электрооборудования, системы автоматики, релейной защите. При этом появляются дополнительные потери в электрических машинах и другом оборудовании, достигающие 10—15 % от потерь при синусоидальном напряжении. Несинусоидальное напряжение приводит к ускоренному старению изоляции электрических машин, трансформаторов, электрических кабелей и т.д.

6.4. СРЕДСТВА УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Поддержание уровня напряжения. Уровень напряжения на зажимах электроприемников поддерживается регулированием напряжения:

а) на шинах теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) воздействием на систему возбуждения генераторов автоматически (АРВ) или вручную;

б) на шинах главных подстанций предприятий 0,38, 6 и 10 кВ — трансформаторами, методом переключения ответвлений обмоток под нагрузкой (РПН) и изменением возбуждения компенсаторов или синхронных двигателей;

в) на заводских и районных ТП изменением коэффициента трансформации методом переключения ответвлений обмоток без возбуждения (ПБВ) в пределах ± 5 % (это регулирование можно рекомендовать при сезонном характере изменения нагрузки);

г) повсеместно батареями конденсаторов, которые являются наиболее простым и эффективным средством местного регулирования напряжения.

Мощность регулируемой батареи конденсаторов $Q_р$, необходимой для компенсации отклонения напряжения δU, можно определить из выражения [3]

$$Q_р = \frac{10U^2_{ном.б.к}\delta U}{X_к U},$$

где U, $U_{ном.б.к}$ — соответственно напряжение на шинах батареи и номинальное напряжение, В; $X_к$ — индуктивное сопротивление короткого замыкания на шинах батареи, Ом.

Для ступенчатого регулирования напряжения конденсаторами можно рекомендовать серийно выпускаемые полупроводниковые устройства АРКОН. Эти устройства позволяют коммутировать секции конденсаторов в 3—7 ступеней автоматически или вручную. Параметром регулирования принято напряжение сети.

На промышленных предприятиях также применяются регулируемые статические источники реактивной мощности (ИРМ). В них батареи конденсаторов или реакторов управляются с помощью тиристорных ключей. ИРМ позволяет стабилизировать напряжение, компенсировать реактивные мощности и снизить уровень гармоник напряжения в сети.

Синхронные компенсаторы (СК) — это специальные электрические машины для повышения коэффициента мощности и регулирования напряжения в электрических сетях. Конструктивно СК отличаются от синхронных двигателей (СД) меньшим воздушным зазором и облегченным валом. Пуск синхронных компенсаторов возможен от источников питания достаточно большой мощности. Статические конденсаторные установки собираются из отдельных конденсаторов, которые в зависимости от рабочего напряжения и реактивной мощности соединяются между собой параллельно, последовательно или параллельно-последовательно в батареи.

Снижение колебаний напряжения. Снижение колебаний напряжения достигается за счет: разделения нагрузки (например, подключения спокойных и быстропеременных нагрузок к различным секциям (обмоткам) реактора), продольной емкостной компенсации параметров линии (последовательным включением конденсаторов в рассечку линии с целью уменьшения реактивного и полного сопротивления); применения синхронных машин и быстродействующих управляемых статических компенсаторов (БУСК), позволяющих также снизить отклонения напряжения в сети.

БУСК генерируют в сеть реактивную мощность, когда работают с перевозбуждением, способствуют повышению коэффициента мощности и уровня

напряжения в сети в установившемся режиме, а также снижают колебания напряжения при переменной нагрузке. В простейшем виде БУСК представляет собой конденсаторную батарею, регулируемую ступенчато тиристорными выключателями. По сравнению с синхронными компенсаторами БУСК обладает более широким диапазоном регулирования и скоростью компенсации, а также малыми потерями электроэнергии и низкими эксплуатационными расходами.

Снижение несимметрии напряжения обеспечивается с помощью схемных решений (например, подключением мощных однофазных электроприемников через отдельные трансформаторы), применением специальных симметрирующих устройств (СУ) (управляемых или неуправляемых) и симметрирующих трансформаторов.

Снижение несинусоидальности напряжения достигается рациональным построением схемы электрической сети, применением специальных схем нелинейных нагрузок и корректирующих устройств, выделением нелинейных нагрузок на отдельную секцию шин, подключенную к одной из обмоток многообмоточного трансформатора.

ГЛАВА 7

НАГРУЗКИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

7.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК

При выполнении дипломных проектов учащимся приходится определять электрические нагрузки. Они необходимы для выбора силовых трансформаторов, аппаратов защиты, компенсирующих устройств, а также для расчета потерь электроэнергии, отклонений и колебаний напряжения. От величины электрических нагрузок зависят также технико-экономические показатели проектируемой системы электроснабжения, в том числе капитальные затраты, расход цветных металлов и эксплуатационные расходы.

Определение расчетных электрических нагрузок электроустановок до 1000 В рекомендуется производить методом упорядоченных диаграмм. Расчет нагрузок ЦРП, ГПП, общезаводских и внешних электрических сетей предпочтительно выполнять по удельным расходам электроэнергии на единицу продукции.

Расчет электрических нагрузок общезаводских, по цехам, подстанциям и линиям электроснабжения на первой стадии проектирования ведется методом коэффициента спроса и удельных плотностей. При расчете в соответствии с ГОСТ 1494—77 индивидуальные величины и коэффициенты обозначаются строчными, а групповые — прописными буквами латинского алфавита.

Номинальная (установленная) мощность одного электроприемника (ЭП) указывается на заводской табличке (в паспорте) либо непосредственно на его корпусе. Установленная мощность принимается:

а) для электродвигателей длительного режима работы и ламп накаливания:

$$P_{ном} = P_{п}, \tag{7.1}$$

где $P_{п}$ — паспортная мощность электродвигателя, кВт;

б) для электродвигателей повторно-кратковременного режима работы — равной паспортной мощности, приведенной к относительной продолжительности включения:

$$P_{ном} = P_{п}\sqrt{ПВ_{п}}, \tag{7.2}$$

где $ПВ_{п}$ — паспортная продолжительность включения, равная 0,15, 0,25, 0,40, 0,60 о.е. (относительных единиц);

в) для силовых и электропечных трансформаторов:

$$S_{ном} = S_{п}, \tag{7.3}$$

где $S_{п}$ — паспортная мощность трансформаторов, кВ·А;

г) для сварочных трансформаторов:

$$S_{ном} = S_{п}\sqrt{ПВ_{п}};\ P_{ном} = S_{п}\sqrt{ПВ_{п}}\cdot\cos\varphi_{п}, \tag{7.4}$$

где $\cos\varphi_{п}$ — паспортный коэффициент мощности трансформатора.

Применительно к агрегатам с многодвигательным приводом (кроме крановых установок) под термином ЭП подразумевают весь механизм (машину) в целом, а под его номинальной мощностью — сумму номинальных мощностей всех двигателей агрегата.

Номинальная активная мощность группы рабочих ЭП (кроме резервных):

$$P_{ном} = \sum_{1}^{n} p_{ном}, \qquad (7.5)$$

где n — число электроприемников; $p_{ном}$ — номинальная активная мощность одного ЭП.

Коэффициентом использования активной мощности одного ЭП $k_и$ *или группы ЭП* $K_и$ за наиболее загруженную смену называется отношение средней активной мощности $P_{ср}$ отдельного ЭП (или группы) к ее номинальному значению и определяется по формулам:

$$k_и = \frac{p_{ср}}{p_{ном}}; \quad k_и = \frac{P_{ср}}{P_{ном}} = \frac{\sum_{1}^{n} k_и p_{ном}}{\sum_{1}^{n} p_{ном}}. \qquad (7.6)$$

Значения $k_и$ для приемников электроэнергии разных режимов работы приведены в прил. 8.

Наиболее загруженной сменой является смена с наибольшим потреблением энергии данной группы ЭП, цехом или предприятием в целом для характерных суток. Обычно наиболее загруженной бывает смена, в которой используется наибольшее количество агрегатов (дневная).

Коэффициент максимума активной мощности K_{max} представляет собой отношение расчетного (получасового) максимума активной мощности P_{max} к ее среднему значению за наиболее загруженную смену и определяется по формуле

$$K_{max} = \frac{P_{max}}{P_{ср}}. \qquad (7.7)$$

Значения K_{max} в зависимости от $K_и$ и эффективного числа электроприемников $n_э$ приведены в прил. 9.

Эффективное число электроприемников $n_э$ — это количество однородных по режиму работы ЭП одинаковой мощности, которое обусловливает ту же величину расчетного максимума, что и группа различных по мощности и режиму работы электроприемников, и определяется по формуле

$$n_э = \frac{(\sum_{1}^{n} p_{ном})^2}{\sum_{1}^{n} p^2_{ном}}, \qquad (7.8)$$

где в числителе квадрат суммы номинальных активных мощностей всех n электроприемников данной группы, в знаменателе — сумма квадратов номинальных активных мощностей отдельных приемников группы.

При большом числе ЭП пользоваться последней формулой без вычислительной техники затруднительно, поэтому применяют один из трех упрощенных способов определения $n_э$:

1) если число ЭП в группе четыре и более, считают $n_э = n$ при величине отношения

$$m = \frac{P_{ном.max}}{P_{ном\ min}} \leqslant 3, \tag{7.9}$$

где $P_{ном\ max}$ — номинальная активная мощность наибольшего электроприемника в группе, кВт; $P_{ном\ min}$ — номинальная активная мощность наименьшего ЭП в группе, кВт.

При определении m и $n_э$ электроприемники, суммарная мощность которых менее 5 % номинальной мощности всей группы, в расчете не учитываются;

2) при $m > 3$ и $K_и \geqslant 0{,}2$

$$n_э = \frac{2\Sigma P_{ном}}{P_{ном\ max}}. \tag{7.10}$$

Если найденное по этой формуле $n_э$ окажется больше n, то принимают $n_э = n$;

3) при $m > 3$ и $K_и < 0{,}2$ $n_э$ ЭП определяется графически [23].

Коэффициентом спроса по активной мощности $K_с$ называется отношение получасового максимума нагрузки к номинальной мощности группы ЭП:

$$K_с = \frac{P_{max}}{P_{ном}}. \tag{7.11}$$

Средние нагрузки за наиболее нагруженную смену силовых ЭП одинакового режима работы определяют по формулам:

$$P_{ср} = K_и P_{ном};\quad Q_{ср} = P_{ср} \operatorname{tg}\varphi_{ср}. \tag{7.12}$$

Для нескольких групп ЭП разного режима работы нагрузка находится по формулам:

$$P_{ср} = \sum_{1}^{n} p_{ср};\quad Q_{ср} = \sum_{1}^{n} q_{ср}. \tag{7.13}$$

Максимальные нагрузки за наиболее загруженную смену определяются по формулам:

$$P_{max} = K_{max} P_{ср};\quad Q_{max} = K'_{max} Q_{ср}, \tag{7.14}$$

Таблица 7.1

Расчет электрических нагрузок в сети трехфазного тока

Узлы питания и группы электроприемников	Количество электроприемников n	Установленная мощность $P_{ном}$, приведенная к ПВ = 1, кВт: одного электроприемника	Установленная мощность $P_{ном}$, приведенная к ПВ = 1, кВт: общая	$m = \frac{P_{ном.max}}{P_{ном.min}}$	$K_и$	$\frac{\cos\varphi}{\operatorname{tg}\varphi}$	Суммарная нагрузка за максимально нагруженную смену: $P_{ср}$, кВт	Суммарная нагрузка за максимально нагруженную смену: $Q_{ср}$, квар	$n_э$	K_{max}	Максимальная нагрузка: P_{max}, кВт	Максимальная нагрузка: Q_{max}, квар	Полная нагрузка S_{max}, кВ А
1-я группа электроприемников													
1. Станки токарные крупносерийные	22	13	286	–	0,16	$\frac{0,6}{1,33}$	45,76	61					
2. Станки шлифовальные	14	11	154	–	0,17	$\frac{0,65}{1,17}$	26,18	30,6					
3. Краны при $ПВ$ = 25 %	2	7,5	15	–	0,05	$\frac{0,5}{1,73}$	0,38	0,7					
4. Краны при ПВ = 25 %	2	16,5	33	–	0,05	$\frac{0,5}{1,73}$	0,83	1,4					
Всего	40	$\frac{16,5^*}{7,5}$	488	2,2	0,15	–	73,15	93,7	40	1,37	100,2	93,7	137,2
2-я группа электроприемников													
5. Вентиляторы сантехнические	10	7,5	75	–	0,65	$\frac{0,80}{0,75}$	48,75	36,6					
6. Насосы водоснабжения	8	13	104	–	0,7	$\frac{0,80}{0,75}$	72,8	54,6					
Всего	18	$\frac{13^*}{7.5}$	179	1,7	0,7	–	121,6	91,2	18	1,1	133,6	91,2	161,8
Итого	58		667	2,2	0,29	–	194,65	184,9	45	1,19	231,7	184,9	296,43

*В числителе — наибольшая мощность, в знаменателе — наименьшая.

где K'_{max} — коэффициент максимума реактивной нагрузки, равный 1,1 при $n_э \leqslant 10$ и 1,0 при $n_э > 10$ [24]. Полная расчетная мощность определяется из выражения

$$S_{max} = \sqrt{P^2_{max} + Q^2_{max}}. \quad (7.15)$$

Ниже приводится пример расчета электрических нагрузок в сети трехфазного тока 380 В для группы ЭП, подключенной к шинопроводу (узлу питания). Результаты расчета представлены в виде табл. 7.1, формы которой и следует придерживаться при выполнении пояснительной записки дипломного проекта.

7.2. РАСЧЕТ ОДНОФАЗНЫХ НАГРУЗОК

Мощность однофазных приемников (сварочные трансформаторы, электропечи и т.д.) приводится к условной трехфазной номинальной мощности $P_{ном.у}$, если неравномерность их распределения по фазам превышает 15 %; если же неравномерность распределения менее 15 %, расчетную нагрузку однофазных приемников считают равной:

$$P_{ном.у} = 3P_{ном.ф}, \quad (7.16)$$

где $P_{ном.ф}$ — номинальная мощность максимально нагруженной фазы, кВт.

При числе электроприемников $n \leqslant 3$ и при включении их на фазное напряжение

$$P_{ном.у} = 3S_п \sqrt{ПВ}\cdot\cos\varphi = 3P_{ном.ф}, \quad (7.17)$$

где $S_п$ — паспортная мощность, кВ·А.

Если те же нагрузки включены на линейное напряжение, то при одном электроприемнике

$$P_{ном.у} = \sqrt{3}\cdot P_{ном}, \quad (7.18)$$

а при двух-трех электроприемниках нужно пользоваться формулой (7.16).

Максимальную нагрузку при числе электроприемников $n > 3$ при одинаковых $K_и$ и $\cos\varphi$ и включенных на линейное или фазное напряжение определяют по формулам:

$$P_{max} = 3K_и K_{max} P_{ном.ф}; \quad (7.19)$$

$$Q_{max} = 3K'_{max} K_и Q_{ном.ф}. \quad (7.20)$$

S_{max} определяется по формуле (7.15) или из выражения

$$S_{max} = \frac{P_{ном.у}}{\cos\varphi}, \quad (7.21)$$

Ток для наибольшей нагрузки

$$I_{max} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \qquad (7.22)$$

где $U_{ном}$ — номинальное линейное напряжение, В.

Пример 7.1. Определить максимальную нагрузку группы электроприемников, куда входят: а) станки токарные крупносерийные — 22 шт. мощностью 13 кВт каждый; б) станки шлифовальные — 14 шт. мощностью по 11 кВт; в) краны при $ПВ = 25\%$ — 2 шт. мощностью по 15 кВт; г) то же мощностью по 33 кВт; д) вентиляторы сантехнические — 10 шт. мощностью по 7,5 кВт; е) насосы водоснабжения — 8 шт. мощностью по 13 кВт.

Р е ш е н и е. Все ЭП разделим на две группы. К первой отнесем ЭП с $K_и < 0,6$ (станки токарные и шлифовальные, краны), ко второй — ЭП с $K_и > 0,6$ (вентиляторы и насосы).

Мощность кранов приводится к $ПВ = 1$ по формуле (7.2):

$$P_{ном1} = 15 \cdot \sqrt{0,25} = 7,5 \text{ кВт};$$

$$P_{ном2} = 33 \cdot \sqrt{0,25} = 16,5 \text{ кВт}.$$

Общая мощность одинаковых по технологическим признакам электроприемников определяется произведением мощности одного ЭП на их количество; мощность группы ЭП — путем сложения мощностей отдельных ЭП группы, а итоговый результат получается после сложения мощностей групп.

Для каждой группы ЭП определим отношение m:

для 1-й группы ЭП согласно формуле (7.9) $m_1 = \frac{16,5}{7,5} = 2,2$;

для 2-й $m_2 = \frac{13}{7,5} = 1,7$.

По прил. 8 определим коэффициенты использования $K_и$, а также $\cos\varphi$ и $\operatorname{tg}\varphi$ для одинаковых по технологическим признакам ЭП (табл. 7.1, п. 1–6). Для 1-й группы ЭП коэффициент использования определяется из выражения (7.6):

$$K_{и1} = \frac{73,15}{488} = 0,15.$$

Для 2-й группы ЭП расчет ведется аналогично. Получаем $K_{и2} = 0,7$. Все результаты расчетов сводим в таблицу (табл. 7.1).

Суммарная нагрузка для 1-й и 2-й групп электроприемников определяется из выражений $P_{ср} = K_и P_{ном}$ и $Q_{ср} = P_{ср} \operatorname{tg}\varphi$. Учитывая, что число ЭП в группе более 4 и $m < 3$, принимаем для 1-й группы ЭП $n_{э1} = n = 40$ и для 2-й $n_{э2} = n = 18$.

Коэффициент максимума определяется из прил. 9. Для 1-й группы $K_{max1} = 1,37$ и для 2-й $K_{max2} = 1,1$.

Максимальная расчетная мощность нагрузки подсчитывается для каждой группы по формуле (7.14):

$$P_{max1} = 1,37 \cdot 73,15 = 100,2 \text{ кВт};$$

$$P_{max2} = 1,1 \cdot 121,6 = 133,6 \text{ кВт}.$$

Максимальная расчетная реактивная нагрузка группы ЭП определяется из выражения (7.14):

$$Q_{max1} = 1,0 \cdot 93,7 = 93,7 \text{ квар};$$

$$Q_{max2} = 1,0 \cdot 91,2 = 91,2 \text{ квар}.$$

Полная нагрузка для групп ЭП определяется по формуле (7.15):

$$S_{max1} = \sqrt{100{,}2^2 + 93{,}7^2} = 137{,}2 \text{ кВ·А};$$

$$S_{max2} = \sqrt{133{,}6^2 + 91{,}2^2} = 161{,}8 \text{ кВ·А}.$$

После сложения мощностей 1-й и 2-й групп ЭП получим итоговую среднюю активную нагрузку за наиболее загруженную смену 194,65 кВт и реактивную 184,9 квар. Итоговый $K_и$ определяется из отношения (7.6):

$$K_и = \frac{194{,}65}{667} = 0{,}29.$$

Итоговое число эффективных электроприемников $n_э$ для цеха определяется по формуле (7.8):

$$n_э = \frac{(13 \cdot 22 + 11 \cdot 14 + 7{,}5 \cdot 2 + 16{,}5 \cdot 2 + 7{,}5 \cdot 10 + 13 \cdot 8)^2}{13^2 \cdot 22 + 11^2 \cdot 14 + 7{,}5^2 \cdot 2 + 16{,}5^2 \cdot 2 + 7{,}5^2 \cdot 10 + 13^2 \cdot 8} = 55.$$

Коэффициент максимума K_{max} для итоговой нагрузки при $n_э = 45$ и $K_и = 0{,}29$ по прил. 9 получается равным 1,19. Итоговая максимальная нагрузка $P_{max} = 1{,}19 \cdot 194{,}7 = 231{,}7$ кВт и $Q_{max} = 1 \cdot 184{,}9 = 184{,}9$ квар.

Полная расчетная нагрузка по формуле (7.15)

$$S_{max} = \sqrt{231{,}7^2 + 184{,}9^2} = 296{,}43 \text{ кВ·А}.$$

Пример 7.2. Три однофазных сварочных трансформатора включены на линейные напряжения $U_л = 380$ В. Определить нагрузку и ток в трехфазной сети.

Паспортные данные трансформаторов:

$S_1 = 70$ кВ·А; $ПВ_1 = 0{,}55$; $\cos\varphi_1 = 0{,}51$;

$S_2 = 40$ кВ·А; $ПВ_2 = 0{,}6$; $\cos\varphi_2 = 0{,}55$;

$S_3 = 36$ кВ·А; $ПВ_3 = 0{,}65$; $\cos\varphi_3 = 0{,}53$.

Р е ш е н и е. По формуле (7.4) определяем номинальные приведенные мощности трансформаторов:

$$P_{ном1} = 70 \cdot \sqrt{0{,}55} \cdot 0{,}51 = 26{,}4 \text{ кВт};$$

$$P_{ном2} = 40 \cdot \sqrt{0{,}6} \cdot 0{,}55 = 17{,}0 \text{ кВт};$$

$$P_{ном3} = 36 \cdot \sqrt{0{,}65} \cdot 0{,}53 = 15{,}3 \text{ кВт}.$$

Затем вычисляем нагрузку на фазы:

$$P_A = \frac{P_{AB} + P_{CA}}{2} = \frac{26{,}4 + 15{,}3}{2} = 20{,}8 \text{ кВт};$$

$$P_B = \frac{P_{AB} + P_{BC}}{2} = \frac{26{,}4 + 17{,}0}{2} = 21{,}7 \text{ кВт};$$

$$P_C = \frac{P_{AC} + P_{BC}}{2} = \frac{17{,}0 + 15{,}3}{2} = 16{,}8 \text{ кВт}.$$

Из расчета видно, что наиболее загруженной является фаза В.

Условная трехфазная мощность по формуле (7.16) равна $P_{ном.у} = 3 \cdot 21{,}7 = 65{,}1$ кВт.

Полная нагрузка определяется из выражения (7.21):

$$S_{max} = \frac{65,1}{0,55} = 118,4 \text{ кВ·А}.$$

Ток для наибольшей нагрузки по формуле (7.22) составит

$$I_{max} = \frac{118,4}{\sqrt{3}\cdot 0,38} = 180,1 \text{ А}.$$

7.3. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

При разработке проекта дипломнику нужно выбрать количество и мощность трансформаторов, устанавливаемых на цеховых подстанциях. Наиболее целесообразным является расположение подстанции близко к центру электрических нагрузок цеха. В связи с этим рекомендуется применять внутрицеховые подстанции. Однако необходимо учитывать условия окружающей среды, расположение технологического оборудования и направление потока технологического процесса, расположение производственного помещения, условия пожарной и электрической безопасности, а также архитектурно-строительные требования.

Учащимся, выполняющим проект на тему "Электрооборудование и электроснабжение цеха, участка", в этом разделе необходимо обосновать схему электрических соединений цеховой подстанции и сделать описание ее конструктивного выполнения, а также на основании расчета токов короткого замыкания произвести выбор высоковольтных аппаратов.

Комплекс устройств для передачи и распределения электрической энергии от центра питания до приемников представляет собой систему электроснабжения предприятия.

В систему электроснабжения входят:

главные понизительные подстанции и центральные распределительные пункты;

распределительные пункты и цеховые понизительные трансформаторные подстанции;

распределительные сети, по которым получают питание РП и ТП;

линии, непосредственно питающие установки потребителей;

устройства для регулирования напряжений и реактивной мощности, защиты, автоматики, управления и вспомогательные устройства для обслуживания электроустановок и линий.

ГПП предназначены для приема электроэнергии от энергосистемы, преобразования ее в энергию пониженного напряжения и распределения по территории промышленного предприятия.

ЦРП и РП служат для приема и распределения электроэнергии на том же напряжении без трансформации.

ТП применяются для приема электроэнергии на напряжении 6—35 кВ и преобразования ее в энергию пониженного напряжения.

В зависимости от места расположения на территории промышленного предприятия различают подстанции встроенные, пристроенные, внутрицеховые и отдельно стоящие.

Встроенные подстанции размещаются внутри здания и примыкают к его наружным стенам.

Пристроенные подстанции располагают снаружи зданий и примыкают к их стенам.

Внутрицеховые подстанции находятся внутри производственных помещений.

Отдельно стоящие подстанции располагаются в обособленных помещениях, не примыкающих к стенам зданий.

В последнее время получили широкое распространение комплектные трансформаторные подстанции внутренней и наружной (КТПН) установок. Они состоят из трансформаторов и блоков распределительных устройств, которые поставляются в собранном виде.

Схема электроснабжения предприятия выбирается с учетом обеспечения надежности, которая зависит от категории потребителей. Она должна иметь наименьшие первоначальные затраты на сооружение сети, наименьшие годовые эксплуатационные расходы, эксплуатационные удобства, т.е. быть гибкой при переключениях, проста по устройству и содержать однотипное оборудование.

В зависимости от конкретных требований обеспечения потребителей электроэнергией применяются различные схемы питания: *радиальные* предназначены для питания достаточно мощных и ответственных потребителей I, II и III категории, они обладают большим количеством отключающей аппаратуры и имеют значительное число питающих линий; *магистральные* служат для питания потребителей II и III категории, они дают возможность снизить капитальные затраты за счет уменьшения длины питающих линий и снижения количества высоковольтных аппаратов; *смешанные* используются для питания электроприемников всех категорий. В практике проектирования и эксплуатации промышленных предприятий необходимо создавать схемы с наиболее высокими технико-экономическими показателями.

Для определения местоположения ГПП, РП и ТП используется картограмма электрических нагрузок, которая представляет собой генплан промышленного предприятия с нанесенными электрическими нагрузками. Активные и реактивные нагрузки указываются раздельно в виде кругов, площади которых в выбранном масштабе равны расчетным нагрузкам цехов.

Площадь круга активной нагрузки находят по формуле

$$F = P = \pi R_к^2 m, \tag{7.23}$$

где P — мощность цеха, кВт; $R_к$ — радиус круга, мм; m — масштаб площади круга, кВт/мм^2.

Из формулы (7.23) определяется радиус круга

$$R_к = \sqrt{\frac{P}{\pi m}}. \tag{7.24}$$

Аналогично вычисляется радиус круга для изображения реактивной нагрузки. Круги наносятся на план предприятия и используются при определении центра электрических нагрузок.

7.4. КОМПЛЕКТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ

В строительстве, а также при эксплуатации промышленных предприятий широко применяются различные типы комплектных электротехнических устройств. Такими устройствами являются комплектные трансформаторные подстанции, которые характеризуются:

а) простотой схемы электрических соединений;

б) возможностью установки электрических нагрузок непосредственно в местах сосредоточения, в результате чего резко снижаются стоимость низковольтных сетей и эксплуатационные расходы;

в) обеспечением подключения к высоковольтной кабельной линии электропередачи по радиальной или магистральной схеме.

Технические данные некоторых КТП приведены в табл. 7.2.

Подстанции состоят их трех основных элементов: вводного устройства высокого напряжения (ВН) 10—6 кВ, силового трансформатора и распределительного устройства низкого напряжения (НН) 0,4 кВ.

Вводные устройства высокого напряжения КТП могут иметь глухое присоединение кабеля к трансформатору или присоединение через разъединитель и блок разъединитель-предохранитель в случае включения в магистральные схемы питания.

Вводное устройство высокого напряжения типа ВВ-1 представляет собой металлический шкаф, укрепленный на баке силового трансформатора. Вводные устройства типа ВВ-2, ВВ-3 — закрытые шкафы со встроенными в них выключателями типа ВНПз-17 с предохранителями типа ПК. Выключатель нагрузки предназначен для отключения трансформатора со стороны высокого напряжения при холостом ходе или при номинальной нагрузке, а при перегрузках или коротком замыкании трансформатор отключается предохранителями. При необходимости отключения одной из линий в шкафу ВВ-2 имеются съемные шинные накладки, в шкафу ВВ-3 — разъединители.

Таблица 7.2

Технические данные КТП Минского электротехнического завода и Биробиджанского завода силовых трансформаторов

Тип КТП	U, кВ	$S_т$, кВ·А	Тип трансформатора	Стоимость шкафов и трансформаторов, руб.
КТП-25/10/0,4-81-У1	6, 10	25	ТМ-25	745
КТП-40/10/0,4—81-У1	6, 10	40	ТМ-40	830
КТП-63/10-0,4-81-У1	6. 10	63	ТМ-63	995
КТП-100/10/0,4-81-У1	6, 10	100	ТМ-100	1205
КТП-160/10/0,4-81-У1	6, 10	160	ТМ-160	1385
КТП-250/10/0,4-81-У1	10	250	ТМ-250	1668
КТП-400	10	400	ТМЗ-400	1875
2КТП-400	10	2х400	ТМЗ-400	5045
КТП-630	10	630	ТМЗ-630	7870
2КТП-630	10	2х630	ТМЗ-630	18785
КТП-1000	10	1000	ТМЗ-1000	9150
2КТП-1000	10	2х1000	ТМЗ-1000	21345
КТПМ-1600	10	1600	ТМЗ-1600	25040
2КТПМ-1600	10	2х1600	ТМЗ-1600	55640

Таблица 7.3

Технические данные шкафов вводов ВН

Показатели	Паспортное значение
Номинальный ток сборных шин, А	365
Амплитудное значение предельного сквозного тока короткого замыкания, кА	50
Эффективное значение предельного сквозного тока короткого замыкания, кА	20
Десятисекундный ток термической стойкости, кА	6
Максимальное количество высоковольтных кабелей, шт.	2
Наибольшая площадь сечения каждого высоковольтного кабеля, мм^2	3х150
Напряжение оперативных цепей, В	220
Тип выключателя:	
для ТМЗ-630/6	ВНПз-17 с ПК-6/100
для ТМЗ-1000/6	ВНПз-17 с ПК-6/160
для ТМЗ-630/10	ВНПз-17 с ПК-10/80
для ТМЗ-1000/10	ВНПз-17 с ПК-10/100
Тип привода выключателя	ПРА-17
Масса шкафа, кг:	
типа ВВ-1	33
типа ВВ-2	400
типа ВВ-3	500

Таблица 7.4

Технические данные трансформаторов

Показатели	ТМЗ-630	ТМЗ-1000
Номинальная мощность трансформатора, кВ·А	630	1000
Номинальное напряжение, кВ:		
высшей стороны	6; 10	6 ; 10
низшей стороны	0,4	0,4
Пределы регулирования напряжения, %	± (2х2,5)	± (2х2,5)
Напряжение короткого замыкания $U_к$, %	5,5	5,5
Потери холостого хода $P_{х.х}$, Вт	1680	2100
Потери короткого замыкания $P_{к.з}$, Вт	8500	11000
Ток холостого хода $I_{х.х}$, % от номинального	2	1,4
Схема соединения	Δ/Y_0–11	Δ/Y_0–11
Масса, кг:		
активной части	1400	2000
трансформаторного масла	750	1072
полная	2900	4200

Разделка высоковольтного кабеля предусмотрена сухая. Технические данные шкафов ВН приведены в табл. 7.3.

КТП выполняются с одним или двумя трансформаторами одинаковой или различной мощности для внутренней, наружной и комбинированной установок.

Таблица 7.5
Технические данные шкафов вводов НН

Показатели	КН-1, КН-2 КН-3, КН-6	КН-5	КН-4
Номинальный ток сборных шин, А	1600	1600	1600
Номинальное напряжение, кВ	0,4	0,4	0,4
Амплитудное значение периодической составляющей тока короткого замыкания, кА	50	50	50
Односекундное значение эффективного тока короткого замыкания, кА	25	25	25
Количество автоматических выключателей АВМ4В (АВМ10В), шт.	2	2	3
Количество автоматических выключателей АВМ20В, шт.	1	1	—
Максимальное количество низковольтных кабелей, шт.	4	4	5
Масса, кг	850	850	850

В настоящее время отечественные КТП выпускаются с масляными и сухими трансформаторами мощностью до 2500 кВ·А.

Силовой трансформатор ТМЗ имеет естественное масляное охлаждение и герметичный бак с азотной защитой. Регулирование напряжения осуществляется при отключении от сети трансформатора.

Бак повышенной прочности выдерживает избыточное давление до 120 кПа.

Трансформаторы снабжаются электроконтактными мановакуумметрами, которые контролируют внутреннее давление. Для защиты трансформаторов при повышении давления внутри бака в результате бурного газообразования, вызванного внутренними повреждениями, служит реле давления.

Трансформаторы снабжаются термосигнализаторами для измерения температуры верхних слоев масла. Уровень масла в баке контролируется маслоуказателями (табл. 7.4).

В шкафах низковольтного РУ на вводе от трансформатора расположены вводные автоматические воздушные выключатели, которые защищают оборудование на стороне низшего напряжения и осуществляют автоматическое включение резерва (АВР). Кроме того, автоматические выключатели и плавкие предохранители с рубильниками или блоками предохранитель-выключатель устанавливаются на отходящих линиях низшего напряжения для их отключения и защиты.

Распределительное устройство 0,4 кВ состоит из набора металлических шкафов с вмонтированной аппаратурой, ошиновкой и проводами.

Защитно-коммутационной аппаратурой КТП являются автоматические воздушные выключатели серии АВМ выдвижного исполнения. Они расположены в шкафах. Спереди каждый выключатель закрыт дверью, снабженной замком со специальным ключом. Управление автоматическими выключателями производится с помощью ручек или ключей, расположенных на дверцах шкафов. На рейку зажимов шкафов выведены концы проводов для подклю-

Таблица 7.6

Технические данные комплектных распределительных устройств

Показатели	КРУ			КРУН
	КРУЭ-110	КСО-272	КСО-285	К-47
Номинальное напряжение, кВ	110	6; 10	6; 10	6; 10
Номинальный ток, А	400; 630	630; 1000	630; 1000	630; 1000; 1600
Номинальный ток сборных шин, А	1600	1000	630; 1000	1000; 1600; 2000; 3200
Вводы, площадь сечения, мм^2	1 (3х625)	2 (3х240)	2 (3х240)	Воздушный и кабельный
Номинальный ток отключения, кА	40	20; 12	20	20; 31,5
Ток включения выключателя (амплитуда), кА	80	51	51	51
Тип выключателя	Элегазовый	ВМПЭ-10 ВМПП-10 ВНП-17	ВПМП-10 ВПМ-10	ВК-10
Тип привода к выключателю	Двигательный	ПЭ-11 ППВ-10 ПРА-17	ППВ-10 ПЭ-11	Пружинный и электромагнитный
Габариты ячейки, мм:				
ширина	3000	1000	1200	750
глубина	4000	1200	970	3045
высота	5800	2870	2780	3120
Масса ячейки с выключателем, кг	8000	900	850	750
Стоимость, тыс. руб.	95	0,88—1,26	1,9—2,0	3,4—3,6

чения приводов дистанционного управления. Измерительные приборы и реле размещены в отсеках приборов и на дверцах шкафов. При двухрядном расположении ряды КТП соединяются шинным мостом, который состоит из металлического короба с соединительными шинами и проводами, обеспечивающими электрическую связь двух рядов. Для вывода из КТП шин низкого напряжения в крышке шкафов имеются окна, закрытые съемными листами. Листы с обратной стороны КТП также съемные.

Место установки подстанций должно соответствовать правилам устройства электроустановок и пожарной безопасности.

Свободный проход с лицевой стороны подстанции должен быть не менее 1000 мм, а с обратной — не менее 800 мм; местные сужения допускаются не более чем на 200 мм (табл. 7.5).

На подстанциях и распределительных пунктах промышленных предприятий широкое распространение получили *комплектные распределительные устройства напряжением 6—10 кВ внутренней (КРУ) и наружной (КРУН) установок*. Их применение позволяет резко сократить сроки проектирования и строительства подстанций, а также обеспечивает экономию трудозатрат. По конструктивному исполнению шкафы КРУ (КРУН) подразделяются на стационарные и выкатные. В шкафах стационарного исполнения вся аппаратура установлена на металлических корпусах, а в шкафах выкатного исполнения основной коммутационный аппарат (выключатель с приводом), а также транс-

форматоры напряжения и разрядники размещены на выкатной тележке. Комплектные распределительные устройства в выкатном исполнении следует применять в наиболее сложных и ответственных установках для потребителей I категории, где необходимо иметь быструю взаимозаменяемость оборудования, в электромашинных залах металлургических и химических предприятий, на крупных компрессорных станциях и других объектах общепромышленного назначения. Основные технические данные шкафов КРУ и КРУН, наиболее часто применяемые в проектах электроснабжения, приведены в табл. 7.6.

Выбор КРУ (КРУН) сводится к сопоставлению расчетных значений напряжения и тока с данными шкафа. Кроме того, выбираются схемы первичных и вторичных соединений цепей шкафа, основные характеристики устанавливаемых в шкафу аппаратов.

При дипломном проектировании для выбора конкретной схемы шкафов КРУ (КРУН) можно использовать справочную литературу и каталоги Информэлектро [24], [25].

ГЛАВА 8

ВЫБОР ПЛОЩАДИ СЕЧЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

8.1. КЛАССИФИКАЦИЯ КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДОВ

Кабели в зависимости от области применения делятся на силовые и контрольные.

Силовые кабели предназначены для питания силового электрооборудования и выпускаются на напряжение 0,66; 1; 3; 6; 10; 20 кВ и выше. Их изоляция выполняется из пропитанной маслоканифольным составом кабельной бумаги, поливинилхлорида, полиэтилена или резины. Жила кабеля может быть медной или алюминиевой. Число жил в кабеле составляет от 1 до 4, четвертая жила кабеля служит нулем. Кабели выполняются бронированными или без брони. В зависимости от условий прокладки поверх брони может быть покров из кабельной пропитанной пряжи. Кабели без покрова из соображений противопожарной безопасности применяются для прокладки в помещениях и кабельных сооружениях, а покров защищает броню от коррозии, когда кабель проложен в земле или воде.

Технические данные силовых кабелей приведены в прил. 10, 11.

Маркировка силовых кабелей осуществляется прописными буквами русского алфавита. На первом месте в марке указывается материал жилы (А — алюминиевая, отсутствие буквы — медная). Далее последовательно приводятся обозначения оболочки (С — свинцовая, В — поливинилхлоридная, П — полиэтиленовая и др.), изоляции жил (Р — резиновая, отсутствие буквы — бумажная и др.), материала брони (Б — из двух стальных лент, П — из плоской проволоки, К — из круглой проволоки, отсутствие буквы — небронированный). После обозначения брони может стоять буква Г, означающая, что броня без покрова (голая). Если поверх брони имеется покров, то буква в обозначении отсутствует. В марку могут входить и другие буквы, отражающие конструктивные особенности кабеля.

Например, марка кабеля ААБ$_{л}$Г расшифровывается следующим образом: силовой кабель с алюминиевой жилой, бумажной изоляцией в алюминиевой оболочке, бронирован двумя стальными лентами, броня усиленная, без защитного покрова.

Кабель ААШ$_{в}$ — это кабель с алюминиевой жилой, бумажной изоляцией, в алюминиевой оболочке, в шланге из поливинилхлорида.

Контрольные кабели предназначены для питания цепей вторичной коммутации ТП, релейной защиты, схем автоматизации и сигнализации и т.д. Эти кабели рассчитаны на небольшие токи, поэтому их жилы имеют малые площади сечения (от 0,12 до 10 мм^2). Число жил в кабеле составляет от 4 до 61.

Контрольные кабели устроены так же, как и силовые; они рассчитаны на напряжение 1 кВ.

Технические данные контрольных кабелей приведены в прил. 12.

Контрольные кабели маркируются так же, как и силовые. В марку этих кабелей входит буква К (контрольный).

Например: АКРНБГ — кабель с алюминиевой жилой (А), контрольный (К), с резиновой изоляцией (Р), с найритовой оболочкой (Н), бронирован двумя стальными лентами (Б) без наружного покрова из кабельной пропитанной пряжи (Г); КРСБГ — медный

кабель (отсутствует буква А вначале), контрольный (К), с резиновой изоляцией (Р), в свинцовой оболочке, бронирован двумя стальными лентами (Б), поверх брони нет покрова из пропитанной кабельной пряжи (Г).

В зависимости от области применения провода классифицируются на установочные, монтажные и обмоточные.

Установочные провода и шнуры предназначены для неподвижной прокладки в силовых и осветительных установках по строительным конструкциям зданий и сооружений. Провода бывают медные и алюминиевые, с изоляцией из резины, поливинилхлорида и полиэтилена. Они выпускаются на напряжение 380, 500, 660, 3000, 4000, 6000 В. Технические данные проводов приведены в прил. 13.

Маркировка проводов аналогична маркировке кабелей. Марка установочных проводов расшифровывается следующим образом: ПРГ — провод медный (П), с резиновой изоляцией (Р), гибкий (Г).

Монтажные провода применяются для прокладки по панелям, подключения аппаратуры управления и защиты, вторичной коммутации на подстанциях. Они выполняются медными, с той же изоляцией, что и установочные.

Технические данные этих проводов даны в прил. 14.

Марки монтажных проводов расшифровываются следующим образом: МРГ — провод монтажный (М), с резиновой изоляцией (Р), гибкий (Г); МШВ — провод монтажный (М), с волокнистой из шелка (Ш) и поливинилхлорида (В) изоляцией, однопроволочный.

Обмоточные провода предназначены для изготовления обмоток электрических машин, аппаратов, приборов. Для этой цели их выполняют как с медными, так и с алюминиевыми жилами.

Технические данные обмоточных проводов приведены в прил. 15.

Марка обмоточного провода расшифровывается так: ПЭЛШО — провод обмоточный (П), изолированный лакостойкой эмалью (Э) и одним слоем (О) обмотки из натурального шелка (Ш); ПШД — провод обмоточный (П), изолированный двумя слоями (Д) обмотки из натурального шелка (Ш).

Марки выбранных кабелей и проводов должны соответствовать области их применения. С целью экономии дефицитной меди рекомендуется в дипломных проектах в первую очередь применять кабели и провода с алюминиевыми жилами и лишь в исключительных случаях [15] — с медными. Кабели со свинцовой оболочкой также следует применять ограниченно, технически обосновывая в дипломных проектах принятое решение.

Провода с алюминиевыми жилами выпускаются площадью сечения 2 мм^2 и более. Правильный выбор площади сечений жил кабелей и проводов всех назначений имеет большое значение для экономики народного хозяйства. Занижение площади сечения проводов и кабелей увеличивает потери энергии в сетях и может привести к аварии; завышение — вызывает перерасход цветного металла, увеличивает капитальные затраты и затраты на монтаж кабелей и проводов.

Запись марки провода или кабеля с указанием напряжения, площади сечения жил и их количества производится так:

АПВ — 500; 3 (1х70),

где А — алюминиевый; П — провод; В — с изоляцией из поливинилхлорида; 500 — рабочее напряжение провода , В; 3 — число жил в линии; 1 — провод одножильный; 70 — площадь сечения жилы, мм^2;

СБ — 1 кВ (3х120 + 1х35),

где СБ — марка кабеля со свинцовой оболочкой, бумажной изоляцией, бронированного двумя стальными лентами, поверх брони имеется покров из пропитанной пряжи; 1 кВ — рабочее напряжение кабеля; 3 — число рабочих жил кабеля; 120 — площадь сечения рабочей жилы кабеля, мм^2; +1 — дополнительная нулевая жила; 35 — площадь сечения жилы, мм^2.

8.2. ВЫБОР ПЛОЩАДИ СЕЧЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ ПО НАГРЕВУ

Проводники электрического тока (жилы проводов и кабелей, шины) выбираются по следующим показателям:

Таблица 8.1

Допустимый длительный ток для проводов и шнуров с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с медными (числитель) и алюминиевыми (знаменатель) жилами

Площадь сечения токопроводящей жилы, мм^2	Ток, А, для проводов , проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		2 одножильных	3 одножильных	4 одножильных	1 двухжильного	1 трехжильного
0,5	11	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—
1	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26/21	24/19	22/18	20/15	23/17	19/14
2,5	30/24	27/20	25/19	25/19	25/19	21/16
3	34/27	32/24	28/22	26/21	28/22	24/18
4	41/32	38/28	35/28	30/23	32/25	27/21
5	46/36	42/32	39/30	34/27	37/28	31/24
6	50/39	46/36	42/32	40/30	40/31	34/26
8	62/46	54/43	51/40	46/37	48/38	43/32
10	80/60	70/50	60/47	50/39	55/42	50/38
16	100/75	85/60	80/60	75/55	80/60	70/55
25	140/105	115/85	100/80	90/70	100/75	85/65
35	170/130	135/100	125/95	115/85	125/95	100/75
50	215/165	185/140	170/130	150/120	160/125	135/105
70	270/210	225/175	210/165	185/140	195/150	175/135
95	330/255	275/215	255/200	225/175	245/190	215/165
120	385/295	315/245	290/220	260/200	295/230	250/190
150	440/340	360/275	330/255			
185	510/390	—	—	—	—	—
240	605/465	—	—	—	—	—
300	695/535	—	—	—	—	—
400	830/645		—	—	—	—

а) нагреву;

б) экономической плотности тока;

в) образованию короны;

г) термической и электродинамической стойкости при токах короткого замыкания (КЗ);

д) допустимой потере напряжения и условию защиты от перегрузок.

Основным методом выбора площади сечения проводников, проложенных внутри помещений, а также в земле (воде), является выбор по нагреву. Определяется длительный расчетный ток $I_{дл}$ и сравнивается с длительно допустимым током $I_{доп}$:

$$I_{доп} \geqslant I_{дл}. \qquad (8.1)$$

Длительно допустимые токовые нагрузки на провода и кабели даны в [15] и в табл. 8.1–8.3. Значения их приводятся в зависимости от материала

Таблица 8.2

Допустимый длительный ток для проводов с медными жилами с резиновой изоляцией в металлических защитных оболочках и кабелей с медными жилами с резиновой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной, найритовой или резиновой оболочке бронированных и небронированных (числитель) и то же для кабелей алюминиевых (знаменатель)

Площадь сечения токопроводящей жилы, мм^2	Ток, А, для проводов и кабелей				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
	при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30/23	27/21	44/34	25/19	38/29
4	41/31	38/29	55/42	35/27	49/38
6	60/38	50/38	70/55	42/32	60/46
10	80/60	70/55	105/80	55/42	90/70
16	100/75	90/70	135/105	75/60	115/90
25	140/105	115/90	175/135	95/75	150/115
35	170/130	140/105	210/160	120/90	180/140
50	215/165	175/135	265/205	145/110	225/175
70	270/210	215/165	320/245	180/140	275/210
95	325/250	260/200	385/295	220/170	330/255
120	385/295	300/230	445/340	260/200	385/295
150	440/340	350/270	505/390	305/235	435/335
185	510/390	405/330	570/440	350/270	500/385
240	605/465	—	—	—	—

Примечания: 1. Допустимые длительные токи для медных трехжильных проводов и кабелей с нулевой жилой выбираются, как для трехжильных.

2. Допустимые длительные токи для кабелей четырехжильных с алюминиевыми жилами с пластмассовой изоляцией напряжением до 1 кВ выбираются как для трехжильных, но с коэффициентом 0,92.

жилы, площади ее сечения, числа жил, изоляции и способа прокладки. В указанных таблицах данные соответствуют температуре окружающего воздуха +25 °С, а при прокладке кабелей в земле +15 °С. Максимальная температура установлена +65 °С.

Для расчетов при других условиях в данные таблиц необходимо вводить поправочные коэффициенты, учитывающие температуру земли и воздуха, количество кабелей, лежащих рядом в земле, удельное сопротивление грунта, условия прокладки (в блоках, коробах). Значения поправочных коэффициентов приведены в [15].

Выбранный проводник в этом случае должен удовлетворять условию

$$I_{доп} \geqslant I_{дл} / K_{попр}, \qquad (8.2)$$

где $K_{попр}$ — поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей.

При повторно-кратковременном и кратковременном режимах работы ЭП с длительностью цикла до 10 мин и рабочего периода до 4 мин в качестве расчетной токовой нагрузки для выбора площади сечения проводников по нагреву необходимо принимать нагрузку, приведенную к продолжительному режиму.

Таблица 8.3

Допустимый длительный ток для кабелей с медными жилами с бумажной, пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой оболочке, прокладываемых в земле (числитель) и то же для кабелей с алюминиевыми жилами в свинцовой или алюминиевой оболочке (знаменатель)

Площадь сечения токопроводящей жилы, мм^2	Ток, А, для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырехжильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	—	80/60	70/55	—	—	—
10	140/110	105/80	95/75	80/60	—	85/65
16	175/135	140/110	120/90	105/80	95/75	115/90
25	235/180	185/140	160/125	135/105	120/90	150/115
35	285/220	225/175	190/145	160/125	150/115	175/135
50	360/275	270/210	235/180	200/155	180/140	215/165
70	440/340	325/250	285/220	245/190	215/165	265/200
95	520/400	380/290	340/260	295/225	265/205	310/240
120	595/460	435/335	390/300	340/260	310/240	350/270
150	675/520	500/385	435/335	390/300	355/275	395/305
185	755/580	—	490/380	440/340	400/310	450/345
240	880/675	—	570/440	510/390	460/355	—
300	1000/770	—	—	—	—	—
400	1220/940	—	—	—	—	—
500	1400/1080	—	—	—	—	—
625	1520/1170	—	—	—	—	—
800	1700/1310	—	—	—	—	—

Исключение составляют проводники медные площадью сечения до 6 мм^2 и алюминиевые — до 10 мм^2, для которых токовые нагрузки принимаются как для установок с продолжительным режимом работы. Для остальных проводников токовые нагрузки определяются по формуле

$$I_{нагр} = I_{доп} \frac{0{,}875}{\sqrt{ПВ}}, \qquad (8.3)$$

где $I_{доп}$ — длительно допустимый ток, А.

Допустимый ток для ЭП кратковременного режима определяется, как и для повторно-кратковременного или длительного в зависимости от продолжительности включения.

При длительности включения не более 4 мин и перерывах на охлаждение до температуры окружающего воздуха ЭП считается работающим в повторно-кратковременном режиме. Если продолжительность включения превышает 4 мин и перерывы в его работе недостаточны для охлаждения до температуры воздуха, режим относится к длительному.

Площадь сечения нулевого проводника в четырехпроводной системе 3-фазного тока должна быть такой, чтобы обеспечивалась проводимость не менее 50 % проводимости фазных проводников.

Пример 8.1. Выбрать провод для питания асинхронного электродвигателя типа 4А132М2 мощностью 11 кВт. Провода проложены в трубах в полу, пуск двигателя средний, режим работы длительный. Напряжение питающей электрической сети 380 В.

Р е ш е н и е. Ток нагрузки вычисляем из выражения (2.1).

По каталогам определяем паспортные данные электродвигателя:

$$\eta_{п} = 88\% \text{ и } \cos\varphi_{п} = 0{,}90.$$

$$I_{нагр} = \frac{11 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0{,}88 \cdot 0{,}90} = 21{,}13 \text{ А}.$$

По табл. 8.1 для трех проводов, проложенных в одной трубе, выбираем алюминиевые провода с площадью сечения 3 мм^2, допускающие ток 22 А, что соответствует условию (8.1).

Пример 8.2. Для провода АПВ-500; 3 (1х35) мм^2, проложенного в трубах, проверить возможность питания электроприемника мощностью 75 кВт, работающего в повторно-кратковременном режиме с $\cos\varphi = 0{,}7$; $ПВ = 40$ %; $U_{ном} = 380$ В.

Р е ш е н и е. Номинальный ток электроприемника по формуле (2.1)

$$I_{ном} = \frac{75 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0{,}7} = 163 \text{ А}.$$

Допустимый ток электроприемника с $ПВ = 40$ %, приведенный к длительному режиму с учетом выражения (8.3),

$$I_{доп} = 163 \cdot \frac{\sqrt{0{,}4}}{0{,}875} = 118 \text{ А}.$$

По табл. 8.1 для алюминиевых проводов с площадью сечения 35 мм^2 допустимый

ток $I_{доп}$ = 95 А. В повторно-кратковременном режиме эти провода могут выдержать токовую нагрузку в соответствии с формулой (8.3):

$$I' = 95 \cdot \frac{0{,}875}{\sqrt{0{,}40}} = 132 \text{ А}.$$

Таким образом, проводом АПВ-500; 3 (1х35) можно подключить электроприемник, работающий в повторно-кратковременном режиме с током нагрузки 132 А, что больше расчетного (118 А).

8.3. ВЫБОР ПЛОЩАДИ СЕЧЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ ПО ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА

Выбранная по нагреву площадь сечения проводов и кабелей должна быть проверена по экономической плотности тока в соответствии с требованиями ПУЭ по формуле

$$S_{эк} = \frac{I}{j_{эк}}, \qquad (8.4)$$

где I — расчетный ток во время максимума нагрузки энергосистемы в нормальном режиме, А; $j_{эк}$ — нормированное значение экономической плотности тока, А/мм^2.

Экономическая плотность тока не рассчитывается, а принимается в зависимости от конструктивного исполнения проводов и кабелей, их материала и числа часов использования при максимальной нагрузке (табл. 8.4). Среднее количество часов использования максимальной нагрузки в год приведено в табл. 8.5.

Таблица 8.4
Экономическая плотность тока

Проводники	$j_{эк}$, А/мм^2, при числе часов использования максимума нагрузки в год T_{max}		
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000
Неизолированные провода и шины:			
медные	2,5	2,1	1,8
алюминиевые	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с жилами:			
медными	3,0	2,5	2,0
алюминиевыми	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией и жилами:			
медными	3,5	3,1	2,7
алюминиевыми	1,9	1,7	1,6

Таблица 8.5

Среднее число часов использования максимальной нагрузки для различных потребителей в год

Потребители	T_{max}, ч
Освещение городов	
внутреннее	1500–2500
наружное	2000–3600
Промышленные предприятия, работающие:	
в одну смену	2000–3000
в две смены	3000–4000
в три смены	6000
непрерывно	8000
Отрасли промышленности:	
металлургическая	6500
химическая	6200
горнорудная	5000
машиностроительная	4000
бумажная	5500
пищевая	5000
полиграфическая	3000
текстильная	4500
обувная	3000
деревообрабатывающая	2500

Площадь сечения, полученная в результате расчета по экономической плотности тока, округляется до ближайшего стандартного значения.

По экономической плотности тока не проверяются, согласно [15], силовые электрические сети напряжением до 1 кВ при T_{max} меньше 5000 ч, сборные шины распределительных устройств, сети осветительные и временных сооружений.

Пример 8.3. По экономической плотности тока выбрать площадь сечения кабеля с алюминиевыми жилами напряжением 10 кВ. Кабель, проложенный в земле, должен питать цех машиностроительного предприятия с нагрузкой 115 А при $\cos\varphi = 0{,}97$.

Р е ш е н и е. По табл. 8.5 для указанного предприятия среднее число часов использования нагрузки $T_{max} = 4000$ ч. Для кабеля с алюминиевыми жилами по табл. 8.4 при $T_{max} = 4000$ ч находим экономическую плотность тока $j_{эк} = 1{,}4$ А/мм^2. Площадь сечения кабеля марки ААБ по формуле (8.4)

$$S_{эк} = \frac{115}{1{,}4} = 82 \text{ мм}^2.$$

Принимаем ближайшую стандартную площадь сечения кабеля 70 мм^2 при $I_{доп} = 165$ А.

8.4. ПРОВЕРКА ПРОВОДНИКОВ ПО ОБРАЗОВАНИЮ КОРОНЫ

При напряжении 35 кВ и выше провода воздушных линий проверяются по образованию короны и радиопомех от короны [15]. Начальная напряженность электрического поля у поверхности любого из проводов вычисляется по формуле

$$E_0 = 30,3m_1 \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{R_к}}\right), \qquad (8.5)$$

где m_1 — коэффициент негладкости для скрученного проводника, равный 0,82; $R_к$ — радиус провода, см.

Напряженность электрического поля около поверхности провода при горизонтальном расположении фаз определяется из выражения

$$E = \frac{0,354U}{R_к \lg \frac{1,26D}{R_к}}, \qquad (8.6)$$

где U — линейное напряжение, кВ; D — расстояние между соседними фазами, см.

Провода не будут коронироваться, если будет выполнено условие

$$1,07E \leqslant 0,9E_0. \qquad (8.7)$$

Пример 8.4. Проверить на образование короны воздушную линию электропередачи напряжением 35 кВ, выполненную проводом А-50. Провода расположены симметрично на расстоянии 600 мм.

Р е ш е н и е. Из прил. 16 находим диаметр провода марки А-50. Он равен 9 мм. По формуле (8.5)

$$E_0 = 30,3 \cdot 0,82 \cdot \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{0,45}}\right) = 35,92 \text{ кВ/см}.$$

По формуле (8.6) напряженность вокруг провода

$$E = \frac{0,354 \cdot 35}{0,45 \lg \frac{1,26 \cdot 60}{0,45}} = 12,37 \text{ кВ/см}.$$

Проверяется условие (8.7):

$$1,07 \cdot 12,37 \leqslant 0,9 \cdot 35,92, \text{ т.е. } 13,24 < 32,33,$$

значит, на воздушной линии короны не возникнет.

8.5. ВЫБОР ПРОВОДНИКОВ ПО ПОТЕРЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ЗАЩИТЕ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ

Проводники, выбранные по нагреву допустимым длительным током, должны быть проверены по допустимой потере напряжения. Допустимые отклонения напряжения у электроприемников устанавливает ГОСТ 13109–87 "Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии у ее приемников, присоединенных к электрическим сетям общего

назначения''. В соответствии с требованиями этого ГОСТа электрические сети должны обеспечивать на зажимах электроприемников отклонения напряжения, не превышающие установленных значений.

Потеря напряжения в кабельной или воздушной линиях электропередачи (%) рассчитывается по формуле

$$\Delta U = \frac{(PR_0 + QX_0)l}{10U^2_{ном}}, \qquad (8.8)$$

где P — активная нагрузка, кВт; R_0 — активное сопротивление провода, Ом/км (принимается по прил. 17, 18); X_0 — индуктивное сопротивление одной фазы провода, Ом/км (принимается по прил. 19, 20); l — расстояние от нагрузки до питательного пункта, км; Q — реактивная нагрузка, квар:

$$Q = P \cdot \mathrm{tg}\varphi, \qquad (8.9)$$

где $\mathrm{tg}\varphi$ — оптимальный коэффициент мощности, который соответствует заданному $\cos\varphi$.

Расчет потери напряжения в осветительных сетях приводится в гл. 9.

Пример 8.5. По данным примера 8.3 проверить выбранную площадь сечения кабеля на потерю напряжения. Активная нагрузка составляет 1900 кВт, реактивная — 755 квар.

Р е ш е н и е. По формуле (8.8) определяем потерю напряжения в кабельной линии:

$$\Delta U = \frac{(1900 \cdot 0{,}46 + 755 \cdot 0{,}086) \cdot 0{,}8}{10 \cdot 10^2} = 0{,}75\ \%.$$

Значит, потеря напряжения в кабеле не превышает допустимого значения (±5 %).

Выбранные по нагреву провода и жилы кабелей должны соответствовать максимальной токовой защите аппарата. Выполнение условия проверяется из соотношения

$$I_{доп} \geqslant K_з I_з, \qquad (8.10)$$

где $I_{доп}$ — длительно допустимый ток для проводника в нормальных условиях прокладки, А; $K_з$ — коэффициент защиты или кратность защиты (принимается по табл. 8.6); $I_з$ — номинальный ток или ток срабатывания защитного аппарата, А.

В соответствии с [15] защищаются от перегрузки и коротких замыканий электрические сети:

а) проложенные открыто незащищенными изолированными проводниками с горючей оболочкой или изоляцией внутри помещений;

б) осветительные — в жилых, общественных и торговых зданиях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных ЭП, а также в пожароопасных зонах;

в) силовые — на промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, а также в торговых помещениях, где по режиму работы может возникнуть длительная перегрузка проводов и кабелей;

г) во взрывоопасных зонах.

Таблица 8.6

Значения коэффициента $K_з$

Ток защитного аппарата	Для сетей при обязательной защите от перегрузки			Для токов, не требующих защиты от перегрузки
	провода с резиновой и аналогичной изоляцией		кабели с бумажной изоляцией	
	в жилых, торговых взрыво- и пожароопасных помещениях	прочих производственных помещениях		
Номинальный ток плавкой вставки предохранителей	1,25	1,0	1,0	0,33
Ток уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель	1,25	1,0	1,0	0,22
Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой, обратно зависимой от тока характеристикой (независимо от наличия отсечки)	1,0	1,0	1,0	1,0
Ток трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой, обратно зависимой от тока характеристикой (при наличии отсечки ее кратность тока не ограничивается)	1,0	1,0	0,8	0,66

Все остальные электрические сети имеют защиту только от коротких замыканий.

Необходимым условием надежного отключения сетей до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью при коротком замыкании является правильный выбор плавких вставок предохранителей и автоматических выключателей. Ток однофазного короткого замыкания в сети должен превышать в 3 раза и более номинальный ток предохранителя и автоматического выключателя с обратно зависимой от тока характеристикой. При выборе в качестве защитного аппарата автоматического выключателя с электромагнитными расцепителями этот ток должен превышать в 1,4 раза и более ток срабатывания автоматического выключателя с номинальным током до 100 А. Приведенную выше проверку кратности тока короткого замыкания допускается не выполнять, если аппараты защиты по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников имели кратность не более: а) 300 % для номинального тока плавкой вставки предохранителя; б) 450 % для тока уставки автоматического выключателя с электромагнитным расцепителем; в) 100 % для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависимой от тока характеристикой; г) 125 % для тока трогания расцепителя авто-

матического выключателя с регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой [15].

8.6. ПРИМЕНЕНИЕ ШИНОПРОВОДОВ ДЛЯ ПИТАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

Шинопроводы магистральные и распределительные предназначены для выполнения в производственных помещениях четырехпроводных силовых электрических сетей в системах с глухозаземленной нейтралью.

Шинопроводы осветительные и троллейные применяются для питания соответственно осветительных и передвижных приборов и электроприемников. Технические характеристики шинопроводов приведены в табл. 8.7—8.10.

Шинопроводы могут выполняться также неизолированными или защищенными шинами при условии прокладки их на достаточной высоте над полом в соответствии с требованиями ПУЭ.

Данные неизолированных шин прямоугольной площади сечения приведены в прил. 21.

Таблица 8.7.
Шинопроводы магистральные

Показатели	ШМА4-1250	ШМА4-1600
Номинальный ток, А	1250	1600
Номинальное напряжение, В	660	660
Динамическая стойкость ударному току короткого замыкания, кА	70	90
Сопротивление на фазу, Ом/км:		
активное	0,034	0,03
индуктивное	0,016	0,014
Количество и размеры шин на фазу, мм	1 (140х8)	1 (160х8)
Максимальное расстояние между точками крепления, мм	6000	6000
Степень защиты	*IP*44	*IP*44
Ориентировочная стоимость 1 прямой секции длиной 3000 мм, руб.	78	99

Таблица 8.8
Шинопроводы распределительные

Показатели	ШРА4	ШРА4-100-44
Номинальный ток, А	250, 400, 630	100
Номинальное напряжение, В	380/220	660/380
Динамическая стойкость ударному току короткого замыкания, кА	15, 25, 35	7
Размеры рабочих шин, мм	35х5; 50х5; 80х5	3,5х11
Масса прямой секции, кг	30, 33, 47	20
Максимальное расстояние между точками крепления, мм	6000	4000
Степень защиты	*IP*32	*IP*44
Ориентировочная стоимость 1 прямой секции длиной 3000 мм, руб.	40,0; 50,7; 70	22,5

Таблица 8.9
Шинопроводы осветительные

Показатели	ШОС4	ШОС80
Номинальный ток, А	25	16
Номинальное напряжение, В	380/220	До 240
Динамическая стойкость, кА	3	3
Площадь сечения фазовых и нулевых проводников, мм^2	Медные провода 6	Медные шины 2х5
Номинальный ток штепселя, А	10	6
Размеры поперечного сечения короба, мм	35х45	31х32
Максимальное расстояние между точками крепления, мм	3000	2000
Степень защиты	*IP*32	*IP*22
Ориентировочная стоимость 1 прямой секции длиной 3000 мм, руб.	7,60	10,8

Таблица 8.10
Шинопроводы троллейные

Показатели	ШТР4-100	ШМТ-АУ2	ШТА-75
Номинальный ток, А	100	250	250, 400
Номинальное напряжение, кВ	380/220	660	660
Динамическая стойкость, кА	5	10	10, 15
Масса прямой секции, кг	17,1	2,26	25,4; 38,5
Максимальное расстояние между точками крепления, мм	3000	3000	3000
Степень защиты	*IP*41	*IP*21	*IP*12
Ориентировочная стоимость 1 прямой секции длиной 3000 мм, руб.	16,4	7,3	33,0

ГЛАВА 9

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

9.1. ВЫБОР ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Источники света и светильники выбираются с учетом нормативных рекомендаций [15], причем преимущественное применение должны иметь газоразрядные лампы низкого и высокого давления.

Выбор типа люминесцентных ламп необходимо вести с учетом требований к цветопередаче в соответствии с рекомендациями СНиП [19]. После выбора источника света определяется тип светильника. При этом учитываются следующие требования: а) светотехнические; б) экономические, в том числе энергетические; в) условий окружающей среды; г) безопасности труда и удобства обслуживания.

Кроме того, в некоторых случаях к светильникам предъявляются и эстетические требования. Наиболее полное выполнение этих требований обеспечивает максимально возможную экономичность осветительной установки и создание нормированной освещенности при высоком качестве освещения.

Исходя из производственных условий и в соответствии с нормами, приведенными в СНиП, должны быть выбраны: *вид освещения* (рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное), а также *система освещения* — общая (равномерная и локализованная) либо комбинированная (к общему освещению добавляется местное).

Устройство в помещениях только местного освещения запрещено. При необходимости часть светильников того или иного вида освещения может использоваться для дежурного освещения.

Следует обратить внимание на то, что для аварийного и эвакуационного освещения рекомендуется применять только лампы накаливания и люминесцентные лампы.

При проектировании искусственного электрического освещения освещенность на рабочих поверхностях принимается согласно нормам освещенности, а также отраслевым нормам искусственного освещения. Если в дипломном проекте принята комбинированная система освещения, то освещенность, создаваемая светильниками общего освещения, должна применяться согласно СНиП [19].

При разработке освещения в дипломном проекте должны учитываться и качественные показатели осветительных установок: ограничение слепящего действия светильников, пульсация освещенности, ограничение отраженной блескости, обеспечение цветопередачи и др.

При размещении светильников в проектируемом помещении необходимо предусмотреть удобный доступ к ним, надежность их закрепления и безопасность обслуживания, обеспечить принятую норму освещенности с минимальными затратами, учесть исходные данные к заданию на дипломное проектирование по качеству освещения, а также выбрать вариант наименьшей протяженности групповой сети с учетом удобства и индустриализации ее монтажа.

Размещение светильников рекомендуется выполнять, учитывая количество рабочих мест и технологического оборудования, стараясь сохранить

направление естественного света. Светильники с ДРЛ и лампами накаливания для равномерности освещения целесообразно разместить по углам квадрата или прямоугольника. Светильники с люминесцентными лампами рекомендуется располагать рядами вдоль стен с окнами или параллельно продольным осям помещения. Нужно учитывать также условия монтажа и эксплуатации светильников. Для крепления светильников используются конструктивные элементы здания, например фермы перекрытий. При установке светильников нужно обеспечить доступ к ним, а в случае необходимости предусмотреть мостики обслуживания.

Расчетная высота подвеса светильников определяется по формуле

$$h = H - h_c - h_p, \tag{9.1}$$

где H — полная высота помещения, м; h_c — свес светильника от потолка, м; h_p — высота освещаемой поверхности от пола, м.

Расстояние между светильниками с лампами накаливания и ДРЛ, а также между рядами люминесцентных светильников определяется из выражения

$$L = \left(\frac{L}{h}\right)_н \cdot h, \tag{9.2}$$

где L — расстояние между светильниками с лампами накаливания или ДРЛ, а также между рядами люминесцентных светильников, м; $\left(\frac{L}{h}\right)_н$ — наивыгоднейшее относительное расстояние между светильниками (*принимается в соответствии с рекомендациями* [20] в зависимости от типа и расположения светильника).

Размещают светильники рядами на расстоянии от стен (0,25—0,3) L при расположении рабочих мест у стен и (0,4—0,5) L — на проходах.

9.2. РАСЧЕТ ОСВЕЩЕНИЯ

Расчет освещения производится для определения мощности источников света и установленной мощности всей осветительной установки. Его можно выполнить точечным методом или методом коэффициента использования светового потока.

В дипломном проекте рекомендуется освещенность одного из основных помещений рассчитать методом коэффициента использования светового потока, а с целью проверки расчетов и сравнения результатов освещенности этого же помещения нужно рассчитать точечным методом. Для остальных помещений допускается использовать упрощенные методы — таблицы удельной мощности и графики для непосредственного определения числа светильников [20].

Метод коэффициента использования светового потока [20]. Расчетная формула для определения необходимого светового потока ламп в каждом светильнике имеет вид

$$\Phi = \frac{EK_o Sz}{n\eta}, \qquad (9.3)$$

где E — нормируемая освещенность для данного помещения, лк; K_o — коэффициент запаса, зависящий от рода объекта (принимается равным 1,3–2); S — площадь помещения, м^2; z — поправочный коэффициент, учитывающий увеличение средней освещенности по отношению к нормируемой (изменяется в пределах от 1 до 2,2); n — количество светильников (ламп), шт.; η — коэффициент использования светового потока в долях единицы.

Расчет ведется в такой последовательности:

1) определяется расчетная высота h, тип и количество светильников n;

2) по таблицам в [19, 20] принимаются K_o, z и E;

3) вычисляется освещаемая площадь S и находится индекс помещения i по формуле

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}, \qquad (9.4)$$

где A — длина помещения, м; B — ширина помещения, м;

4) по найденному i, предположительно оценив по [20] коэффициенты отражения потолка, стен и расчетной поверхности или пола, определяется коэффициент использования η;

5) по формуле (9,3) определяется потребный поток Φ.

6) по Φ выбирается ближайшая стандартная лампа, поток которой не должен отличаться больше, чем на −10...+20 %. Если невозможен выбор с таким приближением, корректируется n. При однозначно заданном Φ формула (9.3) решается относительно n.

Метод удельной мощности. Расчетная формула для определения мощности одной лампы имеет вид

$$P_л = \frac{P_{уд} S}{n}, \qquad (9.5)$$

где $P_{уд}$ — удельная мощность, определяемая по таблицам [20] в зависимости от типа светильника, h, S и E.

Рекомендуется следующий порядок расчета:

1) определяются h, S, тип и количество светильников n в проектируемом помещении;

2) по таблицам в [19] находится нормированная освещенность E (лк) для данного вида помещений;

3) по таблицам в [20] определяется удельная мощность $P_{уд}$;

4) по формуле (9.5) подсчитывается мощность одной лампы и подбирается ближайшая стандартная;

5) по потребному потоку подбирается ближайшая стандартная лампа, поток которой не отличается от рассчитанного в пределах −10...+20 %. При невозможности выбора лампы с таким допуском корректируется расположение светильников. При заданном значении Φ формула (9.5) решается относительно E.

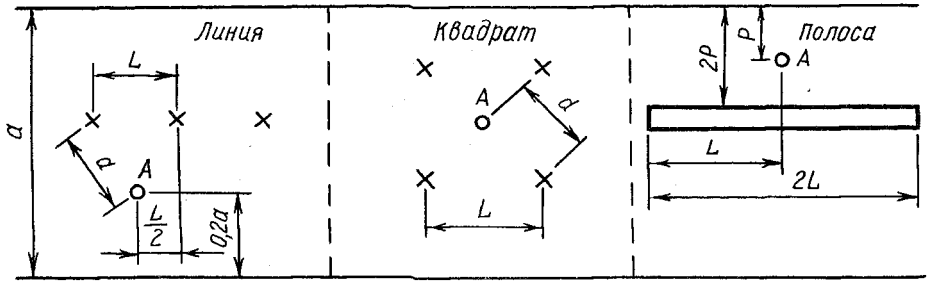


Рис. 9.1. Расположение контрольной точки в зависимости от размещения светильников

Точечный метод. При использовании этого метода освещенность определяется в контрольной точке помещения. Выбор расположения этой точки зависит от размещения светильников в помещении (рис. 9.1).

Для *точечных светильников* расчет ведется следующим образом.

1. Вычерчивают в масштабе план помещения со светильниками, предварительно выбрав их тип и количество, и определяют расчетную высоту подвеса светильников h над освещаемой поверхностью.

2. На план помещения наносится контрольная точка A и определяется расстояние L от проекций светильников до этой точки.

3. По графикам пространственных изолюкс [20] для полученных значений d и h находится суммарная условная освещенность контрольной точки Σe ближайших светильников.

4. Рассчитывается потребный поток ламп светильника

$$\Phi = \frac{1000EK_0}{\mu\Sigma e} = \frac{1000EK_0h^2}{\mu\Sigma\epsilon}, \qquad (9.6)$$

где μ — коэффициент, учитывающий действие удаленных светильников и равный 1,1—1,2; ϵ — относительная освещенность, лк.

Для *светящихся полос* расчет ведется в следующей последовательности.

1. На план помещения со светильниками наносится контрольная точка A и определяются расстояния P и L в метрах (см. рис. 9.1).

2. Определяются приведенные размеры:

$$P' = \frac{P}{h} \text{ и } L' = \frac{L}{h}. \qquad (9.7)$$

3. По графикам линейных изолюкс [20] находится суммарная относительная освещенность контрольной точки $\Sigma\epsilon$.

4. Линейная плотность потока полосы вычисляется по формуле

$$\Phi' = \frac{1000EK_0h^2}{\mu\Sigma\epsilon} \qquad (9.8)$$

Таблица 9.1

Результаты светотехнических расчетов

Помещения	Размеры помещения, м	Коэффициент отражения, %			Разряд по СНиП, нормированная освещенность, лк	Коэффициент запаса
		потолка	стен	рабочей поверхности		
Участок обработки изделий	42x37x7	50	30	10	300	1,5
Стекловаренный участок	36x36x11	50	30	10	200	1,8
Помещение кондиционерной установки	9x12x4	50	30	10	50	1,5

Примечание. Система освещения общая.

или

$$\Phi' = \frac{\Phi_{св} n}{2L}, \qquad (9.9)$$

где $\Phi_{св}$ — световой поток светильника, равный сумме световых потоков ламп светильника, лм; n — количество светильников в полосе.

5. Решая выражение (9.9) относительно $\Phi_{св}$, получим световой поток светильника.

Результаты расчетов освещения проектируемого объекта рекомендуется свести в таблицу (табл. 9.1) с указанием во всех помещениях нормированной и расчетной освещенности.

9.3. ВЫБОР НАПРЯЖЕНИЯ И ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Для питания осветительных установок общего освещения преимущественно применяются электрические сети переменного тока с глухозаземленной нейтралью напряжением 380/220 В. На отдельные лампы должно подаваться напряжение не выше 220 В. Напряжение 380 В допускается использовать согласно ПУЭ для питания специальных ламп. Снижение напряжения по отношению к номинальному не должно превышать для наиболее удаленных ламп: 2,5 % — для ламп рабочего освещения промышленных и общественных зданий, а также прожекторного освещения наружных установок; 5 % — для ламп рабочего освещения жилых зданий, наружного и аварийного освещения; 10 % — для ламп напряжением 12—42 В, считая от выводов низшего напряжения понижающих трансформаторов. Для обеспечения надежной работы газоразрядных ламп напряжение на них не должно быть ниже 90 % и выше 105 % номинального. При напряжении силовых приемников 380 В питание ос-

Число светильников, шт.	Тип светильников	Световой поток лампы, лм	Мощность лампы, Вт	Освещенность, определенная методом η, лк	Освещенность, определенная точечным методом, лк	Удельная мощность освещения $P_{уд}$, лк
198	ЛДР-2х40 с ЛБ	2850	40	294	440	
36	РСП-0,5 с ДРЛ	19000	400	181	185	
4	УПС	—	300	—	—	12

вещения должно осуществляться от общих для силовой и осветительной нагрузки трансформаторов. Самостоятельные трансформаторы применяют в следующих случаях: а) если напряжение силовых приемников выше 380 В; б) если силовая нагрузка вызывает недопустимые колебания напряжения в сети; в) если напряжение 380 В не может быть допущено по условиям электробезопасности (специальные электроустановки).

При большой плотности осветительной нагрузки также может быть экономически оправдано применение самостоятельных трансформаторов для питания освещения.

Схема питания осветительных установок строится в зависимости от требуемой надежности электроснабжения. Осветительные установки, как и прочие электроприемники, по надежности электроснабжения делятся на 3 категории. Питание установок 1-й и 2-й категорий обеспечивается от двух независимых источников. Кроме того, если из нагрузок 1-й категории выделяются осветительные установки так называемой "особой" группы, схема питания должна обеспечивать переключение части светильников на третий независимый источник при полном (а в некоторых случаях и частичном) погасании установок. На практике третьим независимым источником питания обеспечиваются эвакуационное освещение бесфонарных производственных зданий по основным проходам в помещениях, где может одновременно находиться более 100 человек, а также аварийное и эвакуационное освещение помещений, производственное оборудование которых получает питание от третьего независимого источника.

В осветительных установках, как правило, сохранение полного освещения при выходе из строя одного из источников питания не требуется. Поэтому необходимая степень резервирования питания осветительной установки в основном осуществляется путем устройства аварийного и эвакуационного освещения, которое присоединяется к источнику питания, не зависящему от источника питания рабочего освещения.

Характерные схемы питания осветительных установок приведены в справочной литературе [20].

При разработке проекта электроосвещения групповые щитки нужно располагать рационально с целью экономичного построения сети, а также обеспечить доступность их обслуживания. В начале каждой групповой линии сети освещения на всех незаземленных проводах должны быть установлены аппараты защиты, а во взрывоопасных зонах класса В-1 также и на нулевых проводах двухпроводных групп. Номинальный ток плавких вставок предохранителей или уставок автоматов, применяемых для защиты линий групповой сети, определяется по методике, изложенной в § 8.5.

Каждая групповая линия должна, как правило, содержать не более 20 ламп накаливания, ламп ДРЛ, дуговых ртутных импульсных с иодным заполнением (ДРИ) или натриевых ламп на фазу, в том числе и штепсельных розеток. Для групповых линий, питающих световые карнизы, панели, а также светильники с люминесцентными лампами, допускается присоединять до 50 ламп на фазу.

При проектировании следует всемерно укрупнять групповые линии, широко применять трехфазные группы, так как это позволяет обеспечить высокую экономичность осветительной установки. Для газоразрядных источников света следует предусматривать меры по ограничению пульсации светового потока в соответствии с рекомендациями [20].

Защита осветительных сетей от коротких замыканий осуществляется плавкими предохранителями и автоматическими выключателями. Некоторые сети должны иметь, кроме того, защиту от перегрузки (проложенные в пожаро- и взрывоопасных зонах, а также проложенные внутри помещений открыто проводами с горючей изоляцией).

Управление освещением осуществляется выключателями у входа или автоматическими выключателями, расположенными на групповых щитках. Размещать аппараты управления в помещениях необходимо так, чтобы доступ к ним был свободным.

Осветительные сети в соответствии с ПУЭ [15] могут выполняться проводами и кабелями открытым и скрытым способами в зависимости от условий производственной среды. При проектировании сетей освещения необходимо учитывать индустриальность их выполнения, надежность и экономичность. Рекомендуется повсеместно в осветительных электропроводках применять алюминиевые провода и кабели. Не следует их использовать для подключения переносных светильников и осветительной арматуры во взрывоопасных зонах классов В-1 и В-1а и в помещениях с химически активной средой, где обязательно применяются медные проводники. Для прокладки по вибрирующим основаниям и при открытой прокладке на чердаках также используются медные провода. Наименьшие площади сечения алюминиевых проводов для электропроводок освещения — 2 мм^2, медных — 1 мм^2. В помещениях с особым режимом по чистоте, жилых и административно-конторских следует применять скрытую проводку. Прокладку проводов в трубах следует всемерно ограничивать, допуская ее лишь в тех случаях, когда беструбные проводки не могут быть применены. При этом во всех возможных случаях должны использоваться пластмассовые трубы.

9.4. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Расчетная мощность питающей осветительной сети определяется по формуле

$$P = K_{с.о} P_у, \tag{9.10}$$

где $P_у$ — установленная мощность ламп, кВт; $K_{с.о}$ — коэффициент спроса осветительной нагрузки.

Согласно рекомендациям [20], необходимо принимать следующие значения $K_{с.о}$: 1 — для небольших производственных зданий, наружного освещения и для линий, питающих отдельные групповые щитки и аварийное освещение; 0,95 — для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов; 0,9 — для библиотек, административных зданий и предприятий общественного питания; 0,85 — для производственных зданий, состоящих из многих отдельных помещений; 0,8 — для административно-бытовых, инженерно-лабораторных корпусов; 0,6 — для складских зданий и электроподстанций.

При расчете сетей с использованием газоразрядных ламп, кроме их мощности, следует учитывать также потери в пускорегулирующих аппаратах, которые составляют 20—25 % мощности ламп при стартерном зажигании, 30—35 % — при бесстартерном зажигании и 5—10 % мощности ламп при зажигании ламп ДРЛ через балластный дроссель. Кроме того, принимают во внимание понижение cos φ осветительной установки при использовании различных ПРА, что ведет к увеличению расчетных токов.

Расчет площади сечения жил проводов осветительных сетей производится по потере напряжения и по нагреву, из полученных результатов выбирается больший и округляется до ближайшей стандартной площади сечения. При расчете сетей по потере напряжения исходят из уровней напряжения (п. 9.3) для наиболее удаленной лампы. Расчет проводов по нагреву изложен в гл. 8. Выбор проводов по потере напряжения производится по формуле

$$S = \frac{M}{c\Delta U}, \tag{9.11}$$

где M — момент нагрузки, кВт·м; ΔU — потеря напряжения, %; c — постоянная, зависящая от материала провода, напряжения и рода тока сети [20].

Момент нагрузки определяется из выражения

$$M = Pl, \tag{9.12}$$

где l — длина линии от пункта питания до центра нагрузки, м.

Потерю напряжения можно определить также по таблицам моментов (прил. 22).

Пример 9.1. Выбрать площадь сечения провода электрической осветительной сети цеха на участке от РП до щитка освещения (ЩО). Проводка находится в нормальных условиях. Освещение предполагается выполнить лампами ДРЛ и проводом марки АРТ. Общая мощность светильников $P_л$ = 9,7 кВт. Напряжение сети 380/220 В. Длина линии 40 м. Допустимая потеря напряжения в линии $\Delta U_{доп}$ = 2,5 %.

Р е ш е н и е. Мощность осветительной нагрузки определяем из выражения

$$P_{ос} = K_{с.о} P_л K_{п.о},$$

где $K_{п.о}$ — коэффициент потерь в ПРА (принят 1,12);

$$P_{ос} = 0{,}95 \cdot 9{,}7 \cdot 1{,}12 = 10{,}3 \text{ кВт}.$$

Расчетный ток нагрузки вычисляем по формуле

$$I_{ос} = \frac{P_{ос}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cos\varphi},$$

где $\cos\varphi$ — коэффициент мощности осветительной установки, принимается равным 0,9;

$$I_{ос} = \frac{10{,}3}{\sqrt{3} \cdot 0{,}38 \cdot 0{,}9} = 17{,}41 \text{ А}.$$

По табл. 8.2 выбираем площадь сечения жилы провода 2,5 мм^2, допустимый длительный ток $I_{доп} = 19$ А.

Выбранное сечение провода проверяется на потерю напряжения по формуле (9.11). Решаем ее относительно ΔU:

$$\Delta U = \frac{10{,}3 \cdot 40}{46 \cdot 2{,}5} = 3{,}58\ \%.$$

Так как расчетное значение ΔU больше допустимого, то площадь сечения провода 2,5 мм^2 по потере напряжения не подходит. Поэтому принимаем площадь сечения на ступень выше, т.е. 4 мм^2.

Тогда

$$\Delta U = \frac{10{,}3 \cdot 40}{46 \cdot 4} = 2{,}24\ \%, \text{ что в пределах нормы.}$$

Таким образом, выбираем провод марки АРТ-660; (3х4 + 1х2,5). Для защиты линии необходим предохранитель типа НПН-60 с током плавкой вставки 20 А.

Результаты расчета сведены в табл. 9.2, формы которой следует придерживаться при оформлении ПЗ.

Пример 9.2. Используя данные примера 9.1, выбрать площадь сечения проводов двухфазной групповой линии, питающейся от щитка освещения. Расстояние от ЩО до

Таблица 9.2

Результаты расчета электрической осветительной сети

Номер группы или пункта	Защитный аппарат		Линия			Мощность светильников, Вт	Количество светильников, шт.	Расчетная нагрузка, кВт
	тип	$I_{пл.вст}$, А	длина, м	марка проводника	площадь сечения, мм^2			
Линия РП-ЩО	НПН-60	20	40	АРТ	4	400	36	10,3
Группа № 1	НПН-15	15	40	АРТ	2,5	400	8	3,4
ЩО — Центр нагрузки								

центра нагрузки 40 м, расчетная нагрузка 3,4 кВт. Допустимая потеря напряжения в осветительной сети 5,0 %.

Р е ш е н и е. Допустимая потеря напряжения в групповой линии

$$\Delta U_{доп} = 5{,}0 - 2{,}24 = 2{,}76\ \%.$$

Определим момент нагрузки по формуле (9.12):

$$M = 3{,}2 \cdot 40 = 128\ кВт \cdot м.$$

По формуле (9.11) вычислим площадь сечения провода:

$$S = \frac{128}{20 \cdot 2{,}76} = 2{,}32\ мм^2.$$

По табл. 8.2 принимаем провод площадью сечения жилы 2,5 $мм^2$ с $I_{доп} = 21$ А. Ток нагрузки в линии определяется по формуле

$$I_{ос} = \frac{P_{ос}}{2U_{ф} \cdot \cos\varphi}, \qquad (9.13)$$

где $U_{ф}$ — фазное напряжение сети, кВ;

$$I_{ос} = \frac{3{,}4}{2 \cdot 0{,}220 \cdot 0{,}6} = 12{,}88\ А.$$

Выбранная площадь сечения провода проверяется по нагреву длительно допустимым током по условию

$$I_{доп} \geqslant I_{ос}. \qquad (9.14)$$

Так как 21 > 12,88, то условие (9.14) выполняется.

Провод выбираем такой же, как и на участке РП-ЩО, т.е. марки АРТ-660 (4х2,5). Для защиты пригоден предохранитель типа НПН-15 с током плавкой вставки 15 А.

9.5. ГРАФИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПЛАНА ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

На плане проектируемого объекта с электроосвещением должны быть показаны: а) колонны, наружные стены и отдельные помещения, расположенные в цехе, основное технологическое оборудование, б) светильники, штепсельные розетки, выключатели, щитки, осветительные проводки.

На этом же плане с помощью надписей указываются:

1) наименования помещений;
2) класс пожаро- и взрывоопасной зоны и группа взрывоопасных смесей;
3) нормируемая освещенность;
4) тип светильника и их количество;
5) количество и мощность ламп;
6) высота установки светильников;
7) номера магистральных пунктов и групповых щитков и их тип, марка, площадь сечения проводника, способ прокладки питающих линий;
8) номер линии, марка, площадь сечения проводника и способ прокладки на групповых линиях.

Если имеется необходимость точно фиксировать место установки светиль-

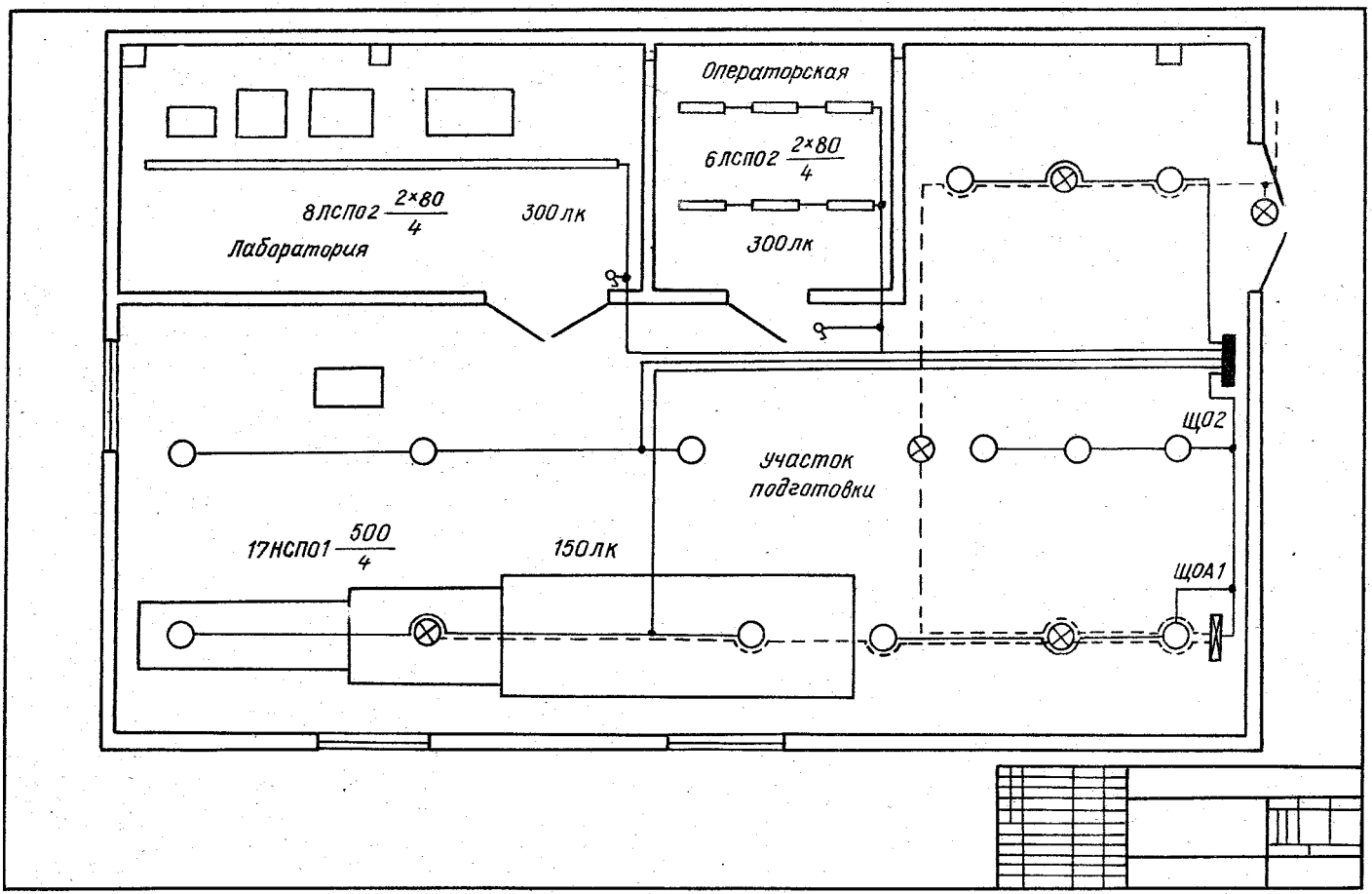


Рис. 9.2. Пример плана помещения с сетями освещения

ников или щитков, даются привязочные размеры в соответствии с ГОСТ 21.608–84 "Внутреннее электрическое освещение".

Пример оформления плана помещения с сетями освещения приведен на рис. 9.2.

Заданием на дипломное проектирование может быть предусмотрена разработка освещения территории проектируемого объекта. Перед выполнением этой части проекта рекомендуется изучить в справочнике [20] главу "Наружное освещение", ГОСТ 21.607–82 "Электрическое освещение территории промышленных предприятий", а также ПУЭ.

Согласно рекомендациям [20], наружное освещение может выполняться как светильниками, так и прожекторами. Расчет освещения светильниками рекомендуется вести точечным методом: по кривым относительной освещенности и по графику условных изолюкс.

Расчет прожекторного освещения ведется одним из следующих способов: а) построением и компоновкой изолюкс; б) методом пучка прожекторов; в) использованием альбомов изолюкс.

Графическая часть проекта наружного освещения включает план освещения территории (масштабом 1:200 или 1:500) и принципиальную схему питания освещения территории.

На плане освещения территории необходимо указать: а) опоры со светильниками и опоры для ВЛ; б) отдельно установленные светильники (на зданиях, тросах и т.д.); в) прожекторы на мачтах; г) электротехнические устройства для запитки наружного освещения; д) электрические сети освещения территории; е) устройства заземления; ж) трубные переходы для кабелей в местах возможных повреждений. Кроме того, необходимо нанести на план поясняющие чертеж надписи и привязочные размеры для светильников и опор.

ГЛАВА 10

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ

10.1. СПОСОБЫ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Реактивную мощность наряду с активной потребляет значительная часть промышленных электроприемников: асинхронные электродвигатели, трансформаторы, линии электропередачи. Различают три вида компенсации реактивной мощности: *централизованную* (с установкой компенсирующего устройства на ТП предприятия), *групповую* (с установкой компенсирующего устройства в цехах у распределительных щитов) и *индивидуальную* (с установкой компенсирующего устройства рядом с электроприемниками).

В качестве основного средства компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях рекомендуется применять батареи статических конденсаторов, подключенные параллельно к электрической сети. Конденсаторные установки являются наиболее экономичным источником реактивной мощности. Синхронные электродвигатели и компенсаторы также следует применять для этих целей, особенно в тех случаях, когда синхронные электродвигатели являются и приводом, генерируя реактивную мощность в сеть при полезной нагрузке на валу. При этом они допускают широкие пределы регулирования генерируемой реактивной мощности, меньше зависят от колебания напряжения в системе, чем статические конденсаторы, и повышают ее устойчивость. Рекомендуется также совместное применение конденсаторов и синхронных двигателей. В этом случае конденсаторы осуществляют в основном компенсацию базисной части суточного графика реактивной нагрузки, а синхронные двигатели снижают пики графика нагрузки.

Практиковавшийся ранее метод определения мощности компенсирующих устройств по средневзвешенным за год нормированному и фактическому значениям коэффициента мощности обладает рядом недостатков. Он не учитывает изменения нагрузок в течение суток, а также несовпадения максимумов активной и реактивной нагрузок по времени. При высоком значении средневзвешенного коэффициента мощности значение его оказывается низким в часы максимума активной нагрузки системы. Это нарушает баланс реактивных мощностей и лимитирует работу генераторов, которые вследствие этого не могут выдать полную активную мощность в момент максимума активной нагрузки. К тому же держать круглосуточно подключенной к сети конденсаторную установку, выбранную по предельно низким значениям коэффициента мощности, при малых нагрузках (ночью, в выходные дни и т.д.) невыгодно, так как это влечет недопустимое повышение напряжения, чрезмерную загрузку электрической сети реактивной мощностью и т.д.

10.2. РАСЧЕТ КОМПЕНСИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА УПРОЩЕННЫМИ МЕТОДАМИ

В основу определения мощности компенсирующих устройств положена методика, изложенная "Инструкцией по системному расчету компенсации реактивной мощности в электрических сетях" [5].

Расчетная мощность конденсаторной установки для проектирования электроснабжения потребителей с присоединенной мощностью $S_{пр} < 750$ кВ·А определяется из выражения

$$Q^{р}_{к.э} = P_{расч}(\mathrm{tg}\varphi_{расч} - 0{,}2), \qquad (10.1)$$

где $P_{расч}$ — расчетная активная нагрузка проектируемого предприятия, кВт; $\mathrm{tg}\varphi_{расч}$ — расчетный тангенс угла на стороне высокого напряжения трансформаторов, соответствующий нагрузкам $P_{расч}$ и $Q_{расч}$.

Пример 10.1. Активная нагрузка проектируемого цеха составляет $P_{расч} = 400$ кВт. Расчетный тангенс угла $\mathrm{tg}\varphi_{расч} = 0{,}55$. Определить мощность компенсирующего устройства (КУ).

Р е ш е н и е. По формуле (10.1)

$$Q^{р}_{к.э} = 400 \cdot (0{,}55 - 0{,}2) = 140 \text{ квар}.$$

Если выполняется проект по электрооборудованию и электроснабжению действующего или реконструируемого предприятия, то рекомендуется использовать методы расчета компенсирующего устройства с учетом мощности и напряжения потребителя.

Расчет *компенсирующего устройства для действующих потребителей с присоединенной мощностью трансформаторов менее* 750 кВ·А ведется следующим образом.

Зная присоединенную мощность $S_{пр}$ и долю установленной мощности асинхронных двигателей и сварочных трансформаторов $d_{а.св}$ в общей установленной мощности низковольтной нагрузки, определяют расчетную экономическую мощность компенсирующего устройства по формуле

$$Q^{р}_{к.э} = (0{,}2 + 0{,}5d_{а.св}) S_{пр}\beta_{т}, \qquad (10.2)$$

где $\beta_{т}$ — коэффициент загрузки трансформаторов.

В зависимости от расчетного значения $Q^{р}_{к.э}$ по табл. 10.1 [5] выбирают мощность компенсирующего устройства $Q_{к.э}$.

Пример 10.2. Присоединенная мощность потребителя $S_{пр} = 400$ кВ·А. Доля асинхронной и сварочной нагрузки $d_{а.св} = 60$ %. Коэффициент загрузки трансформатора $\beta_{т} = 0{,}8$. Определить $Q_{к.э}$.

Р е ш е н и е. По формуле (10.2)

$$Q^{р}_{к.э} = (0{,}2 + 0{,}5 \cdot 0{,}6) \cdot 400 \cdot 0{,}8 = 160 \text{ квар}.$$

По табл. 10.1 выбираем мощность компенсирующего устройства: $Q_{к.э} = 150$ квар.

Т а б л и ц а 10.1
Мощность компенсирующего устройства

$Q^{р}_{к.э}$, квар	До 50	50—120	120—190	190—260	260—380	Более 380
$Q_{к.э}$, квар	0	75	150	225	300	450

Если потребитель питается от сети 380 В, то значение $Q_{к.э}$ в этом случае определяется стандартной мощностью конденсаторной установки, ближайшей к расчетной реактивной нагрузке потребителя, и далее по табл. 10.1 выбирается мощность компенсирующего устройства.

Выбор *компенсирующего устройства для потребителей с присоединенной мощностью трансформаторов* 750 МВ·А и *выше* производится по меньшему из оптимальных значений реактивной мощности, передаваемой из сети энергосистемы в сеть потребителя в часы наибольших нагрузок в I и во II кварталах, которые определяются по формулам:

$$Q^{I}_{э1} = a_1 P^{IV}_{ф}; \qquad (10.3)$$

$$Q^{II}_{э1} = Q^{IV}_{ф1} - Q_{с.д.у}, \qquad (10.4)$$

где $Q_{э1}$ — мощность, соответствующая установленным предприятию условиям получения электроэнергии от энергосистемы; a_1 — коэффициент, принимаемый для подстанций с низшим напряжением 6—20 кВ энергосистем Северо-Запада, Центра и Юга равным 0,23 при высшем напряжении подстанций 35 кВ, 0,28 — при 110—150 кВ и 0,37 — при 220—330 кВ; $P^{IV}_{ф}$, $Q^{IV}_{ф1}$ — 30-минутный максимум активной и соответственно реактивной нагрузок потребителя в часы наибольшей нагрузки энергосистемы в IV квартале прошедшего года; $Q_{с.д.у}$ — возможное увеличение генерации реактивной мощности синхронными генераторами напряжением 6—10 кВ в те же часы.

С целью обеспечения потребления реактивной мощности в часы максимальной нагрузки в IV квартале потребитель должен включить дополнительные батареи конденсаторов мощностью

$$Q_{к.д} = Q^{IV}_{ф1} - Q^{IV}_{э1} - Q^{IV}_{с.д.у}. \qquad (10.5)$$

Если $Q^{I}_{э1} > Q^{I}_{э1}$, то $Q_{к.д} = 0$.

Компенсация реактивной мощности не производится: а) на предприятиях с расчетной мощностью компенсирующего устройства менее 75 квар; б) на тяговых подстанциях городского электротранспорта при расчетной мощности компенсирующего устройства менее 450 квар; в) на предприятиях, работающих не в часы максимальных суточных нагрузок энергосистемы; г) на сезонных предприятиях, не работающих в период с ноября по март.

10.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ БАТАРЕЙ КОНДЕНСАТОРОВ В СЕТЯХ ДО 1 кВ ПО МИНИМУМУ ПРИВЕДЕННЫХ ЗАТРАТ

Суммарная расчетная мощность низковольтной батареи конденсаторов (НБК)

$$Q_{н.к} = Q_{н.к.1} + Q_{н.к.2}, \qquad (10.6)$$

где $Q_{н.к.1}$ — суммарные мощности батарей, определенные с учетом выбора экономически оптимального числа трансформаторов цеховых подстанций (первое условие), квар; $Q_{н.к.2}$ — то же, но с учетом дополнительной мощнос-

ти в целях оптимального снижения потерь в трансформаторах и сети 6—10 кВ (второе условие), квар.

Определение мощности батарей конденсаторов из условия выбора оптимального числа цеховых трансформаторов производится по формуле

$$Q_{н.к.1} = Q_{max т} - Q_т, \qquad (10.7)$$

где $Q_{max т}$ — максимальная суммарная расчетная реактивная мощность трансформаторов, квар; $Q_т$ — максимальная реактивная мощность, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть, квар:

$$Q_т = \sqrt{(N_{т.э}\beta_т S_т)^2 - P^2_{max т}}, \qquad (10.8)$$

где $N_{т.э}$ — экономически оптимальное число трансформаторов; $S_т$ — единичная мощность трансформатора, кВ·А; $P_{max т}$ — максимальная суммарная расчетная активная нагрузка данной группы трансформаторов, кВт.

Мощность трансформатора (при их количестве в цехе не более трех) выбирается из условия

$$S_т \geqslant \frac{P_{max т}}{\beta_т N}, \qquad (10.9)$$

где N — число трансформаторов.

Если окажется, что $Q_{н.к.1} < Q_т$, то по первому условию расчета установка НБК не требуется и $Q_{н.к.1}$ принимается равной нулю.

Мощность батарей конденсаторов в целях оптимального снижения потерь определяется из выражения

$$Q_{н.к.2} = Q_{max т} - Q_{н.к.1} - \gamma_1 N_{т.э} S_т, \qquad (10.10)$$

где γ_1 — коэффициент, значение которого при расчетах в дипломных проектах с числом трансформаторов в цехе не более трех можно принять для предприятий, работающих в 2—3 смены и длине питающей линии до 0,5 км, равным 0,5. При других данных можно воспользоваться графиками, приведенными в [5].

Если при расчете получится $Q_{н.к.2} < 0$, то $Q_{н.к.2}$ принимается равной 0.

Пример 10.3. Определить суммарную мощность НБК для механического цеха, если максимальная суммарная расчетная активная мощность $P_{max т} = 1600$ кВт, максимальная суммарная расчетная реактивная мощность трех одинаковых трансформаторов $Q_{max т} = 900$ квар; напряжение питающей сети 10 кВ. Цех работает в 2 смены. Единичная мощность трансформаторов $S_т = 630$ кВ·А; $\beta_т = 0{,}87$; трансформаторы питаются по магистральной схеме.

Р е ш е н и е. Максимальная реактивная мощность, которую целесообразно передать через все три трансформатора, определяется по формуле (10.8):

$$Q_т = \sqrt{(3 \cdot 0{,}87 \cdot 630)^2 - 1600^2} = 379 \text{ квар}.$$

Мощность НБК с учетом экономически оптимального числа трансформаторов по формуле (10.7)

$$Q_{н.к.1} = 900 - 379 = 521 \text{ квар}.$$

Дополнительная мощность НБК по условию оптимального снижения потерь по формуле (10.10)

$$Q_{н.к.2} = 900 - 521 - 0{,}5 \cdot 3 \cdot 630 = -566 \text{ квар.}$$

Поскольку результат получился со знаком (–), принимается $Q_{н.к.2} = 0$.

Суммарная расчетная мощность НБК цеха на основании формулы (10.6) $Q_{н.к} = 521 + 0 = 521$ квар.

Данная мощность НБК распределяется между отдельными трансформаторами пропорционально их реактивным нагрузкам. По табл. 10.2 выбираем установки ККУ-0,38-3 с БВР-1 мощностью по 160 квар и подключаем их к шинам 0,38 кВ каждого трансформатора. Фактическая мощность НБК

$$Q_{н.к.ф} = 3 \cdot 160 = 480 \text{ квар.}$$

При наличии в группе больше трех одинаковых по мощности трансформаторов, их минимальное число

$$N_{min\,т} = P_{max\,т} / (\beta_т S_т) + \Delta N, \qquad (10.11)$$

где ΔN – надбавка до ближайшего большего целого числа.

Экономически оптимальное число трансформаторов

$$N_{т.э} = N_{min\,т} + \Delta m. \qquad (10.12)$$

где Δm – дополнительное число трансформаторов, которое определяется по графикам [5].

$N_{т.э}$ зависит от удельных затрат на передачу реактивной мощности и постоянных составляющих капитальных затрат, которые вычисляют по формуле

$$З_у = \beta_т (З_{н.к} - З_{в.к}) / З_{п.с} = \beta_т З_{п.с.у}, \qquad (10.13)$$

где $З_{н.к}$, $З_{в.к}$, $З_{п.с}$ – соответственно удельные приведенные затраты на НБК, высоковольтную батарею конденсаторов (ВБК) и подстанцию;

$$З_{п.с.у} = (З_{н.к} - З_{в.к}) / З_{п.с}, \qquad (10.14)$$

для практических расчетов их допускается принимать равными 0,5.

Удельные приведенные затраты на ВБК

$$З_{в.к} = \frac{З_о + З_{в.к1}}{Q_{ВБК}}, \qquad (10.15)$$

где $З_{в.к1}$ – усредненные затраты на одну ВБК, руб. (заводская стоимость); $З_о$ – постоянная составляющая затрат на ВБК, руб.; $Q_{ВБК}$ – реактивная мощность ВБК, квар.

При известных удельных затратах по формуле (10.14) определяется $З_{п.с.у}$, а затем по формуле (10.13) – $З_у$. Зная последнюю величину, по графику [5] определяется оптимальное число трансформаторов. Исходя из выбранного количества трансформаторов по формуле (10.8) рассчитывается реактивная мощность для передачи в сеть.

Таблица 10.2
Расчетная стоимость и удельный коэффициент потерь

Энергетические системы	Количество рабочих смен	Расчетная стоимость потерь C_0, руб/кВт	Удельный коэффициент потерь K_1
Центра, Северо-Запада, Юга	1	52	24
	2	106	12
	3	112	11
Средней Волги	1	64	19
	2	93	13
	3	106	12
Урала	1	56	22
	2	91	14
	3	117	11
Северного Кавказа, Закавказья	1	89	14
	2	95	13
	3	103	12
Северного Казахстана	1	76	17
	2	80	16
	3	87	14
Сибири	1	85	15
	2	85	15
	3	85	15
Средней Азии	1	64	19
	2	64	19
	3	80	16

Таблица 10.3
Значения коэффициента K_2

Мощность трансформатора $S_т$, кВ·А	Коэффициент K_2 при длине линии, км				
	до 0,5	0,5–1,0	1,0–1,5	1,5–2,0	свыше 2,0
400	2	4	7	10	17
630	2	7	10	15	27
1000	2	7	10	16	27
1600	3	10	17	23	40
2500	5	16	26	36	50

Дополнительная суммарная мощность НБК для группы трансформаторов определяется из формулы (10.10).

Расчетный коэффициент γ_1 зависит от показателей K_1, K_2 и схемы питания цеховой подстанции (ПС) и определяется по графику [5] или расчетным путем.

Для магистральных схем с тремя и более трансформаторами

$$\gamma_1 = K_1/30, \qquad (10.16)$$

где K_1 — удельный коэффициент потерь, вычисляемый по формуле

$$K_1 = (З_{н.к} - З_{в.к}) C_o \cdot 10^3, \quad (10.17)$$

где C_o — расчетная стоимость потерь, определяемая по табл. 10.2.

Расчетную стоимость и удельный коэффициент потерь можно определить по табл. 10.2 для энергетических систем.

Значения K_2 рассчитываются из выражения

$$K_2 = lS_т/S, \quad (10.18)$$

где l — длина линии (при магистральной схеме с двумя трансформаторами — длина участка до первого трансформатора), км; S — общая площадь сечения проводов линии, мм^2.

Значения K_2 в зависимости от мощности трансформатора и длины линии можно определить из табл. 10.3.

10.4. РАСЧЕТ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПО РЕАКТИВНЫМ НАГРУЗКАМ

Предлагаемый метод расчета КУ не противоречит изложенному в § 10.2. Он является более точным и широко применяется в практике проектирования. За основу принята методика, изложенная в [5].

Мощность компенсирующего устройства на начальной стадии проектирования определяется из выражения

$$Q_{к.у} = Q_{м1} - Q_{э1}, \quad (10.19)$$

где $Q_{э1}$ — заданная входная реактивная мощность, квар; $Q_{м1}$ — наибольшая суммарная реактивная нагрузка предприятия, квар, которая определяется из выражения

$$Q_{м1} = K_н Q_м, \quad (10.20)$$

где $Q_м$ — наибольшая суммарная расчетная реактивная нагрузка, квар; $K_н$ — коэффициент, учитывающий несовпадение во времени наибольших активных

Таблица 10.4
Значения коэффициента $K_н$

Промышленность	$K_н$
Текстильная, нефтеперерабатывающая	0,95
Химическая, пищевая, строительных материалов нефтедобывающая, черная и цветная металлургия, бумажная	0,90
Металлообрабатывающая, машиностроительная, деревообрабатывающая, торфоперерабатывающая, угольная, газовая	0,80
Прочие	0,75

Таблица 10.5

Суммарные реактивные потери в трансформаторе $\Delta Q_т$

Номинальная мощность трансформатора, кВ·А	$\Delta Q_т$, квар, при $\beta_т$					
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
400	13	15	18	20	23	26
630	20	23	28	33	39	45
1000	28	34	41	49	58	69
1600	41	51	62	75	90	107
2500	62	79	99	121	146	175

нагрузок энергосистемы и реактивной мощности предприятия (выбирается по табл. 10.4).

Мощность батарей конденсаторов предприятия в сетях напряжением свыше 1 кВ определяется по формуле

$$Q_{в.к} = \sum_{i=1}^{n} Q_{р.п i} - Q_{э1}, \qquad (10.21)$$

где $Q_{р.п i}$ – расчетная реактивная нагрузка на шинах 6–10 кВ i-го РП (ПС), квар; n – количество РП и ПС.

Нескомпенсированная реактивная нагрузка на стороне 6–10 кВ каждого трансформатора

$$Q_{т.н} = Q_{max\ т} - Q_{н.к.ф} + \Delta Q_т, \qquad (10.22)$$

где $Q_{max\ т}$ – суммарная расчетная реактивная нагрузка трансформатора, квар; $Q_{н.к.ф}$ – фактическая мощность низковольтной батареи конденсаторов, квар; $\Delta Q_т$ – суммарные реактивные потери в трансформаторе при его коэффициенте загрузки $\beta_т$ с учетом компенсации, квар (принимаются по табл. 10.5).

10.5. ВЫБОР СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Для рационального построения схемы электроснабжения предприятия существенное значение имеет правильный, технически и экономически обоснованный выбор числа и мощности трансформаторов как для главных понизительных, так и для цеховых подстанций.

Понизительные подстанции промышленных предприятий (главные и цеховые), как правило, должны выполняться с числом трансформаторов не более двух.

Для питания электрических нагрузок II категории следует в основном применять однотрансформаторные цеховые подстанции 10–6/0,4 кВ при условии резервирования мощности по перемычкам на вторичном напряжении, достаточной для питания наиболее ответственных потребителей или при наличии складского резерва трансформаторов. Двухтрансформаторные цеховые

подстанции следует применять при сосредоточенных нагрузках или преобладании потребителей I категории. В любом цехе с общей расчетной мощностью более 1000 кВ·А рекомендуется иметь не менее двух однотрансформаторных подстанций.

Кроме того, в практике проектирования при выборе трансформаторов необходимо: а) стремиться к возможно большей однотипности трансформаторов и оборудования подстанций на всем предприятии в целом; б) производить выбор фундамента или камеры с учетом возможности установки в будущем более мощного трансформатора; в) предусматривать работу трансформаторов на цеховых и главных подстанциях, как правило, раздельной, так как это ведет к упрощению релейной защиты и уменьшению тока короткого замыкания в сети вторичного напряжения, что очень важно для выбора коммутационных аппаратов низкого напряжения.

Ориентировочное число и мощность трансформаторов цеховых подстанций можно выбрать по удельной плотности нагрузки и суммарной нагрузке цеха. Для машиностроительной и металлообрабатывающей промышленности рекомендуется принимать удельную плотность нагрузки по [12] равной 0,15—0,25 кВ·А/м^2 . При такой плотности нагрузки наиболее экономичны трансформаторы мощностью 400; 630; 1000 кВ·А. Но основным критерием выбора числа трансформаторов для цеховых подстанций являются удельные затраты на передачу реактивной мощности с учетом капитальных затрат на сооружение подстанций и установку НБК. Поэтому в дипломных проектах число трансформаторов для цеховых подстанций рекомендуется выбирать по формуле (10.11) при их числе более трех. Если намечается установка менее трех трансформаторов, то по формуле (10.9) определяется их мощность по наибольшей активной нагрузке. Коэффициент загрузки $\beta_т$ рекомендуется принимать для I категории потребителей 0,7—0,8, а для II и III категории 0,9—1,0 [5] .

Пример 10.4. Определить оптимальную мощность трансформатора для однотрансформаторной подстанции и мощность НБК для цеха предприятия. Цех работает в две смены, предприятие расположено на Северо-Западе СССР. Электроснабжение цеха осуществляется от РП-10 кВ кабелем ААБ-10 кВ (3х50) длиной 0,5 км. Нагрузка цеха $S_м$ = = 570 кВ·А; $P_{max\,т}$ = 500 кВт; $Q_{max\,т}$ = 300 квар; $\beta_т$ = 1.

Р е ш е н и е. По формуле (10.9) расчетная мощность трансформатора

$$S_т \geqslant \frac{500}{1 \cdot 1} = 500 \text{ кВ·А}.$$

Пользуясь шкалой мощностей трансформаторов, принимаем трансформатор мощностью 630 кВ·А.

Шкала мощностей трансформаторов

10	16	25	40	63
100	160	250	400	630
1000	1600	2500	4000	6300
10000	16000	25000	40000	63000

Реактивная мощность, которую необходимо передать через выбранный трансформатор по формуле (10.8)

$$Q_т = \sqrt{(1 \cdot 1 \cdot 630)^2 - 500^2} = 383 \text{ квар}.$$

По первому условию (10.7) мощность НБК

$$Q_{н.к1} = 300 - 383 = -83 \text{ квар.}$$

Поскольку результат получился со знаком (–), принимаем значение $Q_{н.к1} = 0$.
По условию снижения потерь (10.10) мощность НБК

$$Q_{н.к2} = 300 - 0 - 0{,}5 \cdot 1 \cdot 630 = -65 \text{ квар.}$$

Знак (–) показывает, что для проектируемой подстанции установка НБК вообще не требуется.

Пример 10.5. Определить минимальное количество цеховых трансформаторов и суммарную мощность НБК для цеха машиностроительного завода. Цех работает в 2 смены и расположен в южной части СССР. Потребитель относится к электроприемникам второй категории. Наибольшая расчетная суммарная мощность цеха $P_{мт} = 8{,}6$ МВт; реактивная мощность $Q_{мт} = 7{,}1$ Мвар; напряжение питающей сети $U_{ном} = 10$ кВ; $\beta_т = 0{,}9$. Цеховые трансформаторы питаются по магистральной схеме. Удельная плотность нагрузки 0,25 кВ·А/м^2.

Р е ш е н и е. При удельной плотности нагрузки 0,25 кВ·А/м^2 и суммарной нагрузке, которая более 4000 кВ·А, целесообразно применять цеховые трансформаторы мощностью 1600 кВ·А [24]. Минимальное количество цеховых трансформаторов по формуле (10.11)

$$N_{min т} = \frac{8{,}6}{0{,}9 \cdot 1{,}6} + 0{,}1 = 6.$$

Таблица 10.6
Технические данные комплектных конденсаторных установок

Тип установки	Напряжение, кВ	Мощность, квар	Удельные потери, кВт/квар	Стоимость, тыс. руб.	
				оборудования	всего
Внутренняя установка					
ККУ-0,38-1	0,38	80	0,0045	0,77	1,08
ККУ-0,38-3	0,38	160	0,0045	1,53	1,92
ККУ-0,38-3 с БРВ-1	0,38	160	0,0045	1,68	2,08
ККУ-0,38-5	0,38	280	0,0045	2,33	2,96
ККУ-0,38-5 с БРВ-1	0,38	280	0,0045	2,48	3,13
ККУ-6-1	6	330	0,0030	1,60	2,16
ККУ-6-1 с БРВ-2	6	330	0,0030	1,74	2,31
ККУ-6-2	6	500	0,0030	2,35	3,06
ККУ-6-2 с БРВ-2	6	500	0,0030	2,50	3,23
ККУ-10-1	10	330	0,0030	1,62	2,18
ККУ-10-1 с БРВ-2	10	330	0,0030	1,76	2,33
ККУ-10-2	10	500	0,0030	2,36	3,07
ККУ-10-2 с БРВ-2	10	500	0,0030	2,50	3,23
Наружная установка					
КУН-6-2	6	420	0,003	2,06	2,22
КУН-6-2 с БРВ-2	6	420	0,003	2,20	2,37
КУН-10-2	10	400	0,003	2,16	2,32
КУН-10-2 с БРВ-2	10	400	0,003	2,30	2,47

Таблица 10.7

Технические данные конденсаторных установок

Тип установки	Напряжение, кВ	Номинальная мощность $Q_{ном}$, квар	Регулирование ступени	
			число, шт.	мощность, квар
УК-0,38-110 Н	0,38	110	1	110
УК-0,38-150 Н	0,38	150	1	150
УК-0,38-220 Н	0,38	220	2	110
УК-0,38-320 Н	0,38	320	3	110
УК-0,38-430 Н	0,38	430	4	110
УК-0,38-540 Н	0,38	540	5	110
УК-0,38-300 НЛ, НП	0,38	300	2	150
УК-0,38-450 НЛ, НП	0,38	450	3	150
УК-0,38-600 НЛ, НП	0,38	600	4	150
УК-0,38-900 НЛ, НП	0,38	900	6	150

Экономически оптимальное количество трансформаторов по формуле (10.12)

$$N_{т.э} = 6 + 1 = 7.$$

Дополнительное число трансформаторов Δm определяется по графикам [5]. Оно равно 1.

Наибольшая реактивная мощность, которую целесообразно передать через 7 трансформаторов, по формуле (10.8)

$$Q_т = \sqrt{(7 \cdot 0{,}9 \cdot 1{,}6)^2 - 8{,}6^2} = 5{,}26 \text{ Мвар}.$$

Мощность НБК по первому условию (10.7)

$$Q_{н.к1} = 7{,}1 - 5{,}26 = 1{,}84 \text{ Мвар}.$$

Дополнительная мощность НБК по условию потерь (10.10)

$$Q_{н.к2} = 7{,}1 - 1{,}84 - 0{,}4 \cdot 7 \cdot 1{,}6 = 0{,}76 \text{ Мвар}.$$

Здесь коэффициент γ_1 определяется из отношения (10.16), где K_1 выбирается по табл. 10.2 и принимается равным 12.

Суммарная мощность батарей конденсаторов по формуле (10.6)

$$Q_{н.к} = 1{,}84 + 0{,}76 = 2{,}6 \text{ Мвар}.$$

Технические характеристики конденсаторных установок приведены в табл. 10.6 и 10.7.

ГЛАВА 11

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ И ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

11.1. ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ

Потери активной мощности в двухобмоточном трансформаторе

$$\Delta P_т = \Delta P_{к.з} \left(\frac{S_т}{S_{ном}}\right)^2 + \Delta P_{х.х}, \qquad (11.1)$$

реактивной

$$\Delta Q_т = \Delta Q_н \left(\frac{S_т}{S_{ном}}\right)^2 + \Delta Q_{хх}, \qquad (11.2)$$

где $\Delta P_{к.з}$ — потери мощности короткого замыкания трансформатора (потери в обмотках) при номинальной нагрузке, кВт; $S_т$ — фактическая нагрузка трансформатора, кВ·А; $S_{ном}$ — номинальная мощность трансформатора, кВ·А; $\Delta P_{х.х}$ — потери мощности холостого хода трансформатора (потери в стали), кВт; $\Delta Q_н$ — потери реактивной мощности рассеяния в трансформаторе при номинальной нагрузке, квар:

$$\Delta Q_н = \frac{S_{ном} U_к}{100}, \qquad (11.3)$$

$U_к$ — напряжение короткого замыкания трансформатора, %; $\Delta Q_{х.х}$ — потери реактивной мощности в трансформаторе при холостом ходе (потери на перемагничивание), квар:

$$\Delta Q_{х.х} = \frac{S_{ном} I_{х.х}}{100}, \qquad (11.4)$$

$I_{х.х}$ — ток холостого хода трансформатора, %.

Потери электроэнергии в двухобмоточном трансформаторе

$$\Delta A = \Delta P_{к.з} (\beta_т)^2 \tau + \Delta P_{х.х} T, \qquad (11.5)$$

где τ — число часов максимальных потерь (зависит от T_{max} и определяется по табл. 13.2); T — время работы трансформатора, ч.

При передаче по сети реактивной мощности во всех звеньях схемы питания появляются потери активной мощности, которые принято учитывать экономическим эквивалентом реактивной мощности $K_э$. Значения $K_э$ приведены в табл. 11.1.

Приведенные потери мощности и энергии в трансформаторе:

$$\Delta P'_{х.х} = K_э \Delta Q_{х.х} + \Delta P_{х.х}; \qquad (11.6)$$

Таблица 11.1

Значения экономического эквивалента реактивной мощности

Характеристика трансформаторов и системы электроснабжения	$K_э$, кВт/квар
Трансформаторы, питающиеся непосредственно от шин электростанции на генераторном напряжении	0,02
Сетевые трансформаторы, питающиеся от станций на генераторном напряжении	0,07
Понизительные трансформаторы 6—10 кВ, питающиеся от районных сетей	0,05
Понизительные трансформаторы, питающиеся от районных сетей, реактивная нагрузка которых покрывается синхронными компенсаторами	0,05

$$\Delta P'_{к.з} = K_э \Delta Q_н + \Delta P_{к.з}; \qquad (11.7)$$

$$\Delta A' = \Delta P'_{к.з} \left(\frac{S_т}{S_{ном}} \right)^2 T + P'_{х.х} T. \qquad (11.8)$$

Пример 11.1. Определить потери мощности и энергии в трансформаторе типа ТМ мощностью 1,0 МВ·А, напряжением 10/0,4 кВ. Трансформатор включен круглый год, число часов максимальных потерь τ = 3500 ч. Максимальная нагрузка трансформатора составляет 0,7 МВ·А при $\cos\varphi$ = 0,92.

Решение. Технические данные трансформатора марки ТМ мощностью 1,0 МВ·А: $P_{к.з}$ = 12,2 кВт; $\Delta Q_н$ = 53,6 квар; $P_{х.х}$ = 2,45 кВт; $\Delta Q_{х.х}$ = 14,0 квар.

Потери активной мощности находим по формуле (11.1):

$$\Delta P_т = 12{,}2 \cdot \left(\frac{700}{1000} \right)^2 + 2{,}45 = 8{,}35 \text{ кВт}.$$

Потери реактивной мощности по формуле (11.2)

$$\Delta Q_т = 53{,}6 \cdot \left(\frac{700}{1000} \right)^2 + 14 = 40{,}3 \text{ квар}.$$

Годовые потери активной энергии определим по формуле (11.5):

$$\Delta A = 12{,}2 \cdot \left(\frac{700}{1000} \right)^2 \cdot 3500 + 2{,}45 \cdot 8760 = 42385 \text{ кВт·ч}.$$

По формулам (11.6—11.8) подсчитаем потери мощности и энергии в трансформаторе с учетом их увеличения при протекании реактивной мощности трансформатора (экономический эквивалент реактивной мощности $K_э$ = 0,05):

$$\Delta P'_{х.х} = 0{,}05 \cdot 14 + 2{,}45 = 3{,}15 \text{ кВт};$$

$$\Delta P'_{к.з} = 0{,}05 \cdot 53{,}6 + 12{,}2 = 14{,}88 \text{ кВт}.$$

Тогда на основании формулы (11.1)

$$\Delta P'_т = 14{,}88 \cdot \left(\frac{700}{1000} \right)^2 + 3{,}15 = 10{,}44 \text{ кВт}.$$

Потери энергии за год по формуле (11.8)

$$\Delta A' = 14{,}88 \cdot \left(\frac{700}{1000}\right)^2 \cdot 3500 + 3{,}15 \cdot 8760 = 53113 \text{ кВт·ч}.$$

11.2. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Значения токов короткого замыкания необходимо знать для выбора аппаратов, проверки элементов электроустановок на электродинамическую и термическую стойкость, для проектирования и настройки релейной защиты и противоаварийной автоматики.

Расчет токов КЗ выполняют следующим образом:

выбирают расчетные условия и метод расчета;

для данной расчетной схемы составляют схему замещения;

приводят схему замещения к простейшему виду, т.е. определяют результирующее сопротивление;

определяют значения токов и мощностей короткого замыкания.

Расчетные условия зависят от назначения расчета. К ним относится установление расчетной схемы или расчетного режима, при котором токи КЗ будут максимальными или минимальными, выбор расчетной точки КЗ, а также расчетного момента времени переходного процесса КЗ.

При расчете токов КЗ используют один из двух методов: *метод относительных единиц* (все параметры схемы выражаются в долях или процентах от величины, принятой в качестве основной или базисной) или *метод именованных единиц* (параметры схемы выражаются в омах, амперах, вольтах и т.д.). Методом относительных единиц удобно пользоваться при расчете сложных электрических систем с несколькими ступенями трансформации. Методом именованных единиц удобнее вести расчет сравнительно простых электрических схем с небольшим числом ступеней трансформации, а также сетей напряжением 380/220 В.

На основании исходной расчетной схемы составляется схема замещения. Последняя выполняется в однолинейном изображении. Все элементы расчетной схемы обозначают эквивалентными сопротивлениями, которые определяются в относительных единицах по формулам (11.9) – (11.16).

Для *системы (источника питания)*

$$X_{*c} = \frac{S_б}{S_{к.с}} = \frac{I_б}{I_{к.с}}, \qquad (11.9)$$

где $S_б$ – базисная мощность (принимается произвольно), МВ·А; $S_{к.с}$ – мощность короткого замыкания в точке присоединения электроустановки к системе, МВ·А; $I_б$ – базисный ток, кА. $I_{к.с}$ – ток короткого замыкания в точке присоединения электроустановок к системе, кА. Звездочка в индексе означает, что величина выражена в относительных единицах.

Для *двухобмоточных трансформаторов*

$$X_{*т} = \frac{U_к}{100} \frac{S_б}{S_{ном}}, \qquad (11.10)$$

где $U_к$ — напряжение короткого замыкания трансформатора, %; $S_{ном}$ — номинальная мощность трансформатора, МВ·А.

Для *трехобмоточных трансформаторов*

$$X_{*в} = \frac{U_{к.в} S_б}{100 S_{н.в}};$$

$$X_{*с} = \frac{U_{к.с} S_б}{100 S_{н.с}};$$

$$X_{*н} = \frac{U_{к.н} S_б}{100 S_{н.н}}, \qquad (11.11)$$

где $X_{*в}$, $X_{*с}$, $X_{*н}$ — сопротивления обмоток трансформатора соответственно высшего, среднего и низшего напряжений; $U_{к.в}$, $U_{к.с}$, $U_{к.н}$ — напряжение короткого замыкания обмоток трансформатора соответственно высшего, среднего и низшего напряжений, %; $S_{н.в}$, $S_{н.с}$, $S_{н.н}$ — мощности обмоток трансформатора соответственно высшего, среднего и низшего напряжений, МВ·А.

Для *линий (воздушных, кабельных)*

$$X_{*л} = X_0 l \frac{S_б}{U^2_{ср}}; \qquad (11.12)$$

$$R_{*л} = R_0 l \frac{S_б}{U^2_{ср}}, \qquad (11.13)$$

где X_0 и R_0 — соответственно реактивное и активное сопротивления одного километра линии, Ом/км (определяется из прил. 17–20); l — длина линии, км; $U_{ср}$ — среднее напряжение ступени (принимается $U_{ср} = 1{,}05U_{ном}$), кВ.

Для *реакторов*

$$X_{*р} = \frac{X_р I_б U_{ном}}{100 I_{ном} U_б}, \qquad (11.14)$$

где $X_р$ — реактивное сопротивление реактора, %; $I_{ном}$ — номинальный ток реактора, кА; $I_б$ — базисный ток, кА:

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б}, \qquad (11.15)$$

$U_б$ — базисное напряжение (принимается равным номинальному той ступени трансформаций, где определяется ток КЗ), кВ.

Для *синхронных генераторов, асинхронных и синхронных двигателей и компенсаторов*

$$X_{*г(д,к)} = X''_d \frac{S_б}{S_{ном}}, \qquad (11.16)$$

где X''_d — сверхпереходное реактивное сопротивление в продольной оси, отнесенное к номинальным условиям; $S_{ном}$ — номинальная мощность машины, МВ·А.

При упрощении схемы замещения используют методы преобразования. Так, при последовательном соединении элементов результирующее сопротивление

$$X_{рез} = X_1 + X_2 + ... + X_n, \qquad (11.17)$$

где $X_1, X_2, ..., X_n$ — сопротивления элементов схемы замещения.

При параллельном соединении

$$X_{рез} = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + ... + \frac{1}{X_n}}. \qquad (11.18)$$

При расчете токов КЗ определяются следующие величины:

I'' — начальное действующее значение периодической слагающей тока КЗ (начальное значение сверхпереходного тока КЗ); i_y — мгновенное значение ударного тока КЗ, необходимое для проверки электрических аппаратов, шин и изоляторов на электродинамическую стойкость;

I_y — наибольшее действующее значение полного тока КЗ, необходимое для проверки электрических аппаратов на динамическую стойкость в течение первого периода процесса КЗ;

I_∞ — действующее значение установившегося тока КЗ, по которому проверяют электрические аппараты, шины, проходные изоляторы и кабели на термическую стойкость;

$S_к$ — мощность КЗ для проверки отключающей способности выключателей.

Способы расчета токов короткого замыкания в относительных единицах.

1. *Расчет токов короткого замыкания по расчетным кривым.* Способ применяется для любого момента времени при относительно небольшой электрической удаленности точки КЗ.

Расчет ведется в следующей последовательности:

а) задаются базисными величинами $S_б$ и $U_б$;

б) составляется схема замещения;

в) подсчитывается суммарное результирующее сопротивление $X_{*рез}$ относительно точки КЗ;

г) определяется расчетное сопротивление $X_{*расч}$ по формуле

$$X_{*расч} = X_{*рез} \frac{\Sigma S_{ном}}{S_б}, \qquad (11.19)$$

где $\Sigma S_{ном}$ — суммарная номинальная мощность источников питания, МВ·А;

д) по графику (рис. 11.1) определяется кратность периодической слагающей тока короткого замыкания K_t (в относительных единицах) для нужного момента времени t от начала возникновения КЗ;

е) подсчитывается периодическая слагающая тока КЗ (кА) по формуле

$$I_t = K_t \Sigma I_{ном.сист}, \qquad (11.20)$$

где $\Sigma I_{ном.сист}$ — суммарный ток источника питания, кА:

$$\Sigma I_{ном.сист} = \frac{\Sigma S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}. \qquad (11.21)$$

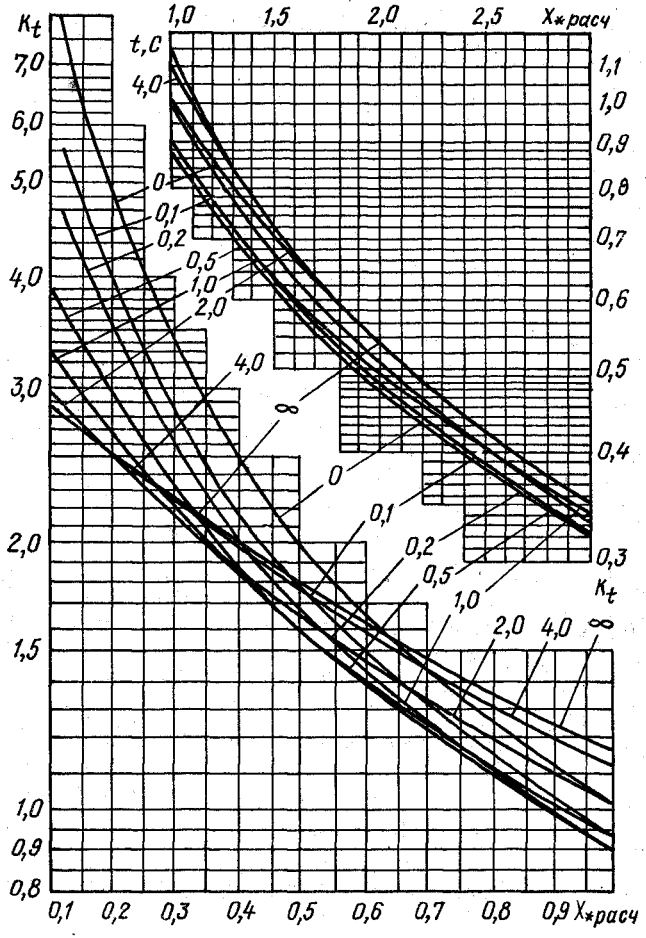


Рис. 11.1. Кратность периодической составляющей тока трехфазного КЗ при питании от турбогенератора с АРВ

Если $X_{*расч} > 3$, то значение относительного тока для всех моментов времени считается постоянным, т.е.

$$I''_{*} = I_{*\infty} = I_{*к} = \frac{1}{X_{*расч}} \qquad (11.22)$$

или в килоамперах абсолютное значение

$$I_к = \frac{\Sigma I_{ном.сист}}{X_{*расч}} = I_{*к} I_{ном.сист}; \qquad (11.23)$$

ж) определяется мощность КЗ для момента t:

$$S_t = K_t \Sigma S_{ном.сист}, \qquad (11.24)$$

а при $X_{*расч} > 3$

$$S_t = S_к = \frac{\Sigma S_{ном.сист}}{X_{*расч}} = \frac{S_б}{X_{*рез}}. \qquad (11.25)$$

2. *Расчет тока КЗ от источника бесконечной мощности.* В этом случае $S_{сист} = \infty$ и $X_{сист} = 0$. Точка КЗ имеет большую электрическую удаленность от источника питания и напряжение его не изменяется.

Порядок расчета следующий:

а) задаются базисными условиями $S_б$ и $U_б$;

б) составляется схема замещения;

в) подсчитывается суммарное результирующее сопротивление $X_{*рез}$ относительно точки КЗ;

г) определяются ток и мощность короткого замыкания по формулам:

$$I_к = \frac{I_б}{X_{*рез}}; \qquad (11.26)$$

$$S_к = \frac{S_б}{X_{*рез}}; \qquad (11.27)$$

$$i_у = 2{,}55 I_к. \qquad (11.28)$$

Расчет токов КЗ в распределительной сети 10 кВ в именованных единицах. Если в предыдущей точке K_1 ток КЗ уже определен, то в этом случае расчет ведется в следующей последовательности:

а) по известному току трехфазного КЗ в точке K_1 $I^{(3)}_{\infty K-1}$ определяется реактивное сопротивление системы

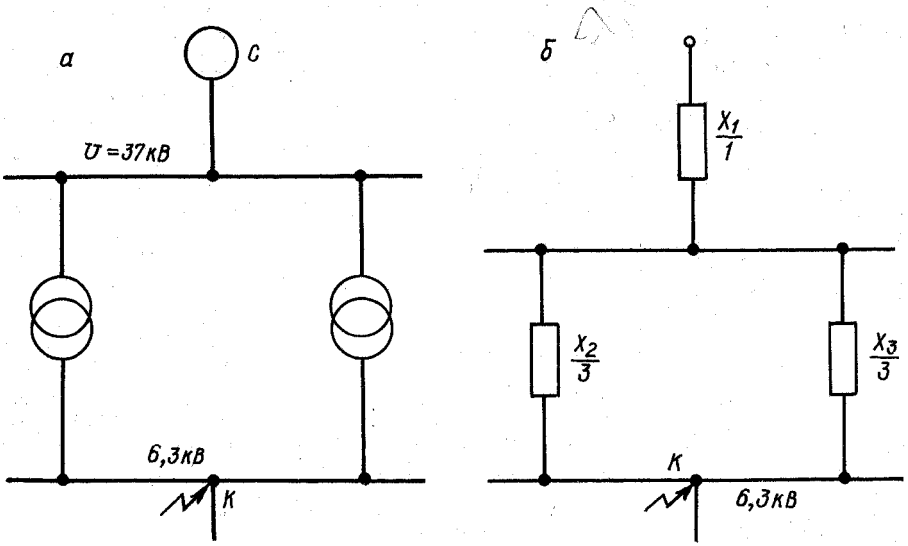


Рис. 11.2. Расчетная схема (*а*) и схема замещения (*б*) к примеру 11.2

$$X_c = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I^{(3)}_{\infty K-1}}, \qquad (11.29)$$

где U принимается равным 10,5 кВ;

б) реактивное и активное сопротивление линии до точки КЗ находят по формулам:

$$X = X_0 l, \qquad (11.30)$$

$$R = R_0 l; \qquad (11.31)$$

в) полное сопротивление до точки КЗ

$$Z = \sqrt{(X_c + X)^2 + R^2}; \qquad (11.32)$$

г) установившийся ток трехфазного КЗ на шинах потребителя

$$I^{(3)}_{\infty K-2} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z}. \qquad (11.33)$$

Пример 11.2. Определить мощность и ток КЗ на шинах 6,3 кВ понижающей подстанции напряжением 35/6,3 кВ. Мощность КЗ на стороне 35 кВ $S_к$ = 400 МВ·А. Мощность трансформаторов $S_т$ = 2х10 МВ·А; $U_к$ = 7,5 %.

Р е ш е н и е. а) Принимаем $S_б \leq 400$ МВ·А и $U_б$ = 6,3 кВ; по формуле (11.15) базисный ток

$$I_б = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 36,7 \text{ кА};$$

б) на основании расчетной схемы (рис. 11.2, *а*) составляем схему замещения (рис. 11.2, *б*). На схеме сопротивления отмечены порядковыми номерами и указаны в числителе дроби. В знаменателе указаны их числовые значения;

в) сопротивление системы по формуле (11.9)

$$X_{*1} = X_{*c} = \frac{400}{400} = 1;$$

г) сопротивление трансформатора по формуле (11.10)

$$X_{*2} = X_{*3} = X_{*т} = \frac{7,5}{100}\ \frac{400}{10} = 3;$$

д) на основании формул (11.17) и (11.18) результирующее сопротивление

$$X_{*рез} = X_{*1} + \frac{X_{*2} \cdot X_{*3}}{X_{*2} + X_{*3}} = 1 + \frac{3 \cdot 3}{3+3} = 2,5;$$

е) по формуле (11.26) ток КЗ

$$I_к = \frac{36,7}{2,5} = 14,7 \text{ кА};$$

ж) мгновенное значение ударного тока КЗ по формуле (11.28)

$$i_у = 2,55 \cdot 14,7 = 37,5 \text{ кА};$$

з) мощность КЗ в точке K_1 по формуле (11.27)

$$S_к = \frac{400}{2,5} = 160 \text{ МВ·А}.$$

Пример 11.3. Определить ток КЗ на шинах РУ понизительной подстанции 10 кВ, если известно: $I_{к.з} = 4,5$ кА; $S_с = 100$ МВ·А; длина линии 10 кВ $l = 0,5$ км (рис. 11.3, *а*)

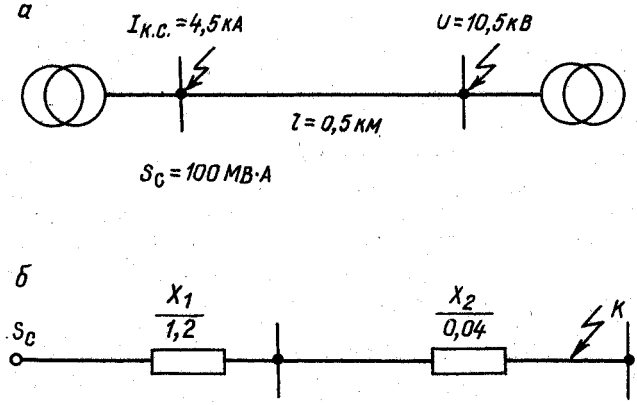


Рис. 11.3. Расчетная схема (*а*) и схема замещения (*б*) к примеру 11.3

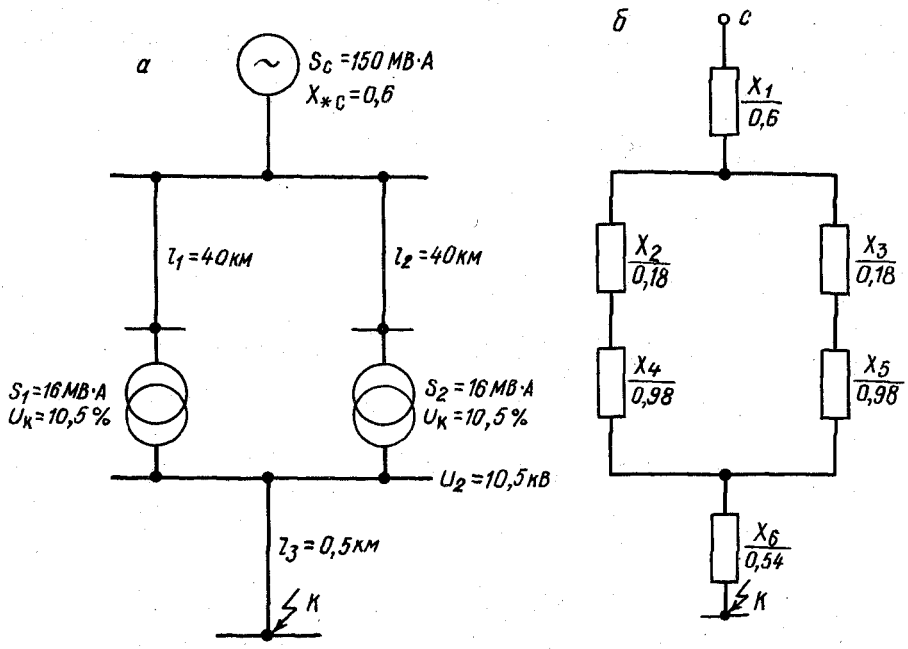


Рис. 11.4. Расчетная схема (*а*) и схема замещения (*б*) к примеру 11.4

Р е ш е н и е. а) Задаемся базисными условиями: $S_б$ = 100 МВ·А; $U_б$ = 10,5 кВ;

б) составляем схему замещения (рис. 11.3, *б*);

в) базисный ток определяем по формуле (11.15):

$$I_б = \frac{100}{1{,}73 \cdot 10{,}5} = 5{,}5 \text{ кА};$$

г) сопротивление системы по формуле (11.9)

$$X_{*1} = \frac{5{,}5}{4{,}5} = 1{,}2;$$

д) сопротивление кабельной линии по формуле (11.12)

$$X_{*2} = 0{,}08 \cdot 0{,}5 \left(\frac{100}{10{,}5^2}\right) = 0{,}04;$$

е) результирующее сопротивление по формуле (11.17)

$$X_{*рез} = X_{*1} + X_{*2} = 1{,}2 + 0{,}04 = 1{,}24;$$

ж) ток КЗ в точке *К* по формуле (11.26)

$$I_к = \frac{5{,}5}{1{,}24} = 4{,}4 \text{ кА};$$

з) ударный ток КЗ в точке K по формуле (11.28)

$$i_у = 2{,}55 \cdot 4{,}4 = 11{,}2 \text{ кА}.$$

Пример 11.4. Для системы с условиями, указанными на схеме (рис. 11.4, *а*), определить ток и мощность КЗ в точке K.

Р е ш е н и е. а) Задаемся базисными условиями:

$$S_б = S_с = 150 \text{ МВ·А}; \; U_{б1} = 115 \text{ кВ}; \; U_{б2} = 10{,}5 \text{ кВ};$$

б) составляем схему замещения (рис. 11.4, *б*);

в) приводим сопротивления элементов системы к базисным условиям. По формуле (11.12)

$$X_{*2} = X_{*3} = 0{,}4 \cdot 40 \cdot \frac{150}{115^2} = 0{,}18.$$

Сопротивление двухобмоточного трансформатора по выражению (11.10)

$$X_{*4} = X_{*5} = \frac{10{,}5 \cdot 150}{100 \cdot 16} = 0{,}98.$$

Сопротивление кабеля по формуле (11.12)

$$X_{*6} = 0{,}08 \cdot 0{,}5 \cdot \frac{150}{10{,}5^2} = 0{,}054;$$

г) результирующее сопротивление

$$X_{*рез} = X_{*1} + \frac{X_{*2} + X_{*4}}{2} + X_{*6} =$$

$$= 0{,}6 + \frac{0{,}18 + 0{,}98}{2} + 0{,}054 = 1{,}23;$$

д) базисный ток системы по формуле (11.15)

$$I_б = \frac{150}{1{,}73 \cdot 10{,}5} = 8{,}3 \text{ кА};$$

е) ток КЗ в точке K по формуле (11.26)

$$I_к = \frac{8{,}3}{1{,}23} = 6{,}74 \text{ кА};$$

ж) ударный ток КЗ в точке K по формуле (11.28)

$$i_у = 2{,}55 \cdot 6{,}74 = 17{,}18 \text{ кА};$$

з) мощность трехфазного КЗ вычисляется по формуле (11.27):

$$S_к = \frac{150}{1{,}23} = 121{,}9 \text{ МВ·А}.$$

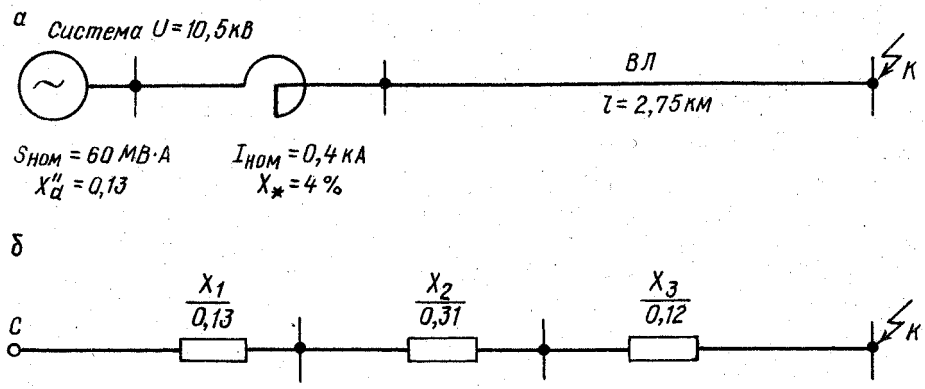


Рис. 11.5. Расчетная схема (*а*) и схема замещения (*б*) к примеру 11.5

Пример 11.5. Определить по расчетным кривым токи I'' через $t = 0{,}2$; 0,5; 2 с соответственно $I_{0,2}$; $I_{0,5}$; I_2 и I_∞ при трехфазном КЗ в точке K при наличии автоматического регулятора напряжения (АРН) у генератора (рис. 11.5, *а*).

Для линии: $X_0 = 0{,}08$ Ом/км; $l = 2{,}75$ км.

Для реактора: $I_н = 0{,}4$ кА; $X = 4\,\%$.

Для системы: $S_{ном} = 60$ МВ·А; $U_{ном} = 10{,}5$ кВ; $I_{ном} = 3{,}3$ кА; $X''_d = 0{,}13$.

Р е ш е н и е. а) Задаемся базисными условиями: $S_б = S_{ном.г} = 60$ МВ·А; $U_б = U_{ср} = 10{,}5$ кВ.

Базисный ток по формуле (11.15) $I_б = \dfrac{60}{\sqrt{3}\cdot 10{,}5} = 3{,}3$ кА;

б) составляем схему замещения (рис. 11.5, *б*);

в) относительные сопротивления, приведенные к базисным условиям:

для генератора по формуле (11.16) $X_{*1} = \dfrac{0{,}13\cdot 60}{60} = 0{,}13$;

для реактора по формуле (11.14) $X_{*2} = \dfrac{4\cdot 3{,}3\cdot 10}{100\cdot 0{,}4\cdot 10{,}5} = 0{,}31$;

для кабеля по формуле (11.12) $X_{*3} = 0{,}08\cdot 2{,}75\dfrac{60}{10{,}5^2} = 0{,}12$;

г) результирующее сопротивление по формуле (11.17)

$$X_{*рез} = 0{,}13 + 0{,}31 + 0{,}12 = 0{,}56;$$

д) расчетное сопротивление по формуле (11.19)

$$X_{*расч} = 0{,}56\cdot\frac{60}{60} = 0{,}56.$$

По рис. 11.1 при $X_{*расч} = 0{,}56$ и по заданным моментам времени t находим значение токов в относительных единицах. Умножив их на $I_{ном} = 3{,}3$ кА, получим исходные токи КЗ. Результаты сводим в табл. 11.2.

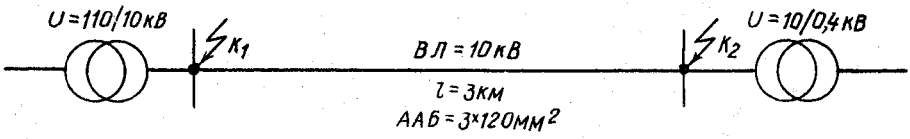


Рис. 11.6. Расчетная схема к примеру 11.6

Таблица 11.2
Результаты расчетов

Время, с	Значения токов короткого замыкания $I_к$	
	в относительных единицах	в километрах
0	1,79	5,90
0,2	1,50	4,95
0,5	1,44	4,75
2,0	1,55	5,11
∞	1,71	5,65

Пример 11.6. Определить ток КЗ в точке K_2 (рис. 11.6) на шинах 10 кВ заводского РУ-10 кВ. Ток трехфазного КЗ на шинах 10 кВ (в точке K_1) ПС 110/10 кВ $I_\infty^{(3)}$ = 9,6 кА. Длина трассы кабельной линии от ПС 110/10 кВ до РУ-10 кВ – 3 км; марка кабеля ААБ-10 кВ (3х120).

Р е ш е н и е. Расчет ведем в именованных единицах:

а) реактивное сопротивление системы по формуле (11.29)

$$X_c = \frac{10,5}{1,732 \cdot 9,6} = 0,631 \text{ Ом};$$

б) сопротивления кабельной линии 10 кВ по формулам (11.30) и (11.31): $X = 0,081 \cdot 3 = 0,243$ Ом; $R = 0,261 \cdot 3 = 0,783$ Ом;

в) полное сопротивление до точки K по формуле (11.32)

$$Z = \sqrt{(0,631 + 0,243)^2 + 0,783^2} = 1,173 \text{ Ом};$$

г) ток КЗ в точке K_2 по формуле (11.33)

$$I_{\infty K-2}^{(3)} = \frac{10,5}{1,732 \cdot 1,173} = 5,17 \text{ кА}.$$

11.3. ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В соответствии с "Правилами устройства электроустановок" все электрические аппараты, изоляторы, токоведущие устройства должны быть выбраны по каталогам, исходя из условий длительного нормального режима работы электроустановки, и проверены на термическую и электродинамическую стойкость по режиму максимальных токов КЗ. В табл. 11.3–11.8 приведены условия для выбора и проверки отдельных аппаратов напряжением выше 1000 В.

Таблица 11.3

Условия выбора масляных выключателей

Параметры	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение, кВ	$U_{ном.а}$	$U_{ном.у}$	$U_{ном.а} \geq U_{ном.у}$
Номинальный ток, А	$I_{ном.а}$	$I_р$	$I_{ном.а} \geq I_р$
Номинальный ток отключения, кА	$I_{ном.откл}$	I''	$I_{ном.откл} \geq I''$
Номинальная мощность отключения, МВ·А	$S_{ном.откл}$	S''	$S_{ном.откл} \geq S''$
Динамическая стойкость, кА	$i_{мдин}$	$i_у$	$i_м \geq i_у$
Термическая стойкость, кА^2·с	I_t	I_∞	$I_t^2 t \geq I_\infty^2 t_п$

Таблица 11.4

Условия выбора предохранителей

Параметры	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение, В	$U_{ном.а}$	$U_{ном.у}$	$U_{ном.а} \geq U_{ном.у}$
Номинальный ток, А	$I_{ном.а}$	$I_р$	$I_{ном.а} \geq I_р$
Номинальная отключаемая мощность, МВ·А	$S_{ном.откл}$	S''	$S_{ном.откл} \geq S''$
Номинальный отключаемый ток, кА	$I_{ном.откл}$	I''	$I_{ном.откл} \geq I''$

Таблица 11.5

Условия выбора разъединителей

Параметры	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение, кВ	$U_{ном.а}$	$U_{ном.у}$	$U_{ном.а} \geq U_{ном.у}$
Номинальный длительный ток, А	$I_{ном.а}$	$I_р$	$I_{ном.а} \geq I_р$
Динамическая стойкость, кА	$i_м$	$i_у$,	$i_м \geq i_у$
Термическая стойкость, кА^2·с	I_t	I_∞	$I_t^2 t \geq I_\infty^2 t_п$

Таблица 11.6

Условия выбора выключателей нагрузки

Параметры	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение, В	$U_{ном.а}$	$U_{ном.у}$	$U_{ном.а} \geq U_{ном.у}$
Номинальный ток неавтоматического отключающего устройства, кА	$I_{ном.а}$	$I_р$	$I_{ном.а} \geq I_р$
Допустимое наибольшее действующее значение полного тока КЗ, кА	$I_{у.д}$	$I_у$	$I_{у.д} \geq I_у$
Динамическая стойкость, кА	$i_м$	$i_у$	$i_м \geq i_у$
Термическая стойкость (без предохранителей) $кА^2 \cdot с$	I_t	I_∞	$I_t^2 t \geq I_\infty^2 t_п$
Номинальный ток предохранителя, А	$I_{ном.а}$	$I_р$	$I_{ном.а} \geq I_р$
Номинальный отключаемый ток предохранителя, кА	$I_{ном.а}$	I''	$I_{ном.а} \geq I''$
Номинальная отключаемая мощность предохранителя, МВ·А	$S_{ном.а}$	S''	$S_{ном.а} \geq S''$

Таблица 11.7

Условия выбора трансформаторов тока

Параметры	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение, кВ	$U_{ном.а}$	$U_{ном.у}$	$U_{ном.а} \geq U_{ном.у}$
Номинальный длительный ток, А	$I_{ном.а}$	$I_р$	$I_{ном.а} \geq I_р$
Электродинамическая стойкость, кА	$K_д$	$i_у$	$K_д \cdot \sqrt{2} \cdot I_{ном} \geq i_у$
Термическая стойкость (односекундная), $кА^2 \cdot с$	K_t	I_∞	$(K_t I_{ном})^2 t \geq I_\infty^2 t_п$

Как видно из табл. 11.3, термическая стойкость аппарата обеспечивается, если количество тепла, выделенное током КЗ, не превышает допустимой для данного аппарата величины.

Ток I_t есть предельный ток термической стойкости который в течение времени t (в каталогах дается 5 или 10 с) нагревает аппарат до температуры, допустимой в кратковременном режиме.

Таблица 11.8
Условия выбора изоляторов

Параметры	Каталожная величина аппарата	Расчетная величина установки	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение, кВ	$U_{ном.а}$	$U_{ном.у}$	$U_{ном.а} \geqslant U_{ном.у}$
Номинальный ток, А	$I_{ном.а}$	$I_{р}$	$I_{ном.а} \geqslant I_{р}$
Допустимое усилие на головку изолятора, Н	$F_{доп}$	$F_{расч}$	$F_{доп} \geqslant F_{расч}$
Допустимый ток термической стойкости для проходных изоляторов и линейных выводов, кА	$I_{н.т.у}$	I_{∞}	$I_{н.т.у} \geqslant I_{\infty}$

Предельное время $t_{п}$ — это время, в течение которого установившийся ток I_{∞} выделяет такое же количество тепла, как и изменяющийся во времени ток КЗ за действительное время короткого замыкания $t_{д}$:

$$t_{д} = t_{з} + t_{в}, \tag{11.34}$$

где $t_{з}$ — время действия защиты, с; $t_{в}$ — время действия выключателя, с.

Приведенное время

$$t_{п} = t_{п.п} + t_{п.а}, \tag{11.35}$$

где $t_{п.п}$ — приведенное время действия периодической слагающей тока КЗ; $t_{п.а}$ — то же, но апериодической слагающей тока КЗ.

$t_{п.п} = f(\beta'', t_{д})$ и определяется по [12],

где $$\beta'' = \frac{I''}{I_{\infty}}. \tag{11.36}$$

При питании от системы неограниченной мощности

$$t_{п.п} = t_{д}. \tag{11.37}$$

Приведенное время $t_{п.а} = 0{,}05\beta''^{2}$. При $t_{д} > 1$ с $t_{п.а}$ можно пренебречь.

Кратности динамической $K_{д}$ и термической стойкости K_{t} приводятся в справочной литературе в зависимости от типа трансформатора тока. Катушечные трансформаторы тока типа ТК на динамическую и термическую стойкость не проверяются. При выборе трансформаторов тока учитывается класс точности и проверяется нагрузка вторичной цепи S_{2}.

Наибольшая расчетная нагрузка на головку опорного изолятора

$$F_{расч.оп} = 1{,}76 i_{у}^{2} \frac{l}{a_{0}} \cdot 9{,}81 \cdot 10^{-2},$$

где l – пролет между изоляторами, м; a_0 – расстояние между осями шин, закрепленных на изоляторах, м.

Для проходных изоляторов $F_{\text{расч.пр}} = 0{,}5F_{\text{расч.оп}}$.

11.4. РАСЧЕТ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ

Расчет площади сечения проводов и кабелей питающей и распределительной сети 6–10 кВ производится в следующем порядке:

1) *выбор по экономической плотности тока.* Его выполняют по формуле (8.2), полученное значение округляется до ближайшего стандартного;

2) *проверка на термическую стойкость токам трехфазного короткого замыкания.* Минимальная площадь сечения кабеля определяется по формуле

$$S = \frac{I_\infty \cdot \sqrt{t_\text{п}}}{C}. \qquad (11.38)$$

где I_∞ – установившийся ток короткого замыкания, А; $t_\text{п}$ – приведенное время, с; C – коэффициент, соответствующий разности выделенного тепла в проводнике до и после короткого замыкания (для кабелей с алюминиевыми жилами $C = 85$ [24]);

3) *проверка по нагреву в нормальном и аварийном режимах.* При проверке пользуются справочными таблицами предельно допустимых токов, составленными для различных марок проводов и условий прокладки (табл. 8.1–8.3);

4) *проверка по потере напряжения.* Величина потери напряжения в трехфазной линии переменного тока определяется из выражения

$$\Delta U = \sqrt{3} I_\text{р} (R_0 \cos\varphi + X_0 \sin\varphi) l, \qquad (11.39)$$

где $I_\text{р}$ – расчетный ток линии, А; R_0 – активное сопротивление линии, Ом/км; X_0 – индуктивное сопротивление линии, Ом/км; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности в конце линии.

После проведения всех расчетов окончательно кабель выбирается по наиболее тяжелому режиму.

При необходимости выбора двух и более кабелей 6–10 кВ результаты их расчета следует сводить в таблицу (табл. 11.9, 11.10).

Пример 11.7. Выбрать марку и площадь сечения кабелей длиной 0,6 км, питающих по схеме сдвоенной магистрали две двухтрансформаторные подстанции (рис. 11.7). Мощность каждого трансформатора $S_\text{ном} = 1600$ кВ·А. Напряжение 10/0,4 кВ. Данные трансформаторов типа ТМ: $\Delta P_{\text{х.х}} = 2{,}8$ кВт; $\Delta P_{\text{к.з}} = 18$ кВт; $I_{\text{х.х}} = 1{,}3$ %; $U_{\text{к.з}} = 5{,}5$ %.

Предприятие относится к потребителям 1-й категории, работает в 3 смены. Приведенное время КЗ $t_\text{п} = 0{,}75$ с. Мощность КЗ в точке присоединения кабелей к системе $S_\text{к} = 200$ МВ·А.

Расчетные активные нагрузки $P_\text{р}$ и реактивные $Q_\text{р}$ трансформаторов на стороне 0,4 кВ представлены в табл. 11.9.

Р е ш е н и е. Потеря активной мощности в трансформаторе $T1$ определяется по формуле (11.1):

$$\Delta P_{T1} = 18 \cdot \left(\frac{1253}{1600}\right)^2 + 2{,}8 = 13{,}8 \text{ кВт}.$$

Таблица 11.9
Результаты расчета нагрузок

Трансформаторы	Расчетные нагрузки трансформатора на стороне 0,4 кВ			Потери мощности в трансформаторах		Полные расчетные нагрузки на стороне 10 кВ	
	$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$S_р$, кВ·А	$\Delta P_т$, кВт	$\Delta Q_т$, квар	$P_{р.п}$, квар	$Q_{р.п}$, квар
			1-я подстанция				
Т1	1100	600	1253	13,8	74,7	1113,8	674,7
Т2	990	560	1137	11,9	64,8	1001,9	624,8
			2-я подстанция				
Т1	1010	390	1083	11,0	61,1	1021,0	451,1
Т2	900	400	985	9,6	54,1	909,6	454,1

Потеря реактивной мощности в том же трансформаторе в соответствии с формулами (11.2) и (11.3):

$$\Delta Q_{T1} = \frac{1600 \cdot 5,5}{100} \cdot \left(\frac{1253}{1600}\right)^2 + \frac{1600 \cdot 1,3}{100} = 74,7 \text{ квар.}$$

Полная расчетная мощность трансформатора определяется по формуле (7.15). Для трансформатора *Т1*

$$S_{р1} = \sqrt{1100^2 + 600^2} = 1253 \text{ кВ·А.}$$

Для остальных трансформаторов полные нагрузки и потери определяются аналогично и результаты заносятся в табл. 11.9. Полные нагрузки на стороне 10 кВ получаются путем сложения нагрузки трансформатора на стороне 0,4 кВ с потерей мощности в нем.

Расчетные нагрузки на участке линии представлены в табл. 11.10.

Таблица 11.10
Результаты выбора площади сечения жил кабелей

Участки линии	Расчетная нагрузка на участке в нормальном режиме				$S_{эк}$, мм^2	Число жил и площадь сечения кабеля, мм^2
	$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$S_р$, кВ·А	$I_р$, А		
$Л_1$	2134,8	1125,8	2413	139	116	3х120
$Л_2$	1911,5	1078,9	2195	127	106	3х120
$Л_3$	1021,0	451,1	1116	64	54	3х50
$Л_4$	909,6	454,1	1016	59	49	3х50

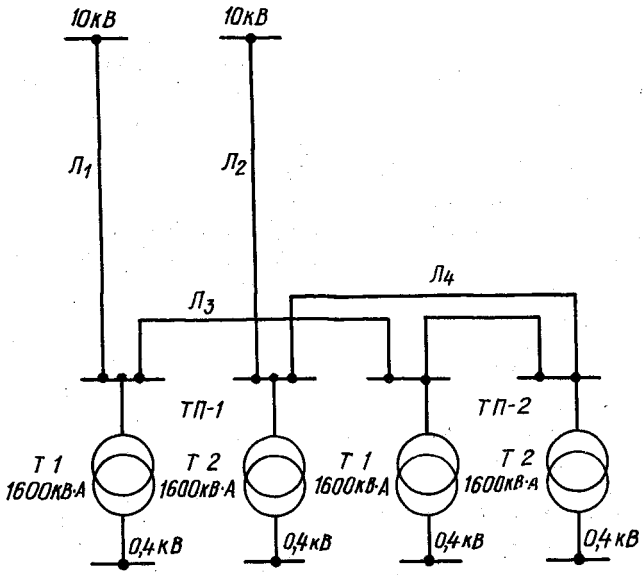


Рис. 11.7. Схема питания завода к примеру 11.7

При этом на участке линии $Л_1$ расчетная нагрузка в нормальном режиме складывается из мощностей трансформаторов *Т1* первой и второй подстанций, а нагрузка линии $Л_2$ – из суммы мощностей трансформаторов *Т2* этих же подстанций. Нагрузки кабелей $Л_3$ и $Л_4$ равны мощностям трансформаторов, питающим эти линии. Аналогично определяем реактивные нагрузки и полные расчетные мощности для всех участков линий. Расчетный ток в линии определяется по формуле

$$I_р = \frac{S_р}{\sqrt{3}\cdot U_{ном}}. \qquad (11.40)$$

Длительно допустимый ток, А	Расчетная нагрузка в послеаварийном режиме				Окончательно выбранная площадь сечения, мм^2
	$P_{р.ав}$, кВт	$Q_{р.ав}$, квар	$S_{р.ав}$, кВ·А	$I_{р.ав}$, А	
240	4045,8	2204,7	4608	266	3х120
240	4045,8	2204,7	4608	266	3х120
140	1930,0	905,2	2132	123	3х50
140	1930,0	905,2	2132	123	3х50

Для линии $Л_1$

$$I_{р.} = \frac{2413}{\sqrt{3}\cdot 10} = 139 \text{ А}.$$

Аналогично вычисляются расчетные токи для линий $Л_2$–$Л_4$.

Выбор площадей сечений питающих кабелей производится по экономической плотности тока при нормальном режиме работы схемы.

Экономическая площадь сечения кабеля для линии $Л_1$ определяется по формуле (8.4). Экономическая плотность тока определяется по табл. 8.4 и принимается $j_{эк}$ = = 1,2 А/мм^2:

$$S_{эк} = \frac{139}{1,2} = 116 \text{ мм}^2.$$

Аналогично подсчитывается экономическая площадь сечения кабеля и на других участках линии. По табл. 8.3 выбирается стандартная площадь сечения кабеля 120 мм^2. По этой же таблице определяется длительно допустимый ток для кабеля с алюминиевыми жилами 120 мм^2.

Кабели должны быть проверены по условиям допустимого нагрева при наиболее тяжелых послеаварийных режимах. При отключении линии $Л_2$ на кабель $Л_1$, кроме собственной, придется дополнительная нагрузка, которую раньше выполняла линия $Л_2$, поэтому эти нагрузки складываются (табл. 11.10). В таком же порядке рассматриваются нагрузки на другие участки линий в послеаварийном режиме. Аналогично определяются реактивные и полные нагрузки и расчетный ток в каждой линии в этом режиме. Из расчета видно, что выбранные кабели в линиях $Л_1$ и $Л_2$ оказываются несколько перегруженными в аварийном режиме по сравнению с длительно допустимым током. Однако нужно учесть, что ПУЭ [15] допускают перегрузку кабелей на 20 % в течение 6 ч на период ликвидации аварии, поэтому площадь сечения их не завышается и принимаются ранее выбранные кабели марки ААБ.

Выбранный кабель необходимо проверить на термическую стойкость действию тока короткого замыкания. По формуле (11.15)

$$I_б = \frac{200}{\sqrt{3}\cdot 10,5} = 11,0 \text{ кА}.$$

Принимаем $S_б = S_к = 200$ МВ·А. Тогда сопротивление системы по формуле (11.9)

$$X_{*с} = \frac{200}{200} = 1.$$

Сопротивление линии определяется по формуле (11.12):

$$X_{*л} = 0,08 \cdot 0,6 \cdot \frac{200}{10,5^2} = 0,09.$$

Результирующее сопротивление

$$X_{*рез} = X_{*с} + X_{*л} = 1 + 0,09 = 1,09.$$

Установившийся ток КЗ в конце линии $Л_1$ определяется по формуле (11.26):

$$I_{\infty} = \frac{11}{1,09} = 10 \text{ кА}.$$

Минимальная площадь сечения жил питающего кабеля по термической стойкости рассчитывается по формуле (11.38):

$$S = \frac{10000\sqrt{0,75}}{85} = 101,8 \text{ мм}^2.$$

Из полученного результата видно, что выбранный ранее кабель линии $Л_1$ площадью сечения 3х120 мм^2 проходит по условию термической стойкости действия тока КЗ.

Проверка на термическую стойкость кабелей $Л_2$, $Л_3$ и $Л_4$ производится аналогично. Все результаты расчетов заносятся в табл. 11.10.

ГЛАВА 12.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ. ОХРАНА ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

12.1. РЕМОНТ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В этом разделе дипломного проекта необходимо описать принятую систему организации планово-предупредительного ремонта (ППР) на проектируемом предприятии и организацию электроремонтной мастерской, а также структуру управления энергослужбой. Кроме того, в проекте необходимо отразить виды и объем ремонтов, особенности его проведения, а также составить график ППР электрооборудования цеха. Согласно ЕС ППР оборудования для силового электрооборудования предусматриваются три вида планового ремонта: малый, средний и капитальный.

Малый ремонт сводится в основном к выполнению следующих работ: ревизии и чистке агрегатов, ремонту или смене небольшого количества отдельных деталей, сборке, регулировке и испытанию агрегатов.

Средний ремонт является более сложным видом планового ремонта. В него входит частичная разборка электрических машин, аппаратов и других агрегатов или их узлов, ремонт или замена изношенных деталей, срок службы которых меньше периода между двумя средними ремонтами, сборка, регулировка агрегата и испытание его под нагрузкой. В объем среднего ремонта электрооборудования входят также все операции малого ремонта.

Таблица 12.1

Годовой график ремонта электрооборудования и сетей КТП-250 кВ·А на

Оборудование	Тип оборудования	Год поступления на предприятие	Нормы трудоемкости, чел.-ч	Продолжительность, мес			Вид и дата последнего ремонта
				ремонтного периода	осмотрового периода	ремонтного цикла	
1. Силовой трансформатор	ТМ-250	1983	40	36	1	144	Т; XII/86
2. РУ (ввод) высокого напряжения	Комплектно с КТП	1983	8	12	1	36	К; XII/86
3. Распределительный щит низкого напряжения	То же	1983	20	12	—	120	Т; VII/86
4. Кабель высокого напряжения 200 м по стене	ААБ-10 кВ (3х35) мм^2	1985	4	12	12	240	—

Капитальный ремонт оборудования является наибольшим по объему видом планового ремонта. Он охватывает работы малого и среднего ремонта и работы, связанные с заменой или ремонтом всех узлов и деталей. В процессе капитального ремонта необходимо полностью восстановить первоначальные технические характеристики электрооборудования. По [18] ППР оборудования включает осмотры, текущий и капитальный ремонты.

Прежде чем составлять график ППР, необходимо выяснить структуру электрооборудования проектируемого цеха и перечислить его в годовом плане ремонта электрооборудования. Тип оборудования, год поступления его на предприятие, вид и дата последнего ремонта выбираются по данным предприятия, на котором учащийся проходил преддипломную практику. Виды ремонтов и обслуживания электрооборудования определяются по [18]. Для оценки особенностей ремонта электротехнического оборудования не рекомендуется пользоваться категориями сложности ремонта. Их применяют при определении ремонтных нормативов для технологического оборудования. При расчетах электрооборудования используются нормы трудоемкости.

Продолжительность межремонтных периодов и ремонтных циклов электрооборудования указана в табл. 12.1. Структура ремонтного цикла представляет собой перечень и последовательность выполнения ремонтных работ в период между капитальными ремонтами или между вводом в эксплуатацию и первым капитальным ремонтом. Межремонтным периодом называется период работы оборудования между двумя плановыми ремонтами.

Планируемые ремонты электрооборудования в табл. 12.1 обозначены буквами Т и К (текущий и капитальный ремонты).

1990 год

Планируемый вид ремонта оборудования по месяцам											
январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
											Т
											Т
							К				
					Т						

12.2. ОБСЛУЖИВАНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Эксплуатация осветительных установок (ОУ) должна осуществляться при минимальных расходах трудовых и энергетических ресурсов, однако с сохранением на проектном уровне показателей освещения. Выполнение этих задач возложено на службу эксплуатации, в функции которой входит: а) прием по акту в эксплуатацию новых ОУ; б) периодическая чистка источников света; в) замена перегоревших ламп; г) организация и проведение ППР ОУ; д) организация мастерских для ремонта ОУ; е) периодические обходы и осмотры ОУ и устранение замеченных недостатков; ж) профилактические испытания изоляции электропроводок и заземления ОУ; з) проведение фотометрических измерений; и) своевременная окраска помещений в светлые тона и чистка окон; к) контроль режима включения и выключения ОУ; л) участие во внедрении централизованного управления ОУ; м) снижение эксплуатационных расходов на освещение; н) обеспечение средствами доступа к светильникам и удобства их обслуживания.

При разработке этого раздела дипломного проекта необходимо иметь в виду, что существуют два способа замены перегоревших ламп: *индивидуально-групповой* и *индивидуальный.*

Индивидуально-групповой способ применяется в том случае, если в помещении установлено 30 и более светильников с ЛЛ, а индивидуальный — менее 30 и когда в помещении установлены любые другие типы светильников. Очередную замену перегоревших ламп рекомендуется совмещать по возможности с чисткой светильников по заранее составленным графикам. Сроки замены перегоревших ламп приведены в табл. 12.2.

Допускается замена перегоревших ламп в более ранние сроки, если это связано с технологическими причинами, т.е. с необходимостью немедленного восстановления освещенности рабочих мест. Лампы местного и общего освещения мощностью более 1000 Вт должны меняться по мере выхода их из строя. Групповая замена лам ОУ с ЛЛ проводится при индивидуально-групповом способе через 9600 ч с одновременной чисткой светильников. При этом между двумя групповыми заменами нужно производить подзамену перегоревших ламп через каждые 600 ч.

Перерасход электроэнергии в ОУ может быть вследствие постоянной или длительной работы ламп при повышенном напряжении, значительно превышающем (5—10 %) номинальное значение. Чтобы предотвратить последнее, в ОУ с ГЛ рекомендуется устанавливать ограничители или стабилизаторы напряжения, а в ОУ с ЛН применять лампы на повышенное напряжение. Повышенное напряжение снижает срок службы электроламп. Значения повышения потребляемой мощности и изменения сроков службы ламп по [10] приведены в табл. 12.3 и 12.4.

Для ремонта и чистки светильников организуются специальные мастерские. Численность инженерно-технических работников (ИТР) в таких мастерских для обслуживания ОУ предприятия устанавливается в соответствии с рекомендациями, приведенными в табл. 12.5.

При установленной мощности ОУ свыше 3500 кВт на каждые 1500 кВт добавляется еще один работник. При организации мастерской исходят из сле-

Таблица 12.2

Сроки замены перегоревших источников света

Источник света	Мощность, Вт	Сроки замены ламп, ч, не более
ЛЛ	Любая	600
ДРЛ	400 и больше	350
ДРЛ	250 и меньше	280
МГЛ	250—400	200
МГЛ	700—1000	180
НЛВД	400	150
ЛН	Любая	100

Таблица 12.3

Зависимость увеличения потребляемой мощности источниками света и ПРА от повышения напряжения в осветительных сетях

Типы ламп	Увеличение потребляемой мощности от ее номинального значения, %, при отклонении напряжения δU, %					
	1	2	3	5	7	10
ЛН	1,6	3,2	4,7	8,1	11,5	16,4
ЛЛ + ПРА	2,0	4,0	6,0	10,0	14,0	20,0
ДРЛ + ПРА	2,2	5,0	7,0	12,0	18,0	24,0
МГЛ	1,5	3,0	4,5	7,5	10,5	15,0
	2,0	4,0	5,0	10,0	14,0	18,0
НЛВД	2,8	5,6	8,4	14,0	19,6	28,0
	2,0	8,0	11,0	18,0	23,0	34,0

Таблица 12.4

Изменение сроков службы ламп и их расхода в зависимости от повышения напряжения в осветительных сетях

Типы ламп	Срок службы ламп (числитель), %, и количество ламп (знаменатель), %, при отклонении напряжения δU, %					
	1	2	3	4	5	10
ЛН	87,1 / 114	75,8 / 132	66,2 / 151	50,5 / 198	38,7 / 258	7,8 / 1284
ГЛ	95,0 / 105	93,0 / 108	90,0 / 111	85,0 / 118	80,0 / 125	73,0 / 137

дующих нормативов. С числом установленных электросветильников 4000 и менее считается нецелесообразным организовывать ее вообще. Все ремонты и чистку светильников нужно производить в этом случае на месте, а в случае необходимости — в общезаводской ремонтной мастерской. Если число све-

Таблица 12.5
Численность ИТР для обслуживания ОУ

Мощность ОУ, кВт	250—750 кВт	750—2000 кВт	2000—3500 кВт
Инженер-светотехник	—	1	1
Техник по освещению	1	—	1

тильников превышает 4000, необходимо организовать специальную мастерскую для ремонта ОУ с моечными ваннами. Рекомендуется при значительном запылении и загрязнении осуществлять 3 чистки светильников на месте, а четвертую — пропусканием их через моечное отделение мастерской. Если светильники работают в среде с незначительным запылением, то мойка их в мастерской может чередоваться с мойкой на месте через 8 чисток.

Мастерская должна оборудоваться по специально разработанному проекту с учетом требований конкретного предприятия с установкой моечных ванн, число которых определяется их пропускной способностью и числом светильников на предприятии. Необходимо учитывать также конструктивные особенности светильников и их способы установки, наличие штепсельных разъемов и съемных отражателей, условия окружающей среды и расположение производственных зданий на территории предприятия. К значительной экономии электроэнергии (15—20 %) может привести регулярная (не менее двух раз в году) чистка и мойка окон производственных зданий. Процесс этот трудоемкий и для его осуществления желательно применять средства механизации, например механические вращающиеся щетки с пневмо- или электроприводом. Щетки закрепляются на сборной штанге, через которую может подаваться также специальный раствор или вода для мойки стекол. Такое приспособление может быть смонтировано на передвижной площадке, которую по разработанному на предприятии графику транспортируют в зону чистки и мойки окон.

12.3. ПРИМЕНЕНИЕ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАНУЛЕНИЯ

Защитное заземление — это преднамеренное соединение с землей части электроустановки, которая может оказаться под напряжением в результате повреждения ее изоляции.

Занулением в низковольтных электрических сетях трехфазного тока называют соединение той же части электроустановки с глухозаземленной нейтралью трансформатора, т.е. подключение металлических корпусов электрооборудования к нулевому проводу.

Защитное заземление и зануление применяются для защиты людей от поражения электрическим током при пробое изоляции электроустановок.

Заземлению или занулению подлежит все электрооборудование, подключенное к электрическим сетям переменного тока напряжением 380 В и выше и постоянного тока напряжением 440 В и выше.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных в отношении поражения людей электрическим током и наружных установках электрообо-

рудование должно заземляться при напряжениях выше 42 В переменного тока и 110 В постоянного тока.

Подлежат заземлению или занулению корпуса электрических машин, приборов, приводы аппаратов, вторичные обмотки трансформаторов тока, металлические каркасы электроустановок, электроконструкции, металлические оболочки и броня кабелей, металлические скобы и отрезки труб при прокладке кабеля с заземленной оболочкой, стальные трубы электропроводок.

Не требуется заземлять или занулять перечисленные выше части электрооборудования, если они установлены на заземленных металлоконструкциях, а также металлическую арматуру изоляторов, оттяжек, кронштейнов, осветительную арматуру при установке их на деревянных опорах.

В трехфазных электрических сетях напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью металлические конструкции опор и электрооборудование зануляются. В электроустановках выше 1 кВ металлические части электрооборудования заземляются.

Если по технологическим причинам невозможно заземлить или занулить электрооборудование, допускается применение изолирующих площадок для его обслуживания с соблюдением требований ПУЭ. В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью должно быть выполнено зануление, применение одного заземления не допускается. В исключительных случаях, при наличии достаточных на это оснований, допускается сочетать заземление с защитным отключением или контролем изоляции сети [15].

Заземляющие проводники для внутреннего контура заземления с целью обеспечения безопасности обслуживающего персонала при эксплуатации проектируемых электроустановок выбираются согласно ПУЭ: полосовая сталь площадью сечения 24 мм^2 при толщине 3 мм; стальные трубы с толщиной стенки 2,5 мм; круглая сталь диаметром 5 мм.

При расчете наружного контура заземления необходимо в первую очередь использовать естественные заземлители, а если такой возможности нет — искусственные.

В качестве естественных заземлителей, согласно [15], применяют проложенные в земле металлические трубы, за исключением трубопроводов с горючими жидкостями и газами, а также свинцовые оболочки кабелей, металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, связанные с землей.

Ниже приводится методика расчета железобетонных фундаментов зданий, которые связаны между собой металлическими конструкциями, служащими естественными заземлителями.

Сопротивление железобетонных фундаментов определяется по формуле

$$R = 0{,}52 \frac{\rho_{экв}}{\sqrt{S}}, \qquad (12.1)$$

где $\rho_{экв}$ — удельное эквивалентное электрическое сопротивление неоднородной земли, Ом·м; S — площадь, ограниченная периметром здания на уровне поверхности земли, м^2.

Под удельным эквивалентным сопротивлением неоднородной земли по-

нимается сопротивление однородной земли, при котором рассматриваемый заземлитель имеет такое же сопротивление, как и в земле с реальной неоднородной структурой. Неоднородность структуры земли распределяется в основном по вертикали.

При этом под верхним слоем земли подразумевается слой, удельное сопротивление которого ρ_1 более чем в два раза отличается от удельного сопротивления нижележащего слоя. Если же разница в удельных сопротивлениях названных двух слоев отличается меньше чем в два раза, то структуру земли считают однородной.

Удельное эквивалентное электрическое сопротивление определяется по формуле

$$\rho_{экв} = \rho_1 (1 - e^{-\alpha_1 \frac{h_1}{\sqrt{S}}}) + \rho_2 (1 - e^{-\beta_1 \frac{\sqrt{S}}{h_1}}), \qquad (12.2)$$

где α_1 и β_1 — коэффициенты, зависящие от ρ_1 и ρ_2; ρ_1 и ρ_2 — удельные сопротивления верхнего и подстилающего слоев грунта, Ом·м; h_1 — толщина верхнего слоя грунта, м.

При $\rho_1 > \rho_2$ $\alpha_1 = 3{,}6$; $\beta_1 = 0{,}1$; при $\rho_1 < \rho_2$ $\alpha_1 = 1{,}1 \cdot 10^2$; $\beta_1 = 0{,}3 \cdot 10^{-2}$.

Если при расчете естественных заземлителей, в том числе и железобетонных фундаментов, окажется, что сопротивление их больше нормы, то нужно дополнительно рассчитать искусственный заземлитель.

В качестве искусственных заземлителей применяются:

а) вертикальные заземлители (предпочтительно круглая сталь);

б) углубленные заземлители (полосовая или круглая сталь, укладываемая горизонтально на дно котлована по периметру фундамента);

в) горизонтальные заземлители (круглая сталь или стальные полосы).

Размеры стальных заземлителей приведены в табл. 12.6.

Наиболее часто применяются заземлители из круглых электродов диаметром 12 мм и длиной 5 мм, расчет которых с применением ЭВМ приводится в гл. 13.

При проектировании подстанций с воздушными вводами, кинотеатров и других объектов в соответствии с заданием на дипломное проектирование учащийся должен предусмотреть молниезащиту.

В зависимости от требуемой категории устройства молниезащита может осуществляться:

Таблица 12.6

Минимальные размеры стальных заземлителей

Типы заземлителей	Наименование величины	Минимальные значения
Круглые неоцинкованные	Диаметр, мм	10
Круглые оцинкованные	Диаметр, мм	6
Прямоугольные	Площадь сечения, мм^2	48
	Толщина, мм	4
Угловая сталь	Толщина полок, мм	4

а) стержневыми (одиночными, двойными и многократными) или тросовыми молниеотводами, установленными отдельно или на защищаемом объекте;

б) наложенной на крышу здания молниеприемной сеткой из стали диаметром 6 мм.

Зона защиты молниеотводов определяется расчетом по [7] и показывается на графической части проекта.

12.4. БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

Вопросам безопасности труда и противопожарным мероприятиям при выполнении дипломного проекта необходимо уделить самое серьезное внимание. При этом следует руководствоваться "Правилами устройства электроустановок" и "Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей".

Приступая к выбору электрооборудования и способов выполнения электропроводок и силовых сетей, нужно определить вид помещения по классификации ПУЭ. Помещения подразделяются на *нормальные* и *подверженные действию влаги, температуры, пыли* и *химически активных сред*. Особое внимание нужно уделить *взрывоопасным* (подразделяются на 6 классов) и *пожароопасным* (подразделяются на 4 класса) *зонам*. Электроустановки могут монтироваться и на открытом воздухе, в этом случае они называются наружными.

В соответствии с условиями окружающей среды помещений применяются следующие исполнения машин и аппаратов: *открытое, защищенное, каплезащищенное, брызгозащищенное, закрытое, взрывобезопасное, пыленепроницаемое.*

Все электроустановки разделяются на электроустановки до 1000 В и выше 1000 В.

В отношении опасности поражения людей электрическим током различаются помещения: 1) с повышенной опасностью; 2) особо опасные; 3) без повышенной опасности.

Опасность получения электротравм возникает при монтаже установок без соблюдения необходимых мер безопасности, неудовлетворительной изоляции сети и оборудования, неправильной эксплуатации электроустановок и защитных средств, а также при несоблюдении правил безопасности труда.

Для предупреждения электротравматизма при устройстве и эксплуатации электроустановок используются определенные средства. Основными из них являются: изоляция, защита от опасности прикосновения к токоведущим частям установки, защита от замыканий между обмотками трансформатора, применение малых напряжений для ремонтного и местного освещения и для переносного электроинструмента в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных. Большое значение имеет также комплектование электроустановок машинами, аппаратами, приборами, проводами и кабелями, конструкциями, вид исполнения, способ установки и класс изоляции которых соответствует номинальному напряжению сети и условиям окружающей среды; монтаж электроустановок с необходимыми мероприятиями безопасности; за-

земление электроустановок и защитное отключение оборудования при однофазных замыканиях на землю.

По действующим правилам сопротивление изоляции внутренних электрических сетей напряжением до 1000 В между фазами и относительно земли на участке между двумя смежными защитными аппаратами и за последним защитным аппаратом до зажимов электроприемников должно быть не менее 0,5 МОм. Силовые кабели с бумажной изоляцией напряжением 6—10 кВ испытываются повышенным напряжением выпрямленного тока шестикратного значения в течение 10 мин, а кабелей до 1000 В — мегаомметром на напряжение 500—1000 В.

В случае применения в проекте неизолированных проводников (шин) необходимо располагать их на недоступной высоте или надежно ограждать. Открытые токопроводы в производственных помещениях должны устанавливаться на высоте не менее 3,5 мм от пола, это же требование относится и к троллеям подъемных механизмов. Высота ограждений неизолированных токоведущих частей в РУ напряжением до 1000 В должна быть не менее 1,7 м, а напряжением выше 1000 В — не менее 2 м для открытого распределительного устройства (ОРУ) и 1,7 м для закрытого распределительного устройства (ЗРУ). При этом в качестве ограждения токоведущих частей могут служить сетки с размером ячеек не более 25х25 мм, а также сплошные или смешанные ограждения.

При однофазном замыкании на металлические корпуса электрооборудования, которые могут оказаться под напряжением вследствие нарушения изоляции, для защиты обслуживающего персонала применяется заземление электроустановок.

Заземление кожухов и станин электрических машин, трансформаторов, осветительной аппаратуры, корпусов металлических конструкций распределительных устройств должно осуществляться путем присоединения их к внутреннему контуру заземления.

Особое внимание следует уделить вопросам устройства электрических сетей и выбору электрооборудования взрывоопасных и пожароопасных зон. Электропроводки во взрывоопасных зонах должны выполняться в стальных водогазопроводных трубах (но не тонкостенных), соединяемых и присоединяемых на резьбе с подмоткой пенькового волокна, пропитанного в сурике на олифе. Соединять и прикреплять трубы электропроводки к несущим поверхностям сваркой запрещено. После окончания монтажа они должны быть испытаны на плотность соединений сжатым воздухом. При монтаже электропроводок в трубах устанавливают разделительные уплотнения: сальниковые и заливочные. В качестве заземляющих проводников во взрывоопасных зонах должны быть использованы специально для этого проложенные шины, а не трубы электропроводки. Разрешается также применять во взрывоопасных зонах всех классов открытую прокладку бронированных кабелей без наружных защитных покровов из горючих веществ. Изоляция кабелей должна выдерживать напряжение не ниже 1000 В. При этом должно быть гарантировано отсутствие механических и химических воздействий на кабель. Разрешается прокладывать кабели, имеющие поливинилхлоридную или резиновую изоляцию. Кабели с полиэтиленовой изоляцией применять нельзя, так как она горюча. В

этих случаях используют кабели марок ВБВ и АВБВ с повышенной надежностью против взрыва.

Во взрывоопасных зонах класса В-1 и В-1а разрешается применять провода и кабели только с медными жилами, а в остальных помещениях — с алюминиевыми. Для освещения взрывоопасных помещений служат электросветильники типов ВЗГ, ВЧА и НОБ. Зарядка светильников должна производиться медными гибкими проводами с термостойкой изоляцией марки ПРКС. Установка распределительных устройств и другого электрооборудования в таких помещениях запрещена, за исключением электрооборудования в специальном исполнении.

Для взрывоопасных помещений выпускается электрооборудование следующих видов: взрывозащищенное, взрывонепроницаемое, повышенной надежности против взрыва, с масляным исполнением, продуваемое под избыточным давлением, искробезопасное и специальное.

При проектировании электрооборудования пожароопасных зон необходимо соблюдать меры противопожарной безопасности. Машины и аппараты, представляющие пожарную опасность (коммутационные аппараты, электродвигатели с искрящими контактами и т.п.), следует удалять от мест скопления горючих материалов. Электрические машины в стационарных условиях должны иметь специальное исполнение. Так, в помещениях класса П-I разрешается использовать машины брызгозащищенные, закрытые, а также закрытые обдуваемые или продуваемые. Стационарные аппараты и приборы лучше применять маслонаполненные, а аппаратуру с искрящимися частями — в пыленепроницаемом исполнении. Щитки и выключатели осветительных цепей рекомендуется выносить из пожароопасных зон. Не следует устанавливать в таких зонах электронагревательные приборы, а при их применении нагреваемые до высоких температур части должны быть ограждены от соприкосновения с горючими материалами. Сами приборы должны быть установлены на несгораемой поверхности. В складских помещениях также запрещается использовать электронагревательные приборы. В пожароопасных зонах светильники должны быть пыленепроницаемыми. В зонах классов П-II и П-IIа допускаются светильники в защищенном и открытом исполнении. В складских помещениях на светильники обязательно нужно надеть колпаки.

Необходимо применять электропроводки, защищенные трубами или трубчатым проводом (в сухих непыльных помещениях или пыльных, но где пыль не образует разрушительных для оболочки соединений), небронированным кабелем с резиновой или полихлорвиниловой изоляцией в свинцовой или полихлорвиниловой оболочке. Во всех пожароопасных зонах допускается открытая прокладка изолированных проводов на изоляторах. Провода должны быть удалены от мест скопления горючих материалов и не подвергаться механическим воздействиям. Разрешается прокладывать их на изоляторах по деревянным неоштукатуренным стенам и подшивке. В пожароопасных зонах всех классов можно применять провода и кабели с алюминиевыми жилами. Изоляция проводов электропроводок должна быть рассчитана на напряжение не ниже 500 В. Необходимо, чтобы соединительные и ответвительные коробки были пыленепроницаемые, а пластмассовые части жаростойкими. Если в пожароопасной зоне используются токопроводы, то они защищаются кожуха-

ми с отверстиями не более 5 мм, а в помещениях классов П-I и П-II шины токопровода на всем протяжении изолируют.

Для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током электропомещения обеспечиваются защитными средствами: диэлектрическими перчатками, монтерским инструментом с изолированными ручками, диэлектрическими галошами и ботами, ковриками и подставками, оперативными и измерительными штангами, изолирующими и токоизмерительными клещами, указателями напряжения и т.д.

Для тушения пожаров в электроустановках применяются углекислотные огнетушители типов ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8, а также ящики с сухим чистым песком. В проекте учащиеся должны привести нормы комплектования защитными средствами электроустановок при вводе их в эксплуатацию в соответствии с [14] и противопожарным инвентарем по [17] на проектируемом объекте. По заданию руководителя может быть разработана ручная или автоматическая система пожаротушения. Перед описанием этого раздела учащемуся полезно ознакомиться с действующей Системой стандартов безопасности труда (ССБТ) и ГОСТ 12.1.009–76 "Электробезопасность. Термины и определения".

12.5. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

При выполнении дипломного проекта учащийся должен установить источники нарушения окружающей среды со стороны проектируемого производства и применяемого на нем оборудования и предусмотреть меры, направленые на устранение или снижение до норм отрицательного воздействия техногенных факторов на окружающую среду.

Особое внимание следует уделить разработке и внедрению технологии экологизированного (безотходного) производства, устраняющей различные негативные последствия в природе.

Источниками нарушения окружающей среды могут быть:

а) несовершенная технология химического, металлургического и других производств, допускающих выброс в атмосферу, на землю, леса и воды газообразных, твердых и жидких отходов;

б) использование производством токсических материалов, кислот, щелочей, ртути и др.;

в) использование электростанциями, ТЭЦ и котельными жидкого топлива с большими концентрациями вредных веществ;

г) выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания;

д) ионизирующее и электромагнитное излучение, радиоактивное загрязнение, шум и вибрация от различных установок и оборудования;

е) пренебрежение утилизацией отходов производства;

ж) бесхозяйственное отношение к зеленым насаждениям при строительстве воздушных линий электропередачи и прокладке подземных коммуникаций, в частности электрических кабелей.

Дипломный проект должен отражать уровень технической, экономической и экологической образованности будущего специалиста. Конечно, глубина проработки проблемы охраны окружающей среды в значительной степени зависит от темы проекта. Но в каждом проекте должны быть намечены мероприятия по организации рационального природопользования и безотходного

производства, подавлению или снижению вредных излучений, шумов и вибраций, т.е. по снижению воздействия проектируемого объекта на окружающую среду — воздушный бассейн, землю, воду, растительный и животный мир, недра, природные ландшафты и, главное, на здоровье людей.

При проектировании отдельных видов электроустановок рекомендуются следующие меры по охране окружающей среды.

1. На открытых подстанциях с целью уменьшения занимаемых земельных площадей необходимо выбирать малогабаритное высоковольтное электрооборудование, в том числе выключатели с элегазовым заполнением.

2. На ТЭЦ, котельных и других энергетических объектах, связанных со сжиганием топлива, следует применять фильтры для очистки выбросов от вредных примесей.

3. На объектах с токсичными и ядовитыми отходами производства, например на химических заводах, предусматривать технические решения по очистке сточных вод.

4. На атомных электростанциях и других объектах с использованием радиоактивных материалов разработать меры по борьбе с радиоактивным загрязнением среды.

При электромонтажных работах и эксплуатации электроустановок необходимо выполнять определенные требования по охране окружающей среды:

а) земляные работы при рытье траншей для кабелей и котлованов под опоры ВЛ производить с максимальным сохранением зеленых насаждений. Трассу траншеи размещать, отступив от ряда взрослых деревьев 2 м, а от ряда кустарниковых насаждений — 1 м;

б) строительно-монтажную площадку не следует засорять отходами электроматериалов (проводами, кабелями, металлом и пр.), а собирать их в специальные контейнеры для утилизации. Упаковочный материал также нельзя разбрасывать по объекту;

в) при работе с горючесмазочными материалами и трансформаторным маслом не рекомендуется сливать отходы на землю и в канализационную систему, а собирать их в отдельную тару и сдавать на переработку;

г) промасленную ветошь следует складывать в специальные железные ящики во избежание их самовозгорания;

д) при выходе из строя ламп ДРЛ и люминесцентных нельзя их разбивать на месте и разбрасывать, а производить их захоронение в землю, так как они содержат токсичную ртуть. Всесоюзным научно-исследовательским институтом ресурсосбережения (ВНИИР) для меркуризации (удаления ртути) отработанных люминесцентных, ртутных, металлогалогенных и натриевых ламп разработаны установки УДЛ производительностью 60, 100, 150 и 750 ламп в час.

ГЛАВА 13

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ДИПЛОМНЫХ ПРОЕКТОВ

13.1. РАСЧЕТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

При выполнении расчетной части дипломного проекта учащийся должен использовать вычислительную технику — электронные вычислительные машины (ЭВМ) и микрокалькуляторы (МК). Сложные расчеты с выбором оптимального варианта целесообразно производить на ЭВМ, менее сложные, повторяющиеся — с помощью программируемых микрокалькуляторов (ПМК), обычные же расчеты — на инженерных МК.

В организации процесса вычислений и контроля правильности расчетов на ЭВМ и ПМК учащемуся помогает консультант по программированным расчетам, а при его отсутствии — руководитель дипломного проектирования.

Разработка схем алгоритмов, программ расчетов и их отладка — трудоемкий процесс. Поэтому в кабинете дипломного проектирования должен быть банк типовых программ для решения отдельных задач проекта, которым учащийся в случае необходимости мог бы воспользоваться. Необходимость формирования банка программ определяется требованием повышения производительности труда при работе с вычислительной техникой (ВТ). Следует иметь в виду, что, применяя ВТ для указанных расчетов, учащийся использует ее в диалоговом режиме работы "человек—машина". Этот диалог удачно реализуется в расчетах возможностью многократного введения исходных данных программы вычислений с целью получения необходимых результатов.

Целесообразность использования ЭВМ для расчетов в дипломном проекте обусловливается наличием в них сложных технико-экономических показателей, которые необходимо сравнить. Машина помогает учащемуся выбрать оптимальный вариант предполагаемого к установке электрооборудования по заданным условиям. Все подготовленные данные дипломник передает в вычислительный центр учебного заведения для выполнения соответствующих расчетов на ЭВМ.

Разработку программы расчетов и ее реализацию выполняет персонал вычислительного центра и в установленный срок передает готовую распечатку решения задачи дипломнику. В случае использования персональных ЭВМ подготовку исходных данных, составление программы и получение результатов осуществляет сам дипломник под руководством консультанта.

После обработки данных, ввода программы в ЭВМ и выполнения ее дипломник получает распечатку программы с результатом, которую он должен уметь проанализировать и сделать выводы. В распечатке содержится название задачи, программа вычислений и результат.

Программирование рассматривает вопросы решения различных задач, связанных с разработкой программ действий вычислительных машин. П р о г р а м м а — это последовательность переложенных на язык машины команд, представляющих алгоритм решаемой задачи.

А л г о р и т м — это последовательность операций, необходимых для решения поставленной задачи.

Разработка программы и ее реализация выполняются в определенной последовательности: а) постановка задачи; б) разработка алгоритма решения; в) разработка программы; г) отладка программы и ввод ее в машину; д) распечатка результатов.

При постановке задачи для ее успешного решения на вычислительной машине нужно четко сформулировать и определить цель расчета и исходные данные.

Наилучшим способом записи алгоритма решения задачи являются схемы алгоритмов, в которых этапы алгоритмического процесса изображаются в виде прямоугольников (операции обработки, действия), ромбов (логические операции, условия) и т.д., а связи между геометрическими фигурами (этапами) — отрезками прямых линий; при их направлении влево или вверх концы отрезков указываются стрелками, а при направлении вправо и вниз стрелки ставить не обязательно. На связях, изображенных ломаными линиями, стрелки проставляются всегда. Они показывают последовательность выполнения этапов расчета. Не рекомендуется выполнять программы расчетов слишком детальными, т.е. с большим числом этапов.

При вычерчивании схем алгоритмов необходимо придерживаться ГОСТ 19.002–80 "Схемы алгоритмов и программ. Правила выполнения" и ГОСТ 19.003–80 "Схемы алгоритмов и программ. Обозначения условные графические".

Разработка программы состоит из записи алгоритма решения задачи на определенном для применяемой машины программном языке и распределения памяти машины. Кодирование программы осуществляется в соответствии с системой команд ЭВМ. Для решения научно-технических задач используют в основном проблемно-ориентированные языки ФОРТРАН, БЕЙСИК и ПЛ/1, а экономические задачи решаются с помощью языка КОБОЛ. Язык СИМСКРИПТ служит для решения задачи моделирования процессов. Машинно-ориентированные языки (например, ЯСК, АССЕМБЛЕР) предназначены для конкретной ЭВМ и не могут быть использованы для программирования на другой машине.

Отладка программы заключается в решении на ЭВМ простого примера с заведомо известным результатом, поскольку при разработке алгоритма и составлении программы возможны ошибки, которые должны быть устранены.

Ниже рассмотрена методика поэтапной подготовки данных для ЭВМ вычислительного центра: для задачи 13.1 — более подробно, для задач 13.2–13.7 в сокращенном виде.

Задача 13.1. Выбор трансформаторов по минимуму приведенных затрат.

Постановка задачи. Определить число и мощность трансформаторов ГПП промышленного предприятия с максимальной нагрузкой S_{max} = 25,4 МВ·А. Время использования максимальной нагрузки T_{max} = 7000 ч; $\cos\varphi$ = 0,92. Потребитель I категории. Значение удельных приведенных затрат на возмещение потерь электроэнергии и активной мощности холостого хода трансформаторов, по данным [25], $З_{у.э.х.х}$ = 1,8 коп/(кВт·ч).

Значения удельных затрат на возмещение потерь короткого замыкания трансформаторов $З_{у.э.к.з}$ в зависимости от τ приведены в табл. 13.1. Время

Таблица 13.1

Удельные затраты на потери в меди

τ, ч	$З_{у.э.к.з}$, коп/(кВт·ч)
1000	4,25
1500	3,25
2000	2,8
2500	2,5
3000	2,3
3500	2,15
4000	2,05
4500	1,95
5000	1,9
5500	1,85
6000	1,82
6500	1,8
7000	1,79
7500	1,78
8000	1,77
8500	1,76
8760	1,75

Таблица 13.2

Зависимость времени максимальных потерь от T

T, ч/год	τ, ч
3000	1300
3500	1500
4000	2000
4500	2500
5000	3000
5500	3700
6000	4300
6500	5000
7000	5800
7500	6500
8000	7300
8500	8400
8760	8760

максимальных потерь τ определяется по табл. 13.2. Данные для выбора трансформаторов приведены в табл. 13.3.

Минимум приведенных затрат $З$ определяется по формуле

$$З = 0{,}12K + И + З'_э + З''_э,$$

где K — капитальные затраты, определяются по табл. 13.3; $И$ — издержки эксплуатации (амортизационные отчисления, затраты на текущий ремонт и обслуживание), принимаются 9,4 % от K; $З'_э$ — затраты на потери энергии в обмотках трансформатора (потери короткого замыкания), тыс. руб.:

Таблица 13.3
Данные для выбора трансформаторов

Тип трансформатора	Расчетная стоимость тыс. руб.	$\Delta P_{х.х}$, кВт	$\Delta P_{к.з}$, кВт
ТМН-2500/110	35	5,5	22
ТМН-6300/110	49	11,5	44
ТДН-10000/110	54	14	60
ТДН-16000/110	63	19	85
ТРДН-25000/110	84	27	120
ТРДН-40000/110	109	36	172
ТРДЦН-63000/110	136	59	260
ТРДЦН-80000/110	157	70	310
ТРДЦН-125000/110	244	100	400

$$З'_э = n\Delta P_{к.з}\left(\frac{S_{нагр}}{nS_т}\right)^2 \tau З_{у.э.к.з}\cdot 10^{-5},$$

n — количество трансформаторов (n = 2 для потребителей I и II категории, n = 1 для потребителей III категории); $\Delta P_{к.з}$ — потери активной мощности в обмотках, кВт; $S_{нагр}$ — мощность нагрузки, кВ·А; $S_т$ — номинальная мощность трансформатора, кВ·А; τ — число часов максимальных потерь, ч; $З_{у.э.к.з}$ — удельные затраты на возмещение потерь энергии в обмотках, коп/(кВт·ч).

Затраты на потери энергии в стали (потери холостого хода)

$$З''_э = n\Delta P_{х.х} T З_{у.э.х.х},$$

где $\Delta P_{х.х}$ — потери мощности в стали, кВт; T — время работы трансформатора, ч/год.

Потребители I и II категорий должны бесперебойно обеспечиваться электроэнергией, поэтому для надежности схемы электроснабжения необходимо установить два трансформатора на случай выхода из строя одного из них. При этом второй трансформатор должен обеспечить работу с перегрузкой в 1,4 раза. Если потребитель I и II категорий, выбираем трансформатор из условия

$$S_т \geqslant 1{,}4 S_{нагр},$$

а для потребителей III категории из условия

$$S_т \geqslant S_{нагр}.$$

Назначение программы. Программа предназначена для выбора мощности и числа трансформаторов в зависимости от категории потребителей и максимальной мощности нагрузки. Для выбора оптимального варианта, определяемого по минимуму приведенных затрат, производится расчет трансформато-

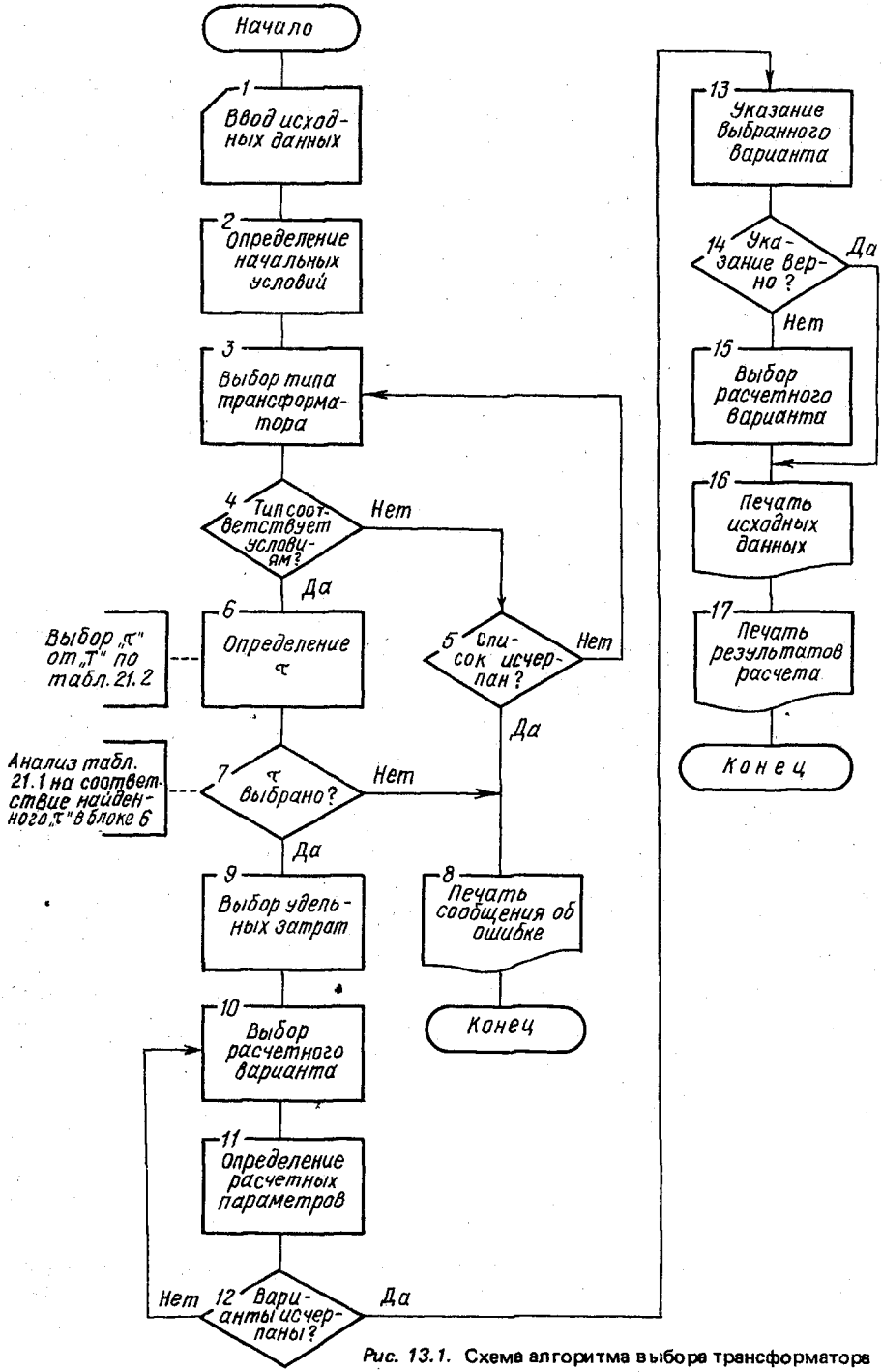


Рис. 13.1. Схема алгоритма выбора трансформаторов

ров двух типов и выбирается тот трансформатор, установка которого будет более экономичной. Для рассмотрения вариантов берется тип трансформатора, обеспечивающий технические условия, а также следующий за ним из табл. 13.3, обеспечивающий минимум приведенных затрат.

Схема алгоритма решения задачи. Порядок выполнения отдельных этапов расчета на ЭВМ поясняет схема алгоритма, приведенная на рис. 13.1.

Программа выбора трансформаторов. Программа составлена на алгоритмическом языке ФОРТРАН и содержит 49 операторов. Нормативно-справочная информация (см. табл. 13.1, 13.2, 13.3) хранится в тексте программы. Программа на исходном языке вводится в память ЭВМ с дисплея с использованием диалоговой системы *PRIMUS*. Далее в операционной системе ОС ЕС производится трансляция исходной программы для получения объектного модуля и редактирование — для получения загрузочного (готового к выполнению) программного модуля.

Инструкция к программе. Исходные данные вводятся в машину с перфокарты. Программа хранится на магнитном диске и вызывается для выполнения при помощи диалоговой системы коллективного пользования *PRIMUS*.

Подготовка исходных данных. Исходные данные готовятся на перфокарте. Порядок занесения информации на перфокарту следующий:

а) значение максимальной нагрузки заносится в первые 8 позиций перфокарты, т.е. в колонки от 1-й до 8-й. Информация вводится с десятичным дробным разделителем (точка);

б) значение времени использования максимальной нагрузки также задается в 8 позициях перфокарты, т.е. в колонках 9–16, с десятичным дробным разделителем (точка);

в) значение коэффициента мощности заносится аналогично в колонки: 17–24;

г) значение категории потребителя набивается в виде целого числа без точки в поле, ограниченном колонками 25–28 (ближе к правой стороне поля).

Вывести на печать $S_т$, N.

Задача 13.2. Расчет заземления подстанции 10/0,4 кВ.

Постановка задачи. Рассчитать контур заземления подстанции, если грунт в месте ее сооружения — суглинок, климатическая зона 3, дополнительно в качестве заземлителя используются водопроводные трубы с сопротивлением растеканию тока 10 Ом.

Вертикальные электроды изготовлены из круглой стали диаметром 16 мм, длиной 5 м, метод их погружения — ввертывание; верхние конусы вертикальных стержней погружены на глубину 0,7 м. Для горизонтальных заземлений применена полосовая сталь размером 40 х 4 мм.

Так как заземляющее устройство выполняется общим для сторон 10 и 0,4 кВ, то, согласно [15], сопротивление не должно превышать 4 Ом с учетом использования естественных заземлений, включенных параллельно.

1. Сопротивление искусственного заземлителя (Ом)

$$\frac{1}{R_и} = \frac{1}{r_{зм}} - \frac{1}{R_е} \quad \text{или} \quad R_и = \frac{R_е r_{зм}}{R_е - r_{зм}},$$

где $R_и$ — сопротивление искусственного заземлителя, Ом; $R_е$ – сопротивление естественного заземлителя, Ом; $r_{зм}$ — допустимое сопротивление заземляющего устройства, Ом.

2. Расчетное удельное сопротивление вертикальных и горизонтальных заземлителей

$$\rho_{расч.в} = \rho K_в,$$

$$\rho_{расч.г} = \rho K_г,$$

где ρ — удельное сопротивление грунта, Ом·м; $K_в$, $K_г$ — повышающие коэффициенты для вертикальных и горизонтальных заземлителей, учитывающие высыхание грунта летом и промерзание зимой.

3. Сопротивление растеканию одного вертикального электрода

$$R_{в.о} = \frac{\rho_{расч.в}}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t+l}{4t-l}\right), \qquad (13.1)$$

где l — длина вертикального заземлителя, м; d — диаметр вертикального заземлителя, мм; t — расстояние от поверхности земли до центра электрода, м.

Размеры заземлителей указаны на рис. 13.2.

4. Примерное число вертикальных заземлителей

$$n = \frac{R_{в.о}}{K_{и.в} R_и},$$

где $K_{и.в}$ — предварительно принятый коэффициент использования вертикальных заземлителей.

5. Сопротивление растеканию горизонтальных полос

$$R_г = \frac{\rho_{расч.г}}{2\pi l_1}\ln\frac{l_1^2}{bt_1},$$

где l_1 — длина горизонтального заземлителя, м; t_1 — расстояние от середины горизонтального заземлителя до поверхности земли, м; b — ширина полосы, м (рис. 13.2).

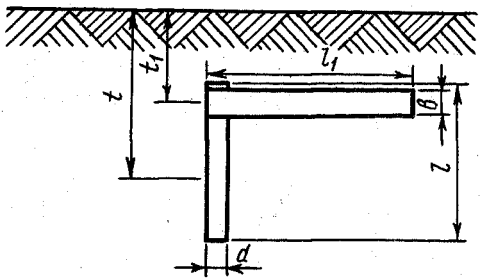


Рис. 13.2. Размеры заземлителей

6. Уточняем необходимое сопротивление вертикальных заземлителей с учетом проводимости горизонтальных электродов:

$$\frac{1}{R_в} = \frac{1}{R_и} - \frac{1}{R_г} \quad \text{или} \quad R_в = \frac{R_г R_и}{R_г - R_и}.$$

7. Уточненное число вертикальных заземлителей

$$n_1 = \frac{R_{в.о}}{K_{и.в} R_в}.$$

Схема алгоритма расчета заземления приведена на рис. 13.3.

8. Вывести на печать $R_{в.о}, R_г, R_и, \rho_{расч.г}, n, n_1$.

Задача 13.3. Расчет электрических нагрузок группы электроприемников методом упорядоченных диаграмм.

Постановка задачи. 1. Определить полную нагрузку электроприемников одинакового режима работы для распределительного шкафа ШР11-73703-54У2 по формуле

$$S_{max\,г} = \sqrt{P^2_{max\ г} + Q^2_{max\,г}},$$

где $P_{max\ г}$ — максимальная потребляемая активная мощность группы, кВт; $Q_{max\ г}$ — максимальная реактивная мощность группы, квар:

$$P_{max\ г} = P_{ном\,\Sigma} K_{max} K_и;$$

$$Q_{max\ г} = Q_{ср\,\Sigma} K'_{max},$$

$P_{ном\,\Sigma}$ — суммарная номинальная нагрузка для группы станков, кВт;

$$P_{ном\,\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} P_{ном\,i},$$

$P_{ном\,i}$ — номинальная активная мощность i-го электроприемника, кВт; $Q_{ср\,\Sigma}$ — средняя реактивная мощность за наиболее загруженную смену для группы станков, квар; $K_и$ — групповой коэффициент использования; K_{max} — коэффициент максимума активной нагрузки; K'_{max} — коэффициент максимума реактивной нагрузки.

Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену i-электроприемника определяется по формулам:

$$P_{ср\,i} = K_{и\,i} P_{ном\,i};$$

$$Q_{ср\,i} = P_{ср\,i} \operatorname{tg}\varphi,$$

где $K_{и\,i}$ — коэффициент использования активной мощности одного электроприемника; $\operatorname{tg}\varphi$ — тангенс угла сдвига фаз, соответствующий $\cos\varphi$.

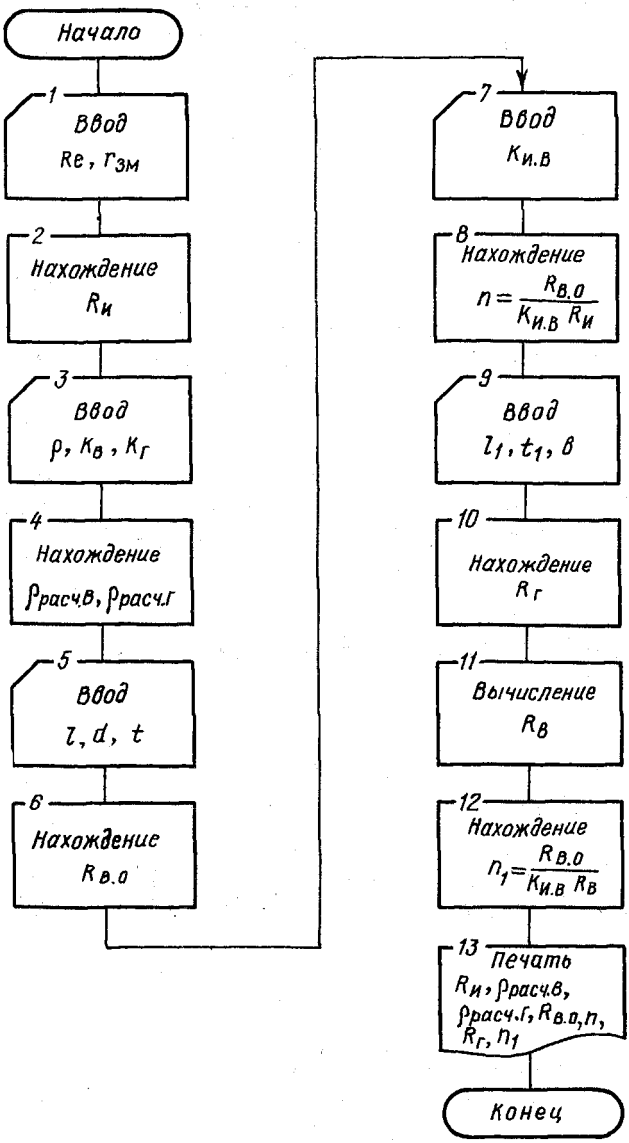


Рис. 13.3. Схема алгоритма расчета заземления

Максимальный расчетный ток для группы электроприемников определяется по формуле

$$I_{max} = \frac{S_{max.r}}{\sqrt{3}\,U_{ном}},$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение, В.

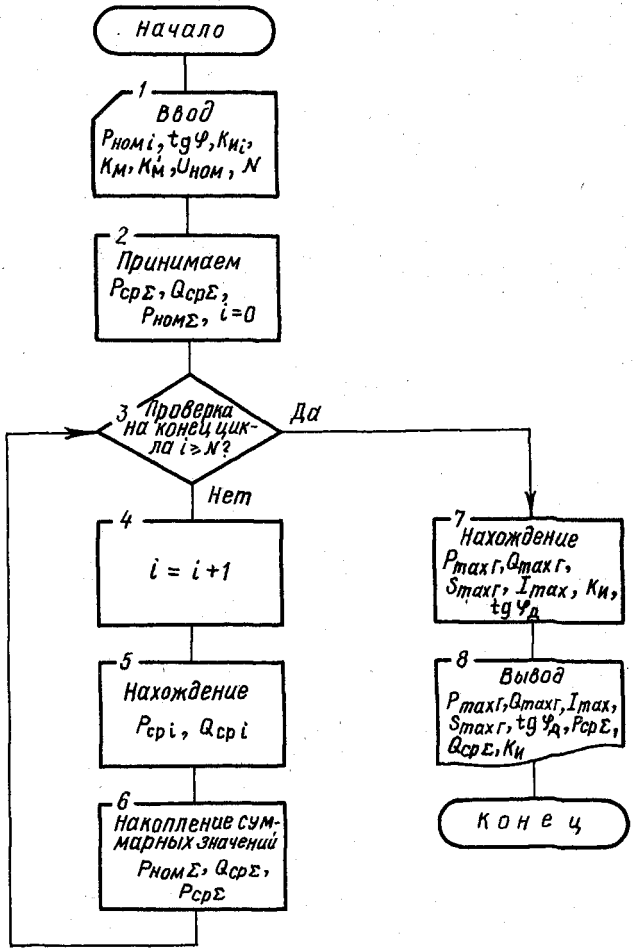


Рис. 13.4. Схема алгоритма расчета электрических нагрузок

Коэффициент использования для группы двигателей

$$K_и = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_{ср\,i}}{\sum_{i=1}^{n} P_{ном\,i}}.$$

Среднее значение коэффициента реактивной мощности для группы двигателей определяется по формуле

$$\operatorname{tg}\varphi_{д} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_{ср i}}{\sum_{i=1}^{n} P_{ср i}}.$$

2. Вывести на печать: $S_{max\ г}$, I_{max}, $K_{и}$, $\operatorname{tg}\varphi_{д}$, $P_{ср\Sigma}$, $Q_{ср\Sigma}$, Q_{max}, P_{max}.

Схема алгоритма расчета электрических нагрузок приведена на рис. 13.4.

Задача 13.4. Определение номинального тока электродвигателя и тока плавкой вставки.

Постановка задачи. 1. Определить номинальный ток электродвигателя по формуле

$$I_{ном} = \frac{P_{ном} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, \qquad (13.2)$$

где $P_{ном}$ — номинальная мощность электродвигателя, кВт; $\cos\varphi$ — коэффициент мощности; $U_{ном}$ — номинальное напряжение, В; η — КПД двигателя.

2. Исходя из заданной последовательности значений номинальных токов плавких вставок предохранителей типа ПР-2 (6; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 63; 100), выбрать вставку предохранителя, учитывая условие

$$I_{вст} \geqslant I_{ном},$$

$$I_{вст} \geqslant \frac{I_{п}}{a},$$

где $I_{п}$ — пусковой ток, А:

$$I_{п} = I_{ном} K_{i}, \qquad (13.3)$$

K_{i} — кратность пускового тока.

3. Вывести на печать: $I_{ном}$, $I_{вст}$.

Схема алгоритма определения тока электродвигателя и предохранителя приведена на рис. 13.5.

Задача 13.5. Расчет мощности компенсирующей установки и выбор мощности силового трансформатора с учетом компенсации.

Постановка задачи. 1. Определить мощность компенсирующей установки $Q^{р}_{к.э}$ по формуле (10.1).

2. Рассчитать полную мощность нагрузки с учетом компенсации трансформатора по формуле

$$S_{р} = \sqrt{P^{2}_{расч} + (Q^{р}_{к.э} - Q_{к.у})^{2}}, \qquad (13.4)$$

где $Q_{к.у}$ — мощность компенсирующей установки, квар; $Q^{р}_{к.э}$ — реактивная расчетная мощность, квар.

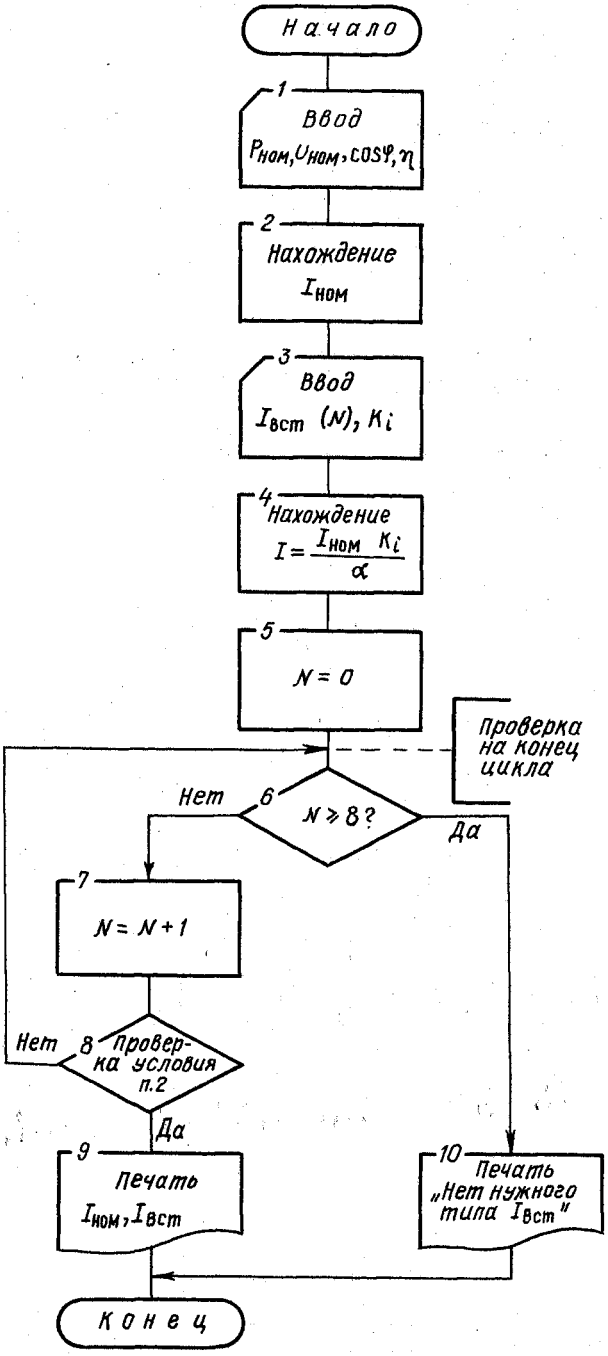


Рис. 13.5. Схема алгоритма определения тока электродвигателя и предохранителя

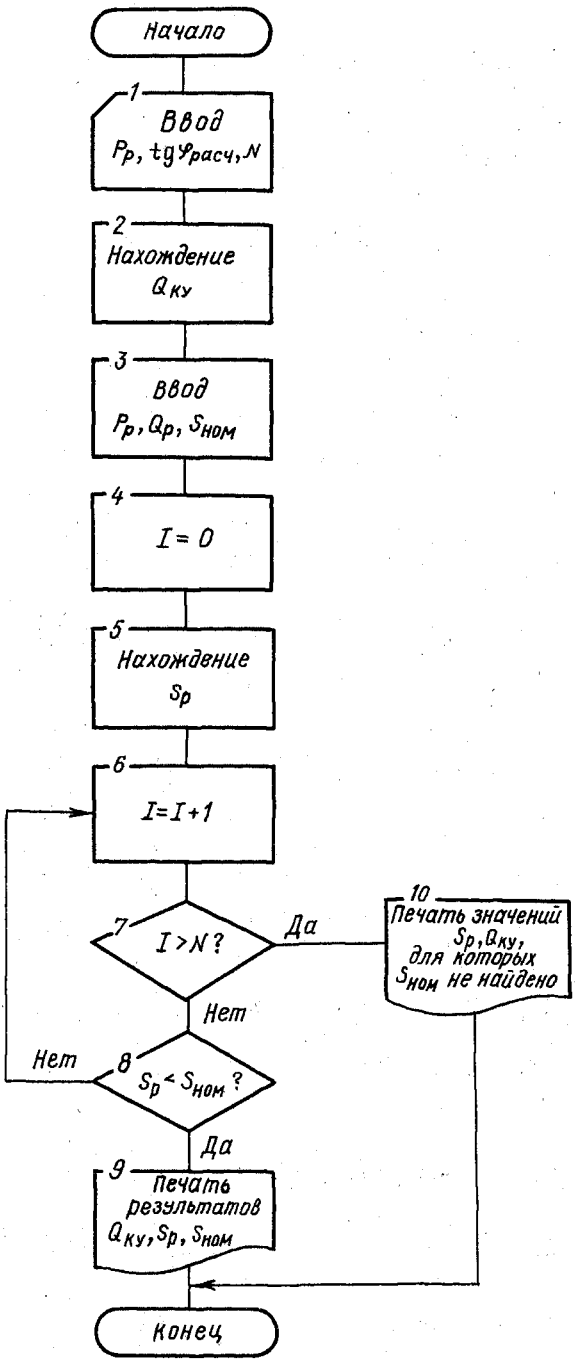


Рис. 13. 6. Схема алгоритма расчета компенсирующей установки и трансформатора

Выбор мощности трансформатора производится из условия

$$S_р < S_{ном},$$

где $S_{ном}$ = 250, 400, 630 кВ·А.

3. Вывести на печать: $Q_{к.у}$, $S_р$, $S_{ном}$.

Схема алгоритма расчета компенсирующей установки и трансформатора приведена на рис. 13.6.

Задача 13.6. Расчет мощности электродвигателя насоса.

Постановка задачи. 1. Определить мощность электродвигателя насоса по формуле (4.1).

2. Вывести на печать $P_д$ при условии изменения $\gamma_п$ от 9500 до 14000 через 500 Н/м^3.

Схема алгоритма расчета электродвигателя насоса приведена на рис. 13.7.

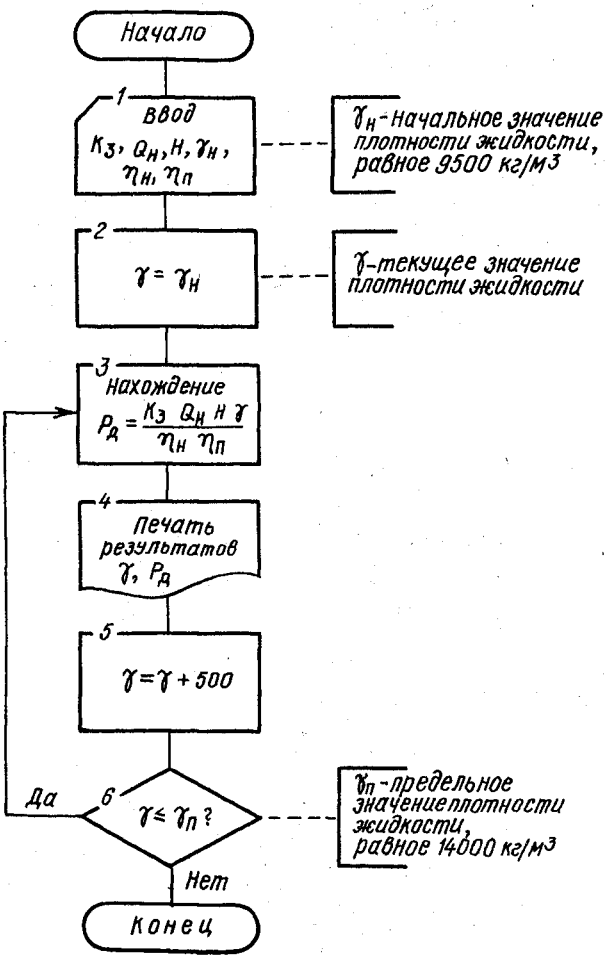


Рис. 13.7. Схема алгоритма расчета электродвигателя насоса

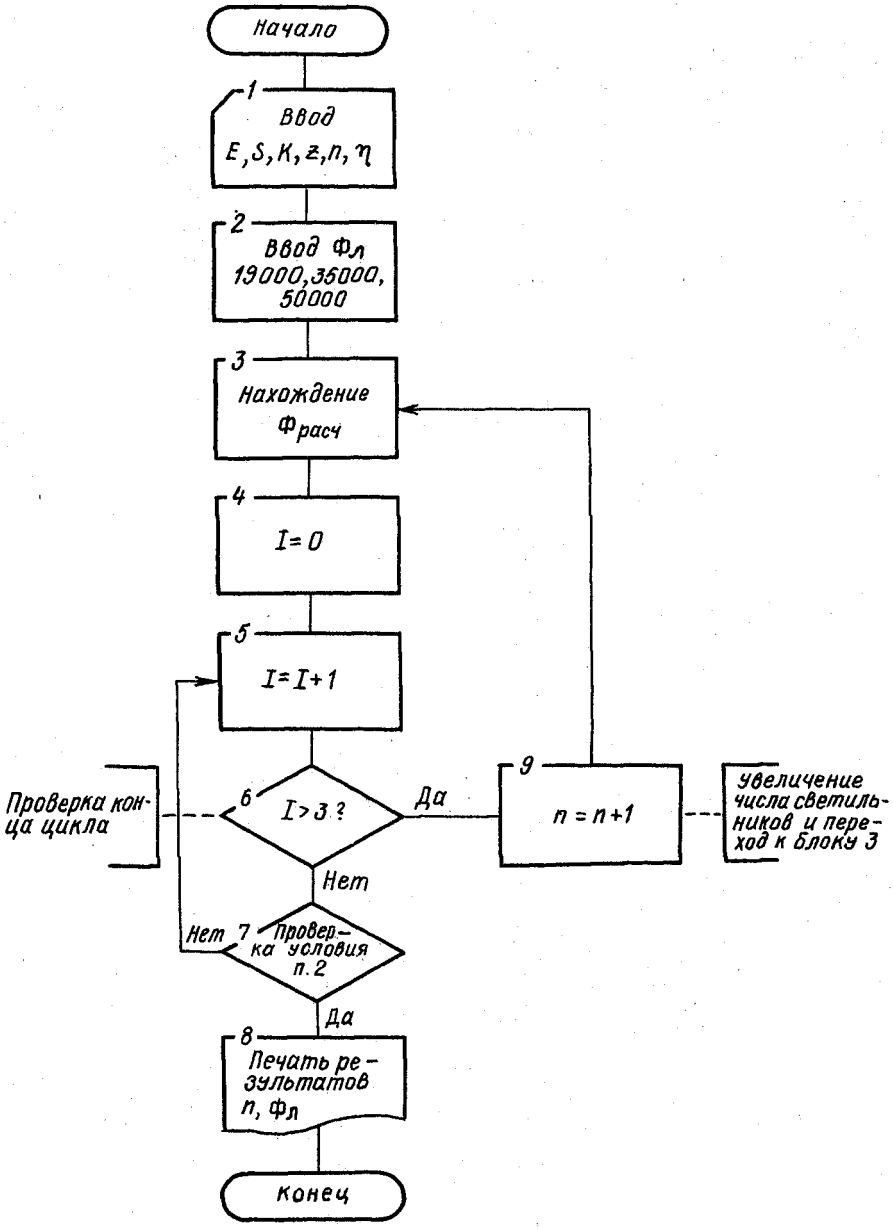


Рис. 13.8. Схема алгоритма расчета освещения

Задача 13.7. Расчет освещения цеха методом коэффициента использования светового потока.

Постановка задачи. 1. Определить световой поток одной лампы (в каждом светильнике) по формуле (9.3).

2. По световому потоку $\Phi_{расч}$ выбирается ближайшая стандартная лампа. При этом $\Phi_{расч}$ ее не должен отличаться от $\Phi_л$ больше, чем на $-10...+20$ %. При невозможности выбора лампы с таким приближением корректируется n. При однозначно заданном световом потоке Φ формула решается относительно n. Коэффициент Z принимается равным 1,15.

3. Вывести на печать: n, $\Phi_л$.

Схема алгоритма расчета освещения приведена на рис. 13.8.

13.2. РАСЧЕТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММИРУЕМЫХ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРОВ

Для выполнения расчетов на ПМК учащиеся должны уметь составлять программу.

Ниже приведен ряд задач дипломного проекта с программами их решения на ПМК типа МК-54.

Задача 13.8. Расчет токов короткого замыкания в именованных единицах.

Постановка задачи. Требуется определить ток КЗ в точке K_2 (рис. 13.9), если известно, что ток КЗ в точке K_1 $I_{\infty K_1}$ = 11,5 кА, длина кабеля l = 4 км; X_0 = 0,08 Ом/км; R_0 = 0,33 Ом/км.

Р е ш е н и е. Установившийся ток 3-фазного КЗ в точке K_2 рассчитывается по формуле (11.33), полное сопротивление линии до точки КЗ — по формуле (11.32); реактивное сопротивление линии — по формуле (11.30); активное сопротивление линии — по формуле (11.31).

Для программирования обобщим формулу (11.32):

$$I_{\infty K_2} = \frac{U}{\sqrt{3}\cdot\left[\left(\frac{U}{\sqrt{3}\cdot I_{\infty K_1}} + X_0 l\right)^2 + (R_0 l)^2\right]}.$$

Программа и инструкция по работе с ней приведены в табл. 13.4—13.5.

В дипломном проекте рассчитывать по этой формуле приходится столько раз, сколько линий приходит на заводскую подстанцию.

Пример работы с программой. Пусть: l = 4; X_0 = 0,08; R_0 = 0,33; U = = 10,5; $I_{\infty K_1}$ = 11,5.

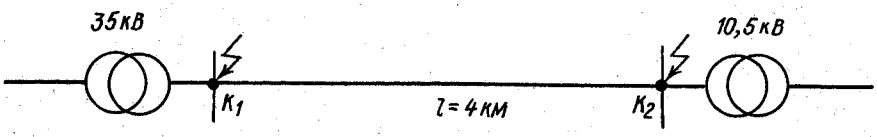


Рис. 13.9. Расчетная схема к задаче 13.8

Таблица 13.4
Программа

Адрес	Клавиши	Код
00	П → X 4	64
01	П → X 5	65
02	÷	13
03	3	03
04	F $\sqrt{}$	21
05	÷	13
06	П → X 1	61
07	П → X 2	62
08	×	12
09	+	10
10	F x^2	22
11	П → X 1	61
12	П → X 3	63
13	×	12
14	F x^2	22
15	+	10
16	3	03
17	×	12
18	F $\sqrt{}$	21
19	П → X 4	64
20	⟷	14
21	÷	13
22	С/П	50
23	БП	51
24	0 0	00

Таблица 13.5
Инструкция по работе с программой

Операции	Клавиши
1. Включите микрокалькулятор	
2. Перейдите в режим "Программирование"	В/О F ПРГ
3. Введите программу	
4. Перейдите в режим "Автоматическая работа"	F АВТ
5. Введите исходные данные в регистры памяти:	
l — в RG 1	X → П 1
X_0 — в RG 2	X → П 2
R_0 — в RG 3	X → П 3
U — в RG 4	X → П 4
$I_{\infty K_1}$ — в RG 5	X → П 5
6. Находим значение $I_{\infty K_2}$	В/О С/П

В соответствии с инструкцией по работе с программой выполняем операции, указанные в п. 1–4 табл. 13.5. Затем вводим известные величины в соответствующие регистры, т.е. нажимаем клавиши:

для ввода l	:	4		$X \to П$	1;
для ввода X_0	:	0	. 08	$X \to П$	2;
для ввода R_0	:	0	. 33	$X \to П$	3;
для ввода U	: 1	0	. 5	$X \to П$	4;
для ввода $I_{\infty K_1}$	: 1	1	. 5	$X \to П$	5.

Для пуска программы с нулевого адреса нажимаем клавишу В/О и пускаем программу на счет, нажав клавишу С/П.

На индикаторе читаем результат 3.865, т.е. ток КЗ в точке K_2 равен 3,865 кА.

Для повторения расчета с другими исходными данными повторить действия начиная с п. 5 табл. 13.5.

Программа, приведенная в табл. 13.4 и читаемая сверху вниз, может также записываться для сокращения в строку. В дальнейшем все программы расчетов и инструкции работы с ними будут представлены именно в таком виде.

Задача 13.9. Расчет сопротивления линии.

Постановка задачи. Требуется определить сопротивление алюминиевого провода линий 0,38 кВ длиной L = 195 м. Площадь сечения провода S = = 4 мм^2, удельная проводимость γ = 32 МСм/м.

Р е ш е н и е. Сопротивление линии рассчитывается по формуле

$$R = \frac{L}{\gamma S}. \qquad (13.5)$$

Программа.

П → X1 3 2 ÷ П → X2 ÷ С/П

Инструкция по работе с программой. Ввод исходных данных в регистры памяти $L \to П1$ и $S \to П2$. Результат на индикаторе – 1,5234 (Ом). Если по условию задан медный провод с γ = 53 МСм/м, то в программе вместо 32 нужно подставить 53.

Задача 13.10. Определить расчетный максимальный ток для 2- и 3-двигательных электроприводов.

Постановка задачи. Требуется определить расчетный ток I_{max} и средневзвешенный коэффициент мощности $\cos\varphi_{ср}$ для электроприемников, состоящих из 2- и 3-двигательного электропривода при $P_{ном\,1}$ = 4,0 кВт; $P_{ном\,2}$ = = 2,2 кВт; $P_{ном\,3}$ = 15 кВт и $\cos\varphi_{ном\,1}$ = 0,84; $\cos\varphi_{ном\,2}$ = 0,83; $\cos\varphi_{ном\,3}$ = = 0,88. Напряжение сети 380 В. Электродвигатели асинхронные серии 4А с частотой вращения 1500 мин$^{-1}$.

Р е ш е н и е. Максимальный ток группы электродвигателей (не более трех) определяется по формуле

$$I_{max} = \frac{\Sigma P_{ном\,i}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi_{ср}}$$

Программа.

П → X1	П → X2	П → X3	+	+	X → П7	П → X1	П → X4
x	П → X2	П → X5	x	+	П → X3	П → X6	x
+	П → X7	÷	П → X7	↔	÷	3	F √
÷	0	.	3	8	÷	С/П	

Инструкция по работе с программой. Исходные данные вводятся в регистры памяти: $P_{ном\,1} \rightarrow$ П 1; $P_{ном\,2} \rightarrow$ П2; $P_{ном\,3} \rightarrow$ П 3; $\cos\varphi_{ном\,1} \rightarrow$ П 4; $\cos\varphi_{ном\,2} \rightarrow$ П 5; $\cos\varphi_{ном\,3} \rightarrow$ П 6.

Результат на индикаторе – 37.14 (А).

Если в проекте встречаются 2-двигательные электроприводы, для этого в регистры X → П3 и X → П6 подставляются нули.

Задача 13.11. Расчет заземления электроустановок.

Постановка задачи. Требуется определить сопротивление одиночного вертикального заземлителя из круглой стали диаметром d = 12 мм длиной l = 5 м. Верхний конец заземлителя находится ниже уровня земли при расчетном удельном сопротивлении грунта ρ = 65 Ом·м и расстоянии от поверхности земли до середины электрода t = 2,75 м.

Р е ш е н и е. Сопротивление заземлителя рассчитывается по формуле (13.1).

Программа.

2	П → X2	x	П → X3	÷	Fln	X → Па	4
П → X5	x	П → X2	+	4	П → X5	x	П → X2
—	÷	Fln	П → X6	x	П → Xa	+	П → X7
x	П → X2	÷	П → X1	x	П → X4	÷	С/П

Инструкция по работе с программой. Числовые значения величин вводятся в регистры памяти: $\rho_{расч} \rightarrow$ П1; $l \rightarrow$ П2; $d \rightarrow$ П3; $2\pi \rightarrow$ П4; $t \rightarrow$ П5; 0,5→П6; 1 → П7.

Результат – 6,37 Ом.

Если задан коэффициент сезонности, то в регистр памяти П7 вместо 1 подставляется его значение.

Задача 13.12. Расчет потери напряжения в проводах.

Постановка задачи. Требуется определить потерю напряжения в линии электропередачи, выполненной алюминиевым проводом с нагрузкой I = 75А. Длина линии L = 0,090 км. Активное сопротивление провода R_0 = 0,92 Ом/км, индуктивное X_0 = 0,24 Ом/км, коэффициент мощности $\cos\varphi$ = 0,89.

Р е ш е н и е. Потеря напряжения в проводах определяется по формуле (11.37).

Программа.

П→X3	П→X5	x	X→П6	1	П→X5	FX^2	–
$F\sqrt{}$	П→X4	x	П→X6	+	П→X2	x	3
$F\sqrt{}$	x	П→X1	x	С/П			

Инструкция по работе с программой. Исходные данные вводятся в регистры памяти: $I \rightarrow$ П1; $L \rightarrow$ П2; $R_0 \rightarrow$ П3; $X_0 \rightarrow$ П4; $\cos\varphi \rightarrow$ П5.

Результат на индикаторе – 10,85 (В).

Задача 13.13. Расчет полной мощности узла нагрузки.

Постановка задачи. Требуется определить полную мощность S_{max} шинопровода при известной активной мощности P_{max} = 49,75 кВт и реактивной мощности Q_{max} = 32,55 квар.

Р е ш е н и е. Полная мощность S_{max}, приходящаяся на шинопровод, определяется по формуле (7.15).

Программа.

П→X1	F	X^2	П→X2	FX^2	+	$F\sqrt{}$	С/П

Инструкция по работе с программой. Ввод исходных данных в регистры памяти $P_{max} \rightarrow$ П1; $Q_{max} \rightarrow$ П2.

Результат на индикаторе – 59,45 (кВ·А).

Задача 13.14. Расчет эффективного числа электроприемников.

Постановка задачи. Требуется определить количество ЭП, их эффективное число $n_э$ и суммарную мощность группы ЭП со следующими мощностями: $P_{ном\,1}$ = 25,5; $P_{ном\,2}$ = 25; $P_{ном\,3}$ = 24,9; $P_{ном\,4}$ = 24,8; $P_{ном\,5}$ = = 24,5; $P_{ном\,6}$ = 4,5 кВт.

Р е ш е н и е. Эффективное число ЭП определяется по формуле (7.8).

Программа.

Cx	X→П1	X→П2	С/П	В↑	П→X1
+	X→П1	FX^2	↔	FX^2	П→X2
+	X→П2	÷	↔	1	+
С/П	БП	04			

Инструкция по работе с программой. Начало вычислений осуществляется клавишами В/О и С/П.

Исходные данные последовательно вводятся в регистр X и после каждого ввода нажимается клавиша С/П, после этого производится обмен содержимым между регистрами X и Y и затем вызов содержимого регистра памяти П1. Результаты расчета последовательно высвечиваются на индикаторе: в регистре X – число электроприемников 6; в регистре Y – эффективное их число 5,33; в регистре памяти П1 – сумма номинальных мощностей электроприемников расчетного узла 129,2 кВт.

Задача 13.15. Расчет токов и коэффициента загрузки электроприемников.

Постановка задачи. Требуется определить номинальный ток $I_{ном}$, рабо-

чий ток $I_р$, пусковой ток $I_п$ и коэффициент загрузки электродвигателя $K_{з.д}$ при напряжении питающей сети $U_{ном}$ = 380 В. Механическая мощность на валу электродвигателя $P_{мех}$ = 6 кВт при номинальной мощности электродвигателя $P_{ном}$ = 7,5 кВт, коэффициенте мощности электродвигателя $\cos\varphi_{ном}$ = 0,86, коэффициенте полезного действия электродвигателя $\eta_{ном}$ = 0,875 и кратности пускового тока K_i = 7,5.

Р е ш е н и е. Номинальный ток электродвигателя определяется по формуле (13.2). Рабочий ток электродвигателя подсчитывается из выражения

$$I_р = K_{з.д} I_{ном},$$

где $K_{з.д} = \dfrac{P_{мех}}{P_{ном}}$.

Пусковой ток электродвигателя определяется по формуле (13.3).

Программа.

П→ X2	П→X3	÷	П→X4	÷	0	
6	5	8	÷	С/П	X→П6	П→X1
П →X2	÷	С/П	x	С/П	П→X6	П→X5
x	С/П					

Инструкция по работе с программой. Исходные данные заносятся в регистры памяти $P_{мех}$ → П1; $P_{ном}$ → П2; $\cos\varphi_{ном}$ → П3; $\eta_{ном}$ → П4; K_i → П5. Дальнейший пуск после определения $I_{ном}$ осуществляется нажатием клавиши С/П. На индикаторе последовательно высвечивается $I_{ном}$ = 15,15 (А); $K_{з.д}$ = 0,80; $I_р$ = 12,12 (А); $I_п$ = 113,6 (А).

Задача 13.16. Выбор мощности компенсирующей установки.

Постановка задачи. Определить мощность компенсирующей установки. Среднегодовая активная нагрузка $P_{ср}$ = 317,8 кВт; $\operatorname{tg}\varphi_1$ = 0,67 (соответствует средневзвешенному коэффициенту мощности до компенсации); активная расчетная мощность $P_р$ = 317,8 кВт, реактивная расчетная мощность $Q_р$ = = 214,9 квар.

Р е ш е н и е. Мощность компенсирующей установки определяется по формуле (10.1). Мощность силового трансформатора подсчитывается из выражения (13.4).

Программа.

П→X2	0	.	2	—	П→X1	x
X →П5	П →X4	÷	—	Fx^2	П→X3	Fx^2
+	$F\sqrt{}$	С/П	П→X5	С/П	БП	00

Инструкция по работе с программой. Исходные данные заносятся в регистры: $P_{ср}$ → П1; $\operatorname{tg}\varphi_1$ → П2; $P_р$ → П3; $Q_р$ → П4. После запуска программы на счет клавишей С/П на индикаторе высвечивается 324.49, т.е. $S_р$ = 324,49 кВ·А. После второго нажатия клавиши С/П получаем результат $Q_{к.у}$ = 149,37 квар.

Задача 13.17. Расчет мощности электродвигателя.

Постановка задачи. Определить мощность электродвигателя насоса, если подача насоса $Q_н$ = 0,003 м^3·с, коэффициент запаса по мощности $K_з$ = 1,2, дифференциальный напор H = 15 м, плотность перекачиваемой жидкости $\gamma_п$ = = 9500 Н/м^3, КПД насоса $\eta_н$ = 0,7, КПД передачи $\eta_п$ = 1.

Р е ш е н и е. Мощность электродвигателя определяется по формуле (4.1).

Программа.

П → X1	П → X2	x	П → X3	x	П → X4	x
П → X5	÷	П → X6	÷	1	0	0
0	÷	С/П	БП	00		

Инструкция по работе с программой. Исходные данные заносятся в регистры: $K_з$ – П1; $Q_н$ – П2; H – П3; $\gamma_п$ – П4; $\eta_н$ – П5; $\eta_п$ – П6.

Результат – 0,73 кВт.

Задача 13.18. Расчет фонда заработной платы.

Постановка задачи. Требуется определить фонд заработной платы штата электротехнической службы по данным: количество рабочих R = 3 чел.; разряд рабочих – 4; часовая тарифная ставка T = 0,557 руб/ч; годовой фонд времени $F_{эф}$ = 1920 ч; премиальная надбавка к зарплате $K_п$ = 40 %; дополнительная заработная плата $K_{доп}$ = 8 %; фонд материального поощрения $K_м$ = = 20 %.

Р е ш е н и е. Расчет фонда заработной платы для рабочих каждой профессии ведется раздельно и определяется по формуле

$$ФЗП = RTF_{эф} + З_т K_п + З_о K_{доп} + З_{зп} K_м,$$

где $З_т = RT_р F_{эф}$ – тарифная зарплата руб.; $З_о = З_т + З_т K_п$ – основная зарплата, руб.; $З_{зп}$ – зарплата с учетом дополнительной надбавки, руб.

Программа.

П → X1	П → X2	П → X3	x	x	X → П7	П → X4
x	П → X7	+	X → П8	П → X5	x	X → П9
П → X8	+	X → Па	П → X6	x	П → Xа	+
С/П						

Инструкция по работе с программой. После ввода исходных данных в регистры: R – П1; $T_р$ – П2; $F_{эф}$ – П3; $K_п$ – П4; $K_{доп}$ – П5; $K_м$ – П6 получим результат 5821,18 руб. Введением других исходных данных повторить счет. Например, для группы рабочих из 4 человек 3-го разряда с часовой тарифной ставкой 0,503 руб. и при годовом фонде рабочего времени 1920 ч получится результат 7009,10 руб.

Задача 13.19. Расчет численности персонала.

Постановка задачи. Требуется определить необходимое число электриков-ремонтников, если среднее количество малых ремонтов в год $П_м$ = 2; среднее количество средних ремонтов в год $П_{ср}$ = 1,5; среднее количество капи-

тальных ремонтов $П_к$ = 0,15; норма времени на 1 рем. ед. при малом ремонте $t_м$ = 1,2 ч; норма времени при среднем ремонте $t_{ср}$ = 7 ч; норма времени при капитальном ремонте $t_к$ = 15 ч. Эффективный фонд рабочего времени $F_{эф}$ = 1737 ч, коэффициент перевыполнения норм выработки K = 1,1; количество ремонтных единиц Σr = 399 р.ед.

Р е ш е н и е. Численность ремонтного персонала определяется по формуле

$$R_р = \frac{\Sigma r\,(П_м t_м + П_{ср} t_{ср} + П_к t_к)}{F_{эф} K}.$$

Программа.

2	В↑	1	.	2	x	1
.	5	*В↑*	7	x	+	0
.	1	5	*В↑*	1	5	x
+	П X1	÷	П→X3	÷	П→X2	x

Инструкция по работе с программой. Исходные данные вводятся в регистры памяти: $F_{эф}$ — П1; Σr — П2; K — П3. На индикаторе читаем результат 3.16; округлив его до ближайшего целого числа, получим 3 чел.

Задача 13.20. Расчет стоимости потерь электрической энергии.

Постановка задачи. Определить стоимость потерь электрической энергии в линии длиной L = 3 км, площадь сечения провода S = 50 мм^2, ток в линии I = 160 А, время максимальных потерь τ = 3500 ч, время работы предприятия в году T = 2000 ч.

Р е ш е н и е. Стоимость потерь электроэнергии в линии определяется по формуле

$$C_{\Delta W} = \Delta W\left(\frac{а}{T} + в\right),$$

где $а = 36 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$, $в = 0{,}012$ руб/(кВт·ч).

Потери электроэнергии $\Delta W = \tau \Delta P$.

Потери мощности $\Delta P = 3I^2 R \cdot 10^{-3}$.

Сопротивление линии определяется по формуле (13.5), γ = 32 МСм/м (для алюминиевых проводов).

Стоимость потерь определяется по двухставочному тарифу.

Программа.

3	6	В↑	П→X5	÷	0	
0	1	2	+	П→X4	X	3
x	П→X3	FX^2	X	П→X1	X	П→X2
÷	1	0	0	0	÷	3
2	÷					

Инструкция по работе с программой. Исходные данные вводятся в регистры: L — П1; S — П2; I — П3; τ — П4 и T — П5.

Результат — 15,12 руб.

ГЛАВА 14

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

14.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРОЕКТА

Раздел пояснительной записки дипломного проекта, посвященный экономическим расчетам, выполняется под руководством консультанта по экономической части. В этом разделе необходимо экономически обосновать целесообразность выбора того или иного варианта электроснабжения или применяемого в проекте электрооборудования, а также выполнить ряд расчетов для сводных технико-экономических показателей. Исходные данные для выполнения экономической части проекта задаются руководителем дипломного проекта. Кроме того, учащимися используются данные, полученные во время преддипломной практики, для сравнения результатов проекта с фактическими по предприятию.

Содержание экономической части проекта в значительной степени зависит от темы. В проектах, связанных с *электрооборудованием* и *электроснабжением предприятий, цехов*, раздел по экономике должен содержать следующие вопросы:

а) выбор оптимального варианта электрооборудования, схем электроснабжения;

б) технико-экономическое обоснование принятого решения;

в) сметно-финансовые расчеты по проектируемому объекту;

г) определение численности работников электротехнической службы и фонда заработной платы;

д) расчет себестоимости 1 кВт·ч электроэнергии.

Если дипломный проект посвящен *изготовлению действующих моделей, приборов* и *установок*, то раздел по экономике должен содержать вопросы:

а) расчеты по определению себестоимости изготовления приборов, моделей и т.д.;

б) определение оптовой цены установки, прибора и т.д.;

в) расчет уровня рентабельности;

г) определение годового расхода электроэнергии при эксплуатации установки, прибора и стоимости потребляемой электроэнергии.

При разработке тем, связанных с *монтажом электрооборудования*, раздел по экономике состоит из подразделов:

а) выбор экономически целесообразного варианта организации электромонтажных работ и построение сетевого графика производства работ;

б) сметы затрат на приобретение электрооборудования и материалов;

в) расчет сметы затрат на производство монтажных работ;

г) определение трудоемкости монтажных работ, численности персонала и его фонда заработной платы.

Выбор экономически целесообразного варианта проектируемого объекта выполняется при разработке следующих вопросов:

а) определение количества и мощности силовых трансформаторов для электроснабжения;

б) разработка электропривода установки;
в) выбор напряжений для внешнего и внутреннего электроснабжения;
г) разработка схемы электроснабжения предприятия или цеха;
д) определение места размещения компенсирующих устройств;
е) выбор средств компенсации реактивной нагрузки;
ж) определение площади сечений жил проводов и кабелей;
з) выбор аппаратуры управления и защиты;
и) выбор систем освещения;
к) расчет заземляющих устройств;
л) выбор способов организации электромонтажных работ;
м) разработка схем автоматизации электропривода и технологических процессов.

Рассмотрим в качестве примера, как производится выбор количества и мощности силовых трансформаторов.

В общем случае расчет осуществляется путем технико-экономических сравнений вариантов. При этом пользуются данными годовых суммарных приведенных затрат.

При единовременных капиталовложениях (для сроков строительства в пределах до 1 года) и постоянных ежегодных эксплуатационных расходах годовые приведенные затраты вычисляются по формуле

$$З = C_э + \frac{1}{T_н} K = C_э + E_н K = C_э + 0{,}12K, \qquad (14.1)$$

где $C_э$ — полная стоимость ежегодных эксплуатационных расходов производства при номинальной работе, тыс. руб/год; K — единовременные капитальные вложения, тыс. руб.; $T_н$ — нормативный срок окупаемости, равный 6,7 года; $E_н$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (принимается равным 0,12).

При сроках строительства свыше 1 года и постоянных ежегодных издержках производства также следует пользоваться формулой (14.1), но в качестве капитальных вложений принимать их суммарное значение

$$K_{пр} = \sum_{t=1}^{T_c} K_t (1 + E_н)^{T_c - t},$$

где T_c — период строительства, год; K_t — капитальные вложения по годам, тыс. руб.; t — расчетный период, год.

Затраты по каждому варианту подсчитываются по формуле (14.1). Полученные при расчетах значения сравниваются и выбирается вариант с минимальными затратами.

14.2. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБРАННОГО ВАРИАНТА

Рассмотрим в качестве примера экономическое обоснование выбора установки компенсирующих устройств в проектируемом цехе или

на предприятии с определением срока окупаемости устройств, компенсирующих реактивные нагрузки.

Годовая потребность в электроэнергии по проектируемому объекту

$$Э_г = Э_д + Э_о.$$

Годовой расход электроэнергии силовыми приемниками

$$Э_д = P_{д\,max} T,$$

где $P_{дmax}$ — расчетная активная мощность силовых электроприемников, кВт; T — время использования максимальной нагрузки, ч.

Годовой расход электроэнергии для освещения

$$Э_о = P_{omax} T_о,$$

где P_{omax} — активная мощность нагрузки осветительных приборов, кВт; $T_о$ — время работы внутреннего освещения, которое при односменной работе равно 800 ч, двухсменной — 2500 ч, трехсменной — 4700 ч.

Плата энергосистеме за потребляемую электроэнергию до компенсации реактивной нагрузки

$$П_1 = (aP_{max} + bЭ_г)\left(1 + \frac{K_н}{100}\right),$$

где a — основная ставка за 1 кВт максимальной мощности (для Белглавэнерго a = 36 руб.); P_{max} — расчетная активная мощность силовых приемников и осветительных приборов, кВт; b — дополнительная ставка за 1 кВт·ч электроэнергии, учтенной счетчиком (b = 0,012 руб/(кВт·ч); $K_н$ — коэффициент надбавки за сложившийся tgφ.

Плата за потребляемую электроэнергию после компенсации реактивной нагрузки

$$П_2 = (aP_{max} + bЭ_г)\left(1 - \frac{K_с}{100}\right),$$

где $K_с$ — коэффициент скидок за поддержание tgφ, установленного договором.

Прибыль предприятия за счет снижения платы энергосистеме

$$Ц = П_1 - П_2.$$

Затраты на приобретение и монтаж компенсирующего устройства

$$З_{к.у} = C_{к.у} + QC_м,$$

где $C_{к.у}$ — стоимость компенсирующего устройства, руб.; Q — мощность компенсирующего устройства, Мвар; $C_м$ — цена монтажа 1 Мвар, руб/квар.

При U = 0,38 кВ $C_м$ = 9 руб/Мвар, а при U = 6—10 кВ $C_м$ = 5 руб/Мвар.

Срок окупаемости компенсирующего устройства

$$T_{ок} = \frac{З_{к.у}}{Ц}.$$

Коэффициент экономической эффективности от внедрения компенсирующего устройства

$$E = \frac{1}{T_{ок}}.$$

При $E \geqslant E_н$ и $T_{ок} \leqslant T_н$ установка компенсирующего устройства целесообразна.

Изложенной методикой экономический эффект обеспечивается только за счет снижения платы за электроэнергию. В то же время в результате установки КУ снижаются потери мощности и энергии, уменьшаются площади сечения проводников, число и мощность трансформаторов, что также должно учитываться при полном расчете экономического эффекта.

14.3. СМЕТЫ ЗАТРАТ НА ПРИОБРЕТЕНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВО МОНТАЖНЫХ РАБОТ

Сметы разрабатываются на основе составленных спецификаций и графической части проекта. Заданием может быть предусмотрено и определение сметной стоимости сооружения электроустановки. В этом случае в смете необходимо предусмотреть разделы: электрооборудование и монтажные работы; материалы, не учтенные сборником 8 (СНиП IV-6–82. Сметные нормы и правила). В табл. 14.1 и 14.2 даны примеры смет. Некоторые стоимостные показатели электрооборудования и сетей приведены в табл. 14.3–14.7.

Таблица 14.1
Сводка затрат на приобретение электрооборудования

Номер прейскуранта и позиции	Оборудование	Единица измерения	Количество	Стоимость, руб.		Категория ремонтной сложности	
				единицы	всего	единицы	всего
15-05 поз. 01-013	Трансформатор ТМ3-630/10У1	шт.	1	2035	2035	18	18
15-05 поз. 10-003 № 6	Шкаф ввода высокого напряжения типа ВВ2	шт.	1	280	280	2	2
15-05 поз. 10-004 № 4	Шкаф ввода КН-4	шт.	1	870	870	2	2
15-08 поз. 6-002	Конденсаторная установка типа УК-0,38-150У3	шт.	1	1785	1785	3	3
И т.д.							
	Итого:				13935		236,1

Таблица 14.2

Завод эффективных промышленных конструкций комбината "Минскстрой"

Локальная смета № 1

На приобретение и монтаж электроосвещения склада эмульсола

Сметная стоимость 0,14 тыс. руб.,
в том числе оборудование 0,01 тыс. руб.,
монтажные работы 0,13 тыс. руб.
Нормативная условно-чистая продукция (НУЧП) 0,06 тыс. руб.

Обоснование: спецификация № 1
Составлена в ценах 1982 г.

№ п.п.	Шифр и номер позиции УСН, расценок и др.	Наименование и характеристика оборудования и монтажных работ	Единица измерения	Количество	Масса брутто, нетто		Стоимость единицы, руб.				Общая стоимость, руб.			
					единица измерения	общая	оборудования	монтажных работ			оборудования	монтажных работ		
								всего	в том числе			всего	в том числе	
									основная зарплата	эксплуатация машин, в том числе зарплата			основная	эксплуатация машин, в том числе зарплата
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		1. Оборудование и монтажные работы												
1	15-04 01-058; 01-072; 8-525-1	Выключатель автоматический АЕ-2034-10У3	шт.	1	—	—	9,55	2,02	0,9	0,05	10	2	1	—
2	8-589-1	Монтаж светильника на крюке	шт.	2	—	—	—	1,86	0,37	0,83	—	4	1	2
3.	8-594-1	Монтаж светильника на кронштейне	шт.	2	—	—	—	2,78	0,58	0,58	—	6	1	1
4.	8-400-1	Монтаж кабеля силового площадью сечения до 10 мм^2 на скобах	100 м	0,34	—	—	—	60,8	23,4	22,8	—	21	8	8

Окончание табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	8-153-5	Разделки для кабеля силового площадью сечения до 16 мм^2	шт.	8	—	—	—	3,55	1,08	—	—	28	9	
6	8-591-3	Выключатель однополюсный брызгозащищенный	шт.	2	—	—	—	0,50	0,38	0,01	—	1	1	—
		Итого									10	62	21	11
	9,2 %	Начисление на оборудование									1			
	87 %	Накладные расходы на заработную плату										18		
	0,04	Начисления на высоту помещения										1		
		Итого										81		
		Плановые накопления 8 %										6		
		Итого по разделу: НУЧЛ = (21+11) + (21+11) x 0,2 + (21+11) x 0,44 = 56									11	87	21	11
		II. Материалы, не учтенные сборником												
1	24-05; доп. 5; 1-1183	Кронштейн для подвески светильника У-116 1,48x1,072	шт.	2	—	—	—	1,59	—	—	—	3		
2	ССЦ, ч. V, с. 199	Выключатель однополюсный 0-1-1 Р44-17-6-220	шт.	2	—	—	—	0,96	—	—	—	2		
3	ССЦ, ч. V, с. 176, п. 38	Светильник подвесной ППД-200	шт.	2	—	—	—	7,07	—	—	—	14		

4	ССЦ, ч. V, п. 41	То же, ППР-100	шт.	2	—	—	—	5,57	—	—	—	11
5	ССЦ, ч. V, с. 192	Лампа накаливания Б-220-150	шт.	2	—	—	—	0,119				
6	ССЦ, ч. V, с. 192	То же, Б-220-200	шт.	1	—	—	—	0,144				
7	ССЦ, ч. V, с. 191	То же, Б-220-60	шт.	1	—	—	—	0,099				
8	15-09; 3-037	Кабель АВВГ 2х2,5 мм^2 0,025х1,02 122х1,126	км	0,026	—	—	—	137,37	—	—	—	4
9	15-09 3-038	То же, 3х2,5 мм^2 170х1,126	км	0,005	—	—	—	191,42	—	—	—	1
10	15-09; 3-038	Кабель АВВГ 4х2,5 мм^2 170х1,2х1,126	км	0,004	—	—	—	229,70	—	—	—	1
		Итого										36
	8 %	Плановые накопления										3
												39
		Итого по разделу:										
		Всего по смете		137								
		Оборудование		11								
		Монтажные работы		87								
		Материалы, не учтенные сборником		39								
		НУЧП		56								

Таблица 14.3

Основные стоимостные показатели низковольтных комплектных устройств со стоимостью материальных ресурсов, учитываемых в объеме монтажных работ для I территориального района

Наименование устройства	Тип	Комплексная цена, руб.	В том числе основная зарплата, руб	Оптовая цена, руб.
1	2	3	4	5
Вводно распределительные устройства	ВРУ1-22-55УХЛ4	246	14,9	201
	ВРУ1-25-65УХЛ4	235	14,8	191
Распределительные панели	ВРУ1-41-00УХЛ4	141	10,3	112
	ВРУ1-45-01УХЛ4	141	10,3	118
	ВРУ1-50-00УХЛ4 с блоком автоматического управления освещением	272	17,1	222
Распределительные пункты силовые, устанавливаемые в нише	ПР11-3045-21У3	294,1	1,58	262,1
	ПР11-3051-21У3	252,0	1,58	204,0
То же, на стене или колонне	ПР11-3057-21У3	330,0	1,58	298,1
Щиток осветительный	ОЩ-6УХЛ4	22,0	1,62	57,0
	ОЩ-12УХЛ4	36,5	1,62	18,0
	ОЩВ-12АУХЛ4	55,8	1,62	33,0
Щиток промышленный	ОЩВ-6	41,3	1,62	36
Щиток лабораторный	Р-975	46	1,7	38
Ящики однофидерные, устанавливаемые на стене или колонке	ЯВЗ-21	28,8	1,39	23,5
	ЯВЗБ-31-1	33,3	1,55	27
	ЯВШ-3х60	29,3	1,51	24
То же, устанавливаемые на полу	ЯВЗ-23	41,3	2,11	30,5
	ЯВШ-2х100	38	1,64	30
Ящики с рубильниками и предохранителями, устанавливаемые на стене	ЯРВ- 6113	12,1	1,55	7,4
	ЯТВ-1311М	15,8	1,39	11,5
	ЯРП-20	8,82	1,55	4,3
	ЯПВ-323-2М	56	2,05	47
То же, устанавливаемые на полу	ЯРВ-6113	14,3	1,74	7,4
	ЯВПЗ-60	22,4	1,64	15,5
Ящики ЯБПВ на стене	ЯБПВу-2	22,7	2,05	16

Таблица 14.4

Основные стоимостные показатели уличного освещения для I территориального района

Наименование устройства	Тип светильников, марка проводников, площадь сечения, мм^2	Стоимость, руб.	В том числе основная зарплата, руб.
1. Воздушная сеть на тросах на 1 км	АП-16	1700	383
	АП-35	1870	383
2. Светильники на кронштейне на один рожок с лампами накаливания и газоразрядными	СПП-200М-У1	13,53	1,93
	СЗП-500МУ1	14,63	1,93
	СПО-2003УЗ	9,13	1,93
	РКУ01-250/Б23-04-У1	16,9	0,79
	РКУ01-400/Б23-03-У1	19,8	0,79
	ЖКУ01-400-001-У1	43,80	0,79
	ЖКУУ02-400-001-У1	64,00	0,79
3. Светильники наружного освещения с лампами накаливания на тросе и газоразрядными	СПП-200МУ1	7,85	0,39
	СЗП-500МУ1	8,95	0,39
	СПО-200-2-У1	3,45	0,39
	СЗЛ-300-1МУ1	12,48	0,39
	СЗПР-250 МН	13,60	0,18
	СПОР-250	13,65	0,18
4. Кабель для наружного освещения до 1 кВ в траншее	3х6	850	87,44
	3х10	930	87,44
	3х16	1030	87,44

Таблица 14.5

Основные стоимостные показатели прокладки 1 км кабельной линии в траншее для I группы грунтов

Марка кабеля	Площадь сечения, мм^2	Стоимость рытья траншеи и устройства защиты, руб.	Стоимость прокладки кабеля руб.	В том числе основная зарплата, руб.
	1 кабель в траншее			
ААБЛ-10 кВ	3х16	307	2360	83,54
ААШв-10 кВ	3х25	307	2320	86,90
АСБ-10 кВ	3х35	307	5040	108,50
ААБл-6 кВ	3х50	307	2510	101,52
ААШв-6 кВ	3х70	307	2700	86,90
АСБ-6 кВ	3х95	307	4510	108,66
	1—2 кабеля в траншее			
ААБл-1 кВ	3х120+1х35	241	3510	116,99
ААШв-1 кВ	3х150+1х50	241	3950	99,67
АСБ-1 кВ	3х185+1х50	241	5710	116,99
ААШв-1 кВ	3х240	241	4750	120,74
	3 кабеля в траншее			
ААШв-1 кВ	3х6	344	920	99,67
ААБл-В-1 кВ	4х10	344	1530	99,67
ААШв-1 кВ	4х16	344	1340	99,67
ААШв-В-1 кВ	3х25+1х16	344	1420	99,67
АСБ-1 кВ	3х35	344	2130	99,67
	4 кабеля в траншее			
ААШв-1 кВ	3х50+1х25	402	1850	99,67
АСБ-1 кВ	4х70	402	3790	116,99

Таблица 14.6

Основные стоимостные показатели типовых трансформаторных подстанций 6—10/0,4 кВ для I территориального района

Тип ТП	Количество и мощность трансформаторов, кВ·А	Стоимость монтажа, руб.	В том числе основная зарплата, руб.	Стоимость оборудования, руб.
В-21-160 М3	1х160	600	161	2060
В-41-400 М3	1х (250—400)	950	230	3970
В-42-400 М3	2х160	1300	384	5500
В-42-400 М3	2х250	1320	388	6400
В-42-400 М3	2х400	1390	392	7200
К-31-630 М3	1х630	600	174	4090
К-42-630	2х630	1290	361	8240
КСК-42-630 М3 с АВР на н/н	2х630	940	266	10250

Таблица 14.7

Основные стоимостные показатели низковольтных комплектных устройств, стоимость оборудования которых не учитывается в объеме монтажных работ для I территориального района

Наименование устройства	Тип	Стоимость установки, разводки и подключения внешней сети, руб.	Основная зарплата, руб.	Стоимость оборудования, руб.	В том числе аппаратуры и приборов, руб.
Пункты распределительные, устанавливаемые на стене	СУ-9521-11	12,6	6,48	94	65
	СУ-9522-18	8,1	3,64	76	42
	СУ-9543-13	13	6,06	124	86
То же, на полу	СУ-9521-11	15,6	3,52	94	65
Пункты распределительные, устанавливаемые на стене	ПР-11 взамен ПР-9111	7,02	3,14	52	12
Шкафы распределительные силовые	ШРС1-2043	22,2	6,14	50	—
	ШР11-73702	22,2	8,14	94	19,9
Ящики управления асинхронными двигателями	ЯУ5110-03А2А	9,54	4,32	58,3	8,5
	ЯУ5114-03А2А	14,3	7,06	88	18,1
	ЯУ5122-03А2А	12,9	6,2	90	19,4
Панели распределительных щитов с рубильниками	ЩО-70-1	17,3	0,29	108	32
	ЩО-70-4	12,7	5,41	97	27
То же, с автоматами	ЩО-70-5	22,2	11	203	114
То же, кабельный ввод	ЩО-70-16	17	7,67	120	38
Панель АВР	ЩО-70-38	14,9	9,37	145	63

14.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ РАБОТНИКОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ И ФОНДА ЗАРАБОТНОЙ ПЛАТЫ

В этом разделе рассчитываются:

а) суммарный объем работ по ремонту и обслуживанию оборудования

$$\Sigma r = r_1 + r_2, \qquad (14.2)$$

где r_1 — категория ремонтной сложности, берется по итогу из табл. 14.1; r_2 — категория ремонтной сложности электротехнической части технического оборудования, берется по итогу из табл. 14.8;

б) трудоемкость ремонтных операций по объекту:

$$\Sigma T_р = \Sigma r\ (П_м t_м + П_{ср} t_{ср} + П_к t_к),$$

где $П_м, П_{ср}, П_к$ — среднее количество соответственно малых, средних и капитальных ремонтов в год; $t_м, t_{ср}, t_к$ — нормы времени на проведение соответственно малого, среднего и капитального ремонтов на одну ремонтную единицу (принимаем по ППР $t_м = 1$; $t_{ср} = 5$; $t_к = 11$);

Таблица 14.8

Категории ремонтной сложности электротехнической части технологического оборудования

Оборудование	Номинальная мощность, кВт	Количество, шт.	Категория ремонтной сложности	
			единицы	всего
Кран-балка 0,5 т	1,4	2	1	2
Пресс эксцентриковый К 117	7,5	6	1,5	9
Пресс кривошипный КВ 2324	3,0	11	2	22
Пресс кривошипный ООК	22,0	2	8,5	17
Токарно-винторезный станок 16К20	11,5	2	12	24
Наждачный станок 3М634	3,0	1	1	1
Галтовочный барабан ГТСХМ	7,5	1	3,5	3,5
Шлифовальный станок 3М 180	7,5	2	3,5	7
Вертикально-протяжной станок 7Б610	11,0	1	6,5	6,5
Пресс кривошипный К120	11,0	4	2,5	10
Гильотинные ножницы 4А3118	11,0	1	5	5
То же	7,5	1	3,5	3,5
Автомат листоштамповочный АБ6224	45	2	2	4
Пресс-автомат К 8001	7,5	2	2	4
Автомат-комплекс АА 6230	7,5	1	6	6
Автомат гибочный А 7215	7,5	2	1,5	3
Заточной станок 270 6А	0,65	1	4,5	4,5
Моечная машина	7,5	2	4	8
Зачистные ножницы	3,0	2	1,8	3,6
Вальцы двухвалковые	3,0	2	1,3	2,6
				$r_2 = 146,2$

Таблица 14.9

Фонд заработной платы электротехнической службы (электромонтеров)

Количество	Разряд	Часовая тарифная ставка, руб.	Годовой фонд рабочего времени, ч	Сумма заработной платы по тарифу, руб.	Премия (40%), руб.	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата 8%, руб.	Общий фонд заработной платы, руб.	Отчисления на социальное страхование, руб.	Фонд материального поощрения, руб.	Фонд заработной платы, руб.
1	6	0,767	1883,2	1444	577,6	2021,6	161,7	2183,3	320,9	436,6	2619,9
1	5	0,67	1883,2	1261,7	504,68	1766,3	141,3	1917,6	281,8	383,5	2301,1
1	4	0,596	1883,2	1122,3	488,9	1571,2	125,7	1696,9	249,4	339,3	2036,3
2	3	0,507	1883,2	1909	763,6	2672,6	213,8	2886,4	424,3	577	3463
Всего 5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10420,3

в) количество необходимого ремонтного персонала

$$R_р = \frac{\Sigma T_р}{F_{эф} K_{пр}},$$

где $F_{эф}$ — эффективный фонд рабочего времени 1 человека, ч; $K_{пр}$ — коэффициент перевыполнения норм выработки, принимается равным 1,1;

г) количество дежурного персонала

$$R_{деж} = \frac{\Sigma r C_н}{H_р},$$

где $C_н$ — сменность работы оборудования; $H_р$ — норматив обслуживания на 1 рабочего, ремонтных единиц (принимается для цехов холодной обработки металлов 900, горячей обработки — 650, деревообрабатывающих цехов — 550);

д) фонд заработной платы электротехнической службы определяется по форме табл. 14.9 (приводится с примером заполнения):

$$ФЗП = RT_р F_{эф} K_п + З_о K_{доп} + З_{зп} K_{пр}, \qquad (14.3)$$

где R — численность персонала, чел.; $T_р$ — тарифная ставка, руб/ч; $K_п$ — коэффициент премиальной надбавки; $З_о$ — зарплата основная по тарифу, руб.; $K_{доп}$ — коэффициент дополнительной надбавки к зарплате; $З_{зп}$ — зарплата с учетом дополнительной надбавки, руб.

Основная зарплата с учетом дополнительной надбавки определяется из выражений

$$З_о = RT_р F_{эф} K_п;$$

$$З_{зп} = З_о + З_о K_{доп};$$

е) общее количество персонала

$$R = R_р + R_{деж};$$

ж) среднемесячная заработная плата

$$З_{ср} = \frac{ФЗП}{R \cdot 12}.$$

Расчет себестоимости электроэнергии ведется следующим образом.

1. Определяется стоимость 1 кВт·ч потребленной энергии:

$$С_{эн} = П_2 / Э_г,$$

где $П_2$ — плата за электроэнергию после компенсации, руб /(кВт·ч); $Э_г$ — годовое потребление электроэнергии, кВт·ч.

2. Рассчитываются дополнительные затраты по электроснабжению предприятия, которые состоят из расходов:

а) на основные и вспомогательные материалы для проведения ППР энергетического оборудования

$$З_м = \frac{20 \cdot ФЗП}{100},$$

где ФЗП — общий фонд зарплаты, подсчитывается по формуле (14.3);

б) на потери электроэнергии в сетях и трансформаторах:

$$З_п = \frac{2П_2}{100};$$

в) на текущий ремонт и обслуживание электрооборудования:

$$З_{т.р} = \frac{5С_{об}}{100},$$

где $С_{об}$ — стоимость электрооборудования, руб., берется по итогу табл. 14.1;

г) на амортизацию электрооборудования и устройств:

$$З_а = \frac{8{,}5\, С_{об}}{100}.$$

3. Суммарные дополнительные затраты на электроснабжение определяются из выражения

$$\Sigma З_д = З_м + З_п + З_{т.р} + З_а + ФЗП.$$

4. Дополнительная стоимость 1 кВт·ч электроэнергии подсчитывается по формуле

$$C_д = \frac{\Sigma З_д}{Э_г}.$$

5. Себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии определяется суммой ее основной и дополнительной стоимости

$$C_б = C_{эн} + C_д.$$

14.5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Экономический раздел проекта должен заканчиваться сведением в таблицу основных показателей, значения которых меняются в зависимости от темы дипломного проекта (табл. 14.10, 14.11, 14.12 с примерами заполнения).

Таблица 14.10
Технико-экономические показатели электрохозяйства

Показатели	Количество	Примечание
Количество установленного электрооборудования, рем. ед.	3000	
Мощность установленная электрооборудования, кВт	480	
Сменность работы, раб. смен	2	
Годовой расход электроэнергии, кВт·ч	900 000	
Стоимость электрооборудования, руб.	75 000	
Стоимость электромонтажных работ, руб.	15 000	
Численность рабочих электрослужбы, чел.	5	
Фонд зарплаты, руб.	850	
Среднемесячная зарплата рабочего, руб.	210	
Себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.	0,01	

Таблица 14.11
Технико-экономические показатели макета

Показатели	Количество	Примечание
Масса прибора, установки, кг	25	
Габариты, м	1x0,8x0,5	
Мощность установленная электрооборудования, кВт	3	
Годовой расход электроэнергии, кВт·ч	4000	
Стоимость потребляемой электроэнергии за год, руб.	80	
Себестоимость изготовления прибора, установки, руб.	120	
Оптовая цена, руб..	170	
Уровень рентабельности, %	3	

Таблица 14.12

Технико-экономические показатели монтажа электрооборудования

Показатели	Количество	Примечание
Стоимость электромонтажных работ:		
общая, руб.	45 000	
материалов, не учтенных сборником, руб.	22 000	
монтажных работ, руб.	23 000	
Трудоемкость работ, чел.-дн	18 000	
Среднегодовая выработка на одного рабочего, руб.	25 000	
Фонд зарплаты рабочих, руб.	2700	
Среднемесячная зарплата одного рабочего, руб.	220	
Продолжительность выполнения работ, дн.	100	
Уровень индустриализации электромонтажных работ, %	30	

Роль технико-экономических показателей состоит в том, что на их основе дипломник сам производит оценку полученных результатов. Рекомендуемый перечень показателей может быть расширен по согласованию с руководителем для наиболее полного отражения индивидуальности проекта.

14.6. СПЕЦИФИКАЦИИ И ПЕРЕЧЕНЬ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Спецификации составляются раздельно на силовое электрооборудование, электрическое освещение и электрооборудование трансформаторных подстанций на основании графической части проекта. В спецификацию не включается электрическое оборудование, поставляемое комплектно с технологическим оборудованием. Спецификации необходимы для составления смет, которые разрабатываются дипломниками в разделе "Технико-экономические расчеты".

Спецификации рекомендуется оформлять на листах формата А4 с основной надписью по ГОСТ 21.104—79 (форма 1) в виде таблицы (табл. 14.13) шириной 185 мм.

Таблица 14.13

Спецификация на силовое электрооборудование механического цеха

Марка, поз.	Обозначение	Наименование	Количество	Масса единицы, кг	Примечание
1	МПТ.0303.25.100.ЭМ	Пункт распределительный ПР11-3032-21У3, 50 Гц, 380 В	2	60	
2	То же	Шкаф управления 1ЩНБ-163.3101.000	1	70	
3	— " —	Сборка магнитных пускателей ИНБ-1623102000	1	50	
		И т.д.			

Для облегчения пользования спецификациями рекомендуется их составлять по разделам.

Раздел 1. Силовое оборудование:
а) электродвигатели и силовые электроприемники;
б) аппаратура управления, пускорегулирующая аппаратура и защиты;
в) прочее электрооборудование.
Раздел 2. Комплектные устройства:
а) комплектные устройства заводского изготовления;
б) электроконструкции, изготовляемые в МЭЗ.
Раздел 3. Основные материалы:
а) кабели, провода и шины;
б) материалы для соединения и оконцевания кабелей и проводов;
в) сталь, трубы и метизы.

При заполнении спецификаций необходимо учесть следующие рекомендации.

В графе "Марка, поз." указывается порядковый номер позиции по выноскам с изображением на чертежах электрооборудования, комплектного устройства или материала.

В графе "Обозначение" приводятся обозначения соответствующих конструктивных чертежей, планов, разрезов или электрических схем.

В графе "Наименование" дается краткое описание электрооборудования, его тип и характеристика, а также обозначается стандарт.

В графе "Количество" указывается в штуках количество единиц электрооборудования или комплектных устройств. Единица измерения не указывается. Для материалов в графе "Примечание" в этом случае ставится буква "М", в эту же графу могут вноситься и другие дополнительные сведения.

Спецификации подшиваются в пояснительную записку перед экономической частью.

На электрооборудование, аппаратуру и материалы электрических схем в соответствии с ГОСТ 2.701—84 составляется перечень элементов, который также должен оформляться на отдельных листах формата А4. Допускается в учебных проектах размещать их на одном листе с электрической схемой. Перечень элементов наряду со спецификациями учитывается при технико-экономических расчетах (п. 2.2).

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Степень защиты электрического оборудования напряжением до 72,5 кВ по ГОСТ 14254—80

Электрооборудование характеризуется по степени защиты (IP) от проникновения твердых тел и пыли внутрь оболочки (1-я цифра), а также встроенного в оболочку оборудования от попадания воды (2-я цифра):

IP00 — защиты отсутствуют;

IP01 — защита от капель воды;

IP10 — защита от случайного соприкосновения большого участка поверхности человеческого тела с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки. Отсутствует защита от преднамеренного доступа к этим частям. Защита оборудования от попадания крупных твердых посторонних тел диаметром не менее 50 мм. Защита от воды отсутствует;

IP11 — то же, защита от капель воды;

IP12 — то же, от капель воды при наклоне до 15°;

IP13 — то же, защита от дождя;

IP20 — защита от возможности соприкосновения пальцев с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки и попадания твердых посторонних тел диаметром не менее 12 мм. Защита от воды отсутствует;

IP21 — то же, защита от капель воды;

IP22 — то же, защита от капель воды при наклоне до 15°;

IP23 — то же, защита от дождя;

IP30 — защита от соприкосновения инструмента, проволоки толщиной более 2,5 мм с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки и попадания мелких тел диаметром не менее 2,5 мм. Защита от воды отсутствует;

IP31 — то же, защита от капель воды;

IP32 — то же, защита от капель воды при наклоне до 15°;

IP33 — то же, защита от дождя;

IP34 — то же, защита от брызг;

IP40 — защита от соприкосновения инструмента, проволоки толщиной более 1 мм с токоведущими частями внутри оболочки и попадания мелких тел толщиной не менее 1 мм. Защита от воды отсутствует;

IP41 — то же, защита от капель воды;

IP42 — то же, защита от капель воды при наклоне до 15°;

IP43 — то же, защита от дождя;

IP44 — то же, защита от брызг;

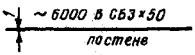
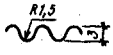
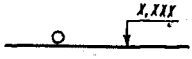
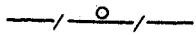
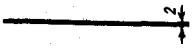
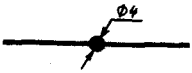
IP50 — полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри оболочки, и неполная защита оборудования от пыли. Защита от воды отсутствует;

IP51 — то же, защита от капель воды;

IP54 — то же, защита от брызг;

IP55 — то же, защита от водяных струй;
IP56 — то же, защита от волн воды;
IP60 — полная защита персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри оболочки, и полная защита оборудования от попадания пыли. Защита от воды отсутствует;
IP65 — то же, защита от водяных струй;
IP66 — то же, защита от волн воды;
IP67 — то же, защита от погружения в воду;
IP68 — то же, защита при длительном погружении в воду.

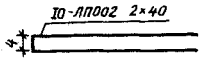
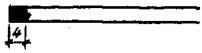
2. Основные условные графические изображения электрооборудования и проводок на планах по ГОСТ 21.614—88

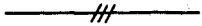
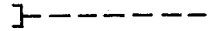
Наименование	Изображение
1	2
Линия проводки с указанием рода тока, напряжения, материала, способа прокладки	
Линия заземлений, зануления	
Заземлители	
Линия цепей управления	
Проводка гибкая	
Проводка в трубах, прокладываемых скрыто с указанием отметки заложения	
Проводка в трубе, прокладываемой открыто	
Линия, выполняемая шинами и шинопроводами	
Шинопровод на стойках	
Линия троллейная	

1	2
Проводка в трубе, прокладываемой от отметки трассы вверх	
Проводка вертикальная	
Коробка, ящик протяжной	
Щиток групповой рабочего освещения	
Щиток групповой аварийного освещения	
Ящик с аппаратурой	
Устройство: а) с электродвигателем	
б) с многодвигательным электроприводом	
в) с трансформатором	
Установка комплектная конденсаторная	
Устройство электронагревательное	

Примечание. Размеры указаны для чертежей, выполненных в масштабе 1:100.

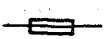
3. Основные условные графические изображения на планах расположения электрического оборудования внутреннего освещения по ГОСТ 21.608–84

Наименование	Изображение
1	2
Светильники с люминесцентными лампами, установленные в линию с указанием количества и типа светильников, а также количества и мощности ламп в светильнике	
Щелевой светильник-световод. Залитый торец обозначает вводное устройство с источником света	
Автоматический выключатель	
Шкаф, ящик управления	
Кнопка управления	
Трансформатор понижающий малой мощности	
Выключатель для открытой установки: а) однополюсный	
б) двухполюсный	
Переключатель на два направления: а) однополюсный	
б) двухполюсный	
Розетка штепсельная для открытой установки: а) двухполюсная	
б) двухполюсная сдвоенная	
Блок с выключателем и двухполюсной штепсельной розеткой	
Нормируемая освещенность от общего освещения	300 лк

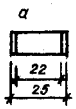
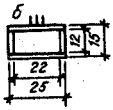
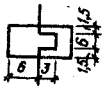
1	2
Обозначение классов взрыво- и пожароопасных зон, категорий и группы взрывоопасной смеси	В-Iа / ПАТ1 ; П-I
Сведения о светильниках: количество-тип количество ламп × мощность, Вт / высота установки, м	30-ЛПО 02-2×40/4
Количество проводов в линии (например, три)	
Трос и концевое крепление троса	
Люстра	
Обозначение способов прокладки, марок проводников и площадей сечений сети: а) марка проводников; б) площадь сечения, мм^2; в) способ прокладки	а–б–в
Надписи на линиях питающей и групповой сети: а) номер линии или группы; б) марка, количество и площадь сечения проводников; в) способ прокладки	а–б–в

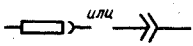
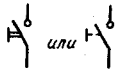
Примечание. Размеры указаны для чертежей, выполненных в масштабе 1:50.

4. Основные обозначения в электрических схемах по ГОСТ 2.710–81...2.756–76

Наименование	Обозначение	
	графическое	буквенное
1	2	3
Конденсатор постоянной емкости		C
Резисторы: а) постоянный		R
б) переменный		
Предохранитель плавкий		FU

1	2	3
Катушка индуктивности		L
Катушка контактора, реле, пускателя:		K
реле указательного		KH
пускателя, контактора		KM
электромагнита		YA
Контакт замыкающий		
Контакт размыкающий: а) общее обозначение		
б) контакт в контактной группе, срабатывающий позже по отношению к другим		
Контакт переключающий		
Контакт замыкающий с замедлителем: а) при срабатывании		
б) при возврате		
Контакт размыкающий с замедлителем: а) при срабатывании		
б) при возврате		
в) при срабатывании и возврате		
Диод, выпрямительный столб		VD

1	2	3
Элемент или батарея из гальванических или аккумуляторных элементов		GB
Электронагреватели, установки электротермические		EK
а) электронагреватель		
б) электропечь трехфазная		
Контакт контактного соединения: а) разборного		
б) неразборного		
Машины электрические: а) генератор трехфазный		G
б) двигатель трехфазный с соединением обмоток статора в звезду		M
Воспринимающая часть электротеплового реле		KK
Обмотка реле: а) максимального тока		KA
б) минимального напряжения		KV

1	2	3
Контакт контактора: а) замыкающий		KM
б) размыкающий дугогасительный		
Соединение контактное разъемное		X
Контакт разъединителя		QS
Контакт выключателя		SQ
Контакт замыкающий выключателя трехполюсного с автоматическим срабатыванием максимального тока		QF
Выключатель ручной с замыкающим контактом		SB
Переключатель однополюсный многопозиционный (например, 6-позиционный)		SA
Приборы измерительные показывающие, например, амперметр, вольтметр		PA, PV
Токосъемник троллейный		XA
Лампа накаливания осветительная и сигнальная		E, H

5. Пример заполнения титульного листа пояснительной записки

Министерство народного образования БССР
Минский заочный политехникум

Специальность "Монтаж и эксплуатация электрооборудования предприятий и гражданских зданий"

ПРОЕКТ

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ
ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА АВТОМОБИЛЬНОГО ЗАВОДА

Пояснительная записка
дипломного проекта

Руководитель _____

Консультанты _____

_____

Разработчик _____

1990

6. Пример заполнения содержания пояснительной записки

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
1. Общая часть 6
2. Электрооборудование и силовая часть цеха 12
3. Электрическое освещение цеха 26
4. Электроснабжение цеха и качество электроэнергии 39
5. Охрана труда и окружающей среды 46
6. Организация электромонтажных работ 51
7. Экономическая часть 56
8. Расчет на ЭВМ мощности компенсирующей установки и выбор мощности силового трансформатора с учетом компенсации 63
9. Расчет на ПМК мощности электродвигателя насоса 66
10. Экономия электроэнергии 68
Список литературы 70

185

7	10	23	15	10	50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МПТ.0303. 452.000ПЗ
Разработал					Пояснительная записка
Проверил					
Т. контроль					
Н. контроль					
Утвердил					

Лит	Лист	Листов
У	2	
5 5 5	15	20

5 × 8 = 40

7. Технические данные шкафов распределительных серии ШР-11

Тип и исполнение шкафа	Номинальный ток рубильника на вводе, А	Длительная нагрузка шкафа, А	Тип и количество групп предохранителей			
			на вводе ПН2-400	на отходящих линиях		
				НПН2-60	ПН2-100	ПН2-250
1	2	3	4	5	6	7
Тип рубильника на вводе Р17-353						
ШР11-73701-22У3	250	250	—	5	—	—
ШР11-73702-22У3			—	—	5	
ШР11-73703-22У3			—	2	3	—

1	2	3	4	5	6	7
ШР11-73701-54У2			—	5	—	—
ШР11-73702-54У2	250	200	—	—	5	—
ШР11-73703-54У2			—	2	3	—
Тип рубильника на вводе Р17-373						
ШР11-73504-22У3			—	8	—	—
ШР11-73505-22У3			—	—	8	—
ШР11-73506-22У3			—	—	—	8
ШР11-73707-22У3			—	—	3	2
ШР11-73708-22У3			—	—	—	5
ШР11-73509-22У3	400	400	—	4	4	—
ШР11-73510-22У3			—	2	4	2
ШР11-73511-22У3			—	—	6	2
ШР11-73512-22У3			1	8	—	—
ШР11-73513-22У3			—	—	8	—
ШР11-73514-22У3	400	300	—	—	—	8
ШР11-73515-22У3			—	4	4	—
ШР11-73516-22У3			—	2	4	2
ШР11-73517-22У3			—	—	6	2
ШР11-73504-54У2			—	8	—	—
ШР11-73505-54У2			—	—	8	—
ШР11-73506-54У2			—	—	—	8
ШР11-73507-54У2	400	300	—	—	3	2
ШР11-73708-54У2			—	—	—	5
ШР11-73509-54У2			—	4	4	—
ШР11-73510-54У2			—	2	4	2
ШР11-73511-54У2			—	—	6	2
ШР11-73512-54У2			—	8	—	—
ШР11-73513-54У2			—	—	8	—
ШР11-73514-54У2			1	—	—	8
ШР11-73515-54У2			—	4	4	—
ШР11-73516-54У2			—	2	4	2
ШР11-73517-54У2			—	—	6	2

8. Средние значения коэффициента использования $K_и$ и коэффициентов мощности $\cos\varphi$ и $\operatorname{tg}\varphi$

Электроприемники	$K_и$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
1	2	3	4
Электродвигатели вентиляторов, насосов, компрессоров, двигатель-генераторов непрерывно работающие	0,65	0,8	0,75
Электродвигатели станков универсального назначения (токарные, фрезерные, строгальные, сверлильные, долбежные)	0,14	0,6	1,33
Электродвигатели специализированных станков, станков-автоматов и агрегатных	0,22—0,25	0,65	1,17
Электродвигатели прессов, ковочных машин, очистных и галтовочных барабанов, бегунов, шаровых мельниц, однопостовых сварочных двигатель-генераторов	0,25—0,35	0,65	1,17

1	2	3	4
Электродвигатели автоматических поточных линий, транспортеров, конвейеров, элеваторов, установки ТВЧ и Г-Д	0,60	0,70	1,00
Электродвигатели повторно-кратковременного режима работы (краны и пр.)	0,06	0,45	1,98
Электрические печи сопротивления, нагревательные аппараты, ванны, сушильные камеры периодического действия	0,55	0,95	0,33
Печи сопротивления непрерывного действия, конвейерные и толкательные	0,70	0,95	0,33
Индукционные печи низкой частоты	0,75	0,35	2,67
Установки ТВЧ с ламповыми генераторами, дуговые плавильные печи	0,75	0,85	0,65
Трансформаторы дуговой сварки	0,30	0,35	2,67
Аппараты стыковой, шовной и точечной сварки, нагреватели заклепок	0,35	0,55	1,51
Многопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,70	0,70	1,00
Лампы накаливания для освещения	0,85	1,0	–
Люминесцентные лампы для освещения	0,85	0,95	0,33

9. Значения коэффициента максимума K_{max}

Эффективное значение электроприемников $n_э$	Коэффициент использования $K_и$									
	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	3,23	2,87	2,42	2,00	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	1,10	1,04
7	2,88	2,48	2,10	1,80	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,40	1,30	1,20	1,08	1,04
9	2,56	2,20	1,90	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03
10	2,42	2,10	1,84	1,60	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
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	1,50	1,34	1,24	1,20	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
40	1,50	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05	1,02
50	1,40	1,30	1,23	1,16	1,14	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
80	1,25	1,20	1,15	1,11	1,10	1,10	1,08	1,06	1,03	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,10	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02	1,02
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
240	1,14	1,11	1,08	1,07	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
300	1,12	1,10	1,07	1,06	1,04	1,04	1,04	1,03	1,01	1,01

10. Технические данные силовых кабелей

Марка кабеля	Характеристика	Область применения	Рабочее напряжение, кВ	Площадь сечения, мм^2
$ААБ_л$	С алюминиевой жилой, в алюминиевой оболочке с бумажной изоляцией, бронирован двумя стальными лентами с наружным покровом из пропитанной пряжи	В земле	1—35	10—800
ВВБ	С медными жилами с оболочкой и изоляцией из поливинилхлорида, с броней из двух стальных лент	В земле	0,66—3	1,5—240
АВВГ	С алюминиевой жилой с оболочкой и изоляцией из поливинилхлорида без брони	В пожароопасных помещениях	0,66—3	2,5—185
$АВБ_бШ_в$	С алюминиевыми жилами в оболочке из поливинилхлорида, бронирован одной оцинкованной лентой в шланге из поливинилхлорида	То же	0,66—3	4,0—240
АСБГ	С алюминиевыми жилами, с пропитанной бумажной изоляцией в свинцовой оболочке, бронирован стальными оцинкованными лентами	Внутри помещений, в тоннелях и каналах	1—10	120—240
ОСК	С медными жилами, скрученный	В воде	20	25—185
ЦАСБ и ЦСПГ	С алюминиевыми или медными жилами, с бумажной изоляцией, пропитанной нестекающим составом, в свинцовой оболочке, с защищенными покровами или без них	В сетях переменного и постоянного тока	6—10	25—185

11. Технические данные силовых гибких и шланговых кабелей с резиновой изоляцией и шнуры

Марка кабеля	Характеристика	Область применения	Рабочее напряжение, В	Площадь сечения, мм^2
1	2	3	4	5
ВРГ АВРГ	В поливинилхлоридной оболочке, небронированной без покрова из пряжи	В сырых и особо сырых помещениях, каналах и тоннелях при отсутствии механических воздействий на кабель	660	1—10
ВРБГ АВРБГ СРБГ АОРБГ	В поливинилхлоридной, свинцовой или найритовой оболочке, с резиновой изоляцией, бронированной двумя стальными лентами без наружного покрова из пряжи	То же при необходимости защиты кабеля от механических воздействий	660	1—10

Окончание прил. 11.

1	2	3	4	5
СРГ АСРГ	В свинцовой оболочке, небронированный и без покрова из пряжи, с изоляцией из резины	В сухих помещениях при отсутствии механических воздействий на кабель в каналах и тоннелях	660	1–10
КШВГ	С резиновой изоляцией и оболочкой. На жилы последовательно наложены экран из полупроводящей резины, резиновая изоляция, внешний экран из полупроводящей резины, экран из медных проводок и прорезиненная тканевая лента	Для питания передвижных токоприемников (например, экскаваторов)	6000	10–150

12. Технические данные контрольных кабелей

Марка кабеля	Характеристика	Область применения	Число жил	Площадь сечения, мм^2
АКРНГ	С резиновой изоляцией	В помещениях	4, 5, 7, 10	0,75–10
КУФЭ	Изоляция из фторопласта с частично или всеми экранированными жилами в общем экране	Внутри помещений	31–38	0,2–0,5
КУПКР-П	Облегченный кабель для дистанционного управления механизмами	В условиях кислых и щелочных грунтов	12, 27, 37	0,5–1
КУС	С изоляцией и оболочкой из кремнийорганической резины, токопроводящие жилы и оплетка из медной посеребренной проволоки	Для передачи высокочастотной энергии	1–7	0,12–0,5
КС-600 КСЭ-600	Со стекловолокнистой изоляцией, токопроводящая жила из термостойкого сплава, экраны жил и оплетка поверх кабелей из коррозийностойкой стальной проволоки, с экранированными жилами и без экрана	В помещениях для фиксированного монтажа при воздействии температуры до 600 °С	2–32	0,5–1

13. Технические данные проводов установочных

Марка	Характеристика	Область применения	Рабочее напряжение, В	Площадь сечения, мм^2
АППВ	С алюминиевыми жилами, с поливинилхлоридной изоляцией, плоский, с разделительным основанием	Для неподвижной открытой прокладки	500	2,5–16
АВТ АРТ	С алюминиевыми жилами и несущим тросом с поливинилхлоридной или резиновой изоляцией	Для тросовых электропроводок	660	2,5–16
АС	Голый сталеалюминиевый	Для воздушных линий электропередачи	Неограниченное	10–400
АСУ	То же, усиленный	То же	То же	120–400
АСО	То же, ослабленный	— " —	— " —	332–480
А	Алюминиевые или медные	— " —	— " —	16–600
М	голые	— " —	— " —	4–400
ПСО	Провода голые стальные	— " —	— " —	Диаметр
ПМС	То же			3,5–5
ПС	То же			5,6–9,2
ПРФ	С резиновой изоляцией в фальцованной оболочке из сплава марки АМЦ, одножильный, медный	Открытые проводки в сухих помещениях	500	1,04–4
ПВ	С медной жилой с поливинилхлоридной изоляцией	Внутри помещений	500	0,75–95
ПГВ	То же, с гибкой жилой	То же	500	0,75–95

14. Технические данные проводов монтажных

Марка провода	Характеристика	Номинальное напряжение, В	Площадь сечения, мм^2
1	2	3	4
МГВШ	С пленочной или волокнистой и поливинилхлоридной изоляцией, гибкий	380–1000	0,12–0,14 0,20–1,5
МГШВЭ	То же, но экранированный, трехжильный	380–1000	0,14 0,20–0,75
МГШВЭВ	То же, экранированный в поливинилхлоридной оболочке, одножильный	380–1000	0,14–0,35
МГШВА	То же, с волокнистой изоляцией в защитной оплетке	1000	0,5
МГП	С полиэтиленовой изоляцией, теплостойкий	380	0,10–2,50
МШДЛ	Однопроволочный с двойной обмоткой из полиамидного шелка, лакированный	220	0,10–0,75
МЭШДЛ	То же, эмалированный	220	0,10–0,75
МГШ	Многопроволочный в оплетке из полиамидного шелка	24	0,05–0,10

1	2	3	4
МГШД	То же, с двойной обмоткой из полиамидного шелка	60	0,05—0,50
МГШДО	Многопроволочный с двойной обмоткой и оплеткой из полиамидного шелка	127	0,05—2,50
МГШДЛ	Многопроволочный с двойной обмоткой из полиамидного шелка, лакированный	220	0,05—0,50
ПМВ	С поливинилхлоридной изоляцией, одно-проволочный	380	0,05—0,50
ПМВГ	То же, многопроволочный	380	0,05—0,50
МГВ	С поливинилхлоридной изоляцией, много-проволочный, одножильный	380	0,1—1

15. Технические данные проводов обмоточных

Марка провода	Характеристика	Размеры проводов, мм	
		круглых	прямо-угольных
ПЭЛШКО	Изолированный лакостойкой эмалью и одним слоем обмотки из шелка капрон	0,05—2,1	—
ПБО	Изолированный одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи	—	До 80
ПБД	То же, двумя слоями из хлопчатобумажной пряжи	0,38—5,2	До 80
ПБ	Изолированный несколькими слоями обмотки из телефонной или кабельной бумаги	1,00—5,2	До 80
ПСД	Изолированный двумя слоями обмотки из утоненного бесщелочного стекловолокна с пропиткой нагревостойким лаком	0,31—5,2	До 80
ПСДК	То же, с пропиткой кремнийорганическим лаком	0,31—5,2	До 80
ПДА	Изолированный одним слоем асбестовой ровницы с пропиткой нагревостойким лаком	1,00—5,2	До 80
ПЭЛ	С утолщенной изоляцией на основе растительных масел	0,02—2,44	—
ПЭВ-1	Изолированный высокопрочной эмалью, однослойный (винифлекс)	0,06—2,44	—
ПСДКТ-Л	Изолированный утоненной изоляцией из бесщелочного стекловолокна, наложенного двумя слоями с подклейкой и пропиткой кремнийорганическим лаком с поверхностным лаковым слоем	0,31—2,1	До 10

16. Наружные диаметры неизолированных проводов воздушных линий

Марка провода	Наружный диаметр провода, мм	Марка провода	Наружный диаметр провода, мм
А-16	51	АС-95	13,5
А-25	6,4	АС-120	15,2
А-35	7,5	АС-150	17,0
А-50	9,0	АС-185	19,0
А-70	10,7	АСО-240	21,6
А-95	12,4	АСО-300	23,5
А-120	14,0	АСО-400	27,2
А-150	15,8	АСО-500	30,2
А-185	17,5	АСО-600	33,1
АС-10	4,4	АСО-700	37,1
АС-16	5,4	АСУ-120	15,5
АС-25	6,6	АСУ-150	17,5
АС-35	8,4	АСУ-185	19,6
АС-50	9,6	АСУ-240	22,4
АС-70	11,4	АСУ-300	25,2
		АСУ-400	20,0

17. Активные сопротивления проводов и кабелей

Площадь сечения, мм^2	Активные сопротивления, Ом/км		
	медных жил	алюминиевых жил	сталеалюминиевых проводов
1	18,9	–	–
1,5	12,6	–	–
2,5	7,55	12,6	–
4	4,65	7,90	–
6	3,06	5,26	–
10	1,84	3,16	3,12
16	1,20	1,98	2,06
25	0,74	1,28	1,38
35	0,54	0,92	0,85
50	0,39	0,64	0,65
70	0,28	0,46	0,46
95	0,20	0,34	0,33
120	0,158	0,27	0,27
150	0,123	0,21	0,21
185	0,103	0,17	0,17
240	0,078	0,132	0,132
300	0,062	0,106	0,107
400	0,047	0,08	0,08

18. Активные сопротивления воздушных линий

Ток линии, А	Активные сопротивления, Ом/км, стальных проводов марок						
	ПСО-3,5	ПСО-4	ПСО-5	ПС-25	ПС-35	ПС-50	ПС-70
0,5	14,9	11,5	–	–	–	–	–
1	15,2	11,8	–	–	–	–	–
1,5	15,7	12,3	7,9	5,26	3,66	2,75	1,70
2	16,1	12,5	8,35	5,27	3,66	2,75	1,70
3	17,4	13,4	9,5	5,28	3,67	2,75	1,70
4	18,5	14,3	10,8	5,30	3,69	2,75	1,70
5	20,1	15,5	12,3	5,32	3,70	2,75	1,70
6	21,4	16,5	13,8	5,35	3,71	2,75	1,70
7	21,5	17,3	15,0	5,37	3,73	2,75	1,70
8	21,7	18,0	15,4	5,40	3,75	2,76	1,70
9	21,8	18,1	15,2	5,45	3,77	2,77	1,70
10	21,9	18,1	14,6	5,50	3,80	2,78	1,70
15	20,2	17,3	13,6	5,97	4,02	2,80	1,70
20	–	–	12,7	6,70	4,40	2,85	1,72
25	–	–	–	6,97	4,89	2,95	1,74
30	–	–	–	7,10	5,21	3,10	1,77
35	–	–	–	7,10	5,36	3,25	1,79
40	–	–	–	7,02	5,36	3,40	1,83
45	–	–	–	6,92	5,30	3,52	1,88
50	–	–	–	6,85	5,25	3,61	1,93
60	–	–	–	6,70	5,13	3,69	2,07
70	–	–	–	–	5,0	3,73	2,21
80	–	–	–	–	–	3,70	2,27
90	–	–	–	–	–	3,68	2,29
100	–	–	–	–	–	–	2,33
125	–	–	–	–	–	–	2,33

19. Внутреннее индуктивное сопротивление воздушных линий

Ток линии, А	Внутреннее индуктивное сопротивление, Ом/км, стальных проводов марок						
	ПСО-3,5	ПСО-4	ПСО-5	ПС-25	ПС-35	ПС-50	ПС-70
1	2	3	4	5	6	7	8
0,5	1,04	0,69	–	–	–	–	–
1	2,27	1,54	–	–	–	–	–
1,5	4,24	2,82	2,13	0,55	0,34	0,23	0,16
2	6,45	4,38	3,58	0,55	0,35	0,24	0,17
3	9,60	7,90	6,45	0,56	0,36	0,25	0,17
4	11,9	9,70	8,10	0,59	0,37	0,25	0,18
5	14,1	11,5	9,70	0,63	0,40	0,26	0,18
6	16,3	12,5	11,2	0,67	0,42	0,27	0,19
7	16,5	13,20	12,3	0,70	0,45	0,27	0,19
8	16,7	14,2	13,3	0,77	0,48	0,28	0,20
9	16,9	14,3	13,1	0,84	0,51	0,29	0,20
10	17,1	14,3	12,4	0,93	0,55	0,30	0,21
15	18,3	13,3	11,4	1,33	0,75	0,35	0,23

1	2	3	4	5	6	7	8
20	—	—	10,5	1,63	1,04	0,42	0,25
25	—	—	—	1,91	1,32	0,49	0,27
30	—	—	—	2,01	1,56	0,59	0,30
35	—	—	—	2,06	1,66	0,69	0,33
40	—	—	—	2,09	1,69	0,80	0,37
45	—	—	—	2,08	1,71	0,91	0,41
50	—	—	—	2,07	1,72	1,00	0,45
60	—	—	—	2,00	1,70	1,10	0,55
70	—	—	—	—	1,64	1,14	0,65
80	—	—	—	—	—	1,15	0,70
90	—	—	—	—	—	1,14	0,72
100	—	—	—	—	—	—	0,73
125	—	—	—	—	—	—	0,73

20. Индуктивные сопротивления трехжильных кабелей и изолированных проводов, проложенных на роликах и изоляторах, Ом/км

Площадь сечения, мм^2	Трехжильные кабели с медными жилами			Изолированные провода	
	до 1 кВ	6 кВ	10 кВ	на роликах	на изоляторах
1,5	—	—	—	0,28	0,32
2,5	—	—	—	0,26	0,30
4,0	0,095	—	—	0,25	0,29
6,0	0,09	—	—	0,23	0,28
10,0	0,073	0,11	0,122	0,22	0,26
16,0	0,0675	0,102	0,113	0,20	0,24
25	0,0662	0,091	0,099	0,19	0,24
35	0,0637	0,087	0,095	0,19	0,24
50	0,0625	0,083	0,09	0,19	0,23
70	0,0612	0,080	0,086	0,19	0,23
95	0,0602	0,078	0,083	0,18	0,23
120	0,0600	0,076	0,081	0,18	0,22
150	0,0596	0,074	0,079	—	—
185	0,0596	0,073	0,077	—	—
240	0,0587	0,071	0,075	—	—

21. Технические данные шин прямоугольного сечения

Размеры, мм	Допустимая нагрузка при одной полосе на фазу, А						
	алюминиевые		медные		Размеры, мм	стальные	
	переменный ток	постоянный ток	переменный ток	постоянный ток		переменный ток	постоянный ток
15x3	165	165	210	210	16x2,5	55	70
20x3	215	215	275	275	20x2,5	60	90
25x3	265	265	340	340	25x2,5	75	110
30x4	365	370	475	475	20x3	65	100
40x4	480	480	625	625	25x3	80	120
40x5	540	545	700	705	30x3	95	140
50x5	665	670	860	870	40x3	125	190
50x6	740	745	955	960	50x3	155	230
60x6	870	880	1125	1145	60x3	185	280
80x6	1150	1170	1480	1510	70x3	215	320
100x6	1425	1455	1810	1875	80x3	245	365
60x8	1025	1040	1320	1345	90x3	275	410
80x8	1320	1355	1690	1775	100x3	305	460
100x8	1625	1690	2080	2180	20x4	70	115
120x8	1900	2040	2400	2600	22x4	75	125
60x10	1155	1180	1475	1525	25x4	85	140
80x10	1480	1540	1900	1990	30x4	100	165
100x10	1820	1910	2310	2470	40x4	130	220
120x10	2070	2300	2650	2950	50x4	165	270
					60x4	195	325
					70x4	225	375
					80x4	260	430
					90x4	290	480
					100x4	325	535

22. Значения моментов нагрузки сетей освещения

ΔU, %	Значения моментов нагрузки, кВт·м, в зависимости от площади сечения проводников с алюминиевыми жилами, мм^2										
	6	10	16	25	35	50	2,5	4	6	10	16
	трехфазные линии 380/220 В						однофазные линии 220 В				
0,2	53	88	141	220	308	440	4	6	9	15	24
0,4	106	176	282	440	616	880	7	12	18	30	47
0,6	158	264	422	660	924	1320	11	18	27	44	71
0,8	211	352	563	880	1232	1760	15	24	35	59	94
1,0	264	440	704	1100	1540	2200	18	30	44	74	118
1,2	317	528	845	1320	1848	2640	22	36	53	89	142
1,4	370	616	986	1540	2156	3080	25	41	62	104	166
1,6	422	704	1126	1760	2464	3520	30	47	71	118	189
1,8	475	792	1267	1980	2772	3960	33	53	80	133	213
2,0	528	880	1408	2200	3080	4400	37	59	89	148	237
2,2	581	968	1549	2420	3388	4840	41	65	98	163	260
2,4	634	1056	1690	2640	3696	5280	44	71	107	178	284
2,6	686	1144	1830	2860	4004	5720	48	77	115	192	308
2,8	739	1232	1971	3080	4312	6160	52	83	124	207	331
3,0	792	1320	2112	3300	4620	6600	55	89	133	221	355
3,2	845	1408	2253	3520	4928	7040	59	95	142	236	379
3,4	898	1496	2394	3740	5236	7480	63	101	151	251	403
3,6	950	1584	2534	3960	5544	7920	67	107	160	265	426
3,8	1003	1672	2675	4180	5852	8360	70	112	169	280	450
4,0	1056	1760	2816	4400	6160	8800	74	118	178	296	474

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов В.Н., Копытов Ю.В. Пути экономии энергоресурсов в народном хозяйстве. -М.: Энергоатомиздат, 1986. -127 с.

2. Васин В.М. Электрический привод. – М.: Высш. шк., 1984. -231 с.

3. Жеженко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 167 с.

4. Зимин Е.Н., Преображенский В.И., Чувашов И.И. Электрооборудование промышленных предприятий и установок. – М.: Энергоиздат, 1981. – 552 с.

5. Инструктивные материалы Главэнергонадзора / Минэнерго СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 352 с.

6. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительстве: СН-423–71. – М.: Стройиздат, 1972. – 112 с.

7. Инструкция по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений: СН-305–77. – М.: Стройиздат, 1978. – 47 с.

8. Инструкция по проектированию электроснабжения промышленных предприятий: СН-174–75. – М.: Стройиздат, 1976. – 56 с.

9. Инструкция по разработке проектов организации строительства (электроэнергетика) : ВСН-33–82. – М.: Минэнерго СССР, 1982. – 67 с.

10. Инструкция по рациональному использованию электроэнергии и снижению затрат в промышленных установках: (Внутреннее освещение) / Ю.Б.Айзенберг, Ц.И.Кроль, М.А.Файермарк. – М.: Энергоиздат, 1981.

11. Камнев В.Н. Чтение схем и чертежей электроустановок. – М.: Высш. шк., 1986. – 143 с.

12. Князевский Б.А., Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Высш. шк., 1986. – 400 с.

13. Основные положения энергетической программы СССР на длительную перспективу. – М.: Политиздат, 1984. – 32 с.

14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 423 с.

15. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.

16. Прузнер С.Л. Экономика, организация и планирование энергетического производства. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 336 с.

17. Сборник правил пожарной безопасности: Ч. I/ Сост. В.Ю.Буткевичус. – М.: Стройиздат, 1981. – 415 с.

18. Синягин Н.Н., Афанасьев Н.А., Новиков С.А. Система планово-предупредительного ремонта оборудования и сетей промышленной энергетики. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.

19. СНиП II-4–79. Естественное и искусственное освещение: Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1980. – 49 с.

20. Справочная книга по светотехнике /Под ред. Ю.Б.Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 471 с.

21. Справочник по монтажу электроустановок промышленных предприятий: В 2 кн. /Под ред. В.В.Белоцерковца, В.К.Добрынина, В.Д.Никельберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983. Кн. 1. – 295 с. Кн. 2. – 400 с.

22. Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 480 с.

23. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами / Под ред. В.И.Круповича, Ю.Г.Барыбина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 415 с.

24. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. В.И.Круповича, Ю.Г.Барыбина, М.Л.Самовера. – М.: Энергия. 1980. – 456 с.

25. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. С.С.Рокотяна, И.М.Шапиро. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 349 с.

26. Фурунжиев Р.И. Вычислительная техника: Практикум. – Мн.: Выш. шк., 1985. – 254 с.

27. Электромонтажные устройства и изделия: Справ. – М.: Энергоатомиздат, 1988.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Глава 1. Организация дипломного проектирования 5
1.1. Организация труда учащегося в период дипломного проектирования 5
1.2. Дипломное задание и подготовка исходных данных 6
1.3. Производственная преддипломная практика 9
1.4. Последовательность выполнения дипломного проекта 11
1.5. Описание проектируемого объекта и его технологического процесса . . . 16
Глава 2. Оформление, нормоконтроль и защита дипломного проекта 21
2.1. Обозначение частей проекта 21
2.2. Оформление графической части проекта, титульного листа и содержания пояснительной записки 22
2.3. Оформление пояснительной записки 24
2.4. Нормоконтроль в дипломном проектировании 28
2.5 Порядок защиты дипломного проекта 29
Глава 3. Проектирование силового электрооборудования 31
3.1. Выбор рода тока и напряжения 31
3.2. Выбор силового электрооборудования 32
3.3. Выбор аппаратов управления 34
3.4. Выбор схемы электрической сети для питания электрооборудования цеха 36
3.5. Выбор электропроводок 39
Глава 4. Автоматизация электропривода и реальное проектирование 48
4.1. Расчет мощности электродвигателей 48
4.2. Выбор защитных аппаратов электродвигателей 50
4.3. Разработка принципиальной электрической схемы 53
4.4. Проектирование электропривода 58
4.5. Разработка макетов действующих установок 59
4.6. Порядок разработки тем, имеющих практическое применение на предприятиях 60
Глава 5. Организация электромонтажного производства 63
5.1. Проект производства электромонтажных работ 63
5.2. Технология электромонтажных работ 69
5.3. Графики производства работ 71
5.4. Расчет сетевого графика 76
Глава 6. Экономия и качество электроэнергии 81
6.1. Мероприятия по экономии электроэнергии производственными установками 81
6.2. Рациональное использование электроэнергии в осветительных установках 84
6.3. Показатели качества электроэнергии 87
6.4. Средства улучшения качества электроэнергии 90
Глава 7. Нагрузки и распределение электроэнергии 93
7.1. Определение электрических нагрузок промышленных установок 93
7.2. Расчет однофазных нагрузок 97
7.3. Электроснабжение предприятия 100
7.4. Комплектные трансформаторные подстанции 102
Глава 8. Выбор площади сечения проводников 107
8.1. Классификация кабелей и проводов 107
8.2. Выбор площади сечения проводников по нагреву 109
8.3. Выбор площади сечения проводников по экономической плотности тока 113
8.4. Проверка проводников по образованию короны 114
8.5. Выбор проводников по потере напряжения и защите от перегрузки . . . 115
8.6. Применение шинопроводов для питания промышленных электроприемников 118
Глава 9. Электрическое освещение 120
9.1. Выбор источников света 120

9.2. Расчет освещения . . . 121
9.3. Выбор напряжения и источников питания для осветительных установок 124
9.4. Расчет электрической осветительной сети . . . 127
9.5. Графическое оформление плана осветительной установки . . . 129
Глава 10. Компенсация реактивной мощности и выбор трансформаторов . . . 132
10.1. Способы компенсации реактивной мощности . . . 132
10.2. Расчет компенсирующего устройства упрощенными методами . . . 132
10.3. Определение мощности батарей конденсаторов в сетях до 1 кВ по минимуму приведенных затрат . . . 134
10.4. Расчет компенсирующих устройств по реактивным нагрузкам . . . 138
10.5. Выбор силовых трансформаторов . . . 139
Глава 11. Расчет токов короткого замыкания и выбор электрических аппаратов 143
11.1. Потери мощности и энергии в трансформаторах . . . 143
11.2. Расчет токов короткого замыкания . . . 145
11.3. Выбор электрооборудования . . . 155
11.4. Расчет сети напряжением выше 1 кВ . . . 159
Глава 12. Эксплуатация электрооборудования. Охрана труда и окружающей среды . . . 164
12.1. Ремонт силового электрооборудования . . . 164
12.2. Обслуживание осветительных электроустановок . . . 166
12.3. Применение защитного заземления и зануления . . . 168
12.4. Безопасность труда . . . 171
12.5. Охрана окружающей среды . . . 174
Глава 13. Применение вычислительной техники при выполнении дипломных проектов . . . 176
13.1. Расчеты с применением ЭВМ . . . 176
13.2. Расчеты с применением программируемых микрокалькуляторов . . . 191
Глава 14. Технико-экономические расчеты . . . 199
14.1. Общие требования к экономической части проекта . . . 199
14.2. Технико-экономическое обоснование выбранного варианта . . . 200
14.3. Сметы затрат на приобретение электрооборудования и производство монтажных работ . . . 202
14.4. Определение численности работников электротехнической службы и фонда заработной платы . . . 209
14.5. Технико-экономические показатели . . . 212
14.6. Спецификации и перечень элементов на электрооборудование и материалы . . . 213
Приложения . . . 215
Литература . . . 236

Учебное издание

Гурин Николай Александрович, **Янукович** Генрих Иосифович

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И УСТАНОВОК

ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Учебное пособие

Заведующий редакцией *А.Ф.Зиновьев*
Редактор *М.Г.Москаленко*
Мл. редакторы *А.П.Берлина, Т.И.Крючкова*
Художественный редактор *Ю.С.Сергачев*
Технический редактор *Л.И.Счисленок*
Корректоры *Н.В.Кудрейко, Т.М.Рутковская*
Оператор *М.К.Войнич*