

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.И. ФЕДОТОВ, О.В. НАУМОВ, Н.В. ЧЕРНОВА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Учебное пособие
по дисциплине

«Основы проектирования электроэнергетических систем и сетей»

Казань 2015

УДК 621.311

ББК 31.211

Ф34

Рецензенты:

кандидат технических наук, генеральный директор

ООО «НПО Энергия» *А.В. Кузнецов;*

кандидат технических наук, доцент Казанского государственного

энергетического университета *Е.И. Грачёва*

Ф34 Федотов А.И., Наумов О.В., Чернова Н.В.

Проектирование городских электрических сетей: учеб. пособие /
А.И. Федотов, О.В. Наумов, Н.В. Чернова. – Казань: Казан. гос. энерг.
ун-т, 2015. – 108 с.

Учебное пособие содержит материалы, необходимые для проектирования городских электрических сетей.

В первой главе рассматриваются особенности построения и применения схем электроснабжения питающих и распределительных сетей напряжением 0,4 кВ и выше. Разбираются принципы конструктивного исполнения элементов современных электрических сетей городов и поселков. Затрагиваются вопросы определения надежности городских электросетей, применения в них автоматизации и релейной защиты. Анализируются принципы построения схем электрических сетей зданий. Описываются конструкция, технические характеристики и различные варианты применения городских комплектных трансформаторных подстанций наружной установки в бетонном корпусе напряжением 10/0,4 кВ в составе схем городского электроснабжения.

Во второй главе приводятся основные сведения по кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена. Рассматриваются примеры канализации электроэнергии и ее влияние на выбор сечения кабелей.

Пособие предназначено для студентов всех форм обучения, изучающих дисциплину направления «Электроэнергетика и электротехника», профиля «Электроэнергетические системы и сети».

УДК 621.311

ББК 31.211

ВВЕДЕНИЕ

Городские электрические сети являются источником питания всех, без исключения, элементов инфраструктуры города. По своей сути они представляют собой сложнейшую многоуровневую инженерную систему, состоящую из подстанций, устройств для распределения электроэнергии, кабельных и воздушных линий электропередач, токопроводов и т.п., целиком охватывающую определенную территорию (город, микрорайон, поселок и т.д.). Проектирование городских электрических сетей рассматривается как совокупность проектных работ по созданию работоспособной схемы электроснабжения селитебной (предназначенной для проживания населения) территории как с заранее заданным количеством объектов промышленности и внутренней инфраструктуры, так и с перспективой ее дальнейшего развития.

В процессе формирования схемы электроснабжения города обойтись без проектирования городских электрических сетей не представляется возможным по целому ряду причин. Все элементы подобных электросетей строго определенным образом связаны между собой и взаимно обусловлены. Именно проектирование позволяет заранее, еще до начала строительства, наилучшим способом спланировать и согласовать расположение тех или иных компонентов будущей городской электрической сети. Проектирование городских электрических сетей дает возможность определить нужды всех предполагаемых потребителей электроэнергии, вне зависимости от их принадлежности, и на основе данных расчетов организовать электроснабжение по самой оптимальной схеме. Заблаговременно созданный проект способствует учету различных обстоятельств, способных повлиять на заданную работу электрических сетей, что, в свою очередь, позволяет предусмотреть наличие резервных или аварийных режимов функционирования электроснабжения.

С другой стороны, необходимость проектирования городских электрических сетей обусловлена экономическими причинами. Планирование системы электроснабжения города делает возможным расчет стоимости предстоящих строительных, монтажных и отладочных работ, которые потребуются для снабжения города электроэнергией, позволяет выяснить нужное количество строительных материалов, инструментов и специализированного оборудования и определить временную протяженность строительства.

Кроме того, проектирование городских электрических сетей предполагает разработку всех необходимых мер по организации удобства и безопасности эксплуатации системы электроснабжения города и минимизации ее влияния на окружающую среду с учетом будущего развития инфраструктуры города.

Распределительные электрические сети – это динамически непрерывно развивающаяся система, которая призвана обеспечивать электроснабжение жизненно важных потребителей электроэнергии. В условиях постоянного износа оборудования, конструкций, их физического и морального старения, непрерывного роста нагрузок актуальны реконструкция, модернизация и новое строительство электрических сетей. В связи с этим важным является технически грамотное проектирование распределительных сетей, применение совершенных методов и алгоритмов расчета, новых конструктивных элементов, оборудования, материалов, технологий монтажа. В связи с тем, что распределительные сети относятся к массовым объектам, реализация в проектах более совершенных решений позволяет экономить огромные материальные и финансовые ресурсы. Поэтому важно, чтобы в процессе обучения студенты освоили современные и перспективные теоретические методы расчета и приобрели практические навыки проектирования распределительных электрических сетей.

Данное учебное пособие содержит материалы, необходимые для проектирования элементов городских распределительных электрических сетей. Оно предназначено для студентов, изучающих дисциплину «Основы проектирования электроэнергетических систем и сетей». Целью данной дисциплины является формирование знаний, умений и профессиональных компетенций по основам проектирования электроэнергетических сетей общего назначения, в том числе городских и сельских сетей, изучение схем электроснабжения потребителей электроэнергии, методик выбора электрооборудования электрических сетей и подстанций.

Задачей данной дисциплины является освоение студентами современных методов проектирования электрических систем и сетей и выбора электрооборудования, приобретение навыков выбора схем электрических соединений электрических сетей и подстанций, изучение компоновочных решений и вариантов исполнения открытых и закрытых распределительных устройств, ознакомление с принципами и устройствами питания вторичных цепей.

Дисциплина «Основы проектирования электроэнергетических систем и сетей» базируется на предшествующих дисциплинах, таких как

«Электрические машины», «Электрические аппараты» и др.; тесно связана с параллельно изучаемыми дисциплинами: «Электрические станции и подстанции», «Основы электроснабжения промышленных предприятий» – и, в свою очередь, является базой для изучения последующих дисциплин направления «Электроэнергетика и электротехника», профиля «Электроэнергетические системы и сети».

В результате освоения данной дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты:

знать:

- основные нормативные материалы по проектированию распределительных электрических сетей;
- принципы построения схем распределительных сетей;
- конструктивное исполнение городских и сельских электрических сетей;
- устройство и принцип действия основного электротехнического оборудования электрических сетей;
- подходы к выбору площади сечений проводов и кабелей, оборудования трансформаторных подстанций;

уметь:

- рассчитывать параметры элементов распределительных сетей;
- выбирать площади сечения проводников;
- выполнять расчеты потокораспределения в сети;
- выбирать трассы линий, схемы и оборудование трансформаторных подстанций;
- рассчитывать токи короткого замыкания и выбирать защитные аппараты;
- выбирать регулирующие, секционирующие и компенсирующие устройства;
- выполнять технико-экономическое обоснование вариантов реконструкции и сооружения электрической сети, в том числе в условиях неопределенности исходной информации и многокритериальности; обосновывать свой выбор;
- выбирать рациональные методы расчета с учетом возможных допущений и имеющихся ограничений.

Глава 1. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

1.1. Схемы электроснабжения городов

Система электроснабжения города формируется десятилетиями. По мере развития города развивается перспективная схема электроснабжения и схема развития электрических сетей города, которые строятся на основе уже существующей системы электроснабжения, с учетом возможностей источников питания, расположения подстанций с первичным напряжением 35 кВ и выше и согласовываются со схемой развития сетей энергосистемы. В генеральном плане города предусматривается территория для объектов электросетевого назначения (площадки подстанций, зона для кабельных линий, коридоры для воздушных линий электропередачи и т.п.).

Вопросы городского электроснабжения решаются комплексно, с учетом возможностей использования подстанций и распределительных пунктов системы электроснабжения города для питания промышленных предприятий, расположенных на его территории.

Напряжения городских сетей выбираются с учетом: концепции развития города; наименьшего числа ступеней трансформации электрической энергии; технических характеристик источников питания, плотности и величины нагрузок и т.п. В любых случаях следует сокращать число трансформаций электроэнергии. Для большинства городов наиболее целесообразной является система напряжений 110–220/10 кВ, для крупных городов 500/220–110/10 кВ или 330/110/10 кВ. В существующих сетях следует стремиться к переводу сетей напряжением 35 кВ на напряжения 110 или 220 кВ.

Для городских распределительных сетей рекомендуется применять напряжение не ниже 10 кВ. Напряжение 6 кВ во вновь проектируемых сетях применяться не должно. При расширении и реконструкции действующих сетей 6 кВ рекомендуется переводить их на напряжение 10 кВ с использованием установленного оборудования при соответствии его характеристик напряжению 10 кВ.

Существующие кабельные сети напряжением 6 кВ при темпах ежегодного увеличения нагрузок на 5 % и более в течение 10–15 расчетных лет во всех случаях (независимо от их загрузки и износа) переводят в ближайшие 5–10 лет на напряжение 10 кВ. При переводе кабельных линий 6 кВ на напряжение 10 кВ предусматривают замену кабелей на вертикальных участках (вводы в ТП, крутонаклонные трассы) и участках линий

с выраженными дефектами на кабели 10 кВ. Срок работы кабельных линий 6 кВ после перевода на напряжение 10 кВ принимают: не менее 20 лет для линий, проработавших на напряжении 6 кВ до перевода не более 15 лет; не менее 15 лет для линий, проработавших на напряжении 6 кВ более 15 лет, а также питающих линий, загрузка которых после перевода будет составлять выше 50 % от номинальной в течение ближайших 5 лет.

Применение напряжения 20 кВ в городских распределительных сетях допустимо при следующих условиях:

- а) наличии генераторного напряжения 20 кВ;
- б) реконструкции и расширении действующих сетей напряжением 20 кВ.

Системой электроснабжения города называется совокупность электрических станций, понижающих и преобразовательных подстанций, питающих и распределительных линий и электроприемников, обеспечивающих технологические процессы коммунально-бытовых, промышленных и транспортных потребителей электроэнергии, расположенных на территории города и частично в пригородной зоне.

Источниками питания (ИП) системы электроснабжения города являются городские электрические станции и понижающие подстанции. Центром питания (ЦП) называется распределительное устройство генераторного напряжения электрической станции или распределительное устройство вторичного напряжения понижающей подстанции, к шинам которого присоединяются распределительные сети данного района. Электрическими станциями являются обычно теплоэлектроцентрали, обеспечивающие тепловой и частично электрической энергией коммунально-бытовые и промышленные объекты.

Понижающими подстанциями систем электроснабжения городов являются: городские подстанции (35–220 кВ), располагающиеся вблизи границы города; подстанции глубоких вводов 110–220 кВ, сооруженные непосредственно на территориях жилых районов и в промышленных зонах крупных городов; транспортные подстанции 10(6)–20/0,38 кВ коммунально-бытовых и промышленных потребителей электроэнергии; выпрямительные подстанции городского и пригородного электрифицированного транспорта.

Линии электропередачи электрических сетей системы электроснабжения города состоят из: воздушных линий 35–220 кВ внешнего электроснабжения города; кабельных (или воздушных) линий 110–220 кВ глубоких вводов высокого напряжения в центральные районы жилых и промышленных территорий; кабельных (или воздушных) линий наружных распределительных линий 0,38–10(6)–20 кВ; электрических линий внутренних сетей 0,38 кВ жилых, общественных и производственных зданий.

Основными группами потребителей электроэнергии в системах электроснабжения города являются: коммунально-бытовые потребители; промышленные предприятия; электрифицированный городской и пригородный транспорт; в отдельных случаях – поселки, предприятия промышленного и сельскохозяйственного производства пригородных зон. Коммунально-бытовые потребители электроэнергии – это жилые, административные, культурно-массовые, учебные, лечебные и тому подобные здания.

Проектируют, планируют и застраивают города и поселки в соответствии с действующими строительными нормами и правилами. В зависимости от размера города для питания потребителей, расположенных на его территории, предусматривается система электроснабжения (рис. 1.1) – совокупность трансформаторных подстанций и электрических сетей различных напряжений. Общую систему электроснабжения обычно делят на две части: к первой относят электрические сети и понижающие подстанции 35–220 кВ (зона А на рис. 1.1). Совокупность этих сетей называют электроснабжающими сетями. Сборные шины 10(6)–20 кВ подстанции являются центрами питания городских сетей. Электроснабжающие сети предназначены для распределения энергии между районами города.

Независимым источником питания называют источник питания данного объекта, на котором сохраняется напряжение в пределах, регламентированных ПУЭ для послеаварийного режима, при исчезновении его на других источниках питания объекта. Независимыми источниками питания являются две секции или системы шин одной или двух электростанций и подстанций при одновременном соблюдении следующих условий:

а) каждая секция (система шин) в свою очередь имеет питание от независимого источника;

б) секции (системы шин) не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключаемую при нарушении нормальной работы одной секции (системы шин).

Ко второй части системы электроснабжения относят питающие сети 10(6)–20 кВ и распределительные сети 20–0,4 кВ (зоны Б, В, Г и Д на рис. 1.1). Эта часть системы электроснабжения предназначена для распределения электроэнергии непосредственно среди потребителей или их отдельных групп. Границы этой части системы начинаются на сборных шинах 10(6)–20 кВ центров питания и заканчиваются на вводе к потребителю. Для крупных городов построение сети 10(6)–20 кВ выполняется по двухзвеневому принципу питающей сети 10(6)–20 кВ

(зона Б на рис. 1.1) и распределительной сети такого же напряжения (зона В на рис. 1.1). Этот принцип предусматривает сооружение распределительных пунктов. Распределительным пунктом (РП) городской электрической сети называется распределительное устройство напряжением 10(6)–20 кВ, предназначенное для приема электроэнергии от центра питания и передачи ее в распределительную сеть без трансформации и преобразования. На рис. 1.1 распределительные пункты РП2 и РП3 и питающие их сети используются для питания распределительной сети общего назначения, а РП1 и РП4 и их питающие сети – для электроснабжения самостоятельных потребителей.

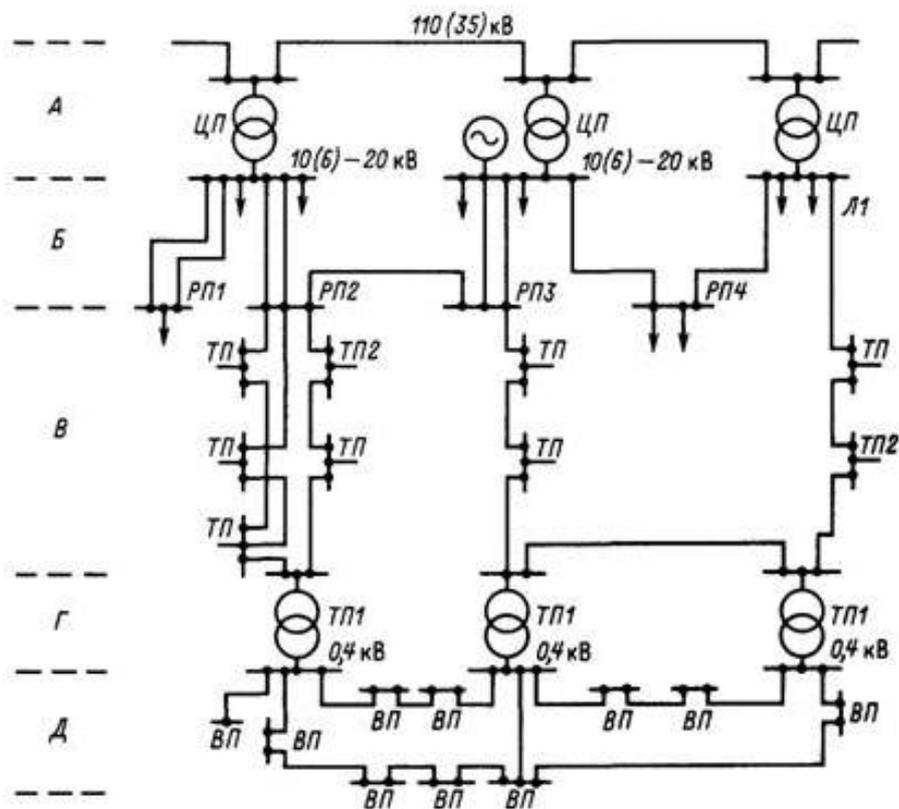


Рис. 1.1. Принципиальная схема электроснабжения города

Питающие линии соединяют ЦП с РП, а распределительные линии соединяют ЦП или РП с трансформаторными подстанциями (ТП), а также ТП с вводами потребителей (ВП на рис. 1.1).

Трансформаторной подстанцией городской распределительной сети называется подстанция, в которой электроэнергия трансформируется с высшего напряжения (10(6)–20 кВ) на низшее (0,4 кВ) и распределяется на этом напряжении (зона Д на рис. 1.1). При отсутствии в средних и небольших городах РП и, следовательно, питающей сети распределитель-

тельная сеть начинается непосредственно с шин 10(6)–20 кВ ЦП. На рис. 1.1 питание распределительной линии Л1 осуществляется от шин ЦП.

По распределительной сети 10(6)–20 кВ производится питание ТП, которые, в свою очередь, могут использоваться для питания распределительной сети 0,4 кВ общего пользования. Такие ТП на рис. 1.1 обозначены ТП1. От этой же сети может осуществляться питание подстанций ТП2 отдельных потребителей.

В последние годы в электрических сетях городов начали применяться так называемые глубокие вводы. Глубоким вводом называется система электроснабжения с приближением напряжения 110–220 кВ к центрам нагрузок потребителей с наименьшим количеством ступеней промежуточной трансформации. Применение глубоких вводов вызвано ограниченностью радиуса действия распределительной сети 10(6)–20 кВ при большой плотности нагрузки потребителей.

Городские электрические сети напряжением 10(6)–35 кВ выполняются трехфазными с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью. Компенсация емкостных токов применяется в соответствии с требованиями. Сети напряжением до 1 кВ выполняются трехфазными четырехпроводными с глухим заземлением нейтрали напряжением 380/220 В. В городских распределительных сетях применяют трансформаторы со схемой соединений обмоток «звезда – зигзаг» и «треугольник – звезда». Трансформаторы со схемой соединений обмоток «звезда – звезда» используют в условиях перевода сети 6 кВ на напряжение 10 кВ (при переключении обмоток), а также при преобладании нагрузок трехфазных потребителей.

1.2. Основные схемы электроснабжения сетей 110(35) кВ и выше

При разработке схемы электроснабжения крупных городов, как правило, предусматривают:

а) создание кольцевой магистральной сети напряжением 110 кВ и выше с понижающими подстанциями (питание кольцевой сети осуществляется от подстанции более высоких напряжений энергосистемы, а также городских электрических станций);

б) сооружение глубоких вводов напряжением 110 кВ и выше для питания отдельных (центральных) районов города, не охватываемых кольцевой сетью указанного напряжения (в зависимости от местных условий питание подстанции глубокого ввода предусматривается от разных секций одной или разных опорных подстанций, а также ответвлениями от кольцевой сети);

в) по мере развития города и увеличения его электрической нагрузки кольцевая сеть, принятая на первом этапе развития, преобразовывается в распределительную сеть с созданием кольцевой сети более высокого напряжения.

В сетях напряжением 110–220 кВ допустимо присоединение к одной цепи двухцепной линии по схеме с ответвлениями без выключателей, как правило, не более двух трансформаторных подстанций при условии сохранения питания электроприемников I и II категории от двух независимых источников питания.

Место сооружения, мощность, схема соединений подстанций 110(35) кВ и выше определяются на основе технико-экономических расчетов с учетом нагрузок и расположения основных потребителей, развития сетей 110 кВ и выше энергосистемы и распределительных сетей 10(6)–20 кВ города (района). При этом подстанции, сооружаемые для электроснабжения промышленных потребителей, используются также в качестве центров питания городской распределительной сети.

Сооружение подстанций 110(35) кВ и выше для самостоятельного электроснабжения промышленных потребителей без присоединения городских сетей 10(6)–20 кВ допускают при наличии технико-экономических обоснований.

Подстанции глубокого ввода напряжением 110–220 кВ выполняют по схеме двух блоков «линия – трансформатор» с использованием отделителей в соответствии с типовыми решениями. Распределительные устройства 10(6)–20 кВ принимаются с одиночной секционированной системой шин, трансформаторы работают отдельно. Резервирование блоков осуществляется путем устройства АВР на секционном выключателе РУ 10(6)–20 кВ. Допускают применение одно- трансформаторных подстанций при обеспечении требуемой надежности электроснабжения потребителей. Мощность трансформаторов подстанций глубокого ввода напряжением 110–220 кВ при установке двух трансформаторов и отсутствии резервирования по сети напряжением 10(6)–20 кВ выбирается с учетом их загрузки в нормальном режиме на расчетный срок не более 70 % номинальной мощности. Трансформаторы этих подстанций оборудуются устройством РПН.

В зависимости от территории района электроснабжения, плотности нагрузки, состава потребителей и других местных условий мощность трансформаторов подстанций в крупнейших и крупных городах принимается:

– при питании по воздушным линиям напряжением 110 кВ – не менее 25 000 кВ·А, по линиям 220 кВ – не менее 40 000 кВ·А;

– при питании по кабельным линиям напряжением 110 кВ – не менее 40 000 кВ·А, по линиям 220 кВ – не менее 63 000 кВ·А.

На подстанциях напряжением 110–220 кВ, в первую очередь, допускается установка трансформаторов меньшей мощности или одного трансформатора, если при этом выполняются требования к надежности электроснабжения потребителей. На подстанциях напряжением 110(35) кВ и выше при необходимости компенсации емкостных токов замыкания на землю в сетях напряжением 10(6)–20 кВ предусматривают установку заземляющих дугогасящих реакторов.

Мощность короткого замыкания на сборных шинах ЦП при напряжении 10(6) кВ не должна превышать 350(220) МВ·А, при напряжении 20 кВ–700 МВ·А. Выбор средств ограничения мощности короткого замыкания ниже приведенных значений осуществляется на основе технико-экономических расчетов. При возможности снижения выдержек времени релейной защиты по условиям сети для обеспечения термической стойкости кабелей допускается завышать их сечения по сравнению с расчетными по нагреву. При необходимости ограничения мощности короткого замыкания на шинах 10(6)–20 кВ ЦП рассматривают применение трансформаторов с расщепленными обмотками или установку токоограничивающих реакторов в цепях вводов трансформаторов.

1.3. Основные схемы питающих и распределительных сетей 10(6)–20 и 0,4 кВ

При выборе схемы распределительной сети учитывают, чтобы сборные шины напряжением 10(6)–20 кВ ЦП или их секции, связанные через секционный или сдвоенный реактор, не включались в нормальном и послеаварийном режимах на параллельную работу через указанную сеть.

Пропускная способность линий и трансформаторов определяется принятым способом построения распределительной сети, расчетными режимами ее работы с учетом допустимой перегрузки оборудования и кабелей в послеаварийных режимах.

Целесообразность сооружения РП в распределительной сети напряжением 10(6)–20 кВ обосновывается в каждом отдельном случае технико-экономическими расчетами. Схемы с РП применяются при значительной удаленности района электроснабжения от ЦП и пониженном уровне надежности распределительной сети напряжением 10(6)–20 кВ. Допускают применение РП при нагрузке на их шинах не менее 7 МВт при напряжении 10 кВ и не менее 4 МВт при напряжении 6 кВ. При этом РП предусматриваются с одной системой сборных шин, секционированных выключателем.

В зависимости от передаваемой мощности питающую сеть напряжением 10(6)–20 кВ выполняют по одной из двух схем:

а) питание РП по двум взаиморезервируемым линиям, подключаемым к разным секциям с АВР на секционном выключателе;

б) питание РП по трем линиям, две из которых работают параллельно и подключаются к одной секции шин РУ 10(6)–20 кВ ЦП. Резервирование отдельно работающей линии производится в РП с помощью АВР на секционном выключателе.

Основным принципом построения распределительной сети для электроприемников I категории является двухлучевая схема с двухсторонним питанием с АВР на напряжении 0,4 кВ двухтрансформаторных ТП при условии подключения взаиморезервируемых линий 10(6)–20 кВ к разным независимым источникам питания и устройства АВР непосредственно на вводе 0,4 кВ электроприемника (рис. 1.2). При этом в данных ТП устанавливаются два трансформатора, каждый из которых питается по самостоятельной линии 10(6)–20 кВ. Выбор сечения распределительных линий 10(6)–20 кВ и мощности трансформаторов производится исходя из условий взаимного резервирования. Сеть 0,4 кВ выполняется в соответствии с категорией электроприемников, как правило, в пределах одной ТП, так как параллельная работа трансформаторов при их питании от независимых источников недопустима. Схема приемников I категории в данном случае содержит дублирование всех элементов сети, включая вводы 0,4 кВ к электроприемникам. По существу, схема питания состоит из двух не связанных друг с другом частей. При повреждении любого элемента одной независимой части сети питание приемников I категории переключается на вторую независимую часть.

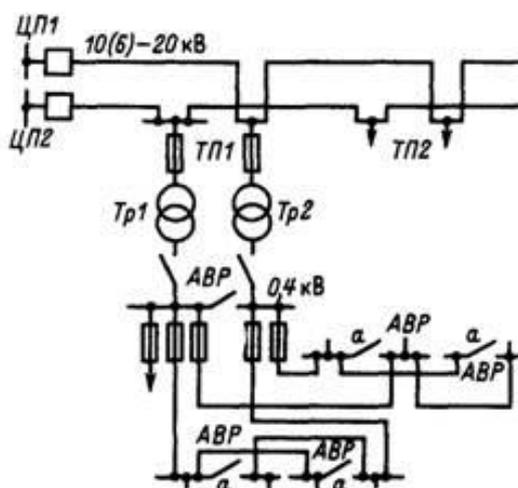


Рис. 1.2. Двухлучевая схема распределительной сети 10(6)–20 кВ (двухтрансформаторные ТП)

Для жилых и общественных зданий с электрическими плитами и всех зданий высотой 9 этажей и более при питании от однострансформаторных подстанций предусматривают резервирование по сети напряжением 0,4 кВ от других ТП. Рекомендуется также предусматривать взаимное резервирование линий напряжением 0,4 кВ, питающих в нормальном режиме отдельно силовую и осветительную нагрузки.

Особенности выполнения системы электроснабжения приемников I категории в других случаях определяются местными условиями. В частности, целесообразно рассматривать питание электроприемников I категории от разных ТП, связанных разными распределительными линиями напряжением 10(6)–20 кВ, присоединенными к независимым источникам, предусматривая необходимые резервы в пропускной способности элементов системы в зависимости от нагрузки электроприемников I категории.

Основным принципом построения распределительной сети для электроприемников II категории является сочетание петлевых линий напряжением 10(6)–20 кВ, обеспечивающих двухстороннее питание каждой ТП, и петлевых линий напряжением 0,4 кВ для питания потребителей. При этом петлевые линии напряжением 0,4 кВ могут присоединяться к одной или разным ТП. Схема петлевой сети напряжениями 10(6)–20 и 0,4 кВ приведена на рис. 1.3. Распределительные линии 10(6)–20 кВ своими концами опираются на ЦПП1 и ЦПП2, за счет чего создается возможность двухстороннего питания каждой ТП. В нормальном режиме линии 10(6)–20 кВ работают с размыканием вблизи точек естественного токораздела (P1 и P2). В результате в нормальном режиме каждая петлевая линия 10(6)–20 кВ состоит из двух частей: одна линия – L'_1 и L''_1 , другая линия – из L'_2 и L''_2 . При этом каждая линия питает определенное число ТП, например, линия Л1 питает ТП4 и ТП5.

Из рис. 1.3 следует, что распределительные линии 0,4 кВ, питающие приемники II категории (а и б), выполняются петлевыми. Для приемников III категории (в) предусмотрена радиальная нерезервированная сеть. Двухстороннее питание потребителей II категории реализуется различными способами. Например, для питания потребителя а₁ предусмотрены две линии от ТП1. Питание потребителей б₁, б₂, б₃ и б₄ осуществляется по петлевой линии L'_3 – L''_3 , опирающейся на ТП1 и ТП2 и т. д.

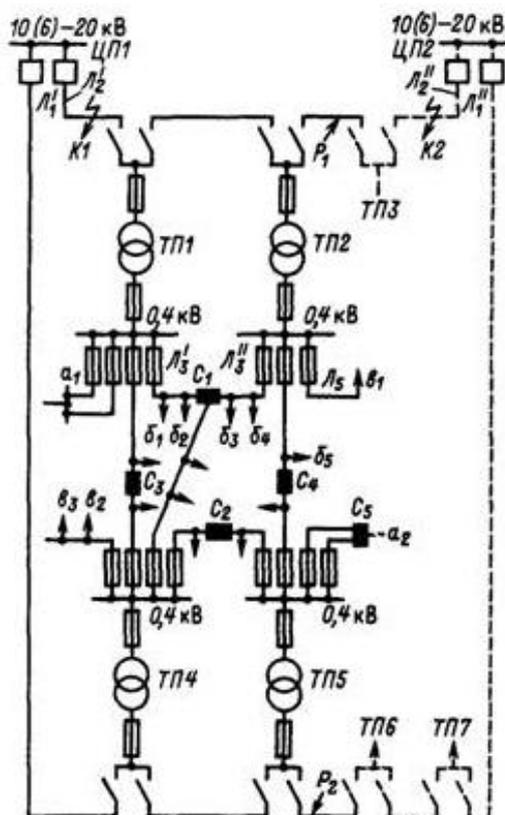


Рис. 1.3. Петлевая (полузамкнутая) схема распределительной сети 10(6)–20 и 0,4 кВ

Следует подчеркнуть, что петлевые линии 0,4 кВ содержат специальные распределительные устройства – так называемые соединительные пункты (С1, С2 и т.д.), конструкция которых предусматривает возможность установки предохранителей на подходящих к нему линиях. В нормальном режиме распределительная сеть 0,4 кВ работает с разрывом в соединительных пунктах, в результате чего каждый трансформатор питает определенный район сети 0,4 кВ.

Отмеченные условия нормального режима должны быть использованы для выбора исходных параметров рассматриваемого участка петлевой сети. Например, сечение линии Л1 определяется нагрузкой ТП4 и ТП5, сечение линии Л3 должно соответствовать нагрузке потребителей б₁ и б₂ и т.д. Выбранные параметры следует проверить по условиям, которые возникают при нарушениях нормального режима. Применительно к рис. 1.3 сечение петлевых линий 10(6)–20 кВ (Л₁' – Л₁' и Л₂' – Л₂') должно удовлетворять условию одностороннего питания ТП, связанных с этими линиями. В частности, сечение линии Л₂' – Л₂' следует проверить по суммарной нагрузке ТП1, ТП2 и ТП3, что, в свою очередь, может быть обусловлено

наиболее тяжелыми режимами при повреждении петлевой линии на одном из головных участков (в точке К1 или К2). Сечение линий в этом режиме определяется с учетом перегрузочной способности кабелей.

Сечение петлевой линии 0,4 кВ выбирается при подобных условиях. При петлевой и радиальной схемах построения распределительных сетей применяются ТП, как правило, с одним трансформатором. Мощность трансформаторов в ТП выбирается по условному режиму поочередного выхода трансформаторов из работы и резервирования электроснабжения потребителей, питающихся по петлевым линиям 0,4 кВ. Например, применительно к рис. 1.3 при выходе из работы трансформатора ТП2 принимается, что питание потребителей б₂ и б₄ переводится на ТП1 по петлевой линии Л'₃ – Л''₃, питание потребителя б₅ переводится на ТП3. Электроснабжение потребителя в₁, питающегося по радиальной линии Л5, прекращается на время замены в ТП2 поврежденного трансформатора. Следовательно, мощность трансформаторов ТП1 и ТП3 должна учитывать возможность питания указанных потребителей в аварийном режиме. При этом следует учитывать допустимую перегрузочную способность трансформаторов.

Допускается перегрузка трансформаторов: аварийная в резервируемых распределительных сетях – на 1,7–1,8 от номинальной мощности; систематическая в нерезервируемых распределительных сетях – на 1,5–1,7 от номинальной мощности.

Следует отметить, что допускают использование автоматизированных схем (двухлучевых и др.) для питания электроприемников II категории, если их применение приводит к увеличению приведенных затрат на сооружение сети не более чем на 5 %.

Основным принципом построения распределительной сети для электроприемников III категории является сочетание петлевых резервируемых линий напряжением 10(6)–20 кВ для двухстороннего питания каждой ТП и радиальных нерезервируемых линий 0,4 кВ к потребителям. Резервирование сети напряжением 10(6)–20 кВ воздушными линиями может не предусматриваться.

Таким образом, часть рис. 1.3, охватывающая сети 10(6)–20 кВ, может остаться без изменения, а сеть 0,4 кВ вместо петлевой выполняется радиальными нерезервируемыми линиями, так же как электропитание потребителей в₁, в₂, в₃ на рис. 1.3.

Помимо наиболее часто применяемых схем действующие нормативные документы предусматривают возможность и других вариантов. В частности,

рекомендуется применение двухлучевой (многолучевой) схемы с устройством АВР на напряжении 0,4 кВ, представляющей собой сочетание распределительных линий напряжением 10(6)–20 кВ, ТП на два трансформатора, подключаемых к разным линиям 10(6)–20 кВ, и распределительных линий напряжением 0,4 кВ, связанных с разными трансформаторами. При этом распределительные линии и трансформаторы взаимно резервируют друг друга. Устройство АВР предусматривается на шинах напряжением 0,4 кВ ТП.

Двухлучевую (многолучевую) схему, содержащую взаиморезервируемые распределительные линии 10(6)–20 кВ с устройством АВР, применяют также на одном из двух вводов каждой, как правило, однострансформаторной ТП (рис. 1.4). При этом распределительная сеть напряжением 0,4 кВ выполняется в основном по петлевой схеме с подключением линий к одной (нагрузка *а*) или разным (нагрузка *б*) ТП.

Для электроснабжения районов с электроприемниками I и II категорий на напряжении 10(6)–20 кВ рекомендуют применять комбинированную петлевую – двухлучевую схему с двухсторонним питанием. Перспективным является внедрение замкнутых сетей 0,4 кВ, при которых обеспечивается параллельная работа трансформаторов сети (рис. 1.5). Распределительная сеть 10(6)–20 кВ выполняется радиальными линиями одностороннего питания. Резервирование отдельных элементов сети при их повреждении происходит автоматически через замкнутую сеть 0,4 кВ за счет использования соответствующих средств защиты и автоматики.

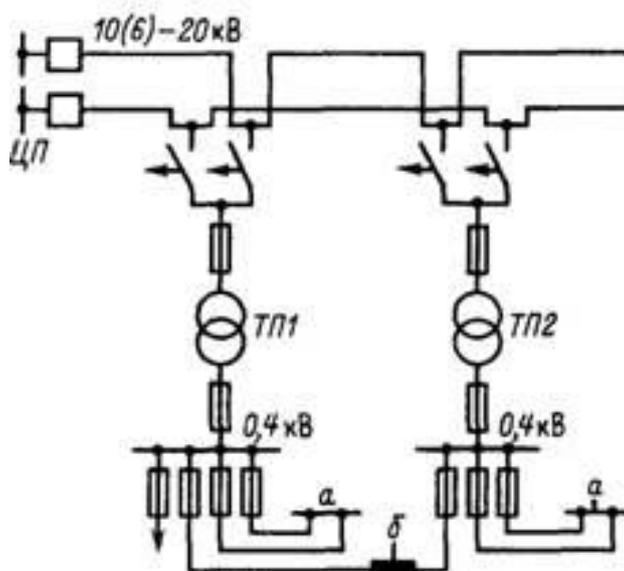


Рис. 1.4. Двухлучевая схема распределительной сети 10(6)–20 кВ (однострансформаторные ТП)

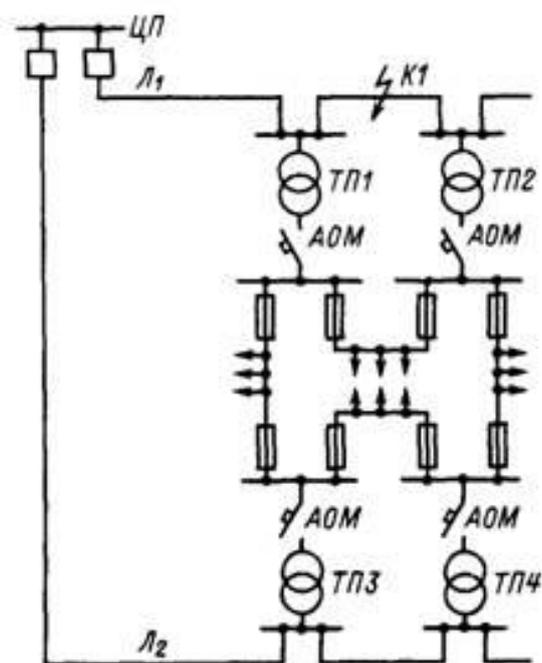


Рис 1.5. Упрощенный вариант замкнутой сети 0,4 кВ

Обязательным условием замкнутых сетей 0,4 кВ является подключение к стороне низкого напряжения каждого параллельно работающего трансформатора так называемого автомата обратной мощности (АОМ). При возникновении повреждений в распределительной сети 10(6)–20 кВ, например в точке К1, возможна его подпитка через трансформаторы ТП1 и ТП2, замкнутую сеть и трансформаторы ТП3 и ТП4, именно для предотвращения этого и нужны автоматы обратной мощности, реагирующие на изменение направления энергии.

Параметры отдельных элементов замкнутой сети определяются условиями нормального режима. В частности, сечение линии Л1 определяется суммарной нагрузкой ТП1 и ТП2, а линии Л2 – нагрузкой ТП3 и ТП4. Что касается определения нагрузки трансформаторов, то следует исходить из естественного токораспределения нагрузки по элементам сети. Наиболее тяжелым послеаварийным режимом сети является вывод из работы одной распределительной линии 10(6)–20 кВ. Таким образом, для сети рис. 1.5 сечения распределительных линий 10(6)–20 и 0,4 кВ и мощности трансформаторов в ТП должны удовлетворять условиям поочередного выхода из работы линий Л1 и Л2.

1.4. Конструктивное исполнение элементов городских электрических сетей

В настоящее время выработаны установившиеся принципы выполнения элементов электрических сетей городов и поселков. Воздушные линии напряжением 110(35) кВ и выше выполняют, как правило, двухцепными с размещением линий в закрепленных на территории города коридорах, в основном за пределами селитебных территорий.

Для крупных городов при необходимости прокладки линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше в пределах селитебной территории рекомендуется использовать маслonaполненные кабельные линии, а также кабельные линии с пластмассовой изоляцией. Прокладка кабельных линий напряжением 110 кВ и выше производится в разделительных полосах проезжей части улиц. Допускается прокладка кабельных линий в существующих районах под проезжей частью улиц или в специальной канализации и в коллекторах совместно с другими подземными коммуникациями с учетом действующих требований к такого рода сооружениям.

Подстанции глубокого ввода напряжением 110 кВ и выше с трансформаторами мощностью 25 000 кВА и более, а также пункты перехода ВЛ в кабельные указанного напряжения, размещаемые на селитебной территории, предусматривают закрытого типа.

Расстояние от подстанции напряжением 110(35) кВ и выше до жилых и общественных зданий принимают с учетом обеспечения действующих нормативов на допустимый уровень шума на границе жилых районов. От подстанций, размещаемых на территории промышленных предприятий и предназначенных также для электроснабжения района города, предусматриваются коридоры для прокладки кабельных линий и самостоятельные проезды к их территории. На территории города на подходах к подстанциям и переходным пунктам напряжением 110(35) кВ также устраиваются технические коридоры и полосы для ввода и вывода воздушных и кабельных линий.

Электрические сети напряжением до 20 кВ включительно на селитебной территории городов, поселков, в районах застройки зданиями высотой 4 этажа и выше, как правило, выполняют кабельными, в районе застройки зданиями до 3 этажей – воздушными. В последнем случае провода воздушных линий напряжением до 1 кВ должны, как правило, располагаться на общих опорах с проводами наружного освещения. Для воздушных линий применяют железобетонные или металлические опоры.

В распределительных сетях напряжением 10(6)–20 кВ сечение кабелей с алюминиевыми жилами при прокладке в траншеях принимают не менее 35 мм^2 . Распределительные сети 10(6)–20 кВ предусматривают с учетом изменений сечений кабелей вдоль линий, но при этом на каждой линии допускается не более трех разных сечений. Кабели прокладывают непосредственно в земле, в траншеях. При наличии технико-экономических обоснований допускается прокладка кабелей напряжением 0,4–20 кВ в каналах, блоках, коллекторах и туннелях, а транзитных кабелей 0,4 кВ также в подвалах и технических подпольях жилых и общественных зданий.

Кабельные линии от ЦП до РП в земле, как правило, прокладывают по разным трассам. В виде исключения допускается прокладка по общей трассе, но в разных траншеях. При переходе через дороги с усовершенствованными покрытиями для замены кабелей без вскрытия дорожных покрытий предусматривают прокладку в одной траншее с кабелями резервных труб (без резервных отрезков кабеля) с плотно закрытыми устьями отверстий (при числе кабелей до трех – одной трубы, а при числе кабелей больше трех – двух труб).

Подстанции ТП, РП, а также опоры для воздушных линий всех напряжений должны быть, как правило, типовыми. Наряду с кирпичными, панельными, блочными и другими ТП рекомендуется применять КТПН заводского изготовления; в районах с воздушными сетями применяют мачтовые ТП.

В составе генерального плана города и поселка обязательно рассматриваются основные вопросы перспективного развития его системы электроснабжения, в том числе баланс электрических нагрузок всех потребителей и источники их покрытия. На плане города и поселка при этом предусматриваются территории для размещения электросетевых объектов: коридоров для трасс воздушных линий электропередачи, зон для кабельных линий, площадок для подстанций и баз предприятий электрических сетей.

Проектирование городских сетей осуществляется комплексно, т.е. выполняется увязка электроснабжающих сетей 110(35) кВ и выше и сетей 10(6)–220 кВ между собой. При распределении основных принципов развития сетей на расчетный период генерального плана города и поселка для ориентировочной оценки ожидаемых нагрузок исходят из среднегодовых темпов роста нагрузок, принимаемых для характерных районов города на основании анализа их изменения за прошедшие 10–15 лет, материалов генерального плана и перспективных планов развития народного хозяйства. В проектах должна предусматриваться возможность этапного развития

системы электроснабжения по мере роста нагрузок на длительную перспективу без коренного переустройства электросетевых сооружений на каждом этапе.

Построение системы электроснабжения производят таким образом, чтобы в нормальном режиме все элементы системы находились под нагрузкой с максимально возможным использованием пропускной способности этих элементов. Резервирование питания электроприемников потребителей предусматривается в соответствии с их категоричностью при минимальных затратах средств и электрооборудования. Применение резервных линий и трансформаторов, не несущих нагрузку, допускают, как исключение, при наличии технико-экономических обоснований. При реконструкции действующих сетей максимально используют существующие электросетевые сооружения.

Проект реконструкции и расширения городской электрической сети разрабатывается в две стадии: проект со сводным сметным расчетом стоимости строительства и рабочая документация со сметами. Для малых городов и поселков допускается одностадийное проектирование – разработка рабочих проектов. В схеме (проекте, рабочих чертежах) рассматриваются: существующие системы электроснабжения; активные и реактивные электрические нагрузки с районированием по ЦП и источники их покрытия; выбор схемы электроснабжающих сетей районов города и поселка с определением количества, мощности, напряжения и места расположения ЦП, при необходимости РП; выбор схемы, конфигурации и параметров сетей напряжением 10(6)–20 кВ, а в необходимых случаях и сетей напряжением 0,4 кВ; регулирование напряжения; компенсация реактивных нагрузок; режим работы нейтрали и компенсация емкостных токов в цепи; токи короткого замыкания; учет электроэнергии; релейная защита и автоматика сети; молниезащита и заземление сети; диспетчеризация и телемеханизация сети; мероприятия по гражданской обороне; организация эксплуатации сети; организация строительства; сводка (паспорт) основных и удельных технико-экономических показателей сети; ведомости на основное оборудование и материалы; расчет стоимости строительства (сметы и сводный сметный расчет стоимости). Объем графического материала включает в себя: схемы электрических соединений и конфигурацию сетей напряжением 110(35) кВ и выше на плане города и поселка с указанием нагрузок по элементам сети; схемы электрических соединений и конфигурации сетей напряжением 10(6)–20 кВ на плане города и поселка (при необходимости и сетей напряжением 0,4 кВ) с указанием нагрузок по элементам сети.

Проектирование электрических сетей напряжением до 20 кВ в новых жилых районах (микрорайонах) и сетей внешнего электроснабжения коммунальных, промышленных и других предприятий в селитебной зоне городов и поселков выполняется в составе проектов застройки района (микрорайона) и проектов предприятий в соответствии со схемой развития электрических сетей. Технические условия на присоединение новых мощностей выдаются на основе утвержденной в установленном порядке схемы развития электрических сетей города и поселка или проекта реконструкции и расширения электрических сетей. При проведении расчетов городских сетей исходят из следующих положений:

1. Сечения проводов и кабелей в городских электрических сетях выбирают по длительно допустимому току в нормальном, аварийном и послеаварийном режимах и допустимым отклонениям напряжения.

2. Линии напряжением выше 1 кВ также проверяются по экономической плотности тока и токам короткого замыкания.

3. Кабельные линии с пластмассовой изоляцией напряжением до 1 кВ проверяют по токам короткого замыкания.

4. Электрические сети напряжением до 1 кВ с глухим заземлением нейтрали проверяют также на обеспечение автоматического отключения поврежденного участка при однополюсных замыканиях.

5. При проверке кабельных линий по длительно допустимому току нагрева учитывают поправочные коэффициенты на реальную температуру почвы в период расчетного максимума нагрузки и удельное тепловое сопротивление грунта.

Городские электрические сети обеспечивают на зажимах присоединенных к ним приемников электроэнергии в нормальном режиме отклонения напряжения (% номинального напряжения сети), не превышающие:

а) для основной массы электроприемников ± 5 %;

б) на зажимах приборов рабочего освещения, установленных в производственных помещениях и общественных зданиях, где требуется значительное напряжение зрения, а также в прожекторных установках наружного освещения от $-2,5$ до $4-5$ %;

в) на зажимах электродвигателей и аппаратов для их пуска и управления от -5 до $+10$ %.

Для электроприемников, которые подключены к воздушным сетям в районах усадебной застройки городов и поселков или получают питание от тяговых подстанций электрифицированного транспорта, допускают отклонения напряжения в пределах соответственно $\pm 7,5$ и от $-7,5$ до $+10$ %.

В этих случаях не менее чем у 50 % указанных электроприемников (по общей мощности) отклонения напряжения должны быть не более +5 %. Расчеты электрических сетей на отклонения напряжения производятся для режимов максимальных и минимальных нагрузок. При отсутствии необходимых данных принимают нагрузку в минимальном режиме в пределах 25–30 % максимальной.

Предварительный выбор сечений проводов и кабелей производят исходя из средних значений предельных потерь напряжения в нормальном режиме: в сетях напряжением 10(6)–20 кВ – не более 6 %, в сетях 0,4 кВ (от ТП до вводов в здания) – не более 4–6%.

Большие значения относятся к линиям, питающим здания с малой потерей напряжения во внутридомовых сетях (малоэтажные и односекционные здания), меньшие значения – к линиям, питающим здания с большей потерей напряжения во внутридомовых сетях (многоэтажные, многосекционные жилые здания, крупные общественные здания и учреждения).

На шинах напряжением 10(6)–20 кВ ЦП желательно иметь встречное автоматическое регулирование напряжения, глубина которого определяется составом потребителей и параметрами сети. В отдельных случаях, когда в рационально выполненной сети с централизованным встречным регулированием напряжения на шинах ЦП не обеспечиваются нормированные отклонения напряжения, применяют дополнительные средства местного регулирования напряжения, в первую очередь батареи статических конденсаторов.

В жилых домах и общественных зданиях, включая индивидуальные и центральные тепловые пункты, компенсация мощности не предусматривается.

Надежность электроснабжения городских потребителей должна соответствовать ПУЭ, согласно которым электроприемники делятся на три категории.

При рассмотрении надежности электроснабжения коммунально-бытовых потребителей к соответствующей категории относят как отдельные электроприемники, так и группу электроприемников. Под группой электроприемников понимается их совокупность, характеризующаяся одинаковыми требованиями к надежности электроснабжения (например, электроприемники операционных, родильных отделений и др.). В отдельных случаях в качестве группы электроприемников рассматриваются потребители в целом (например, водопроводная насосная станция, детское учреждение и др.). Требования к надежности электроснабжения отдельных электроприемников высшей категории недопустимо распространять на все остальные электроприемники потребителей.

Требования к надежности электроснабжения определяются применительно к вводному устройству электроприемника или вводному устройству группы электроприемников (потребителю).

При проектировании городских электрических сетей следует иметь в виду, что городские потребители не имеют в своем составе электроприемников, которые согласно ПУЭ относятся к особой группе электроприемников I категории.

Ниже приведен перечень электроприемников, относящихся к I, II и III категориям надежности электроснабжения. Этот перечень содержит электроприемники основных потребителей и не распространяется на электроприемники уникальных зданий и сооружений (крупнейшие театры, цирки, концертные залы, дворцы спорта и др.), а также электроприемники зданий центральных правительственных учреждений и особо важных объектов гражданской обороны, электроснабжение которых допускается решать по местным условиям.

К I категории относят электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей и нарушение функционирования особо важных элементов городского хозяйства. К ним относят:

а) электроприемники лечебно-профилактических учреждений, от бесперебойности работы которых зависит жизнь больного (операционных, родильных отделений, отделений анестезиологии и реанимации, кабинетов лапароскопии и бронхоскопии);

б) электродвигатели и другие электроприемники противопожарных устройств в больницах и диспансерах для взрослых или их отдельных корпусов вместимостью более 400 коек (для детей более 250 коек), в поликлиниках с количеством посещений в смену более 600;

в) котельные I категории, являющиеся единственным источником тепла системы теплоснабжения, обеспечивающие потребителей I категории, не имеющих индивидуальных резервных источников тепла;

г) электродвигатели сетевых и подпиточных насосов котельных II категории с водогрейными котлами единичной производительностью более 10 Гкал/ч;

д) водопроводные насосные станции в городах с числом жителей более 50 тыс. чел., канализационные насосные станции, не имеющие аварийного выпуска или с аварийным выпуском при согласованной продолжительности сброса менее 2 ч. (насосные артезианских скважин, работающих на общую водопроводную сеть, относятся к III категории);

е) электродвигатели и другие электроприемники противопожарных устройств, лифты, эвакуационное и аварийное освещение, огни сетевого ограждения в жилых зданиях и общежитиях высотой 17 этажей и более;

ж) электродвигатели и другие электроприемники противопожарных устройств, лифты, охранная сигнализация общественных зданий и гостиниц высотой 17 этажей и более, гостиниц более чем на 1000 мест и учреждений с количеством работающих более 2000 чел. независимо от этажности, учреждений финансирования, кредитования и государственного страхования союзного и республиканского подчинения; библиотек, книжных палат и архивов на 100 тыс. единиц хранения и более;

з) музеи и выставки;

и) электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации музеев и выставок республиканского, краевого и областного значения;

к) электродвигатели и другие электроприемники противопожарных устройств общеобразовательных школ, профессионально-технических училищ, средних специальных и высших учебных заведений при количестве учащихся более 1000 чел.;

л) электродвигатели пожарных насосов и другие электроприемники противопожарных устройств, эвакуационное и аварийное освещение крытых зрелищных и спортивных предприятий более чем на 800 мест;

м) электродвигатели и другие электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации магазинов с торговой площадью более 2000 м^2 , а также столовых, кафе и ресторанов с числом посадочных мест более 500;

н) тяговые подстанции системы централизованного электроснабжения городского электрического транспорта (тяговые подстанции системы децентрализованного электроснабжения относятся к III категории);

о) центральный диспетчерский пункт городской электрической сети, тепловой сети, сети газоснабжения, водопроводно-канализационного хозяйства и сети наружного освещения;

п) пункты централизованной охраны;

р) центральные тепловые пункты (ЦТП), обслуживающие здания высотой 17 этажей и более;

с) городские ЦП (РП) с суммарной нагрузкой более 10000 кВ·А.

К электроприемникам II категории относят электроприемники, перерыв в электроснабжении которых приводит к нарушению нормальной деятельности значительного количества городских жителей. В их состав входят:

- а)* жилые дома с электроплитами, за исключением одно- – восьмиквартирных домов;
- б)* жилые дома высотой 6 этажей и более с газовыми плитами или плитами на твердом топливе;
- в)* общежития на 50 чел. и более;
- г)* здания учреждений с количеством работающих 50–2000 чел.;
- д)* детские учреждения;
- е)* медицинские учреждения, аптеки;
- ж)* крытые зрелищные и спортивные предприятия с количеством мест в зале 300–800;
- з)* открытые спортивные сооружения с искусственным освещением при наличии 20 рядов и более;
- и)* предприятия общественного питания с количеством посадочных мест 100–500;
- к)* магазины с торговой площадью 250–2000 м²;
- л)* предприятия по обслуживанию городского транспорта;
- м)* бани;
- н)* комбинаты бытового обслуживания, хозяйственные блоки и ателье с количеством рабочих мест более 50, салоны-парикмахерские с количеством рабочих мест 10 и более;
- о)* химчистки и прачечные (производительностью 400 кг белья в смену и более);
- п)* водопроводные насосные станции в городах и поселках с числом жителей 500–50 тыс. чел., канализационные насосные станции, имеющие аварийный выпуск при согласованной продолжительности сброса менее одних суток, а также очистные водопроводные и канализационные сооружения;
- р)* учебные заведения с количеством учащихся 200–1000 чел.;
- с)* музеи и выставки местного значения;
- т)* гостиницы с количеством мест 200–1000;
- у)* библиотеки, книжные палаты и архивы с фондом 100000–1000000 единиц хранения;
- ф)* ЦТП в микрорайонах, кроме указанных выше;
- х)* диспетчерские пункты жилых районов и микрорайонов;
- ц)* осветительные установки городских транспортных и пешеходных туннелей, осветительные установки улиц, дорог и площадей категории А в столицах союзных республик, в городах-героях, портовых и крупнейших городах;

ч) городские ЦП (РП) и ТП с суммарной нагрузкой 400–10000 кВ·А при отсутствии электроприемников I категории.

К электроприемникам III категории относят все остальные электроприемники, не подходящие под определение I и II категорий.

Электроприемники I категории обеспечивают электроэнергией от двух независимых источников питания, и перерыв их электроснабжения может быть допущен только на время автоматического ввода резервного питания. Независимыми источниками питания являются две секции или системы шин одной или двух электростанций и подстанций при соблюдении требований п. 1.2.10 ПУЭ. В качестве второго независимого источника можно также использовать автономные источники питания (аккумуляторные батареи, дизельные электростанции и др.) и резервные связи по сети напряжением 0,4 кВ от ближайших ТП, питающихся по сети 10(6)–20 кВ от другого независимого источника.

Устройство автоматического включения резерва (АВР) предусматривают, как правило, непосредственно на вводе к электроприемникам I категории.

Электроприемники II категории рекомендуют обеспечивать электроэнергией от двух независимых источников питания. Для этих электроприемников допускают перерывы в электроснабжении на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

Допускают питание электроприемников II категории по одной кабельной линии, состоящей не менее чем из двух кабелей, присоединенных к общему аппарату. Питание электроприемников II категории, как правило, предусматривают от однострансформаторных ТП при условии организации централизованного резерва трансформаторов и при обеспечении возможности замены поврежденного трансформатора за время не более одних суток. Для электроприемников II категории допускается резервирование в послеаварийном режиме путем устройства временных связей напряжением 0,4 кВ шланговым проводом.

Электроприемники III категории могут питаться от одного источника питания. Допустимы перерывы в электроснабжении на время, необходимое для подачи временного питания, ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, но не более чем на одни сутки.

При отсутствии в городе (районе), поселке двух независимых источников питания допускается временное (до появления второго источника питания) электроснабжение потребителей I категории и потребителей II категории

от одного источника питания. Временное отсутствие резервирования в элементе системы электроснабжения не освобождает от выполнения требований к резервированию в остальных элементах системы с учетом требований к надежности в зависимости от категорий электроприемников.

1.5. Особенности определения надежности городских электросетей

Для расчета надежности определяют число перерывов питания и их длительность. Перерывы при эксплуатации городской электросети могут произойти внезапно из-за аварийного повреждения отдельных элементов сети, а также в плановом порядке – при капитальном ремонте и текущем обслуживании. Число и длительность перерывов определяются качественными показателями оборудования сети, а также организацией мер по поддержанию работоспособности оборудования, в частности сроками и объемами предупредительных ремонтов, профилактических испытаний и т.п. Время ликвидации возникающих нарушений зависит от организации работ дежурных и ремонтных бригад. В табл. 1.1 приведены статистические данные повреждаемости основного оборудования и длительности перерывов электроснабжения.

Учитывая, что организация эксплуатации является различной для разных городских сетей, расчет надежности следует проводить, ориентируясь на местные особенности сети, что затрудняет разработку обобщенных критериев надежности.

При определении ожидаемого числа повреждений в сети оперируют средними для данной сети значениями отказов ее элементов. Поскольку перерывы питания являются следствием повреждения оборудования и других внезапных отклонений от нормального режима работы сети, то и перерывы возникают случайно со средней частотой. При этом среднее число перерывов электроснабжения приравнивается к их ожидаемому числу.

Надежность питания определяется вероятностью отсутствия перерывов электроснабжения за расчетный срок, например, за год. Этот показатель может служить одним из критериев для оценки надежности.

Следовательно, необходимо иметь статистические данные повреждаемости различных элементов городских сетей, а также длительности перерывов в электроснабжении, что позволит, в свою очередь, установить число недоотпущенной потребителю электроэнергии. Опыт эксплуатации сетей показывает, что время ликвидации аварии определяется схемой

питания, видом поврежденного оборудования и временем его восстановительного ремонта, готовностью персонала к ликвидации нарушения и т. п.

Следует отметить, что надежность электроснабжения потребителей в городских сетях представляется достаточно высокой, что определяется низким уровнем повреждаемости оборудования. Основная доля нарушений питания возникает в кабельных линиях; недоотпуск энергии увеличивается по мере приближения поврежденного элемента сети к источнику питания. Поэтому при построении сетей основное внимание уделяется резервированию кабельных линий 6–10 кВ.

Таблица 1.1

Повреждаемость основного оборудования и длительность перерывов электроснабжения

Элементы городской электросети	Средняя повреждаемость	Длительность перерыва электроснабжения, ч	
		внезапный	плановый
Кабельные линии, км/год			
10 кВ	0,045	10	6
6 кВ	0,033	10	6
1 кВ	0,15	10	6
Воздушные линии, км/год			
6–10 кВ	0,2	2,5	12
1 кВ	0,3	2,5	6
Трансформаторы 6–10 кВ, трансформатор/год			
Воздушных сетей	0,01	10	8
Кабельных сетей	0,001	6	8
В целом (кабельных сетей)			
ТП	0,001	4	8
РП	0,015	6	12
Резервируемая сеть (ручное включение) до 10 кВ	–	1,5	–

Повреждение оборудования и трансформаторов в городских сетях – явление редкое. В частности, отключение распределительной линии 6–10 кВ из-за повреждения ТП можно ожидать 1 раз в 100 лет и более. В кабельных сетях достаточно часто возникают однофазные повреждения линий, ликвидация которых в резервированных сетях с компенсацией емкостных токов производится без отключения потребителей.

1.6. Автоматизация сетей 10–20 кВ

Автоматические устройства в городских электрических сетях должны удовлетворять требованиям надежности действия, обеспечиваемым применением наиболее простых схем, наименьшего количества аппаратов, цепей, контактов и движущихся частей, а также применением наиболее надежных по принципу действия приборов. Выбор автоматических устройств должен учитывать условия технико-экономической эффективности их использования.

Автоматические устройства с учетом привода выключателя, на который они воздействуют, выполняют таким образом, чтобы исключалась возможность более чем однократного включения на короткое замыкание как при нормальной работе схемы автоматики, так и при отказе любого контакта в схеме устройства. При этом считают, что отказ вспомогательного контакта привода выключателя сопровождается отказом всех контактов, закрепленных с ним на одном валу.

Автоматизация электроснабжения электроприемников I категории решается только применением устройств автоматического включения резерва (АВР), причем устройства АВР предусматриваются непосредственно на вводе к электроприемнику.

Автоматизация электроснабжения электроприемников II категории решается в зависимости от технико-экономической эффективности этих мероприятий. Принципы автоматизации при этом могут быть различными: устройства АВР, применение замкнутых сетей 0,4 кВ и др.

Питающие сети 10(6)–20 кВ выполняют с автоматическим резервированием в РП. При этом допускается однократное автоматическое включение на поврежденные сборные шины РП или ТП.

Расстановку устройств АВР в городских электрических сетях согласуют с размещением устройств автоматической частотной разгрузки (АЧР) так, чтобы действием АВР не ликвидировалось снижение общей нагрузки сети, которое может иметь место при действии АЧР.

Устройства АВР запускаются в работу при исчезновении напряжения на резервируемом элементе, вызванном любой причиной, включая короткое замыкание на нем. Возврат к нормальной схеме может быть автоматическим и неавтоматическим. Устройства АВР обеспечивают однократность действия, при этом резервный источник включают только после отключения выключателя рабочего элемента со стороны шин потребителя. Для ускорения отключения резервного элемента при включении его на неустранившееся короткое замыкание предусматривают ускорение защиты резервного элемента после срабатывания устройства АВР.

Пусковой орган минимального напряжения, контролирующий наличие напряжения на рабочем элементе, выполняют таким образом, чтобы исключалась его ложная работа при перегорании одного предохранителя в цепи трансформатора напряжения.

Контроль напряжения на резервном элементе в устройствах АВР одностороннего действия выполняется на одном реле напряжения. Устройства АВР двухстороннего действия не работают, если схемой автоматики одновременно фиксируется исчезновение напряжения хотя бы на одной фазе обоих контролируемых элементов.

В устройствах АВР обеспечивается контроль состояния выключателей, на которые они воздействуют, и их приводов.

Действие устройства АВР имеет смысл при наличии напряжения на резервном источнике питания, в связи с чем в пусковой орган АВР включают максимальное реле напряжения, контролирующее наличие напряжения на резервном источнике питания.

Устройство АВР должно иметь минимально возможное время срабатывания при аварийном отключении выключателя рабочего питания. В этом случае резервный источник питания должен включаться немедленно, а продолжительность перерыва питания будет определяться в основном собственным временем включения резервного выключателя (0,4–0,8 с).

Автоматические выключатели, коммутирующие линии, отходящие от ЦП и РП, оборудуются устройствами автоматического повторного включения (АПВ). Кратность действия и длительность бестоковых пауз АПВ определяют в каждом конкретном случае, исходя из состояния линий, подстанций и пр. Автоматические выключатели воздушных и смешанных (кабельно-воздушных) линий оборудуют устройствами двукратного АПВ, а кабельных – однократного АПВ.

Время бестоковой паузы первого цикла АПВ, если его выбор не связан со специальными требованиями, должно быть не менее 1–2 с. Время бестоковой паузы второго цикла АПВ должно быть не менее 10–15 с. с учетом времени возведения привода.

В табл. 1.2 и на рис. 1.6 приведены варианты автоматизации городских электрических сетей напряжением 10(6)–20 кВ.

Варианты автоматизации городских электрических сетей 10(6)–20 кВ

Краткое описание схемы	Вариант автоматизации	Рис. 1.6
Питающие сети		
Две отдельные линии от разных секций шин одного или разных ЦП. Сборные шины РП с секционным выключателем (СВ)	АВР на секционном выключателе с автоматической разгрузкой по току или без разгрузки	а
Две отдельные линии от разных секций шин одного или разных ЦП. Одна линия основная, вторая – резервная. Сборные шины РП без секционного выключателя	АВР на выключателе резервной линии	б
Две параллельно работающие линии от секций шин ЦП	Максимальная направленная токовая защита	в
Три отходящие линии, из которых две работают параллельно. Сборные шины РП с секционным выключателем	АВР на секционном выключателе. Максимальная направленная токовая защита двух параллельных линий	г
Распределительные сети		
Радиальная нерезервируемая линия	АПВ на головном участке сети	д
Петлевая разомкнутая сеть с перемычками, потребители I категории	1) АВР на секционном выключателе двухтрансформаторной ТП2 2) АВР на выключателе резервного ввода на однострансформаторной ТП	е
Многолучевая, двухлучевая; ТП двухтрансформаторная	АВР на секционном выключателе двухтрансформаторной подстанции	ж
Радиальная нерезервируемая с делительной ТП	Автоматическое секционирование в ТП на выключателях нагрузки (В2, В3, В4), АПВ на головном выключателе линии В1	з

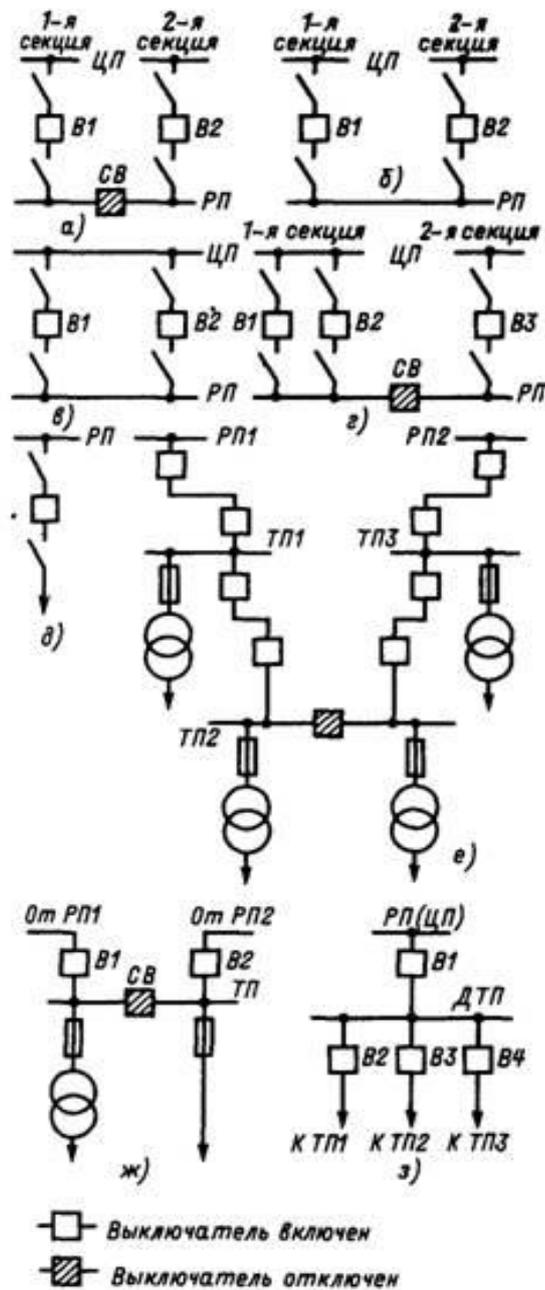


Рис. 1.6. Варианты сетей 10(6)–20 кВ: ДТП – делительная ТП;
 В1, В2 – линейные выключатели

В эксплуатируемых городских электрических сетях наибольшее распространение получили следующие решения: структура сети – двухзвенная; питание РП осуществляется по двум отдельным линиям с секционным выключателем (ВМ) (по проектным данным – 67,2 %, по данным опроса – 70 %) или по одной основной линии и одной резервной (соответственно 4,4 и 19,4 %); распределительные сети 10(6)–20 кВ выполняются по радиальной, нерезервируемой схеме (по данным опроса – 45,8 %) или по петлевой, разомкнутой с перемычками (46,0 %).

В автоматизированных распределительных сетях предусматриваются телемеханические устройства для диспетчерского контроля основного коммутационного оборудования ЦП и РП, от которых осуществляется питание таких сетей. Объем телемеханизации распределительных сетей определяют совместно с объемом их автоматизации. Телемеханизация ЦП и РП включает: телесигнализацию положения основного коммутационного оборудования; телеизмерение нагрузок и напряжения; аварийно-предупредительную сигнализацию в минимальном объеме, но не менее двух общих сигналов – авария, неисправность; телеуправление (одна общая команда) для гражданской обороны. При применении автоматизированных систем диспетчерского управления в городских электрических сетях при соответствующих обоснованиях допускается телеуправление выключателями отходящих линий.

1.7. Автоматизация сетей 0,4 кВ

Основным элементом автоматизации распределительных сетей напряжением до 1 кВ, как правило, являются устройства АВР, обеспечивающие требуемую надежность электроснабжения электроприемников I категории. Повышение надежности электроснабжения электроприемников в районах с малоэтажной застройкой (не выше 5 этажей) с однострансформаторными подстанциями может быть достигнуто за счет применения замкнутых сетей напряжением до 1 кВ. Для успешного внедрения замкнутых сетей необходимо питать сеть от одной секции шин 10(6)–20 кВ ЦП; иметь две–три линии напряжением 10(6)–20 кВ и разветвленную кабельную сеть напряжением до 1 кВ.

В устройствах АВР предусматривают электрическую или механическую блокировку от одновременного включения обоих вводов. При работе на резервном питании должна быть исключена возможность многократной коммутации токов короткого замыкания аппаратом резервного ввода при отсутствии основного питания.

В табл. 1.3 и на рис. 1.7 приведены рекомендуемые варианты автоматизации сетей 0,4 кВ.

Варианты автоматизации городских электрических сетей 0,4 кВ

Схемы	Варианты автоматизации	Рис. 1.7
Замкнутые	Автоматические выключатели обратной мощности	а
Многолучевая; двухлучевая на стороне высокого напряжения; преимущественно двухлучевая на стороне низкого напряжения	АВР на стороне 0,4 кВ с использованием автоматических выключателей (СА – секционный автоматический выключатель)	б
То же	АВР на стороне 0,4 кВ с использованием контакторов (К1, К2)	в
Независимо от схемы высокого напряжения при питании потребителей I категории	а) АВР на стороне 0,4 кВ с резервной линии непосредственно в ТП; б) АВР на стороне 0,4 кВ с резервной линии к вводу потребителя	–

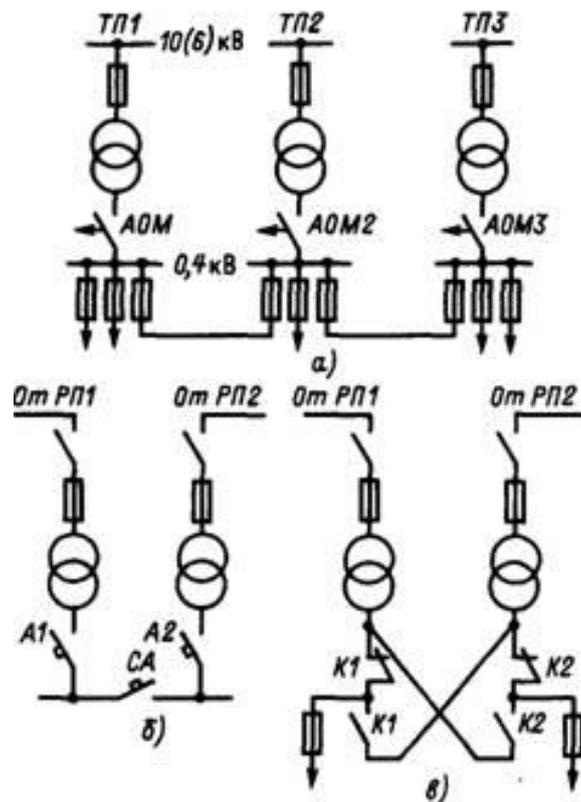


Рис. 1.7. Варианты сетей 0,4 кВ: А1, А2 – автоматические выключатели; СА – секционный автоматический выключатель; К1, К2 – контакторы

1.8. Релейная защита в городских электрических сетях

Элементы городской электрической сети оборудуются устройствами релейной защиты в объеме, регламентируемом ПУЭ. Устройства защиты обеспечивают автоматическое отключение защищаемого элемента при повреждениях, представляющих непосредственную опасность для этого элемента, или при возникновении ситуаций, угрожающих жизни людей. Устройства защиты могут сигнализировать о нарушении нормального режима работы защищаемого элемента, а также о возникновении повреждения, не представляющего непосредственной опасности для этого элемента.

Основным видом защиты сетей напряжением 10(6)–20 кВ от многофазных замыканий является максимальная токовая защита с выдержкой времени. Время действия защиты предельно сокращают при соблюдении условий ее селективности. Используют преимущественно максимальные токовые защиты без выдержки времени – токовые отсечки (время действия 0,2–0,3 с). Для исправления неселективной работы отсечки на выключателях линий предусматривают АПВ однократного действия. Отсечка отстраивается от токов короткого замыкания на шинах 0,4 кВ в ТП. Защита от многофазных замыканий, как правило, предусматривается в двухфазном исполнении.

На секционных выключателях РП 10(6)–20 кВ устанавливается максимальная токовая защита с ускорением действия после работы АВР. При необходимости сокращения выдержек времени в сети на секционном выключателе допускается устанавливать защиту, вводимую на время действия АВР. Для линий с автоматическим сетевым резервированием предусматривается защита минимального напряжения с выдержкой времени, отключающая линию от источника основного питания при его обесточении. Устройства защиты минимального напряжения, рассчитанные для работы в сетях с АВР, вводят в действие при исчезновении хотя бы одной фазы контролируемого питания.

Для параллельных линий с односторонним питанием в качестве основной защиты, как правило, применяется максимальная токовая направленная защита. При использовании максимальных токовых направленных защит смежные комплекты защиты обеспечивают взаимное резервирование действия при коротком замыкании в «мертвой зоне» реле направления мощности.

Уставки срабатывания устройств защиты выбирают из условий отстройки от наибольших токов нагрузки с учетом возможных перегрузок, согласования с уставками срабатывания смежных комплектов защиты

и проверяют по условиям селективности действия с предохранителями трансформаторов 10(6)20/0,4 кВ.

Согласование времени действия последовательно расположенных устройств защиты начинают с устройства, наиболее удаленного от пункта питания. При этом принимают следующие ступени селективности для максимальных токовых защит: 0,5 с – с независимым временем действия; 0,6 с – с ограниченно зависимой выдержкой времени на реле косвенного действия; 0,7 с – то же, но на реле прямого действия. Согласование по времени смежных устройств защиты с зависимыми выдержками времени производится графически на карте селективности совместным построением и сравнением характеристик согласуемых защит.

В целях ускорения обнаружения мест многофазных замыканий в сетях 10(6)–20 кВ целесообразно оборудовать ТП указателями протекания токов короткого замыкания. Сработавшие указатели после устранения повреждения возвращаются в исходное положение вручную или автоматически при восстановлении питания.

На ЦП и РП для линий 10(6)–20 кВ предусматривают устройства индивидуальной или групповой защиты от однофазных замыканий на землю с действием на сигнал.

Для защиты трансформаторов с ТП со стороны 10(6)–20 кВ применяют предохранители с проверкой обеспечения селективности их работы с вышестоящими и нижестоящими защитами.

Для защиты элементов сетей напряжением до 1 кВ, как правило, используют закрытые плавкие предохранители. Когда защита линий и трансформаторов ТП находится в ведении одной организации, защиту трансформаторов со стороны низшего напряжения допускается не предусматривать.

При параллельной работе трансформаторов через сеть напряжением 0,4 кВ в точках токораздела петлевых линий устанавливают предохранители с номинальным током на одну–две ступени меньше (в зависимости от тока короткого замыкания), чем номинальный ток головных предохранителей петлевых линий в ТП.

Для двухлучевых (многолучевых) сетей с АВР на напряжении 0,4 или 10(6)–20 кВ параллельная работа трансформаторов через сеть 0,4 кВ не допускается.

Защита замкнутых сетей 0,4 кВ осуществляется с помощью автоматических выключателей обратной мощности, устанавливаемых на стороне низшего напряжения трансформаторов. Для замкнутых сетей 0,4 кВ с АВР на стороне напряжения 10(6)–20 кВ устройство АВР дополняют элементом, реагирующим на изменение направления потока мощности.

1.9. Принципы построения схем электрических сетей зданий

1.9.1. Общие указания по проектированию инженерных сетей и зданий

Распределение электрической энергии осуществляется по сетям, имеющим различные схемы. Построение схем зависит от ряда факторов, основными из которых являются: напряжение сети; уровни электрических нагрузок; требования к надежности электроснабжения; экономичность; простота и удобство обслуживания; конструктивные и планировочные особенности здания.

Необходимость рационального построения схемы распределения энергии (помимо вышеуказанного) определяется еще высоким удельным весом капитальных вложений на строительство внутренних сетей.

Напряжение электрической сети принимается 380/220 В при глухом заземлении нейтрали трансформаторов на питающей подстанции.

Требования к надежности электроснабжения регламентированы ПУЭ и санитарными нормами и правилами (СНиП).

Степень обеспечения надежности электроснабжения электроприемников жилых и общественных зданий отражена в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Степень обеспечения надежности электроснабжения электроприемников жилых и общественных зданий

Здания и сооружения	Степень обеспечения надежности электро-снабжения
1	2
Жилые дома:	
– противопожарные устройства, лифты, аварийное освещение, огни светового ограждения;	I
комплекс остальных электроприемников:	
– жилые дома с электроплитами (кроме 1–8-ми квартирных домов);	II
– дома 1–8-ми квартирные с электроплитами;	III
– дома свыше 5 этажей с плитами на газовом и твердом топливе;	II
– дома до 5 этажей с плитами на газовом и твердом топливе;	
– на участках садоводческих товариществ	III
	III

1	2
<p>Общежития общей вместимости, чел.:</p> <ul style="list-style-type: none"> – до 50 – свыше 50 	<p>III II</p>
<p>Здания лечебно-профилактических учреждений:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электроприемники операционных и родильных блоков, отделений анестезиологии, реанимации и интенсивной терапии, кабинетов лапароскопии, бронхоскопии и терапии, кабинетов лапароскопии, бронхоскопии и ангиографии, противопожарных устройств, охранной сигнализации, эвакуационного освещения и больничных лифтов; – комплекс остальных электроприемников <p>Отдельно стоящие и встроенные центральные тепловые пункты (ЦТП), индивидуальные тепловые пункты (ИТП) многоквартирных жилых домов.</p> <p>Здания учреждений управления, проектных и конструкторских организаций, научно-исследовательских институтов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов; – здания с количеством работающих свыше 2000 чел. независимо от этажности, здания высотой более 16 этажей, а также здания учреждений областного, городского и районного значения с количеством работающих свыше 50 чел.; – здания с количеством работающих свыше 50 чел., а также здания областного, городского и районного значения до 50 чел.; – здания с количеством работающих до 50 чел. 	<p>I II I I I II III</p>
<p>Учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования федерального и республиканского подчинения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации, лифтов; – комплекс электроприемников учреждений краевого, областного, городского и районного подчинения 	<p>I II</p>
<p>Библиотеки и архивы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации зданий с фондом свыше 1000 тыс. единиц хранения; – комплекс электроприемников зданий с фондом, тыс. единиц хранения: <p>свыше 100 до 1000; до 100.</p> <p>Учреждения образования, воспитания и подготовки кадров:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов; комплекс остальных электроприемников. 	<p>I II III I II</p>

Предприятия торговли: – электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации, лифтов универсамов, торговых центров и магазинов; комплекс остальных электроприемников	I II
Предприятия общественного питания: – электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов; комплекс остальных электроприемников	I II
Предприятия бытового обслуживания: – комплекс электроприемников салонов-парикмахерских с количеством рабочих мест свыше 15, ателье и комбинатов бытового обслуживания с количеством рабочих мест свыше 50, прачечных и химчисток производительностью свыше 500 кг белья в смену, бань с числом мест свыше 100; – комплекс электроприемников парикмахерских с количеством рабочих мест до 15, ателье и комбинатов бытового обслуживания с количеством рабочих мест до 50, прачечных и химчисток производительностью до 500 кг белья в смену, мастерских по ремонту обуви, металлоизделий, часов, фотоателье, бань и саун с числом мест до 100	II III
Гостиницы, дома отдыха, пансионаты и турбазы: – электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов; комплекс остальных электроприемников	I II
Музеи и выставки: – комплекс электроприемников музеев и выставок федерального значения; – музеи и выставки республиканского, краевого и областного значения; – электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации; комплекс остальных электроприемников; – комплекс электроприемников музеев и выставок местного значения и краеведческих музеев	I I I II III

Задача построения электрической сети, как правило, многовариантна. Поэтому важным критерием выбора той или иной схемы является ее экономичность как по затратам денежных средств на сооружение и эксплуатацию, так и по расходу цветного металла.

Помимо экономичности должно уделяться достаточное внимание удобствам эксплуатации, наглядности схемы и ее простоте. Иногда эти требования превалируют над требованиями экономичности. Отсюда вытекает необходимость удобного расположения вводно-распределительного устройства (ВРУ) здания, обеспечивающего наиболее простой ввод питающих линий и прокладку распределительной сети, а также безопасность обслуживания. Схема сети должна строиться таким образом, чтобы поврежденный участок сети легко обнаруживался и заменялся и чтобы при этом отключалось по возможности небольшое количество потребителей.

Конструктивные особенности здания оказывают известное влияние на построение схемы. В тех случаях, когда в жилое здание встраиваются различные предприятия и учреждения, схема сети усложняется в связи с необходимостью комплексного питания потребителей собственно здания и встроенных помещений. При этом схема должна отвечать требованиям надежности электроснабжения всех потребителей. При построении схемы внутренних сетей очень важно учитывать решения строительных конструкций зданий для экономичного осуществления электромонтажных работ.

Таким образом, рационально построенная схема электрической сети является синтезом комплекса факторов, определяющих ее параметры. Оценка и выбор схемы могут производиться только по совокупности всех показателей применительно к конкретным условиям сооружаемой электроустановки.

1.9.2. Схемы наружных (внутриквартальных) питающих линий

Схемы внутриквартальных наружных сетей до 1000 В имеют важное значение для правильного построения схем внутренних сетей жилых зданий, поскольку выбор схемы в значительной степени зависит от взаимосвязи между всеми элементами сети, включая местоположение трансформаторной подстанции, длину и сечение наружных питающих линий.

Ниже приводятся характерные схемы электроснабжения жилых зданий различной этажности, которые обеспечивают необходимую надежность питания и, как показывают расчеты, являются экономически целесообразными.

Для питания жилых домов высотой до 5 этажей включительно применяются магистральные петлевые схемы с резервной перемычкой или без нее. Такая простейшая схема кабельной сети показана на рис. 1.8. Резервная перемычка (8) подключается при выходе из строя любой из питающих линий (9 или 10), которые должны рассчитываться на прохождение по ним тока аварийного режима и по допустимым потерям напряжения.

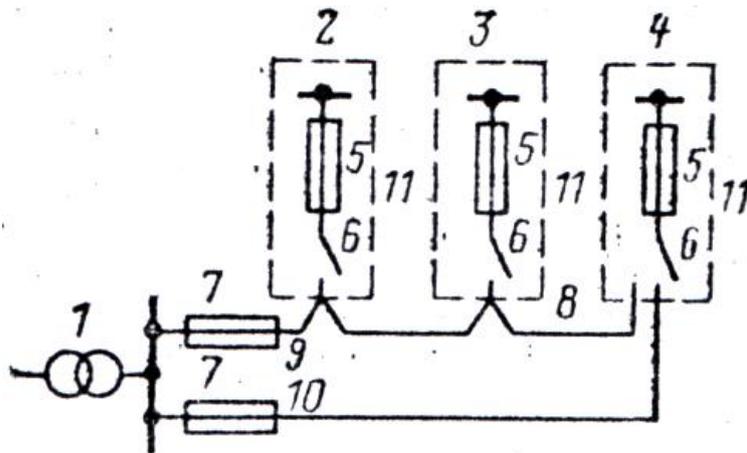


Рис. 1.8. Схема питания жилых домов высотой до 5 этажей с резервной перемычкой:
 1 – трансформаторная подстанция; 2, 3, 4 – жилые дома; 5, 7 – предохранители;
 6 – рубильники; 8 – резервная перемычка; 9, 10 – питающие линии; 11 – ВРУ

Если учесть, что указанные жилые дома относятся к III категории надежности, то устройство резервной перемычки не является обязательным. Однако в крупных городах со сложными условиями развития даже при хорошей постановке ремонтной службы устранение аварии в течение суток бывает затруднительным. Поэтому прокладку резервной перемычки длиной обычно не более 70–90 м в этих условиях следует считать целесообразной.

Приведенная схема (рис. 1.8) имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что при отключении одной из питающих линий, например 9, электроснабжение всех зданий осуществляется по кольцу, в результате чего даже при повышенных допустимых потерях напряжения иногда приходится увеличивать сечения кабелей. Другим недостатком является то, что резервная перемычка в нормальном режиме не используется.

На рис. 1.9 приведена модификация описанной схемы, при которой на вводах в здание вместо рубильников устанавливаются переключатели. При аварии с одной из питающих линий данная схема в ряде случаев оказывается более экономичной. Недостатком схемы является некоторое усложнение вводного устройства и удлинение питающих линий. Кроме того, в каждый дом (кроме тупикового) приходится заводить уже не два, а четыре кабеля. Однако схема удобна при застройке в линию и менее экономична при других планировочных решениях.

В небольших городах и поселках, где широко применяются воздушные линии, резервирования не требуется, так как неисправность может быть обнаружена и устранена достаточно быстро.

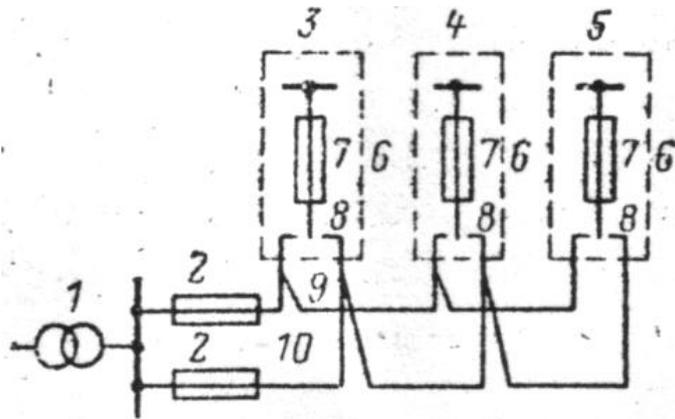


Рис. 1.9. Схема питания жилых домов высотой до 5 этажей с переключкой на вводах:
 1 – трансформаторная подстанция; 2, 7 – предохранители; 3, 4, 5 – жилые дома;
 6 – ВРУ; 8 – переключатели; 9, 10 – питающие линии

Для питания электроприемников жилых домов высотой 9–16 этажей применяются как радиальная, так и магистральная схемы с переключателями на вводах (рис. 1.10).

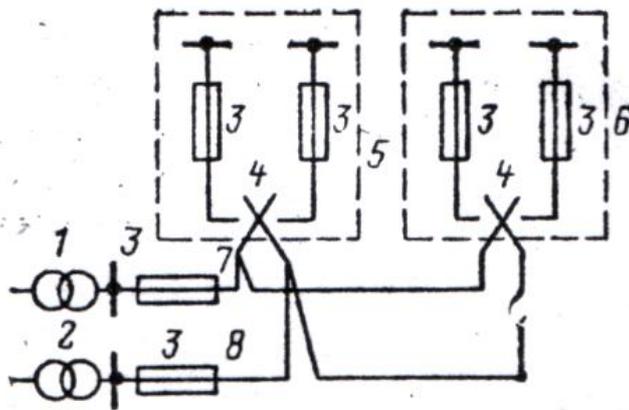


Рис. 1.10. Схема питания жилых домов высотой 9–16 этажей с двумя переключателями на вводах: 1, 2 – трансформаторы; 3 – предохранители; 4 – переключатели; 5, 6 – ВРУ; 7, 8 – питающие линии

При этом одна из питающих линий используется для присоединения электроприемников квартир и общего освещения общедомовых помещений (подвал, лестничные клетки, вестибюли, холлы, чердаки, наружное освещение и т.д.); другая питающая линия предназначена для подключения лифтов, противопожарных устройств эвакуационного и аварийного освещения, элементов диспетчеризации и кодовых замков на дверях подъездов.

При выходе из строя одной из питающих линий все электроприемники дома подключаются к линии, оставшейся в работе, которая рассчитана с учетом допустимых перегрузок при аварийном режиме.

Для питания зданий высотой 9–16 этажей с электроплитами, а также многосекционных домов с большим числом квартир с газовыми плитами приходится применять три или более питающих линий (вводов).

На рис. 1.11 приведены схемы питания жилых домов с тремя вводами. Первый ввод резервирует второй, второй резервирует третий и третий резервирует первый (рис. 1.11, *а*); модификация этой схемы приведена на рис. 1.11, *б*, где первый и второй вводы взаимно резервируют друг друга, а третий ввод резервируется от первого. Такая схема удобна при ремонте одной из сборок низкого напряжения на подстанции. Однако в этом случае на один кабель приходится вся нагрузка дома, и в этом исключительном случае часть электроприемников на период ремонта отключается.

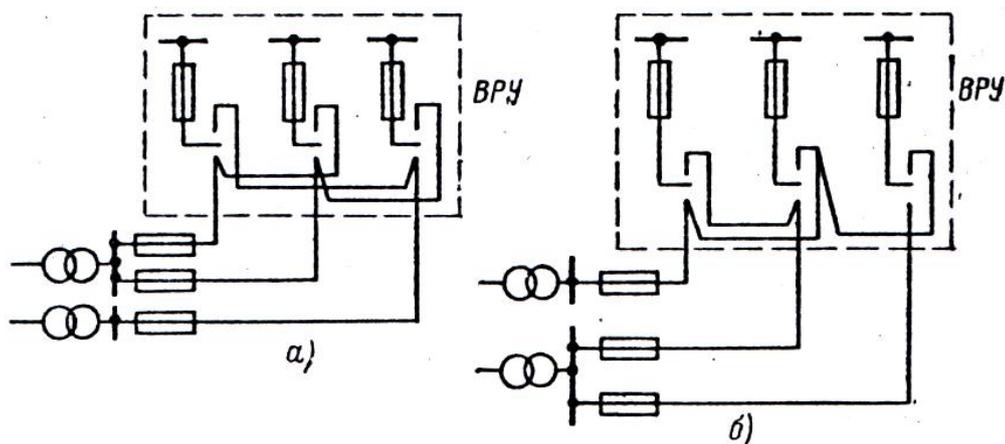


Рис. 1.11. Схема питания здания высотой 9–16 этажей с тремя вводами: *а* – первый ввод резервирует второй, второй резервирует третий и третий резервирует первый; *б* – первый и второй вводы взаимно резервируют друг друга, а третий ввод резервируется от первого

При построении схемы питания жилых домов 17–25 этажей и более необходимо учитывать, что лифты, эвакуационное и аварийное освещение, огни светового ограждения, противопожарные установки являются электроприемниками I категории по надежности электроснабжения. Для таких зданий применяются радиальные схемы с АВР на вводах, к силовым вводам присоединяются и противопожарные устройства, огни светового ограждения, эвакуационное и аварийное освещение. Соответствующая схема приведена на рис. 1.12.

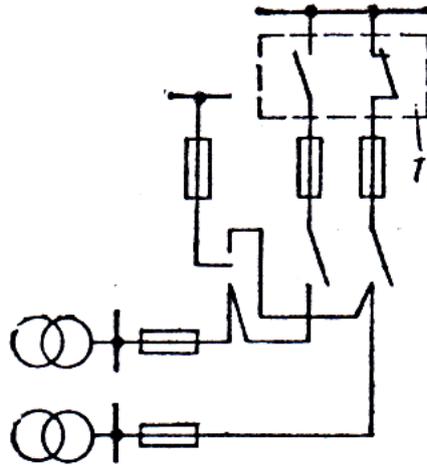


Рис. 1.12. Схема электроснабжения жилого дома высотой 17 этажей и выше

1.9.3. Размещение трансформаторных подстанций

В общественных зданиях разрешается размещать встроенные и пристроенные трансформаторные подстанции (ТП), в том числе комплектные трансформаторные подстанции (КТП), при условии соблюдения требований, соответствующих санитарным и противопожарным нормам.

В жилых зданиях размещение встроенных и пристроенных подстанций разрешается только с использованием сухих или заполненных негорючим экологически безопасным жидким диэлектриком трансформаторов и при условии соблюдения требований санитарных норм по уровням звукового давления, вибрации, воздействию электрических и магнитных полей вне помещений подстанции. В спальнях корпусов различных учреждений, в школьных и других учебных заведениях сооружение встроенных и пристроенных подстанций не допускается.

Главные распределительные щиты (ГРЩ) при применении встроенных ТП должны размещаться, как правило, в смежном с трансформаторами помещении. Для встроенных ТП, КТП и закрытых распределительных устройств (ЗРУ) напряжением до 10 кВ необходимо предусматривать следующее:

- не размещать их под помещениями с мокрыми технологическими процессами, под душевыми, ванными и уборными;

- выполнять надежную гидроизоляцию над помещениями ТП, КТП и ЗРУ, исключающую возможность проникания влаги в случае аварии систем отопления, водоснабжения и канализации;

– полы камер трансформаторов и ЗРУ напряжением до и выше 1000 В со стороны входов должны быть выше полов примыкающих помещений не менее чем на 10 см. Если вход в ТП предусмотрен снаружи здания, отметка пола помещения ТП должна быть выше отметки земли не менее чем на 30 см. При расстоянии от пола подстанции до пола примыкающих помещений или земли более 40 см для входа следует предусматривать ступени;

– устраивать дороги для подъезда автотранспорта к месту расположения подстанции.

Компоновка и размещение ТП должны предусматривать возможность круглосуточного беспрепятственного доступа в нее персонала эксплуатирующей организации.

На встроенных ТП и КТП следует устанавливать не более двух масляных или заполненных негорючим экологически безопасным жидким диэлектриком трансформаторов мощностью до 1000 кВ·А каждый. Число сухих трансформаторов не ограничивается, а мощность каждого из них свыше 1000 кВ·А не рекомендуется.

Подстанции с масляными трансформаторами, как правило, должны размещаться на первом этаже или в цокольной части здания (выше уровня планировочной отметки земли). Двери камер трансформаторов должны располагаться на одном из фасадов здания.

Подстанции с сухими трансформаторами допускается размещать в подвалах при условии:

– исключения возможности их затопления грунтовыми и паводковыми водами, а также при авариях систем водоснабжения, отопления и канализации;

– обеспечения подъема трансформаторов на поверхность земли с помощью передвижных или стационарных механизмов и устройств;

– что расстояние между наружными стенами и стенами подстанции должно быть, как правило, не менее 800 мм. Допускается уменьшение этого расстояния до 200 мм, если обеспечивается требуемая вентиляция пространства между стенами.

При наличии технико-экономических обоснований допускается установка подстанций на верхних этажах здания, если обеспечивается возможность транспортировки трансформаторов. В этом случае отделение помещения подстанции от наружных стен не требуется.

В ТП, как правило, следует устанавливать силовые трансформаторы с глухозаземленной нейтралью со схемами соединения обмоток «звезда – зигзаг» при мощности до 250 кВ·А и «треугольник – звезда» при мощности 400 кВ·А и более.

Для включения и отключения намагничивающего тока силовых трансформаторов допускается использовать трехполюсные разъединители.

Место установки устройства АВР (централизованно на вводах в здание или децентрализованно у электроприемников I категории по надежности электроснабжения) выбирается в проекте в зависимости от их взаимного расположения, условий эксплуатации и способов прокладки питающих линий до удаленных электроприемников.

1.9.4. Схемы вводно-распределительных устройств

В современных жилых зданиях ввода внешних сетей и коммутационно-защитная аппаратура внутренних распределительных сетей объединяются в единое комплексное ВРУ, которое является и главным распределительным щитом. Схемы вводов зависят от принятых схем наружных сетей.

ВРУ и ГРЩ, как правило, должны размещаться в специально выделенных запирающихся помещениях (электрощитовых). Разрешается размещать электрощитовые в сухих подвалах при условии, что эти помещения отделены противопожарными перегородками с пределом огнестойкости не менее 0,75 ч. В районах, подверженных затоплению, ВРУ и ГРЩ должны устанавливаться выше возможного уровня затопления.

ВРУ и ГРЩ разрешается размещать не в специальных помещениях при соблюдении следующих требований:

- степень защиты ВРУ должна быть не ниже IP31;
- устройства и щиты должны быть расположены в удобных и доступных для обслуживания местах (в отапливаемых тамбурах, вестибюлях, коридорах и т.п.).

Электрощитовые, а также ВРУ и ГРЩ не допускается располагать непосредственно под уборными, ванными комнатами, душевыми, кухнями пищеблоков, моечными и другими помещениями, связанными с мокрыми технологическими процессами, за исключением случаев, когда приняты специальные меры по надежной гидроизоляции, предотвращающие попадание влаги в помещения, где установлены распределительные устройства. Следует исключать возможность проникания шумов от оборудования электрощитовых, расположенных рядом с помещениями, в которых уровень шума ограничивается санитарными нормами.

Прокладка через электрощитовые трубопроводов систем водоснабжения, отопления (за исключением трубопроводов отопления щитовой), а также вентиляционных и других коробов разрешается как исключение, если они не имеют в пределах щитовых помещений ответвлений, а также

люков, задвижек, фланцев, ревизий, вентиляей. При этом трубопроводы холодной воды должны иметь защиту от конденсации влаги, а горячей воды – тепловую изоляцию. Прокладка через электрощитовые газопроводов и трубопроводов с горючими жидкостями, канализации и внутренних водостоков не допускается.

Распределительные пункты и групповые щитки следует, как правило, устанавливать в нишах стен в запирающихся шкафах. При наличии специальных шахт для прокладки питающих сетей распределительные пункты и групповые щитки следует устанавливать в этих шахта с устройством запирающихся входов в них для доступа к щиткам и пунктам только обслуживающего персонала. Открыто установленные щитки и пункты должны размещаться на высоте не менее 2,2 м от пола, при этом не допускается уменьшение проходов, заданных нормами противопожарной безопасности.

Установка распределительных пунктов, щитов, щитков непосредственно в производственных помещениях пищеблоков, торговых и обеденных залах допускается как исключение при невозможности принять иное решение. При установке в торговых и обеденных залах они должны размещаться в нишах строительных конструкций с запирающимися дверцами и иметь надлежащее архитектурное оформление.

В учебных кабинетах и лабораториях школ и средних специальных учебных заведений распределительные щитки для питания учебных приборов следует устанавливать вблизи стола преподавателя.

1.9.5. Схемы питающих линий внутри зданий

Схема распределения электрической энергии внутри жилых зданий зависит от надежности электроснабжения, числа этажей, секций, планировочного решения здания, наличия подвального этажа и встроенных предприятий и учреждений (магазины, ателье, сберкассы, мастерские, парикмахерские и т.п.). Эти схемы имеют общий принцип построения. Принципиальная схема 9-этажного 4-секционного жилого дома приведена на рис. 1.13.

В каждом многоэтажном здании устанавливается водно-распределительное устройство для присоединения внутренних электрических сетей здания к внешним питающим линиям, а также для распределения электрической энергии внутри здания и защиты отходящих линий от перегрузок и коротких замыканий.

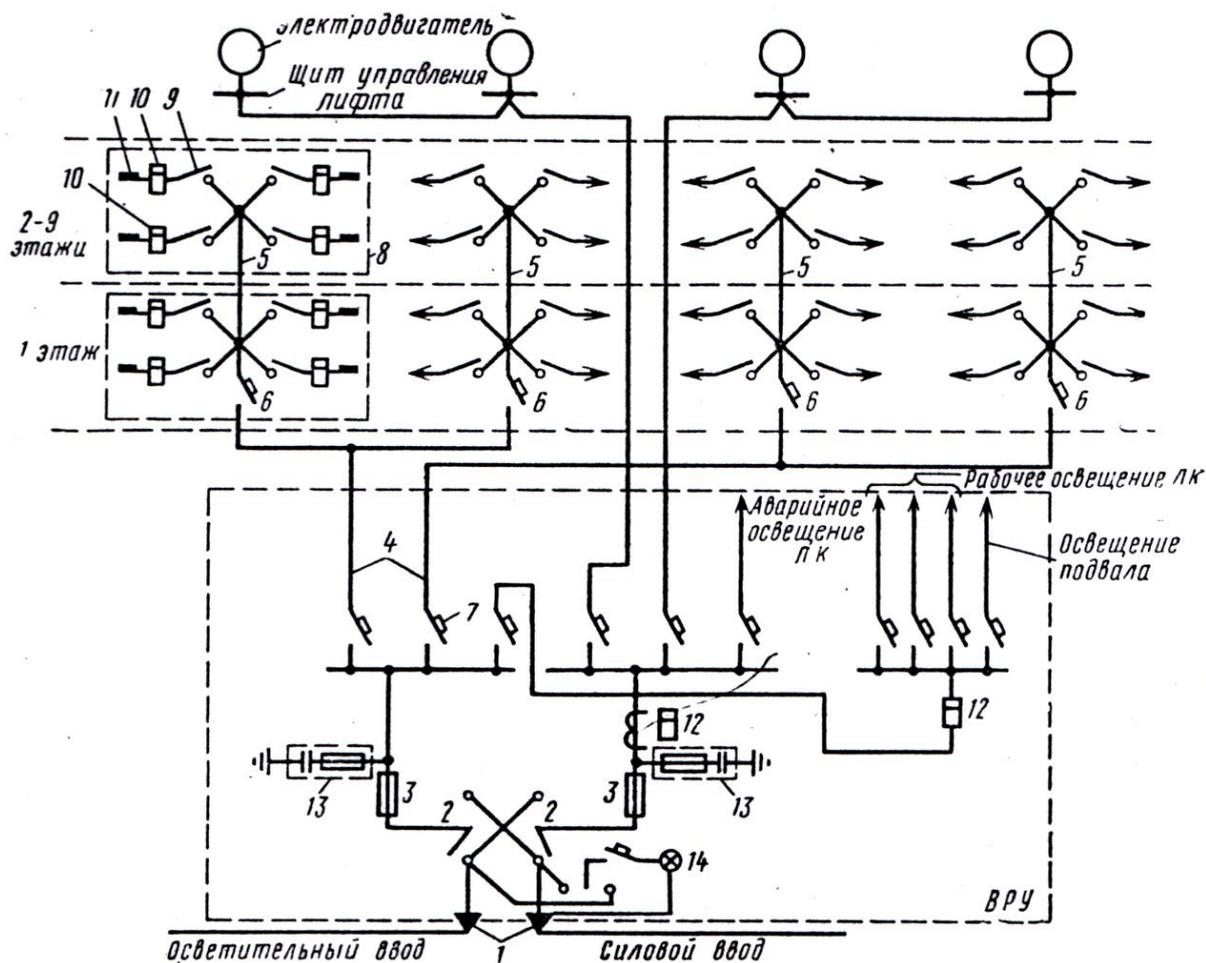


Рис. 1.13. Принципиальная схема 9-этажного 4-секционного жилого дома:
 1 – взаиморезервируемые кабели; 2 – переключатель; 3 – плавкий предохранитель;
 4 – питающие горизонтальные линии; 5 – вертикальные линии (стояки); 6 – защитный
 аппарат; 7 – плавкий предохранитель; 8 – электрический шкаф; 9 – двухполюсный
 выключатель; 10 – электрический счетчик; 11 – автоматический выключатель или плавкий
 предохранитель; 12 – трехфазные счетчики; 13 – ограничитель перенапряжений;
 14 – лампа накаливания

Питание электроприемников здания осуществляется двумя взаиморезервируемыми кабелями (1), рассчитанными на питание (в аварийном режиме) всех его нагрузок. При выходе из строя одного из питающих кабелей все электроприемники с помощью переключателя (2), установленного на панели ВРУ, подключаются к кабелю, оставшемуся в работе. Для защиты внешних сетей на вводах установлены плавкие предохранители (3).

К питающим горизонтальным линиям (4), отходящим от ВРУ, подключаются вертикальные линии (стояки) (5). К каждой питающей горизонтальной линии может присоединяться любое количество стояков, питающих квартиры. Но следует учитывать, что при коротком замыкании

на одном из стояков срабатывает защита на ВРУ и питающая линия отключится, при этом большое количество квартир останется без питания. Поэтому для повышения надежности питания квартир, а также для удобства выполнения ремонтных работ следует на каждом ответвлении к стояку устанавливать отключающий и защитный аппарат (6). Отходящие линии от ВРУ защищаются автоматическими выключателями или плавкими предохранителями (7).

К стоякам подключаются квартирные аппараты, которые установлены в электрошкафах (8), размещенных в нишах на лестничных клетках (ЛК). В каждом электрошкафу устанавливают: двухполюсные выключатели (9) для снятия напряжения при необходимости замены квартирного счетчика; однофазные (10 А) счетчики для учета расхода электроэнергии от квартир с газовыми или электрическими плитами (10); квартирные групповые щитки с автоматическими выключателями или плавкими предохранителями для защиты квартирных сетей (11).

Групповые линии рабочего освещения лестничных клеток и обще-домовых помещений присоединяются к секции ВРУ, от которой питаются квартиры, а групповые линии аварийного освещения – к секции ВРУ, от которой питаются лифты и другие силовые нагрузки здания.

Для учета расхода электроэнергии от электроприемников общественного назначения (рабочее освещение лестничных клеток, подвала, чердака, домовых помещений и силовых потребителей, в том числе лифты и аварийное освещение) устанавливаются трехфазные счетчики прямого включения (до 50 А) или счетчики (5 А), работающие от трансформаторов тока (12).

В случае выхода из строя групповой линии рабочего освещения ВРУ освещается электрической лампочкой накаливания (14).

Количество вводно-распределительных устройств или главных распределительных щитов (ВРУ, ГРЩ), предназначенных для приема электроэнергии от городской сети и распределения ее по потребителям зданий, выбирается по соображениям обеспечения надежности электро-снабжения с учетом конструкции здания и по построению схемы внешнего электроснабжения. В жилых домах ВРУ рекомендуется размещать в средних секциях. В общественных зданиях ГРЩ или ВРУ должны располагаться у основного абонента независимо от числа предприятий, учреждений и организаций, расположенных в здании.

У каждого из абонентов, расположенных в здании, должно устанавливаться самостоятельное ВРУ, питающееся от общего ВРУ или ГРЩ здания.

От общего ВРУ допускается питание потребителей, расположенных в других зданиях, при условии, что эти потребители связаны функционально. Нагрузка каждой питающей линии, отходящей от ВРУ, не должна превышать 250 А. При превышении нагрузки 250 А стояк следует выполнять состоящим из двух линий.

Линии питания лифтов, предназначенные для преимущественного использования пожарными подразделениями, должны иметь автономное управление с 1-го этажа (предусматривается в схемах управления лифтами).

При наличии в здании электроприемников, требующих I категории по степени надежности электроснабжения, рекомендуется выполнять питание всего здания от двух независимых источников с устройством АВР независимо от требуемой степени обеспечения надежности электро-снабжения других электроприемников. При отсутствии АВР на вводе в здание питание электроприемников I категории по надежности электроснабжения следует выполнять от самостоятельного щита (панели) с устройством АВР. При наличии на вводе аппаратов защиты и управления этот щит (панель) с устройством АВР следует подключать после аппарата управления и до аппарата защиты. При наличии на вводе автоматического выключателя, выполняющего функции управления и защиты, это подключение должно производиться до автоматического выключателя.

Питание аварийного освещения должно быть независимым от питания рабочего освещения и выполняться: при двух вводах в здание – от разных вводов, а при одном вводе – самостоятельными линиями, начиная от ВРУ или ГРЩ.

Схемы электрических сетей жилых домов следует выполнять исходя из следующего:

– питание квартир и силовых электроприемников, в том числе лифтов, должно, как правило, осуществляться от общих секций ВРУ;

– распределительные линии питания вентиляторов дымоудаления и подпора воздуха при пожаре, установленные в одной секции, должны быть самостоятельными для каждого вентилятора, начиная от щита противопожарных устройств ВРУ. При этом соответствующие вентиляторы или шкафы, расположенные в разных секциях, допускается питать по одной линии независимо от числа секций, подключенных к ВРУ.

К одной питающей линии разрешается присоединять несколько стояков, при этом в жилых зданиях высотой более пяти этажей на ответвлении к каждому стояку должен устанавливаться отключающий аппарат.

Освещение лестниц, поэтажных коридоров, вестибюлей, входов в здание, номерных знаков и указателей пожарных гидрантов, огней светового ограждения и домофонов должно питаться линиями от ВРУ.

При этом линии питания домофонов и огней светового ограждения должны быть самостоятельными. Питание усилителей телевизионных сигналов, как правило, следует осуществлять самостоятельными линиями от ВРУ.

В общественных зданиях от одной линии рекомендуется питать несколько вертикальных участков (стояков) питающей сети освещения (рис. 1.14). При этом в начале каждого стояка, питающего три и более групповых щитков, следует устанавливать защитный аппарат. Если стояк питается отдельной линией, установка защитного аппарата в начале стояка не требуется.

Электроустановки торговых предприятий, учреждений бытового обслуживания населения, административно-конторских и других помещений общественного назначения, встроенные в жилые дома, следует питать отдельными линиями от ВРУ (ГРЩ) дома. При этом у каждого потребителя должно устанавливаться самостоятельное ВРУ. Допускается питание указанных потребителей от отдельного ВРУ. Питающие линии холодильных установок предприятий торговли и общественного питания должны быть самостоятельными, начиная от ВРУ или ГРЩ.

По одной линии следует питать не более четырех лифтов, расположенных в разных, не связанных между собой лестничных клетках и холлах. При наличии в лестничных клетках или лифтовых холлах двух или более лифтов одного назначения они должны питаться от двух линий, присоединяемых каждая непосредственно к ВРУ или ГРЩ; при этом количество лифтов, присоединяемых к одной линии, не ограничивается. На вводе каждого лифта должен быть предусмотрен аппарат управления и защиты (предусматривается схемой и комплектацией лифта). Рекомендуется установка одного аппарата, совмещающего эти функции.

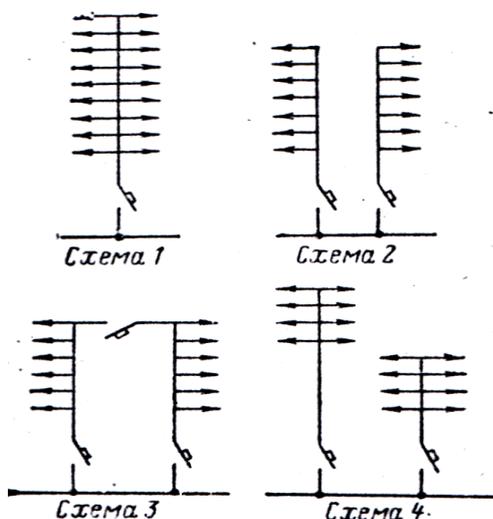


Рис. 1.14. Схема стояков

На вводах распределительных пунктов и групповых щитков должны устанавливаться аппараты управления.

Распределение электроэнергии к силовым распределительным щитам, пунктам и групповым щиткам сети электрического освещения следует, как правило, осуществлять по магистральной схеме.

Радиальные схемы следует, как правило, выполнять для присоединения мощных электродвигателей, групп электроприемников общего технологического назначения (например, встроенных пищеблоков, помещений вычислительных центров и т.п.), потребителей I категории по надежности электроснабжения.

Отклонения напряжения от номинального на зажимах силовых электроприемников и наиболее удаленных ламп электрического освещения не должны превышать в нормальном режиме $\pm 5\%$, а предельно допустимые в послеаварийном режиме при наибольших расчетных нагрузках – $\pm 10\%$. В сетях напряжением 12–50 В (считая от источника питания, например, понижающего трансформатора) отклонения напряжения разрешается принимать до 10% . Для ряда электроприемников (аппараты управления, электродвигатели) допускается снижение напряжения в пусковых режимах в пределах значений, регламентированных для данных электроприемников, но не более 15% . С учетом регламентированных отклонений от номинального значения суммарные потери напряжения от шин 0,4 кВ ТП до наиболее удаленной лампы общего освещения в жилых и общественных зданиях не должны, как правило, превышать $7,5\%$.

1.9.6. Устройство внутренних электрических сетей

Внутренние электрические сети должны быть не распространяющими горение и выполняться кабелями и проводами с медными жилами.

Допускается применение в питающих и распределительных сетях кабелей и проводов с алюминиевыми жилами сечением не менее 16 мм^2 . Питание отдельных электроприемников, относящихся к инженерному оборудованию зданий (насосы, вентиляторы, калориферы, установки кондиционирования воздуха и т.п.), кроме оборудования противопожарных установок, допускается выполнять проводами и кабелями с алюминиевыми жилами сечением не менее $2,5 \text{ мм}^2$.

Провода электрических сетей силовых электроприемников постирочных цехов и помещений для приготовления растворов в прачечных должны быть с медной жилой в пластмассовой изоляции и прокладываться в полу замоноличенными в пластмассовых трубах.

В помещениях, в которых возможно перемещение технологического оборудования в связи с изменением производственного цикла (торговые, выставочные, демонстрационные и читальные залы, цехи предприятий бытового обслуживания, лаборатории и т.п.), и в помещениях с гибкой планировкой для возможности переустройства электропроводок в процессе эксплуатации рекомендуется предусматривать в полу трубы или каналы с подпольными герметизированными закрывающимися коробками (модульные проводки).

Групповые сети в помещениях следует выполнять сменяемыми: скрыто – в специальных каналах строительных конструкций, замоноличенных трубах; открыто – в электротехнических плинтусах, коробах и т.п.

Распределительные сети следует выполнять сменяемыми:

– открыто – проводами в пластмассовых трубах и коробах, а также кабелями в технических подпольях и этажах, помещениях инженерных служб, технических коридорах, подвалах и подпольях допускается прокладка на лотках;

– скрыто – в специальных каналах и пустотах строительных конструкций, в бороздах, штробах, в слое подготовки пола кабелем или изолированными проводами в защитной оболочке.

Горизонтальные участки распределительных линий при отсутствии подвала или технического подполья разрешается прокладывать в полу, выполненном из негорючих материалов вышерасположенного этажа.

Стояки питающих линий квартир, групповых линий лестничного освещения в жилых зданиях должны, как правило, прокладываться скрыто, в каналах строительных конструкций (электроблоков), а также в устройствах этажных распределительных прислонного типа. В этих же конструкциях рекомендуется размещать совмещенные этажные электрошкафы (щитки) и ящики для соединений и разветвлений проводников. Разрешается для выполнения стояков применять шинопроводы (комплектные токопроводы) и трубы. Прокладка стояков в квартирах, а также через помещения других собственников не допускается.

В лестничных клетках открытая прокладка кабелей и проводов не допускается. Разрешается прокладка линий питания освещения лестничных клеток и коридоров, а также линий питания квартир в зданиях высотой до 5 этажей в стальных трубах и коробах.

Сети освещения шахт лифтов в пределах шахт должны прокладываться скрыто, в вертикальных каналах. Допускается их открытая прокладка.

В одной трубе, одном рукаве, коробе, канале многоканального короба, пучке, замкнутом канале строительной конструкции здания, на одном лотке допускаются следующие варианты совместной прокладки:

- линий питания и управления электроприемников противопожарных устройств;
- линий питания вентиляторов дымоудаления и подпора воздуха;
- всех цепей одного агрегата (например, агрегата по обработке картофеля в пищеблоке);
- силовых и контрольных цепей нескольких машин, панелей, щитов, пультов, обеспечивающих единый технологический процесс;
- цепей, питающих сложный светильник;
- осветительных сетей напряжением до 50 В с цепями напряжением до 380 В при условии заключения проводов цепей до 50 В в отдельную изоляционную трубку;
- цепей нескольких групп одного вида освещения с общим числом проводов не более 12 (без учета контрольных цепей);
- распределительных линий квартир и рабочего освещения лестниц, коридоров, вестибюлей жилых домов.

Прокладка проводов и кабелей групповых линий рабочего освещения с групповыми линиями аварийного освещения на одном лотке, монтажном профиле, в одном канале многоканального короба, в корпусах и штангах многоламповых светильников не рекомендуется; при необходимости их совместной прокладки должны быть приняты специальные меры, исключающие возможность повреждения огнем проводов аварийного освещения (устройство перегородок, покрытие огнезащитными составами и т.п.). Не разрешается прокладка в одном канале, рукаве, коробе и других конструкциях групповых линий, питающих разные квартиры, и взаиморезервируемых цепей.

Незащищенные изолированные провода наружной электропроводки должны быть расположены или ограждены таким образом, чтобы они были недоступны с мест, где возможно частое пребывание людей, например с балкона или крыльца.

При скрытой прокладке проводов, как правило, следует применять выключатели и розетки в утопленном исполнении. Не разрешается скрытая установка по одной оси розеток и выключателей в стенах между разными квартирами.

В жилых комнатах квартир и общежитий должно быть установлено не менее одной розетки на ток 10(16) А на каждые полные и неполные 4 м периметра комнаты, в коридорах квартир – не менее одной розетки на каждые полные и неполные 10 м² площади коридоров. До 2006 г. допускалось в панельных домах устанавливать не менее одной розетки на ток 10(16) А на каждые 6 м² площади комнаты. В кухнях квартир следует

предусматривать не менее четырех розеток на ток 10(16) А. В кухнях квартир с электроплитами последние следует подключать непосредственно к питающей линии. Допускается подключение через поляризованный штепсельный соединитель. В жилых комнатах допускается установка сдвоенных розеток на ток 10(16) А. В кухнях допускается установка сдвоенных розеток на ток 16 А. Сдвоенная розетка, установленная в жилой комнате, считается одной розеткой. Сдвоенная розетка, установленная в кухне, считается двумя розетками.

Выключатели в квартирах и общежитиях рекомендуется устанавливать со стороны дверной ручки на высоте до 1 м. Разрешается установка выключателей под потолком, управляемых с помощью шнура. Выключатели общего освещения в помещениях общественных зданий рекомендуется устанавливать на высоте до 1,5 м от пола. В школах и детских дошкольных учреждениях, в помещениях для пребывания детей выключатели и розетки должны устанавливаться на высоте 1,8 м от пола.

В силовой сети предприятий общественного питания и торговли розетки следует, как правило, устанавливать на высоте 1,3 м, а пусковые аппараты – на высоте 1,2–1,6 м от пола.

Высота установки осветительных и силовых розеток в других общественных зданиях и помещениях выбирается удобной для присоединения к ним электрических приборов в зависимости от назначения помещений и оформления интерьеров, но, как правило, не выше чем на 1 м от пола.

В кабинетах и лабораториях школ розетки на столах учеников, а также лабораторные щитки должны быть подключены через аппарат управления, установленный на столе преподавателя. Линии питания розеток следует подключать через разделительный трансформатор или защищать устройством защитного отключения на ток до 30 мА. В классных помещениях, учебных комнатах, кабинетах и лабораториях для подключения проекционных аппаратов следует устанавливать три розетки: одну – у классной доски, другую – на противоположной от доски стене помещения и третью – на стене, противоположной оконным проемам.

Розетки для подключения уборочных механизмов должны устанавливаться в торговых залах магазинов, обеденных залах, актовых и спортивных залах, конференц-залах, вестибюлях, холлах, коридорах и других помещениях, в которых необходима механизированная уборка. Розетки следует устанавливать на расстоянии, обеспечивающем возможность использования уборочных механизмов с питающим проводником длиной до 15 м.

Групповые распределительные щитки осветительной сети целесообразно, как и в силовых сетях, размещать в центре нагрузок со смещением по возможности в сторону источника питания. Однако по условиям архитектурно-планировочных решений и интерьера помещений от этой рекомендации приходится отступать, располагая щитки на лестничных клетках, в коридорах в специальных шкафах-нишах, предусматриваемых в архитектурно-строительной части проекта.

Рекомендации для выбора той или иной схемы групповой линии не могут быть однозначными, так как в значительной степени зависят от протяженности, количества светильников, их расположения, удобства управления и эксплуатации, а также обеспечения нормируемых уровней коэффициента пульсации при люминесцентном освещении в помещениях с напряженной зрительной работой.

Рекомендуемая освещенность рабочих поверхностей в квартирах жилых домов при комбинированной системе освещения от любых источников света, приобретенных населением:

- письменного стола, рабочей поверхности для шитья и других ручных работ – 300 лк;
- кухонного стола и мойки посуды – 200 лк.

В помещениях, в которых предусматривается общее локализованное освещение рабочих мест (например, в торговых залах, мастерских изготовления одежды), наименьшая освещенность проходов и участков, где не производится работа, должна быть не менее 25 % нормы освещенности рабочих мест, но не менее 75 лк при люминесцентных лампах и не менее 30 лк при лампах накаливания.

Лампы накаливания следует применять для общего освещения:

- помещений, где по технологическим требованиям недопустимо применение разрядных ламп (например, в помещениях для работы с материалами, которые под воздействием излучения разрядных ламп теряют свои свойства, и в помещениях, где радиопомехи, создаваемые светильниками с разрядными лампами, недопустимы для работы технологического оборудования): киноаппаратные, помещения для звукозаписи;
- помещений, где для оформления интерьера требуется применение ламп накаливания (залы ресторанов, кафе, баров, фойе и т.п.);
- спальных и веранд, используемых только в летнее время;
- вспомогательных помещений: кладовых, машинных отделений лифтов, электрощитовых, технических подполий;
- моечных, душевых и парильных в банях;
- охлаждаемых помещений и холодильных камер.

Выбор типа светильников следует производить с учетом характера их светораспределения, экономической эффективности и условий окружающей среды.

Во всех помещениях квартир, за исключением лоджий и балконов, должна быть предусмотрена возможность установки светильников общего освещения.

В жилых комнатах квартир и общежитий площадью 10 м^2 и более следует предусматривать возможность установки многоламповых светильников с лампами накаливания с включением двумя частями. При установке в жилых комнатах общежитий нескольких люминесцентных светильников следует предусматривать возможность их отдельного включения.

1.9.7. Примеры комплексных схем распределения электроэнергии в общественных зданиях

На рис. 1.15 представлена упрощенная схема питания здания, электроприемники которого относятся к III категории по надежности электроснабжения. Здание присоединяется к однострансформаторной подстанции, от щита (сборки) 0,4 кВ которой отходит питающая линия (1) к ВРУ здания. От ВРУ отходят питающие линии (2) к распределительным пунктам силовых электроприемников (3), линии (4) – к групповым щиткам рабочего освещения (5) и линия (6) – к щитку эвакуационного освещения (7).

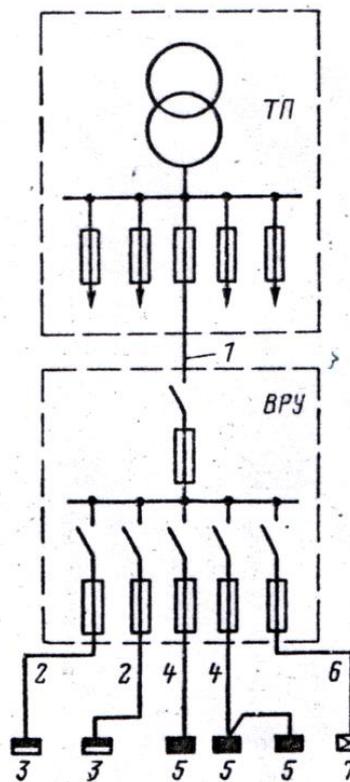


Рис. 1.15. Схема питания общественного здания от однострансформаторной подстанции:
1, 2, 4, 6 – питающие линии; 3 – распределительный пункт силовых электроприемников;
5 – групповой щиток рабочего освещения; 7 – щиток аварийного освещения

Для питания ответственных потребителей в крупных городах широко применяются двухтрансформаторные подстанции с устройством АВР на стороне низшего напряжения. Упрощенная схема такой подстанции приведена на рис. 1.16.

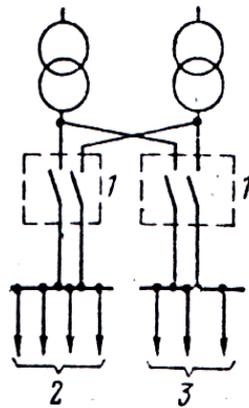


Рис. 1.16. Схема питания общественного здания от двухтрансформаторной подстанции с АВР: 1 – контакторные станции; 2, 3 – отходящие линии к вводам в здания, в которых устанавливаются ВРУ

При размещении подстанции в здании с электроприемниками I категории применяется устройство АВР на абонентском щите с установочными автоматическими выключателями. Упрощенная схема приведена на рис. 1.17, где автоматические выключатели (1), установлены на линиях от трансформаторов; секционный выключатель (2) включается автоматически при отключении одного из автоматических выключателей (1). Линии (3) отходят к распределительным пунктам силовой сети и щиткам эвакуационного и аварийного освещения, линии (4) – к групповым щиткам рабочего освещения.

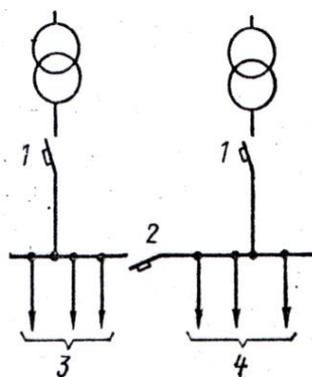


Рис. 1.17. Схема питания общественного здания со встроенной ТП и абонентским щитом с АВР на автоматических выключателях: 1 – автоматический выключатель; 2 – секционный выключатель; 3 – линии к распределительным пунктам силовой сети и щиткам эвакуационного и аварийного освещения, 4 – линии к групповым щиткам рабочего освещения

1.10. Городские комплектные трансформаторные подстанции наружной установки в бетонном корпусе напряжением 10/0,4 кВ

КТПНБ – комплектная трансформаторная подстанция наружной установки в бетонном корпусе напряжением 10/0,4 кВ и мощностью от 100 кВ·А до 1250 кВ·А – применяется в сетях с изолированной нейтралью на стороне 10 кВ и глухозаземлённой нейтралью на стороне 0,4 кВ для электроснабжения промышленных, жилищно-коммунальных, инфраструктурных объектов, а также коттеджных посёлков и зон индивидуальной застройки. Внешний вид КТПНБ изображен на рис. 1.18.



Рис. 1.18. Внешний вид КТПНБ

Конструкция таких подстанций обеспечивает возможность присоединения воздушных и кабельных линий. КТПНБ представляет собой бетонный корпус с установленным в нем электротехническим оборудованием.

Корпус КТПНБ изготовлен из высокопрочного железобетона и состоит из:

- надземного объемного бетонного блока;
- подвального объемного бетонного блока.

Надземный объемный блок представляет собой монолитную железобетонную конструкцию, с которой жестко соединена плита пола. Внутренний объем блока разбит на отсек силового трансформатора и отсек распределительного устройства высшего (РУВН) и низшего (РУНН) напряжения.

Отсек силового трансформатора отделен от отсеков РУВН и РУНН многослойной перегородкой, состоящей из металлического листа и негорючей плиты.

В блоке предусмотрены отдельные двери для обслуживания и монтажа РУВН, РУНН, силового трансформатора, а в полу блока – проемы:

- для ввода и вывода кабелей;
- для сбора трансформаторного масла;
- для доступа эксплуатирующего персонала в подвальный объемный блок.

Подвальный объемный блок представляет собой монолитную железобетонную конструкцию прямоугольной формы, установленную на фундаментную плиту. Гидроизоляция поверхности блока производится путем нанесения защитной краски. В стенах блока предусмотрены отверстия с тонкостенной перегородкой для ввода и вывода кабелей. Для ввода и вывода кабелей в пробитые отверстия устанавливаются асбоцементные трубы длиной 1,5 м, через которые прокладываются кабели. После укладки кабелей отверстия заделываются цементным раствором и покрываются гидроизолирующим составом.

Основные *технические характеристики* КТПНБ приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Основные технические характеристики КТПНБ

Наименование параметра	Значение
1	2
Мощность силового трансформатора, кВ·А	100; 160; 250; 400; 630; 1000; 1250.
Номинальное напряжение на стороне ВН, кВ	6,0; 10,0
Номинальное напряжение на стороне НН, кВ	0,4
Номинальный ток сборных шин на стороне ВН, А	630
Номинальный ток сборных шин на стороне НН, А	400; 630; 800; 1600; 2000
Ток термической стойкости сборных шин на стороне ВН, кА/2с	20
Ток электродинамической стойкости сборных шин на стороне ВН, кА	51
Ток термической стойкости сборных шин на стороне НН, кА/1с	20; 50; 100
Ток электродинамической стойкости сборных шин на стороне НН, кА	40; 110; 220
Номинальное напряжение вторичных цепей, В	переменное 220
Номинальное напряжение освещения, В	переменное 36

Окончание табл. 1.5

1	2
Уровень изоляции по ГОСТ 1516.1 – с маслонаполненным герметичным трансформатором – с трансформатором с сухой изоляцией обмоток	нормальная облегченная
Климатическое исполнение по ГОСТ 15150	УХЛ 1
Габариты КТПНБ, мм: – высота надземного объемного блока – высота подвального объемного блока – ширина – длина	2750 1300 2450 5270
Масса КТПНБ, кг: – надземный объемный блок с оборудованием без трансформатора – подвальный объемный блок – маслосборник (макс. 850 л)	16000 12000 80
Срок службы, лет	не менее 25

КТПНБ выполняется как с одним, так и с двумя трансформаторами. Однотрансформаторная КТПНБ бывает двух типов:

– левосторонняя – вход в отсек РУ находится на левой стене относительно ворот трансформаторного отсека;

– правосторонняя – вход в отсек РУ находится на правой стене относительно ворот трансформаторного отсека.

Двухтрансформаторная КТПНБ представляет собой трансформаторную подстанцию, состоящую из двух корпусов левостороннего и правостороннего типов, соединенных между собой. Возможно исполнение двухтрансформаторной КТПНБ с выделенной абонентской частью, что предусматривает размещение РУВН и РУНН в двух разных надземных объемных блоках, имеющих отдельные входы.

Питающие и отходящие линии выполняются кабелем. Кабельный ввод осуществляется из грунта через подвальный объемный блок. При необходимости подключения КТПНБ к воздушной линии применяется кабельная вставка с выходом на опору ВЛ.

Применение КТПНБ позволяет сократить сроки монтажа и ввода оборудования в эксплуатацию, снизить эксплуатационные расходы, улучшить условия техники безопасности.

КТПНБ комплектуются следующим электротехническим оборудованием:

- распределительным устройством высшего напряжения с элегазовой изоляцией типа КМ-6 или с воздушной изоляцией типа КСО-6(10)-Э1 «Аврора»;

- распределительным устройством низшего напряжения типа РУНН-П;
- шкафом собственных нужд (ШСН);
- щитом учета (ЩУ);
- шкафом источника бесперебойного питания (ШИБП);
- шкафом АВР на стороне НН;
- трансформаторами силовыми герметичными маслонаполненными или с сухой изоляцией.

Питание шкафа собственных нужд предусмотрено от РУНН.

ШСН обеспечивает:

- освещение и обогрев отсеков РУ и освещение отсека силового трансформатора;

- освещение, обогрев и питание вторичных цепей ячеек типа КСО.

ШСН имеет встроенный АВР-0,4 кВ и получает питание от двух вводов (в случае двухтрансформаторной КТПНБ). В случае необходимости организации гарантированного оперативного питания в отсеке РУВН устанавливается шкаф с источником бесперебойного питания.

Преимущества использования ячеек КСО «Аврора»:

- В ячейках используются трехпозиционные выключатели нагрузки (разъединители), конструктивно исключающие одновременное выполнение двух коммутационных операций. Например, «включено» и «заземлено». Такая конструкция делает невозможной подачу напряжения на заземленные части. Это исключает ошибочные действия персонала, повышает безопасность обслуживания и снижает вероятность повреждения оборудования распределительных устройств.

- В ячейках используется поперечное по отношению к сборным шинам расположение коммутационных аппаратов. Это позволяет применять простой и надежный привод, что снижает вероятность отказа и связанных с ним затрат на ремонт, а также позволяет уменьшить габаритные размеры ячейки КСО.

- Привод выключателей нагрузки (разъединителей), используемых в ячейках, не требует обслуживания (смазки, регулировки) в течение всего срока эксплуатации, что снижает эксплуатационные затраты.

- Благодаря особой конструкции привода, выключатели нагрузки, применяемые в ячейках, выполняют коммутацию токов нагрузки с высокой, независимой от действий оператора, скоростью движения подвижных контактов. Это обеспечивает малый износ контактов и высокий коммутационный ресурс аппаратов.

– Конструкция выключателей нагрузки с предохранителями такова, что при перегорании хотя бы одного из них отключаются все три фазы. Это исключает возможность неполнофазных режимов и повышает безопасность обслуживания.

– Перевод выключателя нагрузки (разъединителя) в положение «заземлено» также производится с высокой скоростью. При наличии напряжения на заземляемом присоединении это исключает возникновение дуги, поражение персонала и повреждение ячейки.

– В отключенном состоянии разъединителей обеспечивается видимый разрыв через специальные смотровые окна.

– Ячейка разделена на отсеки сборных шин, релейной защиты и высоковольтный отсек, что увеличивает ее локализационную способность.

– В ячейках используется закрытый отсек сборных шин, что значительно повышает ее надежность и исключает перекрытия на шинах.

– Вакуумные выключатели в сборе с приводом установлены в ячейках стационарно на технологически выдвигаемых панелях (выкатных тележках), что позволяет, в случае необходимости, быстро заменить выключатель.

– В ячейках применяются стационарные емкостные делители напряжения и индикаторы наличия напряжения на присоединениях и шинах. Это значительно повышает безопасность, снижает вероятность ошибочных действий обслуживающего персонала и позволяет выполнять фазировку на низком напряжении.

– В ячейках используются трансформаторы тока с длинными выводами на клеммы в релейный отсек, что исключает необходимость выполнения работ по проверке трансформаторов тока с доступом в высоковольтный отсек и обеспечивает возможность простой пломбировки цепей учета.

– Ячейки комплектуются микропроцессорными блоками релейной защиты.

– Реализуется АВР по различным алгоритмам работы.

– Оборудование главных цепей ячеек, кроме ограничителей перенапряжения (ОПН), выдерживает испытательное напряжение постоянного тока высоковольтного кабеля 60 кВ (для 10 кВ) и 36 кВ (для 6 кВ), что позволяет проводить испытания кабелей без отключения.

На рис. 1.19–1.24 приведены однолинейные принципиальные схемы КТПНБ с ячейками КСО «Аврора», их общий вид и план размещения оборудования. Указанные подстанции являются двухтрансформаторными с выделенной абонентской частью, укомплектованы ячейками КСО «Аврора» с выключателем ВНТ-2П на стороне ВН, имеют распределительное

устройство типа РУНН-П. Характерной особенностью данных схем является наличие сборных шин для распределения напряжения в РУВН, а также использование ВН для распределения электроэнергии на стороне НН.

На рис. 1.19–1.20 приведена схема проходной подстанции без АВР на стороне НН.

В более сложных схемах подстанций применяется дополнительное резервирование со стороны 0,4 кВ. На рис. 1.21–1.22 показана схема тупиковой подстанции с АВР на автоматических выключателях на стороне НН. На рис. 1.23–1.24 приведена схема подстанции с АВР на контакторах на стороне НН, подключаемых к выводам обмотки НН трансформаторов по перекрестной схеме.

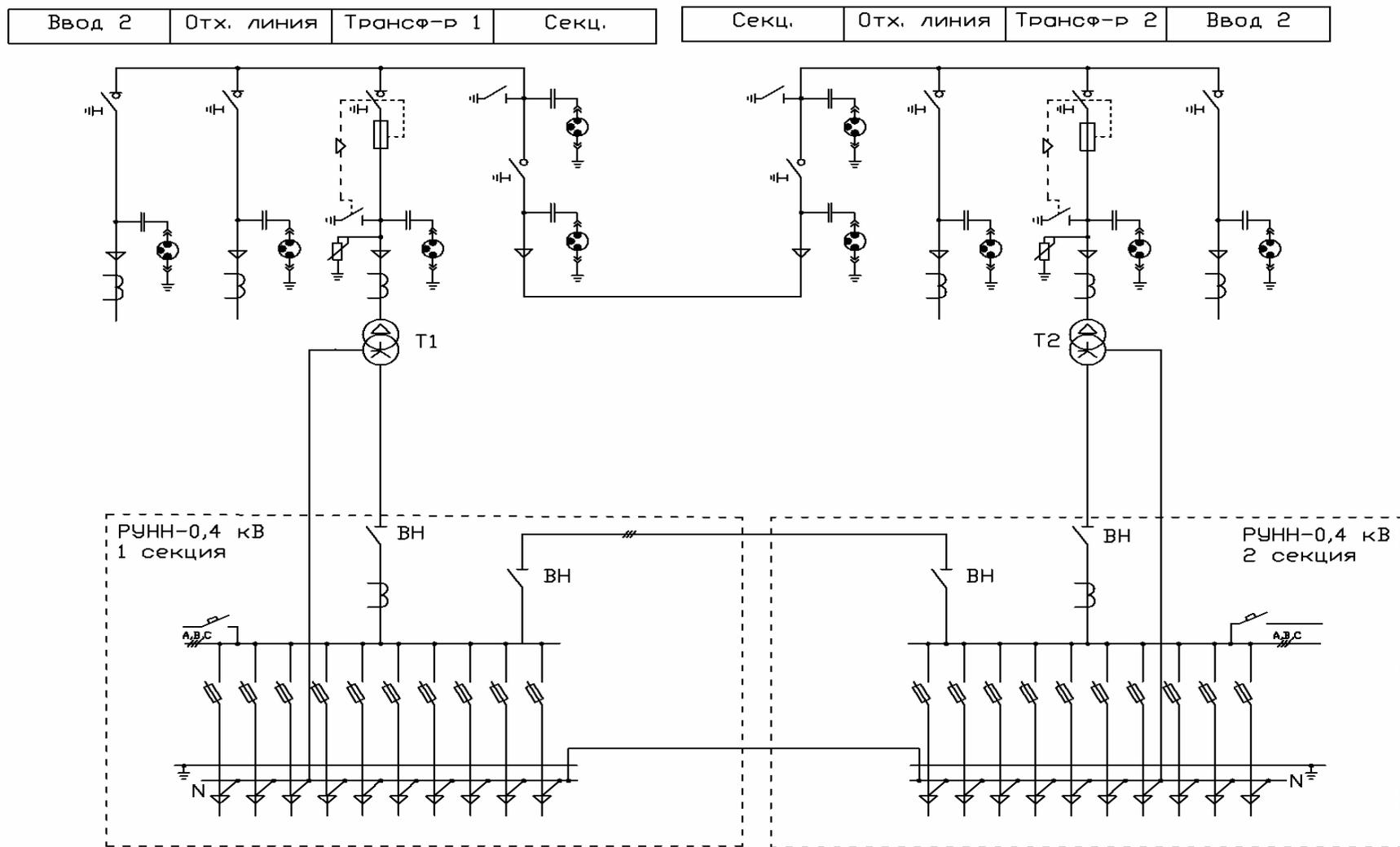
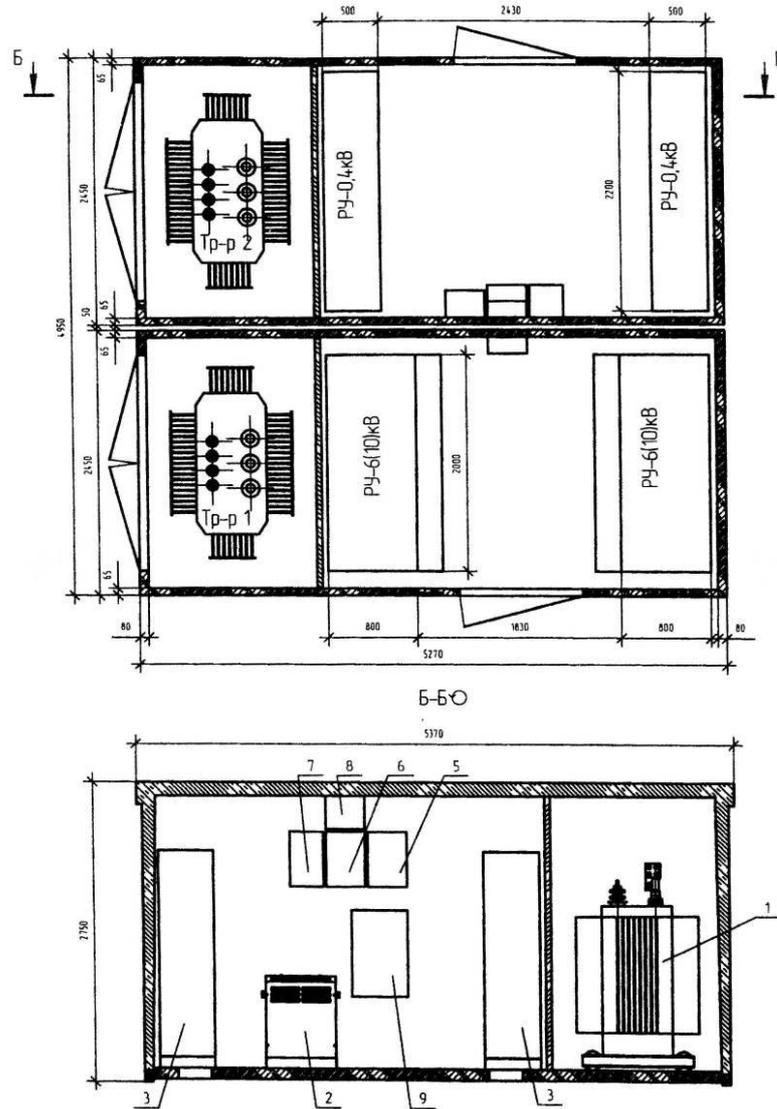


Рис. 1.19. Двухтрансформаторная проходная КТПНБ с ячейками КСО «Аврора» с выключателем ВНТ-2П на стороне ВН и распределительным устройством типа РУНН-П без АВР и с АВР на стороне НН



Позиция	Наименование	Кол-во
1	Трансформатор силовой ТМГ-1000 кВ·А	2
2	Электрообогреватель ЭПН-3,6	2
3	РУ-0,4 кВ на РУНН-П	2
5	Шкаф охранной сигнализации (ШОС)	1
6	Щит учета (ЩУ)	1
7	Шкаф собственных нужд (ШСН)	1
8	Коробка клеммная (КК)	2
9	Шкаф источника бесперебойного питания (ШИБП)	1

Рис. 1.20. Двухтрансформаторная проходная КТПНБ с выделенной абонентской частью с ячейками КСО «Аврора» с выключателем ВНТ-2П на стороне ВН и распределительным устройством типа РУНН-П без АВР и с АВР на автоматических выключателях на стороне НН

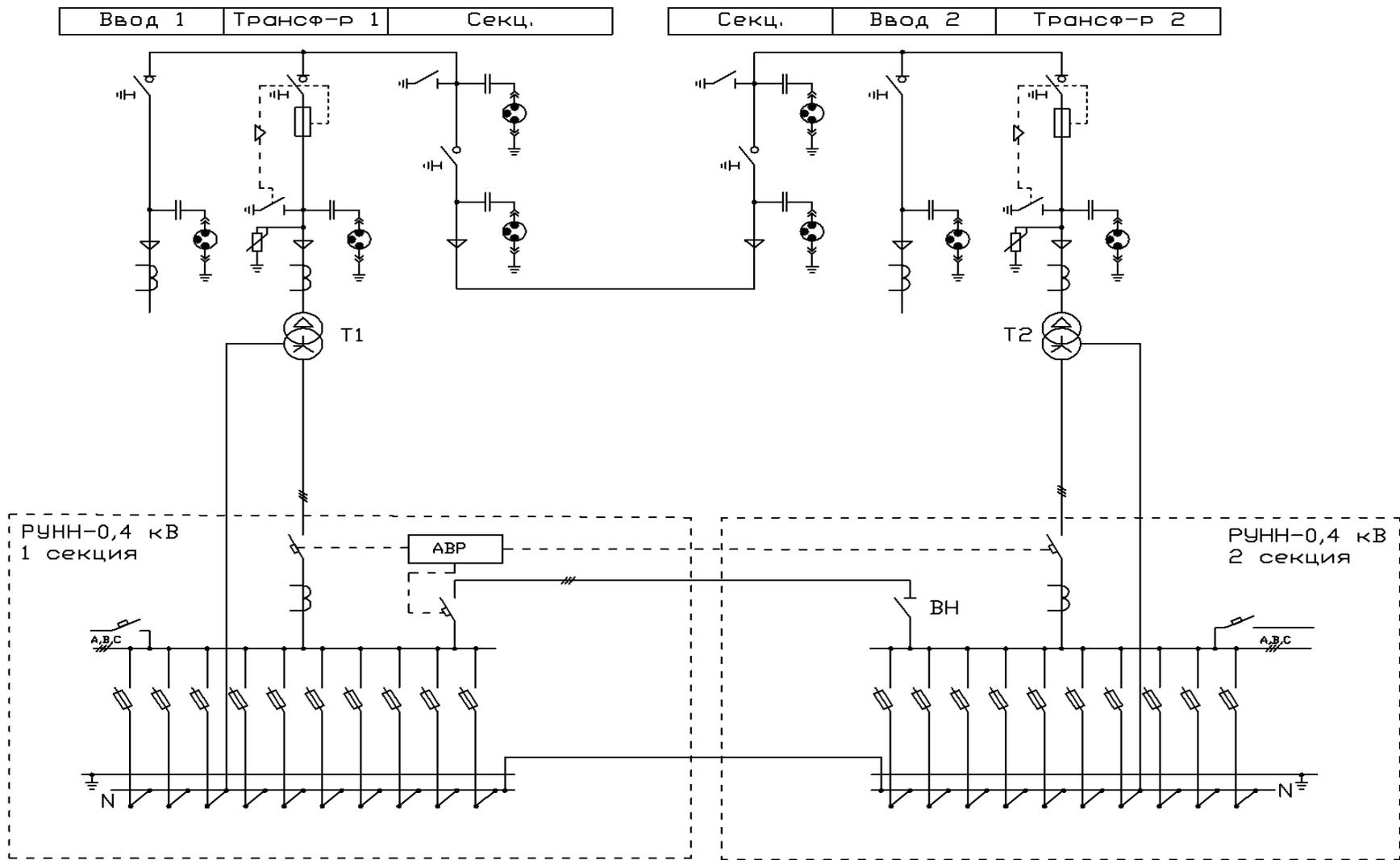
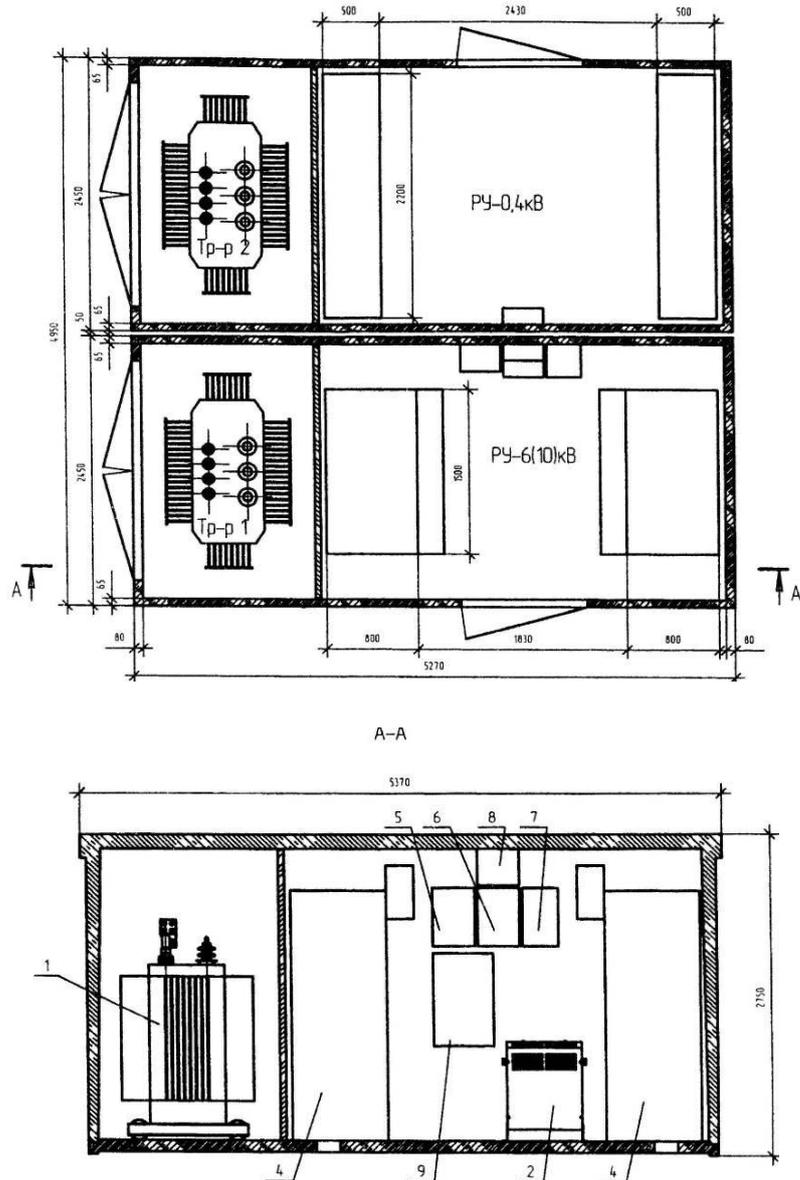


Рис. 1.21. Двухтрансформаторная тупиковая КТПНБ с ячейками КСО «Аврора» с выключателем ВНТ-2П на стороне ВН и распределительным устройством типа РУНН-П с АВР на автоматических выключателях на стороне НН



Позиция	Наименование	Кол-во
1	Трансформатор силовой ТМГ-1000 кВ·А	2
2	Электрообогреватель ЭПН-3,6	2
4	РУ-6(10) кВ на КСО-6(10)-31 «Аврора»	2
5	Шкаф охранной сигнализации (ШОС)	1
6	Щит учета (ЩУ)	1
7	Шкаф собственных нужд (ШСН)	1
8	Коробка клеммная (КК)	2
9	Шкаф источника бесперебойного питания (ШИБП)	1

Рис. 1.22. Двухтрансформаторная тупиковая КТПНБ с выделенной абонентской частью с ячейками КСО «Аврора» с выключателем ВНТ-2П на стороне ВН и распределительным устройством типа РУНН-П без АВР и с АВР на автоматических выключателях на стороне НН

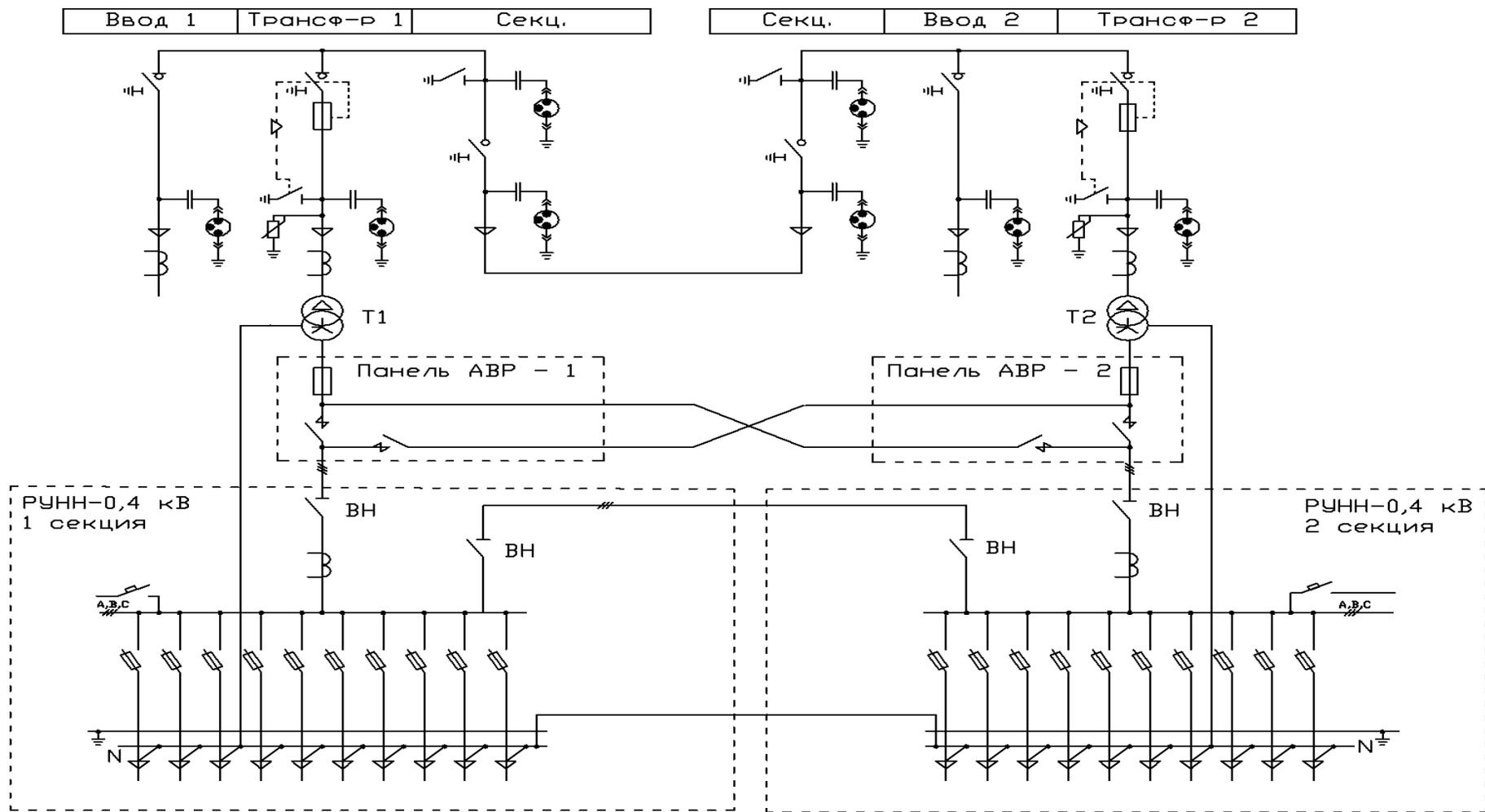


Рис. 1.23. Двухтрансформаторная тупиковая КТПНБ с ячейками КСО «Аврора» с выключателем ВНТ-2П на стороне ВН и распределительным устройством типа РУНН-П с АВР на контакторах на стороне НН

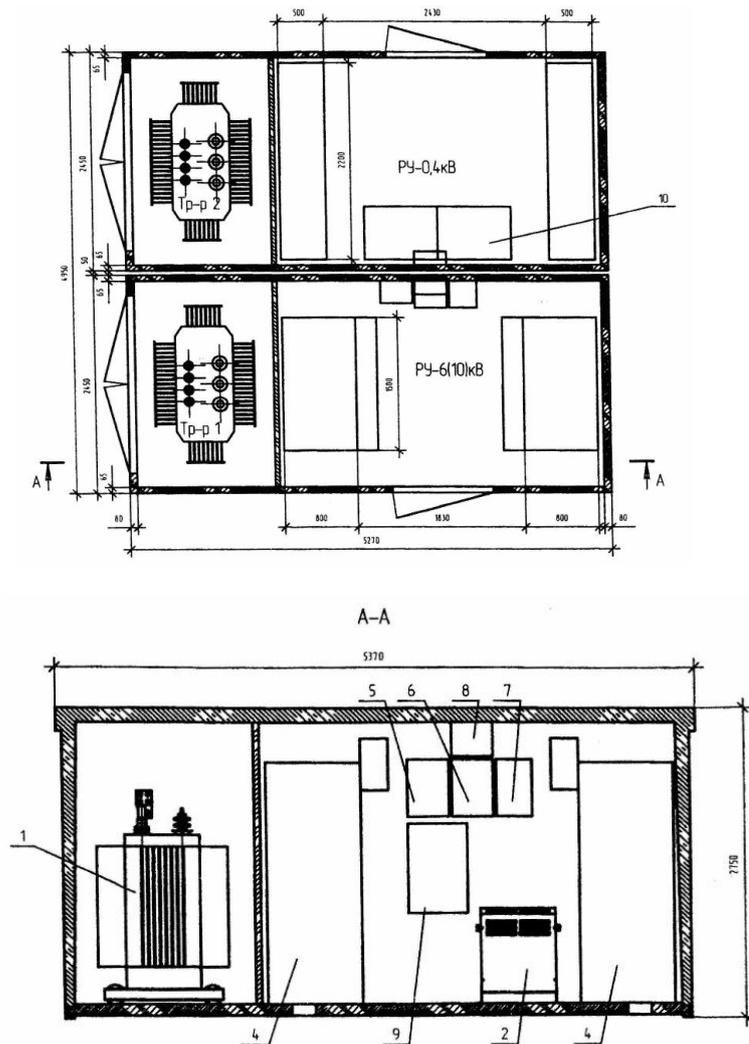


Рис. 1.24. Двухтрансформаторная тупиковая КТПНБ с выделенной абонентской частью с ячейками КСО «Аврора» с выключателем ВНТ-2П на стороне ВН и распределительным устройством типа РУНН-П с АВР на контакторах на стороне НН: 1 – трансформатор силовой ТМГ-630; 2 – электрообогреватель ЭПН-3,6; 4 – РУ-6(10) кВ на КСО-6(10)-31 «Аврора»; 5 – шкаф охранной сигнализации; 6 – щит управления; 7 – шкаф собственных нужд; 8 – коробка клеммная; 9 – шкаф источника бесперебойного питания; 10 – шкаф АВР на контакторах

Вопросы для самоконтроля к главе 1

1. Как выделяется абонентская часть на городских подстанциях?
2. Как выполняется резервирование на городских подстанциях?
3. Какие особенности компоновки мачтовых подстанций?
4. Как и чем регулируется напряжение в электрических сетях?
5. Каковы значения нормативных коэффициентов реактивной мощности на разных уровнях номинального напряжения электрической сети?
6. Сравните схемы промышленной и городской подстанций напряжением 10/0,4 кВ.

Глава 2. ПРИМЕНЕНИЕ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

2.1. Общие сведения

В 60-х годах прошлого века появилось первое поколение кабелей с экструдированной изоляцией, вначале с изоляцией из термопластичного полиэтилена, затем – из сшитого полиэтилена. Массовое производство кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110 кВ началось в 1971 году, в настоящее же время созданы, проложены и находятся в эксплуатации подобные кабели на напряжение до 500 кВ.

На территории стран СНГ этот вид кабелей получает все большее применение. Так, кабельные сети ОАО «Мосэнерго» и АО «Ленэнерго» приняли решение о широком применении кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена при сооружении электрических сетей. Начата замена проложенных ранее кабелей с бумажной пропитанной изоляцией на среднее напряжение и маслонаполненных кабелей на напряжение 110 кВ на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Сшитый полиэтилен (рус. – СПЭ, англ. – *XLPE*, нем. – *VPE*) представляет собой полимер, образованный молекулами полиэтилена, цепочки которых соединены между собой дополнительно поперечными связями (рис. 2.1).

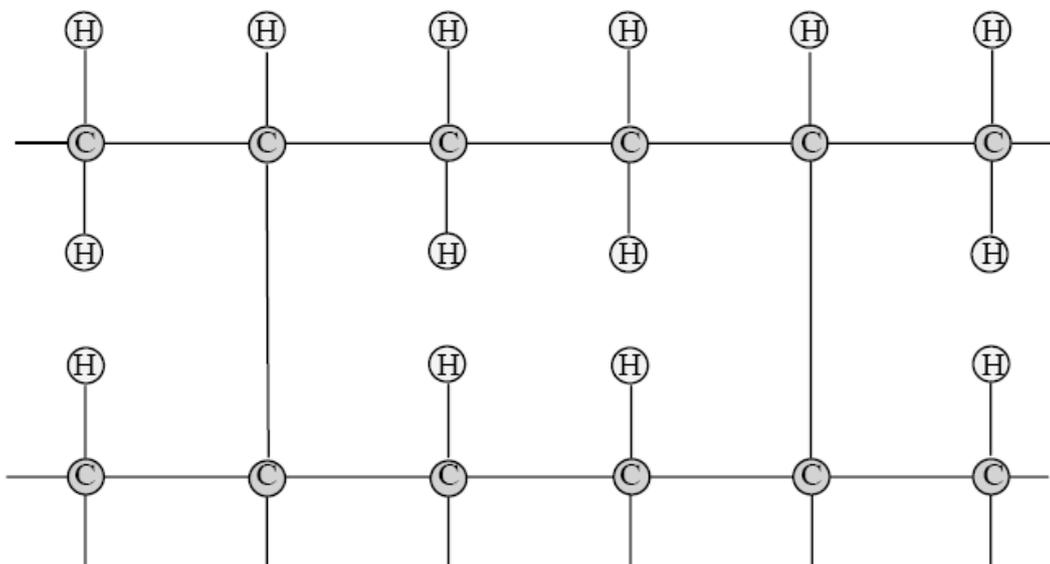


Рис. 2.1. Сшитый полиэтилен – полимер, образованный молекулами полиэтилена

Широкое использование сшитого полиэтилена в качестве материала изоляции силовых кабелей обусловлено его превосходными диэлектрическими качествами (высокая электрическая прочность, низкий $\text{tg } \delta$, низкая диэлектрическая проницаемость и, вследствие этого, малая емкость) и высокой температурной стабильностью, что позволяет увеличить токовые нагрузки как в режиме эксплуатации, так и в режиме короткого замыкания.

Основным недостатком первых кабелей высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена было интенсивное старение полимерной изоляции. В настоящее время установлено, что старение полиэтилена в условиях воздействия электрического поля определяется, прежде всего, наличием неоднородностей в изоляции, возникающих как в процессе производства кабелей, так и свойственных самому изоляционному материалу в исходном состоянии. Если в полимерной изоляции кабеля существуют неоднородности, то под действием влаги и электрического поля в процессе эксплуатации в этой изоляции начинают развиваться проводящие каналы, известные под названием «дендритов» (древовидных образований) или «водных триингов». Триинги могут развиваться на поверхности изоляции, в основном на участках, в которых существует неоднородность структуры изоляции на границе с полупроводящими экранами по жиле и по изоляции, и из неоднородностей структуры, находящихся в толще изоляции (загрязнения, включения, микропустоты). Образование триингов приводит к местным концентрациям электрического поля в изоляции. Область изоляции с триингом со временем подвергается более быстрому окислению, изоляция быстро стареет, и в результате может наступить пробой.

Современные технологии изготовления кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена позволяют свести к минимуму или исключить процесс триингообразования в течение длительного срока службы и прогнозировать работоспособность кабелей в течение 30 лет и более.

2.2. Основные свойства сшитого полиэтилена

Основными свойствами сшитого полиэтилена являются:

- электрическая прочность при 20 °С – около 50 кВ/мм;
- диэлектрическая проницаемость ϵ_r при 20 °С – не более 2,5;
- тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ при 90 °С – не более $10 \cdot 10^{-4}$;
- стойкость к тепловой деформации (нагрев образца до 200 °С под нагрузкой 20 Н/см² в течение 15 мин);

- удлинение под нагрузкой при 200 °С – не более 175 %;
- остаточное удлинение после снятия нагрузки и охлаждения – не более 15 %;
- водопоглощение при температуре 85 °С и продолжительности испытания 14 сут – не более 1 мг/см².

По сравнению с маслонаполненными кабелями на напряжение 110 кВ кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена имеют ряд преимуществ:

- повышенная нагрузочная способность, обусловленная более высокой допустимой температурой изоляции в рабочем режиме (см. табл. 2.1);
- высокая термическая стабильность при протекании токов короткого замыкания (табл. 2.1);
- малый вес и меньший наружный диаметр, что облегчает прокладку кабелей, особенно на сложных участках кабельных трасс;
- меньший допустимый радиус изгиба кабелей;
- возможность прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней;
- отсутствие жидкостей в конструкции кабеля и подпитывающей аппаратуры, что значительно снижает расходы на сооружение кабельной линии, ее ремонт и эксплуатацию;
- простая технология монтажа муфт и ремонта кабеля;
- отсутствие утечек масла, что снижает риск загрязнения окружающей среды.

Таблица 2.1

Технические характеристики кабелей СПЭ

Наименование характеристики	Значение для кабеля на напряжение 110 кВ	
	для кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена	для маслонаполненного кабеля
1	2	3
Длительно допустимая температура нагрева жилы, °С	90	85
Допустимая температура в режиме перегрузки, °С	130	90
Максимально допустимая температура жилы при коротком замыкании, °С	250	200

Окончание табл. 2.1

1	2	3
Допустимая плотность односекундного тока короткого замыкания, А/мм ² : – для медной жилы – для алюминиевой жилы	143 94	101 67
Диэлектрическая проницаемость изоляции ϵ_r при максимально допустимой температуре	2,5	3,7
Тангенс угла диэлектрических потерь при максимально допустимой температуре	0,0010	0,0045

2.3. Конструкция кабелей

Основные элементы конструкции кабелей из сшитого полиэтилена:

– *Токпроводящая жила* – медная или алюминиевая, многопроволочная уплотненная, с номинальным сечением от 240 до 800 мм² (алюминиевая жила – до 1000 мм²). Возможна герметизация жилы от продольного распространения влаги с помощью водонабухающих нитей.

– *Внутренний полупроводящий слой, изоляция и внешний полупроводящий слой*, наложенные одновременно методом тройной экструзии. Эти элементы выпрессовываются из композиций сшиваемого полиэтилена высокой чистоты производства фирмы «Borealis» (Швеция) и вулканизируются в среде азота при высоких значениях температуры и давления. Полупроводящие слои прочно соединены с изоляцией, что увеличивает стойкость кабеля к токам короткого замыкания и воздействию циклов нагрева и охлаждения.

– *Экран*, выполненный в виде комбинации из медных проволок и лент. Номинальное сечение экрана – от 35 до 150 мм². Возможна продольная герметизация экрана при помощи водонабухающего полотна, а также дополнительная поперечная герметизация при помощи алюмополимерной ленты, сваренной с наружной оболочкой.

– *Экструдированная наружная оболочка* из полиэтилена высокой плотности или поливинилхлоридного (ПВХ) пластиката.

Пример конструкции кабеля марки ПвЭгаП приведен на рис. 2.2.

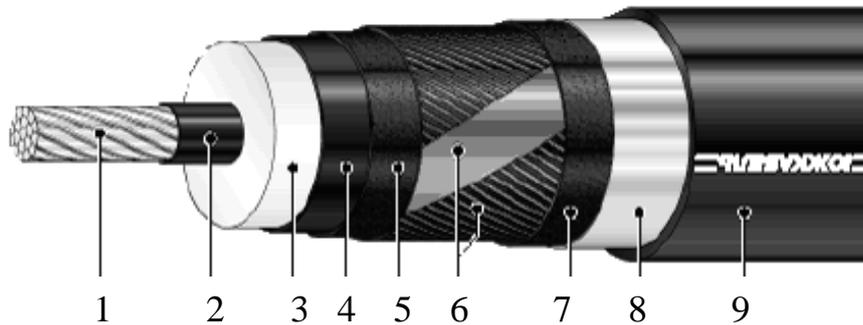


Рис. 2.2. Конструкция кабеля марки ПвЭгаП:

1 – медная токопроводящая жила; 2 – внутренний экструдированный полупроводящий слой; 3 – экструдированная изоляция из сшитого полиэтилена; 4 – внешний экструдированный полупроводящий слой; 5 – обмотка полупроводящим водонабухающим полотном; 6 – медный экран, выполненный в виде повива медных проволок, скрепленных спирально наложенной медной лентой; 7 – обмотка водонабухающим полотном; 8 – алюмополимерная лента, наложенная продольно и сваренная с наружной оболочкой; 9 – экструдированная наружная оболочка из полиэтилена высокой плотности

Возможно изготовление кабелей с наружными оболочками в исполнении «нг» (не распространяющих горение) или в исполнении «нгд» (не распространяющих горение и с низким выделением дыма и коррозионно-активных газов), а также в тропическом исполнении.

2.4. Испытания кабелей

Кабели подвергаются приемо-сдаточным, периодическим и типовым испытаниям. В процессе приемо-сдаточных испытаний строительные длины кабелей подвергаются следующим видам испытаний:

- проверка герметичности оболочки;
- испытание переменным напряжением 160 кВ в течение 30 мин;
- измерение уровня частичных разрядов;
- измерение электрического сопротивления токопроводящей жилы;
- проверка маркировки и упаковки.

Образцы, взятые от строительных длин кабелей, подвергаются следующим испытаниям:

- проверка конструктивных элементов и основных размеров;
- испытание на тепловую деформацию изоляции.

Периодически проверяются:

- стойкость кабелей к монтажным изгибам;
- электрическая емкость кабелей.

Типовые испытания проводятся при внесении изменений в конструкцию кабелей, технологию их изготовления или применяемые материалы, если эти изменения влияют на технические характеристики кабелей.

В состав типовых испытаний могут включаться:

– электрические испытания (измерение электрического сопротивления медного экрана, измерение $\text{tg } \delta$ изоляции, измерение уровня частичных разрядов в изоляции до и после испытания на изгиб, а также после воздействия циклов нагрева и охлаждения, испытание импульсным напряжением величиной 550 кВ, измерение удельного электрического сопротивления полупроводящих экранов);

– испытания на стойкость к внешним воздействующим факторам (стойкость к повышенной и пониженной температурам окружающей среды, повышенной влажности, испытание на водонепроницаемость, испытание на нераспространение горения, в том числе при прокладке в пучках, испытание на дымогазовыделение при горении и тлении кабелей);

– механические и физико-химические испытания материалов изоляции и оболочки;

– испытание готовых кабелей старением при повышенной температуре для проверки совместимости материалов.

2.5. Марки кабелей

Марка кабеля содержит краткое обозначение конструктивных элементов, которые определяют основные условия прокладки и эксплуатации кабеля.

Марки кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110 кВ содержат обозначения, приведенные в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Обозначения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена

Конструкция кабеля	Обозначение
1	2
Токопроводящая жила	А – алюминиевая жила
	медная жила (без обозначения)
Изоляция	Пв – изоляция из сшитого полиэтилена
	Э – медный экран по изолированной жиле

1	2
	Г – продольная герметизация экрана водонабухающими лентами
	га – продольная и поперечная герметизация экрана водонабухающими материалами и алюмополимерной лентой
Наружная оболочка	П – наружная оболочка из полиэтилена или сополимера полиэтилена
	Пу – усиленная полиэтиленовая оболочка
	В – наружная оболочка из ПВХ пластиката
	Внг – наружная оболочка из ПВХ пластиката, не распространяющего горение при групповой прокладке кабелей
	Внгд – наружная оболочка из ПВХ пластиката, не распространяющего горение и с низким выделением дыма и коррозионно-активных газов
Климатическое исполнение	исполнение У (УХЛ) (без обозначения) Т – исполнение Т (тропическое)

Пример обозначения:

«Кабель АПвЭгП-110 1х240(г)/95 ТУ У 31.3-00214534-022-2003».

Расшифровка:

А – алюминиевая токопроводящая жила;

Пв – изоляция из сшитого полиэтилена;

Э – медный экран с продольной герметизацией;

П – наружная оболочка из полиэтилена;

110 – номинальное напряжение, кВ;

1 – число жил;

240 – номинальное сечение токопроводящей жилы, мм²;

(г) – жила продольно герметизирована;

95 – номинальное сечение экрана, мм²;

ТУ... – обозначение технических условий.

2.6. Номинальное напряжение

Кабели изготавливаются на номинальное напряжение 110 кВ частотой 49–61 Гц в сетях с заземленной нейтралью.

Номинальное линейное напряжение U – действующее напряжение между токопроводящими жилами кабелей одной трехфазной системы – 110 кВ.

Номинальное фазное напряжение $U_0 = U/\sqrt{3}$ – действующее напряжение между токопроводящей жилой и металлическим экраном, на которое рассчитан кабель.

Максимальное линейное напряжение, при котором могут длительно работать кабели U_m , равное 123 кВ, указано в ГОСТ 29322-92 (МЭК 38-83) «Стандартные напряжения», МЭК 60183 «Рекомендации по выбору кабелей высокого напряжения» и МЭК 60840:1999 «Силовые кабели с экструдированной изоляцией и арматура для них на номинальное напряжение выше 30 кВ ($U_m = 36$ кВ) до 150 кВ ($U_m = 170$ кВ). Методы испытаний и требования».

Конструкция кабелей, технические требования и результаты испытаний позволяют использовать кабели 110 кВ в сетях с максимальным напряжением 126 кВ.

2.7. Область применения и условия эксплуатации

Основные марки кабелей и соответствующие им области применения приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Марки кабелей и области их применения

Марка кабеля	Рекомендуемые области применения
АПвЭП, ПвЭП	Для прокладки в земле (траншеях) с высокой коррозионной активностью грунта при условии защиты кабеля от механических повреждений
АПвЭВ, ПвЭВ	Для одиночной прокладки в помещениях, каналах и туннелях и для прокладки в сухих грунтах при условии защиты кабеля от механических повреждений

Кабели предназначены для прокладки на трассах без ограничения разности уровня. При прокладке кабелей на воздухе (на эстакадах, галереях, открытых лотках и т.д.) необходимо предусмотреть защиту кабелей от солнечного излучения.

Допускается прокладка кабелей с наружной оболочкой из полиэтилена в помещениях и кабельных сооружениях при условии обеспечения дополнительных средств противопожарной защиты.

Кабели с индексом «Г» имеют водонабухающие элементы, препятствующие продольному распространению влаги в металлическом

экране и/или вдоль токопроводящей жилы; кабели с индексом «га» имеют кроме продольной герметизации металлический барьер из алюмополимерной ленты, препятствующий поперечному проникновению влаги.

Кабели с индексом «гг» предназначены для прокладки в земле; кабели с индексом «га» – в механической защите кабелей.

Кабели с маркировкой «нг» и «нгд» предназначены для групповой прокладки в кабельных сооружениях, помещениях (в том числе в пожароопасных).

Кабели с маркировкой «нгд» – для прокладки на объектах, где наряду с требованиями к нераспространению горения предъявляются требования к пониженному дымогазовыделению при горении и тлении: атомных станциях, электростанциях, метрополитенах, высотных зданиях, крупных промышленных объектах и др.

Кабели с усиленной оболочкой из полиэтилена предназначены для прокладки на сложных участках кабельных трасс, содержащих более четырех поворотов под углом свыше 30 °С или прямолинейные участки с более чем четырьмя переходами в трубах длиной свыше 20 м или с более чем двумя переходами в трубах длиной свыше 40 м, а также для прокладки в воде.

Кабели предназначены для эксплуатации в стационарном состоянии при температуре окружающей среды от +50 до –50 °С для кабелей с наружной оболочкой из ПВХ пластиката, до –40 °С – для кабелей с наружной оболочкой из ПВХ пластиката пониженной пожароопасности, до –60 °С – для кабелей с наружной оболочкой из полиэтилена и от +65 до –25 °С – для кабелей в тропическом исполнении.

Длительно допустимая температура нагрева жил кабелей при эксплуатации – 90 °С.

Максимально допустимая температура нагрева жил кабелей при коротком замыкании – 250 °С. Продолжительность короткого замыкания не должна превышать 5 с; предельно допустимая температура экрана при коротком замыкании – 350 °С; допустимая температура нагрева жил кабелей в режиме перегрузки – не более 130 °С.

Продолжительность работы кабелей в режиме перегрузки не должна быть более 8 ч в сутки и не более 1000 ч за срок службы.

2.8. Выбор номинального сечения жил и экранов в зависимости от токовых нагрузок

Номинальное сечение токопроводящих жил выбирается из ряда 240; 300; 350; 400; 500; 630(625); 800 мм². Кабели с номинальным сечением жилы 185 мм² могут быть изготовлены по согласованию с изготовителем.

Номинальное сечение токопроводящих жил кабелей выбирается по длительно допустимому току, скорректированному с учетом условий прокладки и эксплуатации кабеля при помощи поправочных коэффициентов.

Поправочные коэффициенты должны быть приняты для участка трассы с наихудшими условиями охлаждения, длина которого превышает 10 м.

Длительно допустимый ток кабельной линии определяется исходя из передаваемой мощности по формуле:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos\varphi},$$

где P – передаваемая мощность, кВт; U – номинальное линейное напряжение, кВ; φ – угол сдвига фаз между напряжением и током.

Передаваемая мощность принимается с учетом возможных послеаварийных нагрузок и обеспечения необходимого резерва мощности в системе.

При необходимости прокладки нескольких параллельных кабельных цепей для передачи мощности P рекомендуется проводить технико-экономические расчеты с учетом затрат на прокладку кабелей, их монтаж и эксплуатацию.

Выбранное номинальное сечение жилы должно быть проверено по допустимому току при перегрузках (в послеаварийном режиме) и по допустимому току короткого замыкания жилы. Номинальное сечение экранов кабелей выбирается по допустимому току короткого замыкания экрана.

2.9. Длительно допустимые токовые нагрузки

Длительно допустимый ток кабеля рассчитывается в общем случае по формуле:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\Theta - Wd(0,5T_1 + n(T_1 + T_2 + T_3))}{RT_1 + nR(1 + \lambda_1)T_2 + nR(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)}},$$

где $\Delta\Theta$ – разница температур между токоведущей жилой и окружающей средой, °С; Wd – диэлектрические потери на единицу длины, Вт/м; T_1 – термическое сопротивление между жилой и металлическим экраном

(оболочкой), $^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт}$; T_2 – термическое сопротивление между металлическим экраном (оболочкой) и броней, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт}$; T_3 – термическое сопротивление наружного покрова, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт}$; T_4 – термическое сопротивление окружающей кабель среды, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт}$ (для земли эта величина обусловлена процессом теплопроводности, а для воздуха – процессом конвекции); R – электрическое сопротивление токопроводящей жилы переменному току при максимально допустимой температуре жилы, Ом/м ; n – число жил в кабеле; λ_1, λ_2 – отношение общих потерь в металлических экранах (оболочках) и броне к сумме потерь в токопроводящих жилах.

При расчете по этой формуле сделаны следующие допущения:

а) подсушивание грунта вокруг кабелей, проложенных в земле, не учитывается;

б) кабели, проложенные на воздухе, защищены от воздействия солнечного излучения.

Длительно допустимые токовые нагрузки кабелей, приведенные в табл. 4.4, рассчитаны при следующих условиях:

- температура жилы – 90°C ;
- температура окружающей среды – 20°C при прокладке в земле и 30°C при прокладке на воздухе;
- фактор нагрузки – 1,0;
- глубина прокладки в земле – 1,5 м;
- удельное тепловое сопротивление грунта – $1 \text{ К} \cdot \text{м/Вт}$;
- при прокладке треугольником кабели проложены вплотную; при прокладке в плоскости расстояние между кабелями в свету равно диаметру кабеля;
- кабели на воздухе проложены свободно (на расстоянии от опоры) и защищены от воздействия солнечного излучения;
- заземление экрана на обоих концах линии.

При других условиях эксплуатации длительно допустимый ток должен быть скорректирован путем умножения величин, указанных в табл. 2.4, на корректирующие коэффициенты.

Таблица 2.4

Длительно допустимая токовая нагрузка

Номинальное сечение жилы, мм ²	кабелей с медной жилой				кабелей с алюминиевой жилой			
	в земле		на воздухе		в земле		на воздухе	
240	520	544	670	744	404	422	520	578
300	587	615	766	853	456	478	595	663
350	621	651	817	911	487	510	640	714
400	669	703	888	992	524	549	694	775
500	760	802	1026	1152	599	630	808	905
630 (625)	858	912	1178	1336	683	721	935	1057
800	959	1028	1340	1535	773	821	1079	1226

Приведем поправочные коэффициенты для пересчета длительно допустимых токов:

1. В зависимости от температуры окружающей среды (k_1) (табл. 2.5, рис. 2.3).

Таблица 2.5

Поправочный коэффициент для пересчета длительно допустимых токов в зависимости от температуры окружающей среды

	Поправочный коэффициент k_1 при температуре окружающей среды, °С											
	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
в земле	1,2	1,17	1,13	1,20	1,06	1,03	1,00	0,97	0,93	0,89	0,86	0,82
на воздухе	1,29	1,25	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88

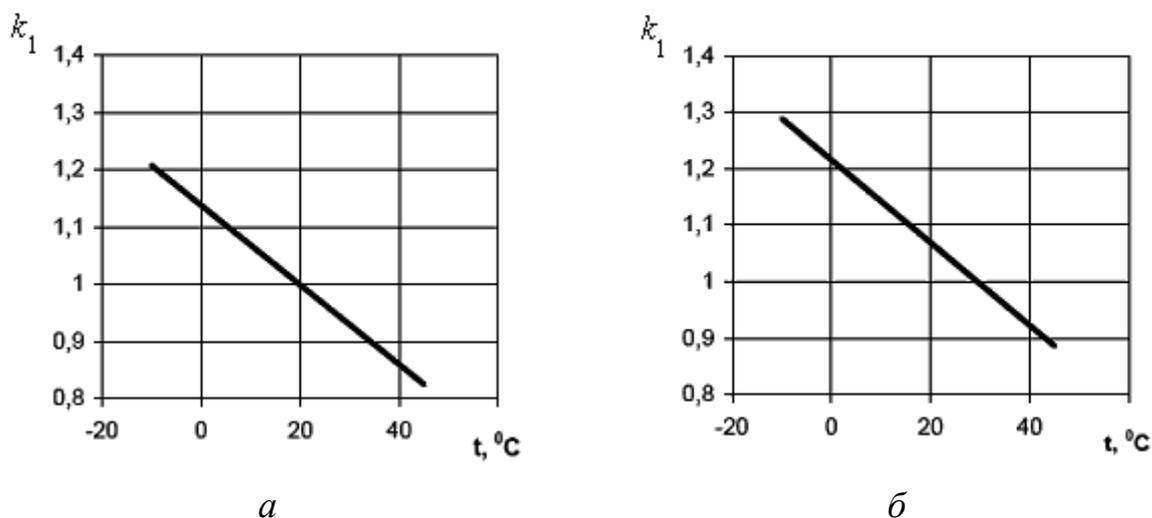


Рис. 2.3. Поправочный коэффициент k_1 :
a – при прокладке в земле; *б* – при прокладке на воздухе

2. В зависимости от глубины прокладки (k_2) (табл. 2.6, рис. 2.4).

Таблица 2.6

**Поправочный коэффициент для пересчета длительно допустимых токов
 в зависимости от глубины прокладки**

	Поправочный коэффициент k_2										
	1,04	1,02	1,01	1,0	0,99	0,98	0,97	0,93	0,88	0,80	0,73
глубина прокладки, м	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	3,0	4,0	5,0

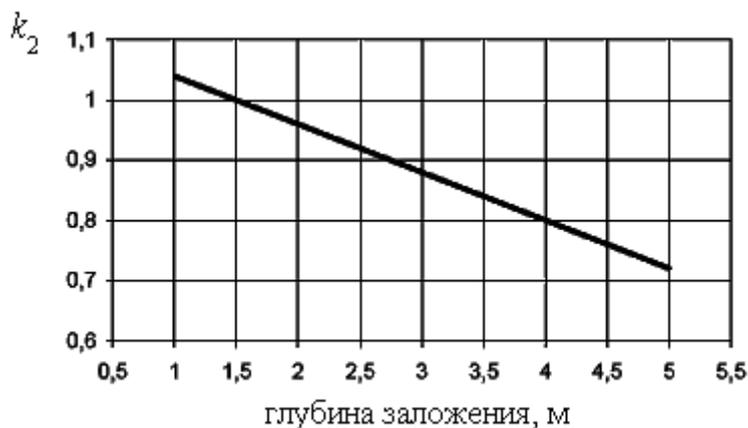


Рис. 2.4. Поправочный коэффициент k_2 в зависимости от глубины прокладки

3. В зависимости от удельного теплового сопротивления грунта (k_3) (табл. 2.7, рис. 2.5).

Таблица 2.7

**Поправочный коэффициент для пересчета длительно допустимых токов
в зависимости от удельного теплового сопротивления грунта**

	Поправочный коэффициент k_3										
	1,37	1,21	1,09	1,0	0,93	0,87	0,83	0,79	0,72	0,67	0,63
Удельное тепловое сопротивление грунта $\rho_{гр}$, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт}$	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,2	2,6	3,0

Примечание:

- Удельное термическое сопротивление окружающей среды (ориентировочно):
- проточной воды – $0^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт}$;
 - при прокладке по дну водоемов – $0,40\text{--}0,50^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт}$;
 - песок влажностью более 9 %, песчано-глинистая почва влажностью более 14 % – $0,80^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт}$;
 - песок влажностью 7–9 %, песчано-глинистая почва влажностью 12–14 % – $1,20^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт}$;
 - песок влажностью более 4 и менее 7 %, песчано-глинистая почва влажностью 8–12 % – $1,80^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт}$;
 - песок влажностью до 4 %, каменистая почва – $3,00^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт}$.

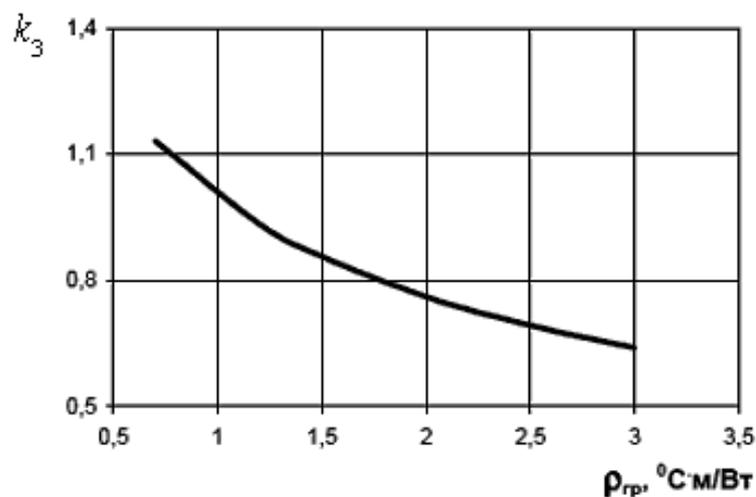


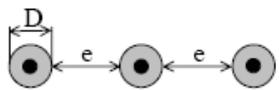
Рис. 2.5. Поправочный коэффициент k_3 в зависимости от удельного теплового сопротивления грунта

4. В зависимости от расположения кабелей – в зависимости от расстояния между фазами e :

Для кабелей, проложенных в плоскости (k_4) (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Поправочный коэффициент для пересчета длительно допустимых токов для кабелей, проложенных в плоскости, в зависимости от расстояния между фазами

e/D	0	0,75	1	1,5	2	3	
кабели в земле, k_4	0,95	0,99	1,0	1,02	1,03	1,06	
кабели на воздухе, k_4	0,8	0,88	1,0	1,0	1,0	1,0	

– Для кабелей, проложенных в земле (k_5) (табл. 2.9, рис. 2.6).

Таблица 2.9

Поправочные коэффициенты для пересчета длительно допустимых токов для кабелей, проложенных в земле, в зависимости от расстояния между фазами

e , мм	Число групп кабелей				
	2	3	4	5	6
0 (касающиеся)	0,85	0,76	0,70	0,66	0,62
100	0,87	0,79	0,74	0,70	0,67
300	0,90	0,83	0,79	0,75	0,73
500	0,92	0,85	0,82	0,79	0,77
700	0,93	0,87	0,84	0,82	0,80
900	0,94	0,89	0,86	0,84	0,83
1200	0,95	0,91	0,89	0,87	0,86
1500	0,96	0,92	0,91	0,89	0,89
1800	0,96	0,93	0,92	0,91	0,91
2000	0,97	0,94	0,93	0,92	0,92
3000	0,98	0,96	0,97	0,95	0,95
4000	0,99	0,98	0,97	0,97	0,97
5000	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98

Примечание: Резервные кабели при расчете не учитываются.

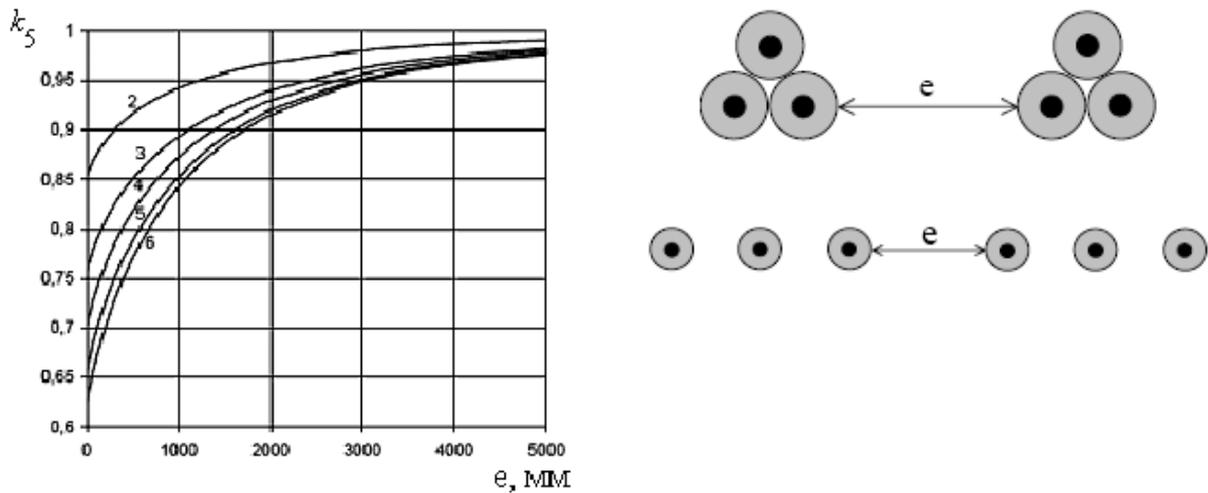


Рис. 2.6. Поправочные коэффициенты для пересчета длительно допустимых токов для кабелей, проложенных в земле, в зависимости от расстояния между фазами

При длине труб менее 10 м: $k_6 = 1$. При длине труб 10 м и более применяются коэффициенты, приведенные в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Поправочные коэффициенты для пересчета длительно допустимых токов для кабелей, проложенных в трубах и каналах, в зависимости от расстояния между фазами

Условия прокладки	k_6 при внутреннем диаметре трубы					
	$1,5 \times De$	$1,5 \times De$	$2,0 \times De$	$3,0 \times De$	$3,5 \times De$	$4,0 \times De$
Кабели проложены в отдельных трубах в грунте или на воздухе с защитой от солнечного излучения	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95
Три кабеля проложены в одной трубе в грунте или на воздухе с защитой от солнечного излучения	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95
Три кабеля проложены в трубе, находящейся под воздействием солнечного излучения интенсивностью 1000 Вт/м^2 :						
– в стальной трубе	0,77	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81
– в пластмассовой трубе	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83

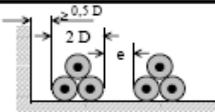
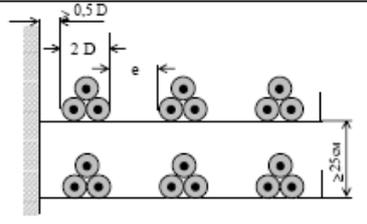
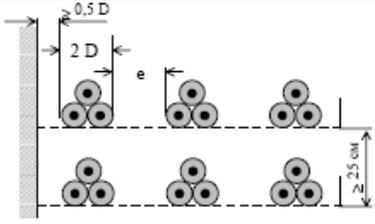
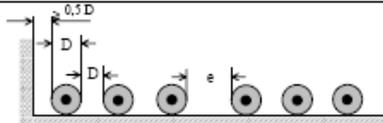
Примечание:

De – диаметр кабеля (при прокладке в трубе трех кабелей величина De равна $2,15 \times$ диаметр одного кабеля).

Для кабелей, проложенных на воздухе (табл. 2.11).

Таблица 2.11

Поправочные коэффициенты для пересчета длительно допустимых токов для кабелей, проложенных на воздухе, в зависимости от расстояния между фазами

Количество кабельных систем		1	2	3	Вариант расположения
1. Кабели проложены по поверхности земли		0,97	0,94	0,93	
2. Кабели проложены на полках (без возможности циркуляции воздуха)	Кол-во полок				
	1	0,97	0,94	0,93	
Кабели проложены на лотках (с возможностью циркуляции воздуха)	Кол-во лотков				
	1	1,00	0,97	0,96	
	2	0,98	0,95	0,94	
	Кабели проложены на поверхности земли	0,96	0,91	0,88	

Примечание:

Резервные кабели при расчете не учитываются.

Нагрев от соседних кабельных систем учитывается при e/D :

≤ 1 – для двух кабельных систем;

$\leq 1,5$ – для трех кабельных систем.

Нагрев от соседних кабельных систем учитывается, если зазор между кабелем и лежащей выше полкой меньше $4D$.

Нагрев от соседних кабельных систем учитывается при e/D :

$\leq 0,5$ – для двух кабельных систем;

$\leq 0,75$ – для трех кабельных систем.

2.10. Перегрузочная способность кабелей

Из-за высокой теплоемкости грунта температура токопроводящей жилы в кабеле, проложенном в земле, возрастает значительно медленнее, чем для кабеля, проложенного на воздухе. Поэтому для кабеля, проложенного в земле, в течение ограниченного времени возможно увеличение токовой нагрузки по сравнению с длительно допустимой. При этом температура жилы не должна превысить 90 °С.

На рис. 2.7 приведена перегрузочная кривая (зависимость допустимой длительности перегрузки от ее кратности) при первоначальном включении кабеля (т.е. при первоначальном перегреве $t_1 = 0$), полученная по формуле:

$$\frac{I}{I_{\text{НОМ}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - e^{-t_{\text{пер}}/\beta}}},$$

где I – ток перегрузки, А; $I_{\text{НОМ}}$ – длительно допустимый ток в земле, А; $t_{\text{пер}}$ – допустимая длительность перегрузки, ч; β – постоянная времени нагрева, ч (см. табл. 2.12).

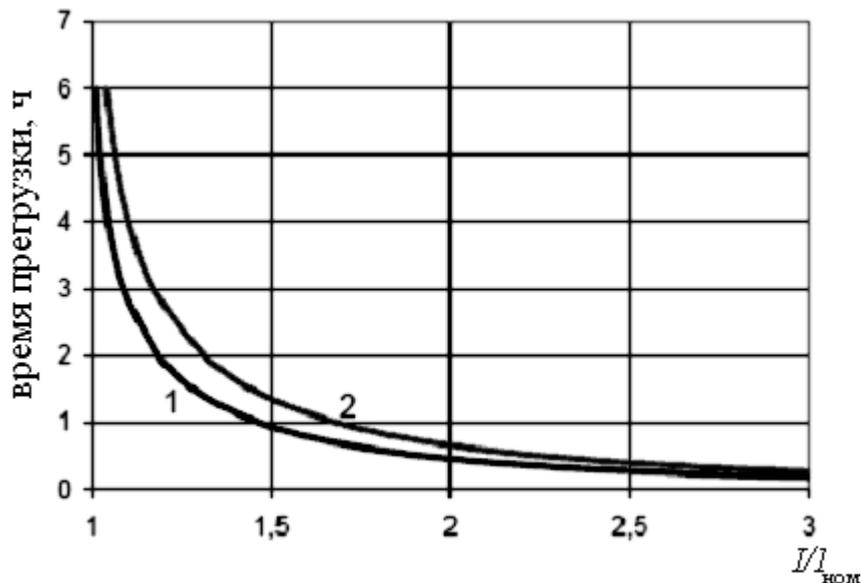


Рис. 2.7. Перегрузочная кривая при первоначальном включении кабеля:
1 – для сечения жилы 240 мм²; 2 – для сечения жилы 800 мм²

Допустимая кратность перегрузки $I/I_{\text{НОМ}}$ кабеля, предварительно нагретого током $I_0 = m_0 \cdot I_{\text{НОМ}}$, приведенная на рис. 2.8 для времени перегрузки 0,5; 1; 2 и 3 ч, получена по формуле:

$$\frac{I}{I_{\text{НОМ}}} = \sqrt{\frac{1 - m_0^{-t_{\text{пер}}/\beta}}{1 - e^{-t_{\text{пер}}/\beta}}}$$

Таблица 2.12

**Постоянная времени нагрева в зависимости
от номинального сечения кабеля**

Номинальное сечение жилы, мм ²	β , ч, для жилы	
	медной	алюминиевой
240	1,61	1,53
300	1,72	1,61
350	1,79	1,66
400	1,86	1,73
500	2,01	1,84
630	2,08	1,88
800	2,31	2,06

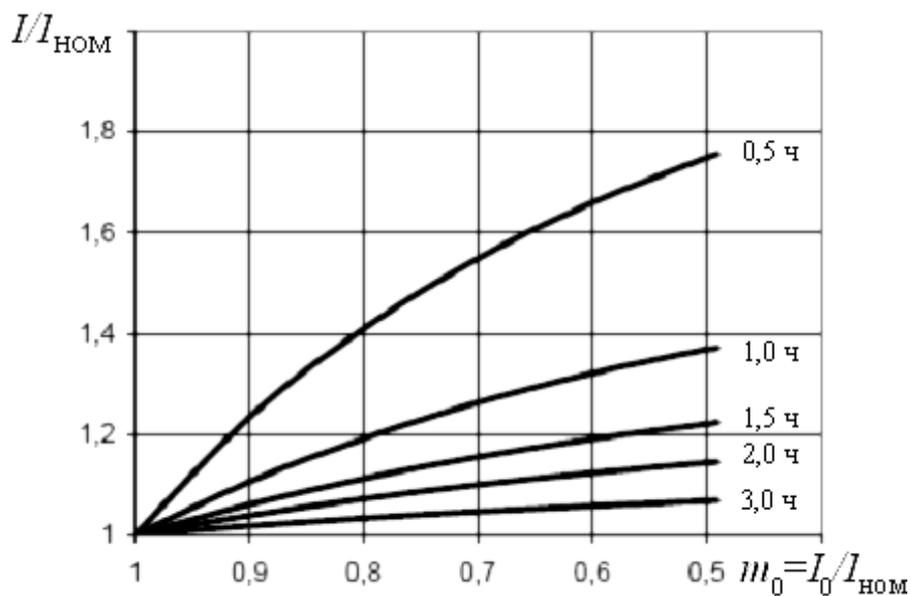


Рис. 2.8. Допустимая кратность перегрузки кабеля

Допустимый ток при перегрузках послеаварийного режима, при котором температура нагрева жилы не превысит $130\text{ }^{\circ}\text{C}$, рассчитывается умножением длительно допустимого тока (по методике, приведенной выше) на коэффициент 1,17 для кабелей, проложенных в земле, и 1,20 – для кабелей, проложенных на воздухе.

Потребление электроэнергии, а значит, и нагрузка кабеля колеблются в течение суток и в течение года в целом. На рис. 2.9 приведен пример суточной кривой потребления электроэнергии (в процентах от максимального значения), на рис. 2.10 изображена зависимость коэффициента увеличения нагрузки от фактора нагрузки.

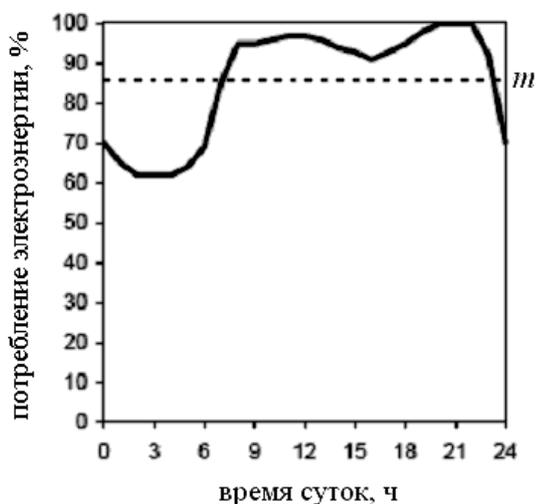


Рис. 2.9. Суточная кривая потребления электроэнергии

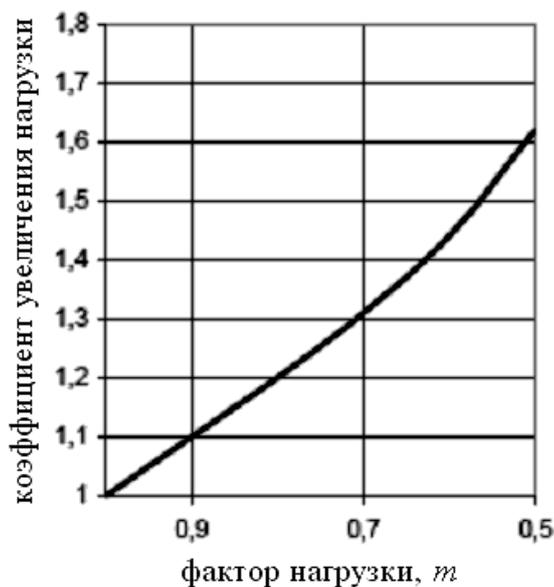


Рис. 2.10. Зависимость коэффициента увеличения нагрузки от фактора нагрузки

Перегрузочная способность кабелей регламентирована нормативными документами.

2.11. Допустимые токи короткого замыкания по жиле и по экрану

Допустимые токи односекундного короткого замыкания по жиле, приведенные в табл. 2.13, рассчитаны исходя из начальной температуры жилы кабеля 90 °С и конечной температуры 250 °С. Для расчета допустимых токов короткого замыкания (к.з.) при начальной температуре жилы, отличающейся от 90 °С, используются расчетные плотности токов короткого замыкания (табл. 2.14).

Таблица 2.13

Допустимый ток короткого замыкания по жиле, кВ (при длительности к.з. 1 с)

Материал жилы	Для кабелей с номинальным сечением жилы, мм ²						
	240	300	350	400	500	625(630)	800
медь	34,3	42,9	50,1	57,2	71,5	90,1	114,4
алюминий	22,7	28,2	32,9	37,6	47,0	59,0	75,2

Таблица 2.14

Расчетная плотность тока к.з., А/мм² (при длительности к.з. 1 с)

Материал жилы	Для температуры жилы к началу к.з., °С							
	90	80	70	60	50	40	30	20
медь	143	149	154	159	165	170	176	181
алюминий	94	98	102	105	109	113	116	120

Допустимые токи односекундного короткого замыкания по медному экрану, рассчитанные исходя из конечной температуры экрана 350 °С, приведены в табл. 2.15.

Таблица 2.15

Допустимый ток односекундного к.з. по медному экрану

Сечение медного экрана, мм ²	35	50	70	95	120	150
Допустимый односекундный ток к.з. экрана, кА	7,1	10,2	14,2	19,3	24,4	30,4

Для продолжительности короткого замыкания, отличающейся от 1 с, значения допустимого тока короткого замыкания по жиле или экрану необходимо умножить на поправочный коэффициент: $k = 1/\sqrt{t}$, где t – продолжительность короткого замыкания, с.

2.12. Пример выбора номинального сечения токопроводящей жилы кабеля и экрана

Исходные данные:

1. Передаваемая мощность линии – 170 МВт, $\cos \varphi = 0,95$.
2. Марка кабеля АПвЭГВ.
3. Линия разделена на две группы кабелей.

Кабели могут быть расположены одним из способов:

- а) две группы кабелей, скрепленных в треугольник;
- б) две группы кабелей, проложенных в плоскости с расстоянием между фазами, равным диаметру кабеля.

4. Расстояние в свету между группами кабелей: в траншее = 700 мм, на эстакаде равно диаметру кабеля.

5. Кабельная линия прокладывается в грунте (траншее) и по территории предприятия по крытой эстакаде и имеет переход под автомобильной дорогой в керамической трубе длиной 12 м, проложенной на воздухе.

6. Глубина прокладки в земле – 1,8 м, удельное тепловое сопротивление грунта – $1^\circ\text{C}\cdot\text{м}/\text{Вт}$.

7. Расчетная температура воздуха – 35°C , грунта – 25°C .

8. Ток однофазного короткого замыкания на землю по данным проекта энергосистемы составляет 35 кА при времени отключения защиты однофазного короткого замыкания 0,3 с.

Ток в линии составит:

$$I = \frac{170 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,95} \approx 939,2 \text{ А.}$$

Ток в одном кабеле:

$$I_1 = I/2 = 469,6 \text{ А.}$$

Необходимо выбрать номинальное сечение жилы, допустимый ток для которого равен или превышает 469,6 А.

Для кабелей, проложенных в земле:

А. Для способа прокладки треугольником:

В табл. 2.4 указан допустимый ток в земле 487 А, которому соответствует номинальное сечение алюминиевой жилы 350 мм².

Допустимый ток для заданных условий прокладки кабеля в траншее рассчитывается при помощи поправочных коэффициентов $k_1 = 0,97$ (табл. 2.5), $k_2 = 0,98$, $k_3 = 1,0$, $k_5 = 0,93$ (табл. 2.9):

$$I_2 = 487 \cdot 0,97 \cdot 0,98 \cdot 1,00 \cdot 0,93 = 430,5 \text{ А,}$$

т.е. сечение жилы 350 мм² при выбранных условиях прокладки является недостаточным.

Б. Для прокладки в плоскости:

Допустимый ток для номинального сечения жилы 350 мм² в земле 510 А.

Найдем допустимый ток для заданных условий прокладки кабеля в траншее: поправочные коэффициенты $k_1 = 0,97$ (табл. 2.5), $k_2 = 0,98$, $k_3 = 1,00$, $k_5 = 0,93$ (табл. 2.9):

$$I_3 = 510 \cdot 0,97 \cdot 0,98 \cdot 1,00 \cdot 0,93 = 450,9 \text{ А.}$$

Необходимо выполнить расчет для номинального сечения жилы 400 мм²:

а) при прокладке треугольником (допустимый ток в земле – 524 А, поправочные коэффициенты см. выше):

$$I_4 = 524 \cdot 0,97 \cdot 0,98 \cdot 1,00 \cdot 0,93 \approx 463,2 \text{ А;}$$

б) при прокладке в плоскости (допустимый ток – 549 А, поправочные коэффициенты см. выше):

$$I_5 = 549 \cdot 0,97 \cdot 0,98 \cdot 1,00 \cdot 0,93 = 485,3 \text{ А.}$$

Таким образом, сечение жилы 400 мм² при прокладке кабелей в земле в плоскости обеспечивает требуемую передаваемую мощность.

Проверка допустимых токовых нагрузок на участках трассы с другими условиями прокладки:

а) для участка кабеля, проложенного в трубе: допустимый ток для сечения 400 мм^2 при прокладке в воздухе 775 А , поправочные коэффициенты $k_1 = 0,96$ (табл. 2.5), $k_6 = 0,9$ (табл. 2.10):

$$I_6 = 775 \cdot 0,96 \cdot 0,9 = 669,6 \text{ А.}$$

б) для кабеля на эстакаде: группы кабелей связаны в треугольники и проложены на двух полках, расположенных вертикально (поправочные коэффициенты $k_1 = 0,96$ (табл. 2.5), $k_5 = 0,95$ (табл. 2.9)).

Таким образом, выбранное номинальное сечение 400 мм^2 обеспечивает пропускную способность линии на всей длине трассы при прокладке кабелей в плоскости.

При необходимости прокладки кабелей треугольником в земле необходимо было бы принять номинальное сечение кабеля 500 мм^2 и также проверить нагрузочную способность.

Для продолжительности короткого замыкания $t = 1 \text{ с}$ ток короткого замыкания по экрану составит:

$$I_9 = 35 \cdot 0,3 = 19,2 \text{ кА.}$$

Из табл. 2.15 видно, что при таком токе короткого замыкания необходимо сечение медного экрана 95 мм^2 .

2.13. Кабельные муфты для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110 и 220 кВ

Надежность кабельных линий в значительной степени определяется арматурой. Большинство аварий на кабельных линиях происходит в местах установок муфт, поэтому при проектировании требуется уделять большое внимание не только выбору кабеля, но и арматуры к нему. Надежность зависит не только от качества самого производства, но также от качества проведенных монтажных работ, поэтому производитель должен обеспечить техническое решение, упрощающее монтаж на объекте. Кроме того, основными показателями качественного производителя являются опыт работы в данном секторе, хорошая производственная технологическая база и высокий инженерный потенциал, способный внедрять инновационные решения.

Линейка арматуры для кабелей маслонаполненных и с изоляцией из сшитого полиэтилена представлена:

- концевыми муфтами;
- кабельными вводами в КРУЭ и трансформаторы;
- соединительными муфтами;
- переходными муфтами (с маслонаполненных кабелей на кабели с СПЭ-изоляцией).

2.13.1. Концевые муфты типа *PAT* и сухие концевые муфты типа *PAT130C*

Концевые муфты предназначены для вывода из кабеля токопроводящей жилы и присоединения ее к линии электропередач, трансформатору или элементам РУ. На рис. 2.11 показана концевая муфта типа *PAT*.

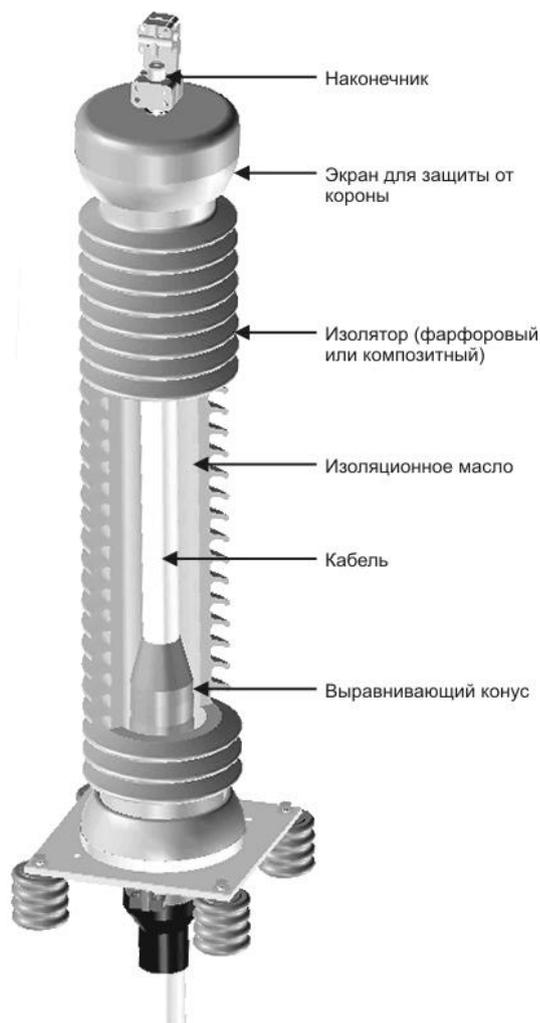


Рис. 2.11. Концевая муфта типа *PAT*

Область применения: для наружной или внутренней установки, для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена с сечением жилы до 2500 мм² на напряжение 110–220 кВ (для сухих концевых муфт максимальное сечение жилы – 630 мм² и номинальное напряжение – 110 кВ).

Преимущества:

- выравнивающий конус с технологией холодной усадки;
- простота конструкции, облегчающая монтаж муфты (монтаж муфт *PAT* и *PAT130C* отличается вследствие разной конструкции);
- различные варианты установки: вертикальная, под углом, перевернутая, горизонтальная;
- гибкость (для сухих муфт *PAT130C*);
- успешный опыт эксплуатации во многих странах мира.

Стандартная комплектация для муфт типа *PAT* (с наполнителем):

- изолятор (фарфоровый или композитный);
- алюминиевая шапка;
- алюминиевый экран для защиты от короны;
- наконечник (соединитель);
- аппаратный зажим;
- жидкий диэлектрик;
- выравнивающий конус;
- алюминиевый вводной корпус с термоусаживаемым уплотнением, опорными изоляторами и монтажной плитой;
- набор для подготовки кабеля.

Дополнительные комплектующие к муфтам *PAT*:

- крепление кабеля;
- стержневой разрядник;
- компенсатор давления (для перевернутой и горизонтальной установок);
- дренажный клапан для сбора пробы жидкого диэлектрика.

Стандартная комплектация для сухих муфт типа *PAT130C*:

- аппаратный зажим;
- верхняя гайка;
- экран для защиты от короны;
- штампованный на заводе корпус муфты со встроенным выравнивающим конусом;
- контактное кольцо экрана;
- заземляющая арматура;
- корпус кабельного ввода;

- монтажный кронштейн;
- термоусаживаемые трубки.

2.13.2. Соединительные муфты типа *PMJ*

Соединительные муфты предназначены для электрического соединения строительных длин кабеля. На рис. 2.12 показана конструкция соединительной муфты типа *PMJ* для кабелей с СПЭ-изоляцией.

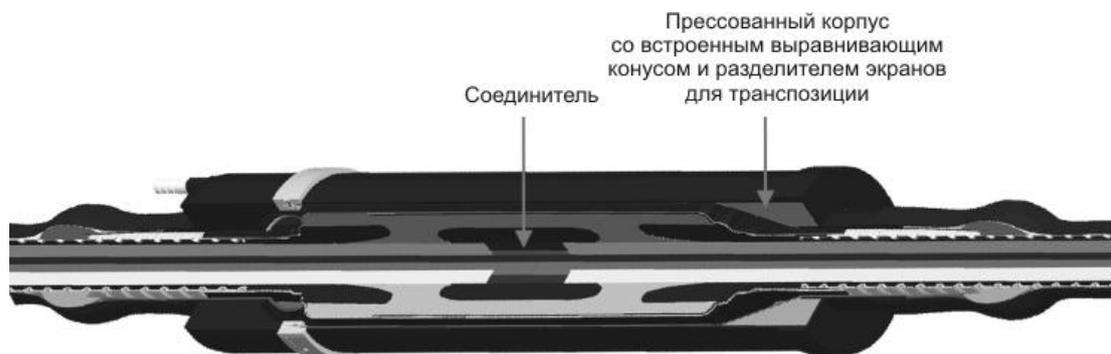


Рис. 2.12. Конструкция соединительной муфты типа *PMJ* для кабелей с СПЭ-изоляцией

Область применения муфт: для установки под засыпку и в колодцах (возможность работы под водой), для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена с сечением жилы до 2500 мм² на напряжение 110–220 кВ.

Преимущества:

- выравнивающий конус с технологией холодной усадки;
- простота конструкции, облегчающая монтаж муфты.

Стандартная комплектация для муфт типа *PMJ*:

- прессованный на заводе корпус со встроенным выравнивающим конусом;
- соединитель;
- набор для подготовки кабеля.

Дополнительные комплектующие:

- внешний защитный кожух.

2.13.3. Переходные муфты с маслонаполненных кабелей на кабели с СПЭ-изоляцией

Переходные муфты предназначены для электрического соединения маслонаполненных кабелей с кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена. На рис. 2.13 изображены переходные муфты 110 кВ типа *TJNT* в колодце.

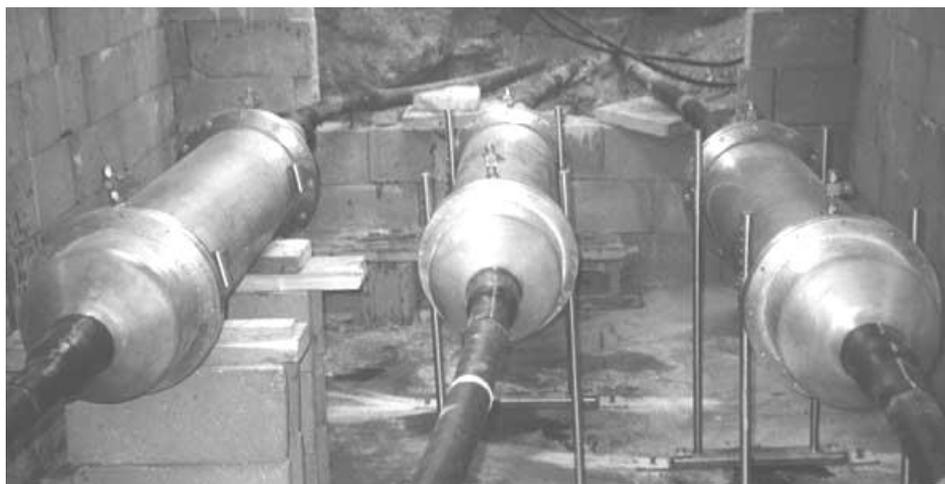


Рис. 2.13. Переходные муфты 110 кВ типа *T/JNT* в колодце

Область применения: для кабелей маслonaполненных (низкого и высокого давления) и кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена с сечением жилы до 2000 мм^2 на напряжение 110–220 кВ.

Преимущества:

- экономия капиталовложений и времени простоя линии при переходе с маслonaполненных кабелей на кабели с СПЭ-изоляцией;
- съемное исполнение, позволяющее применять одну муфту на нескольких участках линии;
- изготавливаемый на заводе выравнивающий конус для маслonaполненного кабеля ускоряет монтаж (выполнение намотки на объекте не требуется);
- наличие внутренней компенсации давления со стороны кабеля с СПЭ-изоляцией, что не требует внешнего компенсатора;
- компактность;
- возможность установки под засыпку и в колодцах;
- простота конструкции, облегчающая монтаж муфты.

2.14. Кабельные вводы в КРУЭ и трансформаторы типа *PATR*

Кабельные вводы типа *PATR* предназначены для присоединения кабельной линии напрямую к КРУЭ и трансформаторам. На рис. 2.14 изображен кабельный ввод типа *PATR*.

Область применения: для наружной или внутренней установки, для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена с сечением жилы до 2500 мм^2 на напряжение 110–220 кВ.

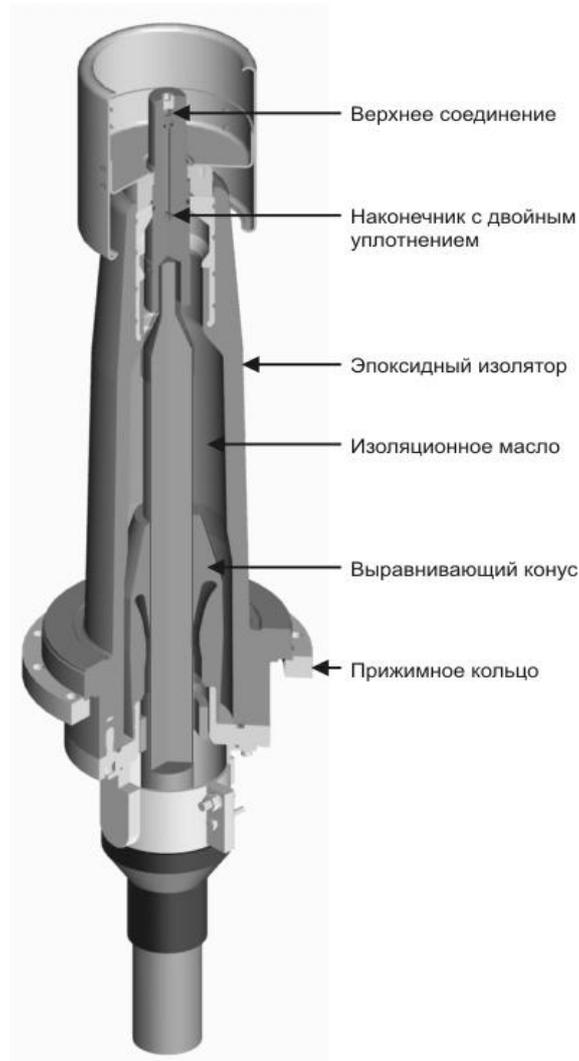


Рис. 2.14. Кабельный ввод типа *PATR*

Преимущества:

- выравнивающий конус с технологией холодной усадки;
- простота конструкции, облегчающая монтаж муфты;
- различные варианты установки: вертикальная, под углом, перевернутая, горизонтальная;
- успешный опыт эксплуатации во многих странах мира.

Стандартная комплектация:

- контактное соединение с КРУЭ или трансформатором;
- эпоксидный изолятор со встроенным разрывом экрана кабеля;
- выравнивающий конус;
- жидкий диэлектрик;
- наконечник (соединитель) с двойным уплотнением;
- алюминиевая базовая плита;

- алюминиевое зажимное кольцо;
- алюминиевый вводной корпус с термоусаживаемым уплотнением;
- набор для подготовки кабеля.

Дополнительные комплектующие:

- набор для заполнения маслом на объекте;
- компенсатор давления (для перевернутой и горизонтальной установок).

Вопросы для самоконтроля к главе 2

1. В чем заключаются основные достоинства кабелей с СПЭ-изоляцией по сравнению с маслонаполненными кабелями?
2. Опишите конструкцию кабелей с СПЭ-изоляцией?
3. Какие существуют способы прокладки одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.
4. Опишите линейку арматуры для кабелей с СПЭ-изоляцией и маслонаполненных кабелей.
5. В чем заключается особенность выбора сечения экрана кабеля с СПЭ-изоляцией?
6. Как выбрать марку кабеля с СПЭ-изоляцией?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании рассмотренного в данном пособии материала можно сделать следующие выводы.

Вопросы электроснабжения города решаются комплексно, с учетом возможностей использования подстанций и распределительных пунктов системы электроснабжения города для питания промышленных предприятий, расположенных на территории города.

Напряжения городских сетей выбираются с учетом: концепции развития города; наименьшего числа ступеней трансформации электрической энергии; технических характеристик источников питания, плотности и величины нагрузок и т.п. В любых случаях следует сокращать число трансформаций электроэнергии. Для большинства городов наиболее целесообразной является система напряжений 110–220/10 кВ, для крупных городов – 500/220–110/10 кВ или 330/110/10 кВ. В существующих сетях следует стремиться к переводу сетей напряжением 35 кВ на напряжения 110 или 220 кВ.

Основными группами потребителей электроэнергии в системах электроснабжения города являются: коммунально-бытовые потребители; промышленные предприятия; электрифицированный городской и пригородный транспорт; в отдельных случаях – поселки, предприятия промышленного и сельскохозяйственного производства пригородных зон. Коммунально-бытовые потребители электроэнергии – это жилые, административные, культурно-массовые, учебные, лечебные и тому подобные общественных зданий.

При разработке схемы электроснабжения крупных городов, как правило, предусматривают:

– создание кольцевой магистральной сети напряжением 110 кВ и выше с понижающими подстанциями. Питание кольцевой сети осуществляется от подстанции более высоких напряжений энергосистемы, а также городских электрических станций;

– сооружение глубоких вводов напряжением 110 кВ и выше для питания отдельных (центральных) районов города, не охватываемых кольцевой сетью указанного напряжения. В зависимости от местных условий питание подстанции глубокого ввода предусматривается от разных секций одной или разных опорных подстанций, а также ответвлениями от кольцевой сети;

– по мере развития города и увеличения его электрической нагрузки кольцевая сеть, принятая на первом этапе развития, преобразовывается в распределительную сеть с созданием кольцевой сети более высокого напряжения.

В зависимости от передаваемой мощности питающую сеть напряжением 10(6)–20 кВ выполняют по одной из двух систем:

– питание РП по двум взаиморезервируемым линиям, подключаемым к разным секциям с АВР на секционном выключателе;

– питание РП по трем линиям, две из которых работают параллельно и подключаются к одной секции шин РУ 10(6)–20 кВ ЦП. Резервирование отдельно работающей линии производится в РП с помощью АВР на секционном выключателе.

Широкое использование сшитого полиэтилена в качестве материала изоляции силовых кабелей в городском электроснабжении обусловлено его превосходными диэлектрическими качествами (высокая электрическая прочность, низкий $\tan\delta$, низкая диэлектрическая проницаемость и, вследствие этого, малая емкость) и высокой температурной стабильностью, что позволяет увеличить токовые нагрузки как в режиме эксплуатации, так и в режиме короткого замыкания.

Основным недостатком первых кабелей высокого напряжения с изоляцией из СПЭ было интенсивное старение полимерной изоляции. В настоящее время установлено, что старение полиэтилена в условиях воздействия электрического поля определяется прежде всего наличием неоднородностей в изоляции, возникающих как в процессе производства кабелей, так и свойственных самому изоляционному материалу в исходном состоянии.

Кабели с изоляцией из СПЭ предназначены для прокладки на трассах без ограничения разности уровня. Для кабеля, проложенного в земле, в течение ограниченного времени возможно увеличение токовой нагрузки по сравнению с длительно допустимой.

При прокладке кабелей на воздухе (на эстакадах, галереях, открытых лотках и т.д.) необходимо предусмотреть защиту кабелей от солнечного излучения. Допускается прокладка кабелей с наружной оболочкой из полиэтилена в помещениях и кабельных сооружениях при условии обеспечения дополнительных средств противопожарной защиты.

В сравнении с маслонаполненными кабелями на напряжение 110 кВ кабели с изоляцией из СПЭ имеют ряд преимуществ:

- повышенная нагрузочная способность;
- высокая термическая стабильность при протекании токов короткого замыкания;

- малый вес и меньший наружный диаметр;
- меньший допустимый радиус изгиба кабелей;
- возможность прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней;
- отсутствие жидкостей в конструкции кабеля и подпитывающей аппаратуры;
- простая технология монтажа муфт и ремонта кабеля;
- отсутствие утечек масла.

Кабели с изоляцией из СПЭ подвергаются прямо-сдаточным, периодическим и типовым испытаниям.

Надежность кабельных линий в значительной степени определяется арматурой. Большинство аварий на кабельных линиях происходит в местах установок муфт, поэтому при проектировании требуется уделять большое внимание не только выбору кабеля, но и арматуры к нему.

Концевые муфты предназначены для вывода из кабеля токопроводящей жилы и присоединения ее к линии электропередач, трансформатору или элементам РУ. Их преимущества:

- выравнивающий конус с технологией холодной усадки;
- простота конструкции, облегчающая монтаж муфты;
- различные варианты установки: вертикальная, под углом, перевернутая, горизонтальная;
- гибкость (для сухих муфт *PAT130C*);
- успешный опыт эксплуатации во многих странах мира.

Соединительные муфты предназначены для электрического соединения строительных длин кабеля. Их преимущества:

- выравнивающий конус с технологией холодной усадки;
- простота конструкции, облегчающая монтаж муфты.

Переходные муфты предназначены для электрического соединения маслonaполненных кабелей с кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена. Их преимущества:

- экономия капиталовложений и времени простоя линии при переходе с маслonaполненных кабелей на кабели с СПЭ-изоляцией;
- съемное исполнение, позволяющее применять одну муфту на нескольких участках линии;
- изготавливаемый на заводе выравнивающий конус для маслonaполненного кабеля ускоряет монтаж;
- наличие внутренней компенсации давления со стороны кабеля с СПЭ-изоляцией, что не требует внешнего компенсатора;
- компактность;

- возможность установки под засыпку и в колодцах;
- простота конструкции, облегчающая монтаж муфты.

Кабельные вводы типа *PATR* предназначены для присоединения кабельной линии напрямую к КРУЭ и трансформаторам. Их преимущества:

- выравнивающий конус с технологией холодной усадки;
- простота конструкции, облегчающая монтаж муфты;
- различные варианты установки: вертикальная, под углом, перевернутая, горизонтальная;
- успешный опыт эксплуатации во многих странах мира.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: Учеб. пособие / Г.Н. Ополева. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. – 480 с.
2. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005. – 320 с.
3. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., перераб. и доп. С изменениями. – М.: Изд-во Альвис, 2013. – 816 с.
4. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4–35 кВ и 110–1150 кВ / Е.Ф. Макаров; под ред. И.Т. Горюнова и др. – М.: Папирус ПРО, 2003. – 608 с.
5. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования: Учеб. пособие / И.П. Крючков, Б.Н. Неклепаев, В.А. Старшинов и др.; под ред. И.П. Крючкова и В.А. Старшинова. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. – 416 с.
6. Балаков Ю.Н. Проектирование схем электроустановок: Учеб. пособие / Ю.Н. Балаков, М.Ш. Мисриханов, А.В. Шунтов. – 2-е изд., стереот. – М.: Изд. МЭИ, 2009. – 288 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	6
1.1. Схемы электроснабжения городов	6
1.2. Основные схемы электроснабжения сетей 110(35) кВ и выше	10
1.3. Основные схемы питающих и распределительных сетей 10(6)–20 и 0,4 кВ	12
1.4. Конструктивное исполнение элементов городских электрических сетей	19
1.5. Особенности определения надежности городских электросетей	28
1.6. Автоматизация сетей 10–20 кВ	30
1.7. Автоматизация сетей 0,4 кВ	34
1.8. Релейная защита в городских электрических сетях	36
1.9. Принципы построения схем электрических сетей зданий	38
1.9.1. Общие указания по проектированию инженерных сетей и зданий .	38
1.9.2. Схемы наружных (внутриквартальных) питающих линий	41
1.9.3. Размещение трансформаторных подстанций	45
1.9.4. Схемы вводно-распределительных устройств	47
1.9.5. Схемы питающих линий внутри зданий	48
1.9.6. Устройство внутренних электрических сетей	53
1.9.7. Примеры комплексных схем распределения электроэнергии в общественных зданиях	58
1.10. Городские комплектные трансформаторные подстанции наружной установки в бетонном корпусе напряжением 10/0,4 кВ	60
Глава 2. ПРИМЕНЕНИЕ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА	72
2.1. Общие сведения	72
2.2. Основные свойства сшитого полиэтилена	73
2.3. Конструкция кабелей	75
2.4. Испытания кабелей	76
2.5. Марки кабелей	77
2.6. Номинальное напряжение	78
2.7. Область применения и условия эксплуатации	79
2.8. Выбор номинального сечения жил и экранов в зависимости от токовых нагрузок	80
2.9. Длительно допустимые токовые нагрузки	81
2.10. Перегрузочная способность кабелей	89

2.11. Допустимые токи короткого замыкания по жиле и по экрану	92
2.12. Пример выбора номинального сечения токопроводящей жилы кабеля и экрана	93
2.13. Кабельные муфты для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110 и 220 кВ	95
2.13.1. Концевые муфты типа <i>PAT</i> и сухие концевые муфты типа <i>PAT130C</i>	96
2.13.2. Соединительные муфты типа <i>PMJ</i>	98
2.13.3. Переходные муфты с маслонаполненных кабелей на кабели с СПЭ-изоляцией	98
2.14. Кабельные вводы в КРУЭ и трансформаторы типа <i>PATR</i>	99
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	102
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	105

Учебное издание

**Федотов Александр Иванович,
Наумов Олег Витальевич,
Чернова Наталья Владимировна**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Учебное пособие
по дисциплине

«Основы проектирования электроэнергетических систем и сетей»

Кафедра электроэнергетических систем и сетей КГЭУ

Редактор издательского отдела *М.С. Беркутова*
Компьютерная верстка *Т.И. Лунченкова*

Подписано в печать 26.02.15.

Формат 60×84/16. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ. Бумага ВХИ.

Усл. печ. л. 6,33. Уч.-изд. л. 7,03. Тираж 500 экз. Заказ № 4891

Редакционно-издательский отдел КГЭУ, 420066, Казань, Красносельская, 51