

Министерство образования Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»

А.М. Ершов

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Часть 5
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДОВ

Курс лекций



Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»

621.311(07)
Е804

Ершов А.М

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Часть 5 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДОВ

Курс лекций

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2017

УДК [658.26(07): 621.31](075.8) + 621.311(075.8)
Е804

Одобрено
учебно-методической комиссией энергетического факультета

Рецензенты

Ершов, А.М.
Е804 Системы электроснабжения. Часть 5: Электроснабжение городов:
курс лекций / А.М. Ершов. – Челябинск: Издательский центр
ЮУрГУ, 2017. – 181 с.

Рассмотрено построение схем внешнего, внутризаводского и внутрице-
хового электроснабжения, даны сведения об их конструктивном построе-
нии. Для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров
«Электроэнергетика и электротехника».



УДК [658.26(07): 621.31](075.8) +
621.311(075.8)

Издательский центр ЮУрГУ, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ	6
1.1. Характеристика городов	6
1.2. Понятие о системе электроснабжения городов	10
2. ВНЕШНЕЕ И ВНУТРЕННЕЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДОВ НА НАПРЯЖЕНИИ 35–110–220–330 кВ	15
2.1. Напряжения внешнего и внутреннего электроснабжения городов	15
2.2. Типы конфигураций электрических сетей	17
2.3. Схемы присоединения понижающих подстанций	19
2.4. Подстанции напряжением 35–110–220/6–10 кВ	21
2.4.1. Основные требования к схемам распределительных устройств высшего напряжения подстанций к электрическим сетям	21
2.4.2. Типовые схемы РУ ВН подстанций	22
2.4.3. Схемы РУ напряжением 6–10 кВ подстанций	25
2.5. Принципы построения систем электроснабжения промышленных предприятий и городов	26
2.6. Построение системы электроснабжения города	29
3. ВНУТРЕННЕЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДОВ НА НАПРЯЖЕНИИ 6–10–20 кВ	36
3.1. Напряжения питания городских электрических сетей	36
3.2. Построение питающих линий	42
3.3. Трансформаторные подстанции	55
4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 380 В	
4.1. Надёжность электроснабжения городских потребителей	60
4.2. Внутриквартальное электроснабжение	66
4.3. Внутридомовое электроснабжение	74
4.3.1. Вводные распределительные устройства	74
4.3.2. Схемы питающих линий внутри жилых зданий	78
4.3.3. Схемы групповой квартирной сети	81
4.4. Электрические сети общественных зданий	85
4.5. Городское электроосвещение	87
4.6. Автономные и аварийные источники питания СЭС	92
4.6.1. Организация работы аварийных источников питания	92
4.6.2. Пример применения электроснабжения потребителей особой группы 1-й категории надёжности	97
5. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 35–110–220 кВ	
5.1. Воздушные линии электропередачи напряжением 35–110–220 кВ	100
5.2. Кабельные линии напряжением 35–110–220 кВ	103
5.3. Вопросы экологии при проектировании	105
5.3.1. Воздушные линии развития электрической сети	105
5.3.2. Подстанции	107

5.4. Подстанция 110/10 кВ закрытого типа и кабельная линия напряжением 110 кВ	109
5.4.1. Экологические и техногенные условия строительства закрытых подстанций кабельных линий напряжением 110 кВ и выше	109
5.4.2. Кабельная линия напряжение 110 кВ	111
5.4.3. Закрытая подстанция напряжением 110/10 кВ	114
5.4.4. Конструктивное исполнение отдельных элементов элегазовых модулей	118
5.4.5. Строительная часть подстанции	128
5.5. Конструктивное исполнение трансформаторных подстанций	137
5.5.1. Типы трансформаторов, устанавливаемых в ТП	137
5.5.2. Конструктивное исполнение ТП	138
6. БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, ПИТАЮЩИХ ЖИЛЫЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ ЗДАНИЯ	140
6.1. Потенциальные опасности поражения электрическим током	140
6.2. Системы заземления нейтрали городских электрических сетей	143
6.3. Система уравнивания потенциалов	146
6.4. Устройства защитного отключения	151
6.5. Молниезащита зданий	156
7. РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	158
7.1. Нагрузки электрических сетей и уровни электропотребления	158
7.2. Расчётные электрические нагрузки жилых зданий	162
7.3. Электрические нагрузки общественных зданий	167
7.4. Электрические нагрузки распределительных линий до 1 кВ	170
7.5. Электрические нагрузки сетей 6–10 кВ и ЦП	173
8. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	177
8.1. Общие расчёты	177
8.2. Выбор мощности трансформаторов ТП и ПС	178
8.3. Компенсация реактивной мощности	178
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	179

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Характеристика городов

Для питания потребителей, расположенных на территории городов, создаются специальные электрические сети, имеющие характерные особенности. Среди них: высокая плотность электрических нагрузок (от 5 до 15-20 МВт/км² в центральных районах городов); большое количество потребителей, расположенных на ограниченной территории; высокая стоимость земли под застройку ПС, РП, ТП; канализация электроэнергии выполняется преимущественно подземными кабельными линиями; высокие требования к надежности и категорийности электроснабжения городских потребителей; непрерывный рост электропотребления (1–2% в год), требующий систематического развития электрических сетей и др.

Технический прогресс неразрывно связан с непрерывным развитием существующих и появлением новых городов и посёлков городского типа. Одновременно происходит увеличение общего количества городского населения страны. Рост городского населения происходит за счет естественного увеличения населения, преобразования сельских поселений в городские и за счёт оттока населения в города из сельской местности, связанного со значительным ростом промышленного производства. В табл. 1.1 приведена классификация городов и посёлков по численности населения [Козлов-88].

Таблица 1.1

Классификация городов и посёлков по численности населения

Город, посёлок	Население, тыс. чел.	
	города	посёлка
Крупнейший	>1000	–
Крупный	500–1000	>10
Большой	250–500	5–10
Средний	100–250	3–5
Малый	50–100	<3

Города являются крупными потребителями электрической энергии, так как в них не только проживает 65 % населения страны, но и расположено много промышленных предприятий.

Последние годы характеризуются появлением в крупных и крупнейших городах объектов общественно-коммунального характера, электрические нагрузки и электропотребление которых сравнимы с аналогичными показателями крупных промышленных предприятий.

К таким объектам относятся [Козлов-88]:

– **городской электрифицированный транспорт** (тяговые подстанции метро имеют мощность 2000–4500 кВт, трамвайно-троллейбусные – до 2500 кВт в зависимости от интенсивности движения);

– **водопровод и канализация** (в крупнейших городах в системах электроснабжения головных насосных станций и очистных сооружений используются подстанции 35–110 кВ);

– **большие спортивные комплексы**, в частности, система электроснабжения дворца спорта на 25 тыс. мест имеет установленную мощность трансформаторов 11 000 кВА, электрическая нагрузка составляет около 9000 кВт;

– **больничные комплексы**, например, один из таких комплексов в Санкт-Петербурге характеризуется установленной мощностью 7920 кВА трансформаторов 10/0,38 кВ при максимальной электрической нагрузке 4500 кВт;

– **современные гостиницы**, оборудованные установками искусственного климата, централизованной системой пылеуборки, электропищеблоками (гостиница на 1200 мест имеет установленную мощность трансформаторов 3700 кВ. А и максимальную нагрузку около 2600 кВт);

– **современные крупные торговые комплексы.**

Систематически увеличивается расход электроэнергии на бытовые нужды городского населения в результате все большего насыщения электробытовыми приборами.

В зависимости от размера города для питания потребителей, расположенных на его территории, должна предусматриваться соответствующая система электроснабжения. Для крупных городов, имеющих современные и рационально выполненные электрические сети, характерно совместное использование сетей различного назначения и напряжения. Система электроснабжения охватывает всех потребителей города, включая промышленные предприятия, электрифицированный транспорт и т. д.

Малые города и посёлки городского типа достаточно часто располагаются вблизи крупных промышленных предприятий, имеющих самостоятельные системы электроснабжения. Для питания таких поселений создаются более простые системы электроснабжения, связанные с системами электроснабжения прилегающих предприятий.

Система электроснабжения города включает в себя электрические сети 35–110–220 кВ, связанные с сетями 220–750 кВ энергосистемы. Некоторые крупные заводы имеют самостоятельные системы электроснабжения с первичным напряжением 35–110–220 кВ. Для электроснабжения основной массы потребителей используется распределительная сеть. Напряжением 6–10 кВ и сеть общего пользования напряжением 380 В. Для городов, как и для страны в целом, характерен непрерывный рост электропотребления, требующий систематического развития электрических сетей. Рост электропотребления связан не только с увеличением числа жителей и развити-

ем промышленности, но также и с непрерывным проникновением электрической энергии во все сферы жизнедеятельности населения.

Население городов и других населенных мест в зависимости от степени участия в общественном производстве и характера трудовой деятельности, относится к следующим группам [Козлов-88]:

- **градообразующей**, состоящей из трудящихся предприятий, учреждений и организаций градообразующего значения;

- **обслуживающей**, состоящей из трудящихся предприятий и учреждений культурно-бытового и коммунального обслуживания, административных и других учреждений, обслуживающих данное населенное место;

- **несамостоятельной**, состоящей из детей дошкольного и школьного возраста, пенсионеров, инвалидов и лиц, занятых в домашнем хозяйстве, учащихся дневных отделений вузов, техникумов и ПТУ.

К предприятиям, учреждениям и организациям градообразующего значения относятся все промышленные, энергетические, сельскохозяйственные предприятия, включая предприятия легкой, пищевой и местной промышленности, а также склады и базы материально-технического снабжения, предприятия, учреждения и устройства внешнего транспорта (железнодорожного, морского, речного, воздушного, автомобильного и трубопроводного), предприятия и учреждения обслуживания внегородского и внепоселкового значения.

Для новых городов и поселков численность градообразующей группы населения принимается на первую очередь строительства не менее 40 % и на расчетный срок не более 35 % численности населения. Численность обслуживающей группы населения принимается 18 и 23 % соответственно.

Территория населенного места по назначению делится на следующие зоны:

- **промышленную** – для размещения промышленных, энергетических, сельскохозяйственных производственных предприятий и связанных с ними транспортных и других объектов;

- **селитебную** – для размещения жилых районов, микрорайонов, общественных зданий и сооружений;

- **коммунально-складскую** – для размещения складов, гаражей, трамвайных, троллейбусных и автобусных парков, автобаз, предназначенных для обслуживания населенных мест;

- **внешнего транспорта** – для размещения транспортных устройств и сооружений, вокзалов, станций, портов, пристаней.

Первой структурной единицей селитебной зоны является микрорайон, на территории которого кроме жилых домов размещаются учреждения и пункты повседневного обслуживания населения. Численность населения микрорайонов на первую очередь строительства принимается: в крупных и крупнейших городах 12–20 тыс. чел., в больших и средних городах – 6–12 тыс. чел., в малых городах и поселках – 4–6 тыс. чел.

Второй структурной единицей селитебной зоны является жилой район, состоящий из нескольких микрорайонов, объединенных общественным центром, в состав которого входят учреждения культурно-бытового обслуживания районного значения. Численность населения жилого района на первую очередь строительства принимается: в крупнейших и крупных городах 40–80 тыс. чел., в больших и средних городах – 25–40 тыс. чел.

Планирование и застройка жилых районов должны обеспечивать наиболее благоприятные условия для быта и отдыха населения, воспитания и образования детей. С этой целью предусматривается постройка необходимых коммунально-бытовых учреждений. Такие учреждения размещаются с учетом создания единой системы обслуживания населения городской территории и пригородной зоны. При этом предусматриваются:

- в группе жилых домов в радиусе обслуживания до 0,3 км – детские ясли сады и физкультурные площадки;

- в микрорайоне в радиусе до 0,5 км – школы, предприятия торговли и общественного питания, физкультурные площадки, гаражи для индивидуальных автомобилей;

- в жилом районе, как правило, в общественном центре, в радиусе обслуживания до 1,5 км – торговый центр или отдельные предприятия торговли и общественного питания, клуб, кинотеатр, библиотека, поликлиника, гаражи для автомобилей;

- в населенном месте – здания административных и профсоюзных органов (в городах – в городском центре), один или несколько торговых центров, рестораны, гостиницы, больницы, а также в зависимости от размера и значения города – высшие учебные заведения, театры, дома культуры, парки, дело городского общественного транспорта и т. д.;

- в пригородной зоне – учреждения, предназначенные для обслуживания кратковременного и длительного отдыха населения города, а также населения пригородной зоны: пансионаты, детские лагеря, дома отдыха, санатории, спортивные базы, специализированные больницы.

Действующими нормами устанавливается перечень и пропускная способность коммунально-бытовых учреждений, сооружение которых предусматривается в городе. В микрорайонах должны быть спортивные площадки из расчета 0,12 га на 1000 жителей и зеленые насаждения 3 м² на 1 человека. В жилом районе зеленые насаждения принимаются по норме 5-7 м² на жителя. Подобным образом нормируется сеть уличных проездов, пешеходных тротуаров, организация транспортных средств, инженерное обеспечение города водо-, газо- и теплоснабжением, канализацией, связью и т. п. Планировка и застройка промышленных и коммунально-складских зон, а также зоны внешнего транспорта решаются по местным градостроительным условиям.

Тепловые электростанции должны располагаться за пределами селитебной территории, преимущественно в промышленных зонах, с обеспече-

нием установленных санитарно-защитных разрывов. Понижающие подстанции размещаются, как правило, в промышленных и коммунально-складских зонах. Однако в больших селитебных районах подстанции располагаются внутри их, но при этом они должны быть закрытого типа. Подстанции должны быть обеспечены подъездами для транспорта и техническими полосами для подхода воздушных и кабельных линий напряжением 110–220 кВ и вывода кабельных линий напряжением 6–10–20 кВ.

1.2. Понятие о системе электроснабжения городов

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.

Структурная схема электроснабжения крупного города, пример которой представлен на рис. 1.1, содержит комплекс сложных сооружений. Основными звеньями этого комплекса являются: источник питания – районная электростанция 1 с установленными повысительными трансформаторами 2; воздушная линия электропередачи 3 напряжением 110–220 кВ на металлических опорах; подстанция глубокого ввода 4 напряжением 110–220 кВ с распределительными устройствами (РУ) 5 напряжением 6–10–20–35 кВ; питающая кабельная линия 6–10–20 кВ; распределительный пункт 7, на шины которого подается напряжение 6–10–20 кВ; распределительная кабельная линия 8, питающая трансформаторную понизительную подстанцию 9; кабельная линия 10 напряжением 380 В, питающая вводно-распределительное устройство 11 жилого дома. От РУ 35 кВ по кабельной линии 12 напряжением 35 кВ получает питание главная понизительная подстанция 13 промышленного предприятия города, от которой по кабельным линиям 14 напряжение 380 В поступает на распределительные щиты 15 цехов.

Электрическую сеть города принято делить на следующие составные части [Ополева] – рис 1.2:

- электроснабжающая сеть города напряжением 35–110–220 кВ;
- питающая электрическая сеть 6–10 кВ;
- распределительная электрическая сеть 6–10 кВ;
- распределительная сеть 380 В.

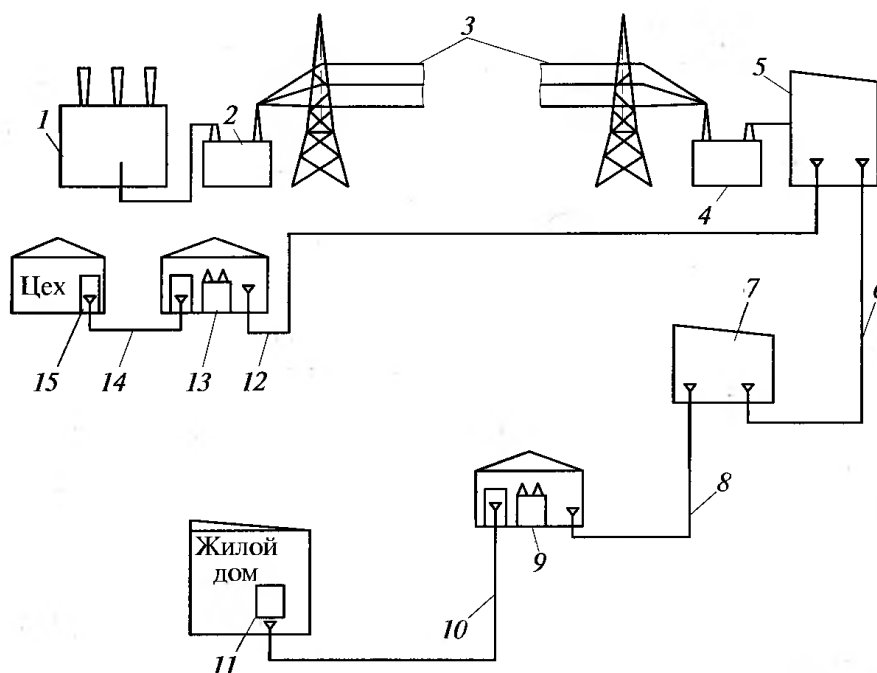


Рис. 1.1. Структурная схема электроснабжения города: 1 – районная электростанция; 2 – повысительный трансформатор; 3 – воздушная линия электропередачи напряжением 110–220 кВ; 4 – подстанция глубокого ввода (центр питания); 5 – распределительное устройство; 6 – питающая кабельная линия; 7 – распределительный пункт; 8 – распределительная кабельная линия; 9 – трансформаторная понизительная подстанция; 10, 14 – кабельные линии напряжением 380 В; 11 – вводно-распределительное устройство; 12 – кабельная линия напряжением 35 кВ; 13 – главная понизительная подстанция предприятия; 15 – распределительный щит на напряжение 380/220 В

Линии электропередачи электрических сетей СЭС городов 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 0,38–6–10–20 кВ;
- электрических линий внутренних сетей 0,38 кВ жилых, общественных и производственных зданий.

Электроэнергия в процессе передачи её от электростанции до потребителей преобразуется один или несколько раз (по напряжению, роду тока или его частоты), и по мере приближения к потребителям распределяется на более мелкие потоки (осуществляется несколько ступеней распределения электроэнергии).

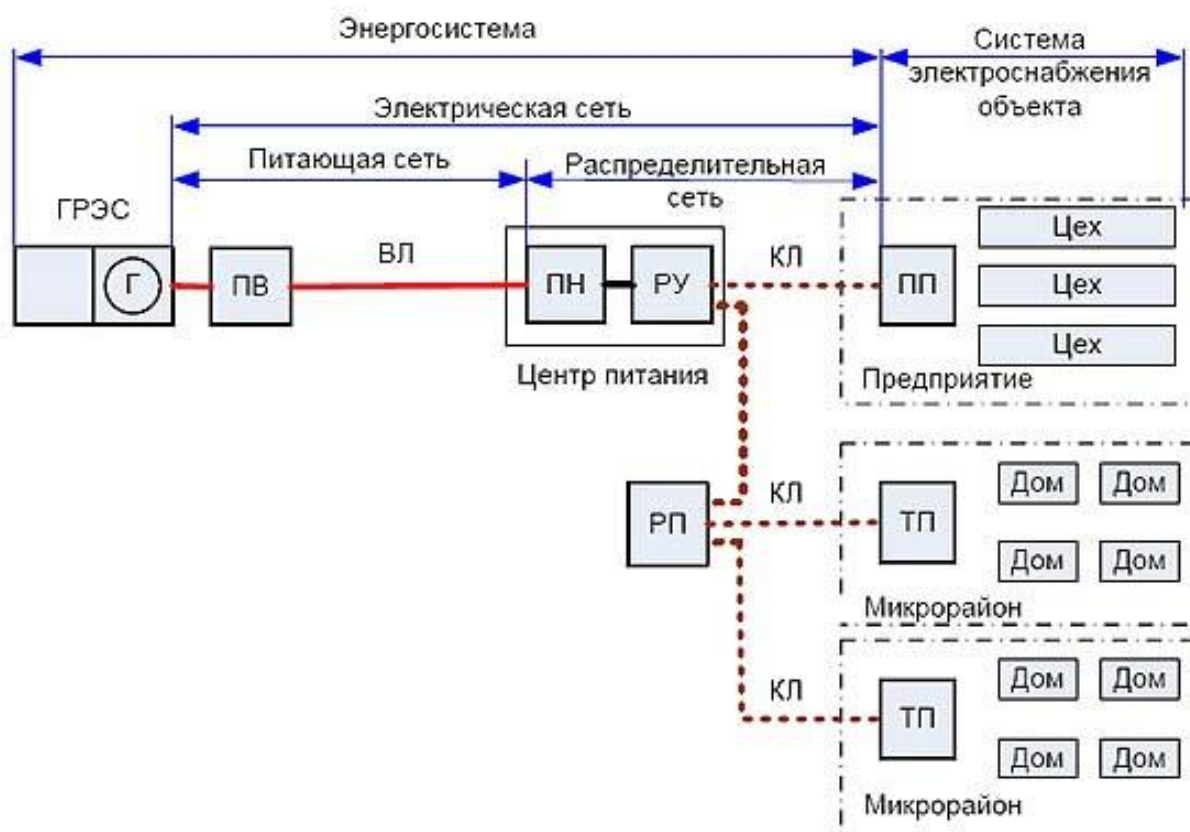


Рис. 1.2. Упрощенная структурная схема электроснабжения города:
 ГРЭС – государственная районная электростанция; Г – генератор;
 ПВ – повысительная трансформаторная подстанция; ПН – понижительная трансформаторная подстанция; РУ – распределительное устройство 6–10 кВ; РП – распределительный пункт; ПП – пункт приема электроэнергии; ТП – трансформаторная подстанция; ВЛ – воздушная линия электропередачи; КЛ – кабельная линия электропередачи

При описании систем электроснабжения часто используют обобщающие термины — источник питания и пункт приема электроэнергии.

От источника питания электроэнергия поступает на пункт приема электроэнергии. Источник питания является относительным термином. Для центра питания источником питания является повысительная подстанция. Для пункта приема электрической энергии – центр питания и т. д.

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 6–10–20/0,38 кВ коммунально-бытовых и промышленных потребителей электроэнергии; выпрямительные подстанции городского и пригородного электрифицированного транспорта.

Для приема, преобразования и распределения электроэнергии используют различные устройства (электроустановки):

- распределительные устройства (РУ);
- распределительные пункты (РП);
- подстанции;
- трансформаторные подстанции (ТП);
- преобразовательные подстанции.

Электроприемники жилых зданий:

- электроприемники квартир;
- осветительные электроприборы;
- бытовые электроприборы: нагревательные; хозяйственные; культурно-бытовые; санитарно-гигиенические;
- электроприемники общедомового назначения:
- осветительные электроприемники: светильники лестничных клеток, технических подполий, чердаков, вестибюлей, холлов, служебных и других помещений;
- силовые электроприемники: лифтовые установки; вентиляционные системы; противопожарные устройства.

Электроприемники общественных зданий [Киреева-2005]:

- осветительные электроприемники;
- силовые электроприемники;
- механическое оборудование;
- электротепловое оборудование;
- холодильные машины;
- подъемно-транспортное оборудование;
- санитарно-технические установки;
- приточно-вытяжные вентиляционные установки и системы кондиционирования воздуха;
- системы связи и сигнализации;
- противопожарные устройства и др.

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.

2. ВНЕШНЕЕ И ВНУТРЕННЕЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДОВ НА НАПРЯЖЕНИИ 35–110–220–330 кВ

2.1. Напряжения внешнего и внутреннего электроснабжения городов

В России получили распространение две системы напряжений электрических сетей переменного тока (110 кВ и выше):

- 110–330–750 кВ в энергетических системах Северо-Запада и частично Центра;

- 110–220–500 кВ в энергетических системах центральных и восточных регионов страны. Для этих энергосистем в качестве следующей ступени принято напряжение 1150 кВ, введенное в ГОСТ в 1977 г. Ряд построенных участков электропередачи 1150 кВ временно работали в 90 гг. на напряжении 500 кВ.

Электрические сети строятся по ступенчатому принципу путем последовательного «наложения» сетей нескольких напряжений. Появление следующей ступени напряжения связано с ростом мощности электростанций и целесообразностью ее выдачи на более высоком напряжении. Реконструкция электрических сетей приводит к сокращению длины отдельных линий за счет присоединения к сети новых подстанций (ПС), а также к изменению значений и направлений потоков мощности по линиям.

Наибольшее распространение получили электрические сети напряжением 110 кВ как в энергосистемах с системой напряжений 220–500 кВ, так и 330–750 кВ. Удельный вес линий 110 кВ составляет около 70 % общей протяженности воздушных линий (ВЛ) напряжением 110 кВ и выше. На этом напряжении осуществляется электроснабжение промышленных предприятий и энергоузлов, городов, электрификация железнодорожного и трубопроводного транспорта; они являются верхней ступенью распределения электроэнергии в сельской местности.

Напряжения 6–10–20 кВ предназначены для электрических сетей в городах, сельской местности и на промышленных предприятиях. Преимущественное распространение имеет напряжение 10 кВ. Электрические сети напряжением 6 кВ сохраняют значительный удельный вес по протяженности, но, как правило, не развиваются и, по возможности, заменяются сетями напряжением 10 кВ. К этому классу примыкает имеющееся в ГОСТ напряжение 20 кВ, получившее ограниченное распространение первоначально в одном из центральных районов г. Москвы, а сейчас это напряжение стало появляться и в других энергосистемах. Например, в 2015 г. в Екатеринбурге построена подстанция «Медная» на напряжение 110/20 кВ, питающая один из городских районов.

Напряжение 35 кВ используется в сельской местности для питания подстанций напряжением 35/10 кВ, реже используется трансформация 35/0,4 кВ.

Под системой электроснабжения города понимается совокупность электрических станций, электрических сетей и трансформаторных под-

станций, расположенных на территории города и предназначенных для электроснабжения его потребителей.

Система ограничивается, с одной стороны, источниками питания, с другой – вводами электрических сетей к потребителям. В качестве источников питания служат местные электростанции и понижающие подстанции напряжением 35–110 кВ и выше, питание которых осуществляется, в свою очередь, от электрических сетей энергосистем. Основные показатели системы определяются местными условиями: размерами города, наличием источников питания, характеристиками потребителей и т. п.

Топология электрических сетей развивается в соответствии с географическими условиями, распределением нагрузок и размещением энергоисточников. Многообразие и несхожесть этих условий приводят к большому количеству конфигураций и схем электрической сети, обладающих разными свойствами и технико-экономическими показателями. Оптимальное решение может быть найдено путем технико-экономического сравнения вариантов.

Существенным требованием является необходимость поддержания мощности короткого замыкания в пределах, допустимых для используемой аппаратуры на всех стадиях развития системы. Последнее может осуществляться в результате деления системы на части, раздельной работы трансформаторов, использования реакторов и так далее (в зависимости от этапа развития системы). При всех расчетных режимах работы системы должно обеспечиваться требуемое качество энергии, передаваемой потребителям.

Проектирование городских сетей осуществляется комплексно, т. е. выполняется увязка электроснабжающих сетей 35–110–220 кВ и сетей 6–10–20 кВ между собой. При этом рассматривают ожидаемые нагрузки, исходя из среднегодовых темпов роста нагрузок, принимаемых на основании анализа их изменения за прошедшие 10–15 лет, материалы генерального плана и перспективные планы 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.

Важным вопросом проектирования сети городского электроснабжения является выбор напряжения с учетом перспективы развития города и поселка в пределах расчетного срока их генерального плана и системы напряжений, принятой в энергосистеме: 110–220–500 кВ или 110–330–750 кВ. Выбор напряжения системы электроснабжения города и поселка производится с учетом сокращения количества трансформаций электроэнергии и ликвидации напряжений 6 и 35 кВ с переводом действующих сетей 6 и 35 кВ на повышенное напряжение 10 и 110 кВ. Для большинства городов и поселков на ближайший период наиболее целесообразной является система напряжений 220–110/10 кВ; для крупных городов 500–220–110/10 кВ или 330–110/10 кВ. Напряжение 35 кВ в городе и поселке может быть со-

хранено в исключительных случаях при технико-экономических обоснованиях, например, в случаях питания близко расположенных сельскохозяйственных районов. Число городских понижающих подстанций напряжением 35 кВ в этом случае должно быть предельно ограниченным.

2.2. Типы конфигураций электрических сетей

Общепринятая классификация электрических сетей по их конфигурации отсутствует. Однако, несмотря на многообразие применяемых конфигураций и схем, любую сеть можно расчленить на отдельные участки, опирающиеся на центры питания (ЦП), и отнести к одному из рассмотренных ниже типов (рис. 2.1).

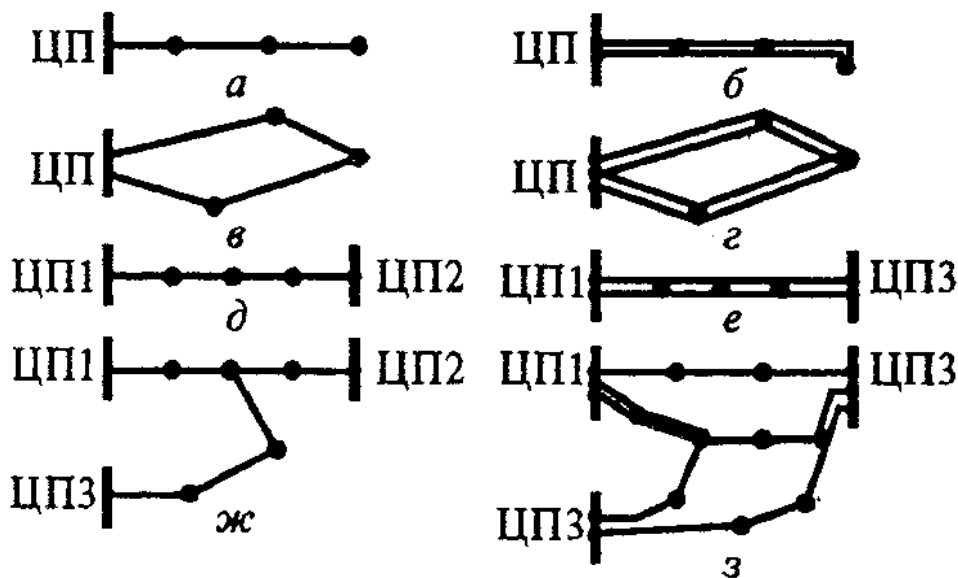


Рис. 2.1. Основные типы конфигурации сети: а, б – радиальные с одной и двумя ВЛ; в, г – замкнутые от одного ЦП с одной и двумя ВЛ; д, е – с двухсторонним (от двух ЦП) питанием по одной и двум ВЛ; ж – узловая с тремя ЦП; з – многоконтурная

Одинарная радиальная сеть (далее, для сокращения, тип Р1, рис. 2.1, а) является наиболее дешевой, но обеспечивает наименьшую надежность; получила широкое распространение как первый этап развития сети – при небольших нагрузках присоединенных ПС.

Двойная радиальная сеть (тип Р2, рис. 2.1, б) за счет дублирования линии (на одних или разных опорах) обеспечивает резервирование питания потребителей. Эта схема характеризуется равномерной загрузкой обеих ВЛ, что соответствует минимуму потерь, не вызывает увеличения токов КЗ в смежных участках сети, позволяет осуществлять четкое ведение режимов работы сети, обеспечивает возможность присоединения ПС по простейшим схемам.

При электроснабжении района от одного ЦП находят применение также **замкнутые сети кольцевой конфигурации** одинарные (тип 31, рис. 2.1, в) и двойные (тип 32, рис. 2.1, г). Достоинствами этих схем, как и радиальных, являются независимость потокораспределения от перетоков в сети высшего напряжения (ВН), отсутствие влияния на уровень токов КЗ в прилегающих сетях, возможность применения простых схем присоединения ПС.

Широкое применение находит **замкнутая одинарная сеть**, опирающаяся на два ЦП (тип Д1, рис. 2.1, д). Эта конфигурация образуется в результате поэтапного развития сети между двумя ЦП. Преимуществами такой конфигурации являются

- возможность охвата территории сетями, создание шин между двумя ЦП для присоединения по мере необходимости новых ПС;
- уменьшение суммарной длины ВЛ по сравнению с присоединением каждой ПС «по кратчайшему пути» (что приводит к созданию сложнозамкнутой сети);
- возможность присоединения ПС по упрощенным схемам.

Недостатками конфигурации Д1 являются большая вероятность неэкономичного потокораспределения при параллельной работе сетей разных напряжений и повышение уровней токов КЗ, вызывающее необходимость секционирования в нормальных режимах.

Модификацией конфигурации Д1 является **замкнутая двойная сеть**, опирающаяся на два ЦП (тип Д2, рис. 2.1, е). Применяется при более высоких плотностях нагрузок, обладает практически теми же преимуществами и недостатками, что и конфигурация Д1.

Узловая сеть (тип У, рис. 2.1, ж) имеет более высокую надежность, чем Д1 и Д2, за счет присоединения к трем ЦП, однако плохо управляема в режимном отношении и требует сооружения сложной узловой ПС. Создание такой сети, как правило, бывает вынужденным - при возникновении технических ограничений для дальнейшего использования сети типа Д1.

Многоконтурная сеть (тип М, рис. 2.1, з) является, как правило, результатом неуправляемого развития сети в условиях ограниченного количества и неравномерного размещения ЦП. Характеризуется сложными схемами присоединения ПС, трудностями обеспечения оптимального режима, повышенными уровнями токов КЗ.

Основой рационального построения сети является применение простых типов конфигураций и использование в качестве коммутационных пунктов, главным образом, ПС следующей ступени напряжения, являющихся ЦП для проектируемой сети.

Для распределительной сети такими конфигурациями являются в первую очередь двойная радиальная сеть (Р2) и одинарная замкнутая, опирающаяся на два ЦП (Д1). Техничко-экономические исследования и анализ области применения этих конфигураций показывают, что применение конфигурации типа Р2 (как правило, на двухцепных опорах) эффективнее при небольших расстояниях

от потребителей до ЦП и при высоких уровнях нагрузок. Этот тип сети находит применение для электроснабжения промпредприятий и отдельных районов городов на напряжении 110 кВ.

Конфигурация Д1 находит широкое применение в сетях 110 кВ для электрификации потребителей сельской местности, а также в распределительных сетях 220 кВ, обеспечивая с наименьшими затратами максимальный охват территории. Техническими ограничениями для конфигурации Д1 являются пропускная способность головных участков, которая должна обеспечивать электроснабжение всех присоединенных ПС в послеаварийном режиме при выходе одного из них, а также предельное количество присоединенных ПС.

Конфигурация типа Д2 обладает большой пропускной способностью и может использоваться длительное время без преобразования в другие типы. Она применяется в сетях 110 кВ систем электроснабжения городов, а также в сетях 110–220 кВ для электроснабжения протяженных потребителей – электрифицируемых железных дорог и трубопроводов.

Замкнутые конфигурации, опирающиеся на один ЦП (31 и 32), используются, как правило, на первом этапе развития сети: первые – в сельской местности с последующим преобразованием в два участка типа Д1, вторые – в городах с последующим преобразованием в два участка типа Д2.

Применение сложнзамкнутых конфигураций распределительной сети (типов У, М) из-за присущих им недостатков нежелательно, однако в условиях развивающейся сети избежать их не удастся. По мере появления новых ЦП следует стремиться к упрощению многоконтурной сети; при этом новые ЦП целесообразно размещать в её узловых точках.

Системообразующие сети характеризуются меньшим многообразием типов конфигурации. Здесь, как правило, применяются конфигурации Д1 и У. При этом в качестве узловых точек используются распредустройства электростанций и часть ПС сети. Конфигурация системообразующей сети усложняется тем больше, чем длительнее она развивается в качестве сети высшего класса напряжения; после «наложения» сети следующего класса напряжения начинается процесс упрощения конфигурации сети низшего напряжения.

2.3. Схемы присоединения понижающих подстанций к электрическим сетям

Понижающие ПС предназначены для распределения энергии по сети низшего напряжения (НН) и создания пунктов соединения сети высшего напряжения (ВН) (коммутационных пунктов). Исходя из применяющихся типов конфигурации сети (см. п. 2.2.) и возможных схем присоединения ПС их можно подразделить на следующие (рис. 2.2):

тупиковые ($T1$ и $T2$) – питаемые по одной (рис. п. 2.2, а) или двум радиальным линиям; схема 2.2, а рассматривается как первый этап развития сети с последующим преобразованием в схему 2.2, б или 2.2, д;

ответвительные ($O1$ и $O2$) – присоединяемые к одной (рис. 2.2, в) или двум (рис. 2.2, г) проходящим ВЛ на ответвлениях; схема 2.2, в является первым этапом развития с последующим преобразованием в схему 2.2, г или 2.2, д;

проходные (Π) – присоединяемые к сети путем захода одной линии с двусторонним питанием (рис. 2.2, д);

узловые ($У$) – присоединяемые к сети не менее чем по трем питающим линиям (рис. 2.2, е, ж).

Ответвительные и проходные ПС объединяют термином **промежуточные**, который определяет размещение ПС между двумя ЦП сети (или узловыми ПС).

Проходные или узловые ПС, через шины которых осуществляются перетоки между отдельными точками сети, называют **транзитными подстанциями**.

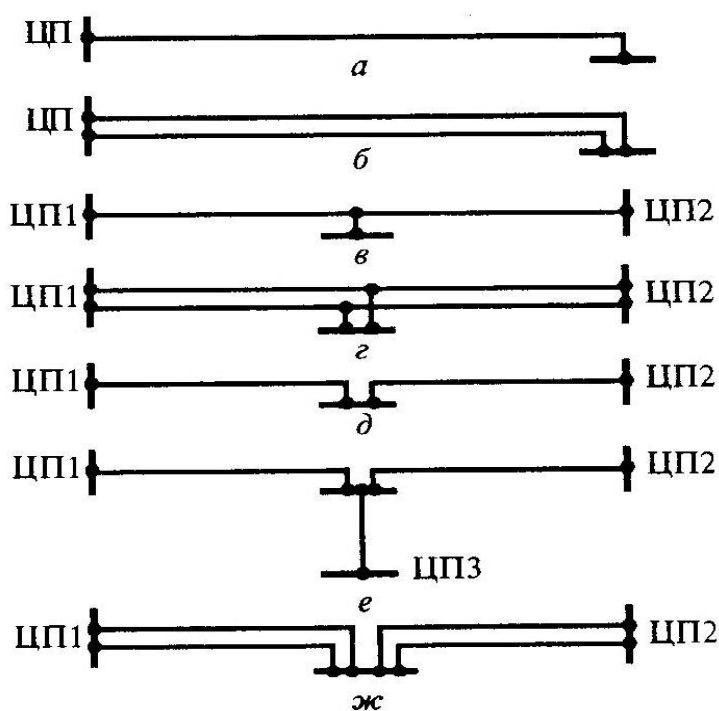


Рис. 2.2. Основные типы присоединения подстанций к сети:

а, б – тупиковые, присоединяемые к одной и двум ВЛ; в, г – ответвительные от одной и двух ВЛ; д – проходная, присоединяемая путем захода одной ВЛ; е, ж – узловые, присоединяемые по трем и более питающим ВЛ

В табл. 2.1 приведены данные статистического анализа частоты применения приведенных выше схем присоединения ПС в сетях 110–330 кВ.

Таблица 2.1

Частота использования разных схем присоединения подстанций
к электрическим сетям напряжением 110–330 кВ

Напряжение сети, кВ	Частота использования схем, %, по рис. 2.2					
	T1	T2	O1	O2	П	У
110	7	14	10	28	27	14
220	7	10	4	8	45	26
330	10	4	–	–	44	42

Из приведенных данных видно, что большинство ПС присоединяется к сети по двум линиям. Имеется тенденция к увеличению числа линий за счет уменьшения доли ПС, присоединяемых на первом этапе по одной линии. Удельный вес узловых ПС увеличивается с ростом напряжения сети, одновременно снижается доля тупиковых и ответвительных ПС. Наиболее распространенным типом ПС 110–330 кВ является проходная. Анализ схем построения электрических сетей 110–330 кВ показывает, что к узловым ПС целесообразно присоединять до четырех ВЛ; большее число линий является, как правило, следствием неуправляемого развития сети, неудачного выбора конфигурации или запаздывания сооружения в рассматриваемой точке сети ЦП ВН.

Схемы присоединения ПС к сети, допустимое количество промежуточных ПС между двумя ЦП выбираются в зависимости от величины нагрузки и ответственности потребителей ПС, протяженности рассматриваемого участка сети, целесообразности его секционирования и необходимости сохранения транзита мощности. Для некоторых групп потребителей (тяговые подстанции железной дороги, насосные и компрессорные станции магистральных трубопроводов, объекты нефтяных месторождений Западной Сибири, крупнейшие города) эти вопросы регламентированы ведомственными и нормативными документами.

2.4. Подстанции напряжением 35–110–220/6–10 кВ

2.4.1. Основные требования к схемам распределительных устройств высшего напряжения подстанций

1. Схема распределительного устройства высшего напряжения (РУ ВН) подстанции должна обеспечивать надежное питание присоединенных потребителей в нормальном, ремонтном и послеаварийном режимах в соответствии с категориями нагрузки по надежности электроснабжения с учетом наличия или отсутствия независимых резервных источников питания.

2. Схема РУ ВН должна обеспечивать надежность транзита мощности через ПС в нормальном, ремонтном и послеаварийном режимах в соответствии с его значением для рассматриваемого участка сети.

3. Схема РУ ВН должна быть по возможности простой, наглядной, экономичной и обеспечивать возможность восстановления питания потребителей в послеаварийной ситуации средствами автоматики без вмешательства персонала.

4. Схема РУ ВН должна допускать поэтапное развитие РУ с переходом от одного этапа к другому без значительных работ по реконструкции и перерывов в питании потребителей.

5. Число одновременно срабатывающих выключателей в пределах одного РУ ВН должно быть не более двух при повреждении линии и не более четырех при повреждении трансформатора.

Одним из важнейших принципов построения сети, обеспечивающих требования надежности и минимума приведенных затрат, является унификация конструктивных решений по ПС.

Схема РУ ВН подстанций выбирается с использованием типовых схем РУ 35–750 кВ, нашедших широкое применение при проектировании. Нетиповая главная схема применяется при наличии технико-экономических обоснований или специального требования заказчика. Обычно нетиповые схемы применяются при реконструкции действующих ПС.

2.4.2. Типовые схемы РУ ВН подстанций

На рис. 2.3 приведены типовые схемы РУ 35–220 кВ. Типовые схемы РУ разработаны институтом «Энергосетьпроект», который ввёл их обозначение двумя числами, указывающими напряжение сети и номер схемы (например, 110-5Н) [Справочник Файбисовича].

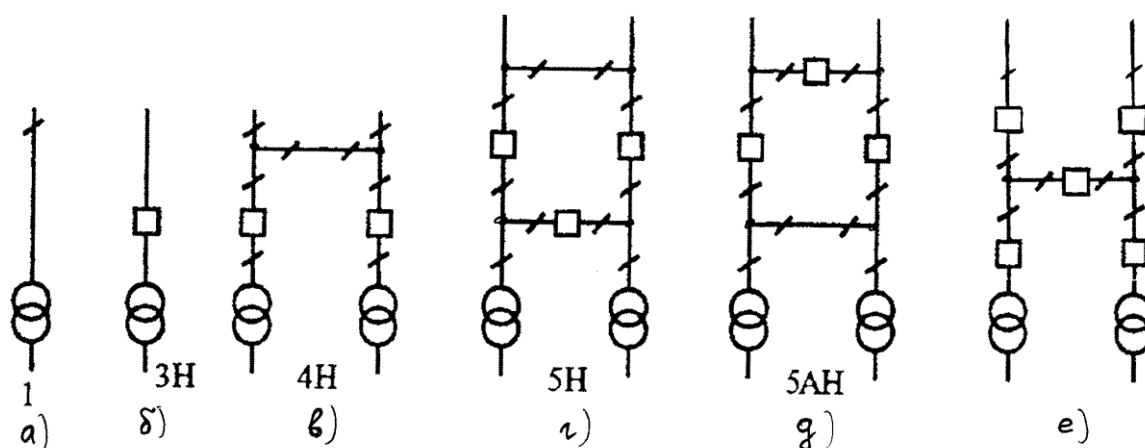


Рис. 2.3. Типовые схемы распределительных устройств высшего напряжения подстанций

На рис. 2.4 и 2.5 приведены схемы типовых понизительных подстанций напряжением 110–220–330 кВ.

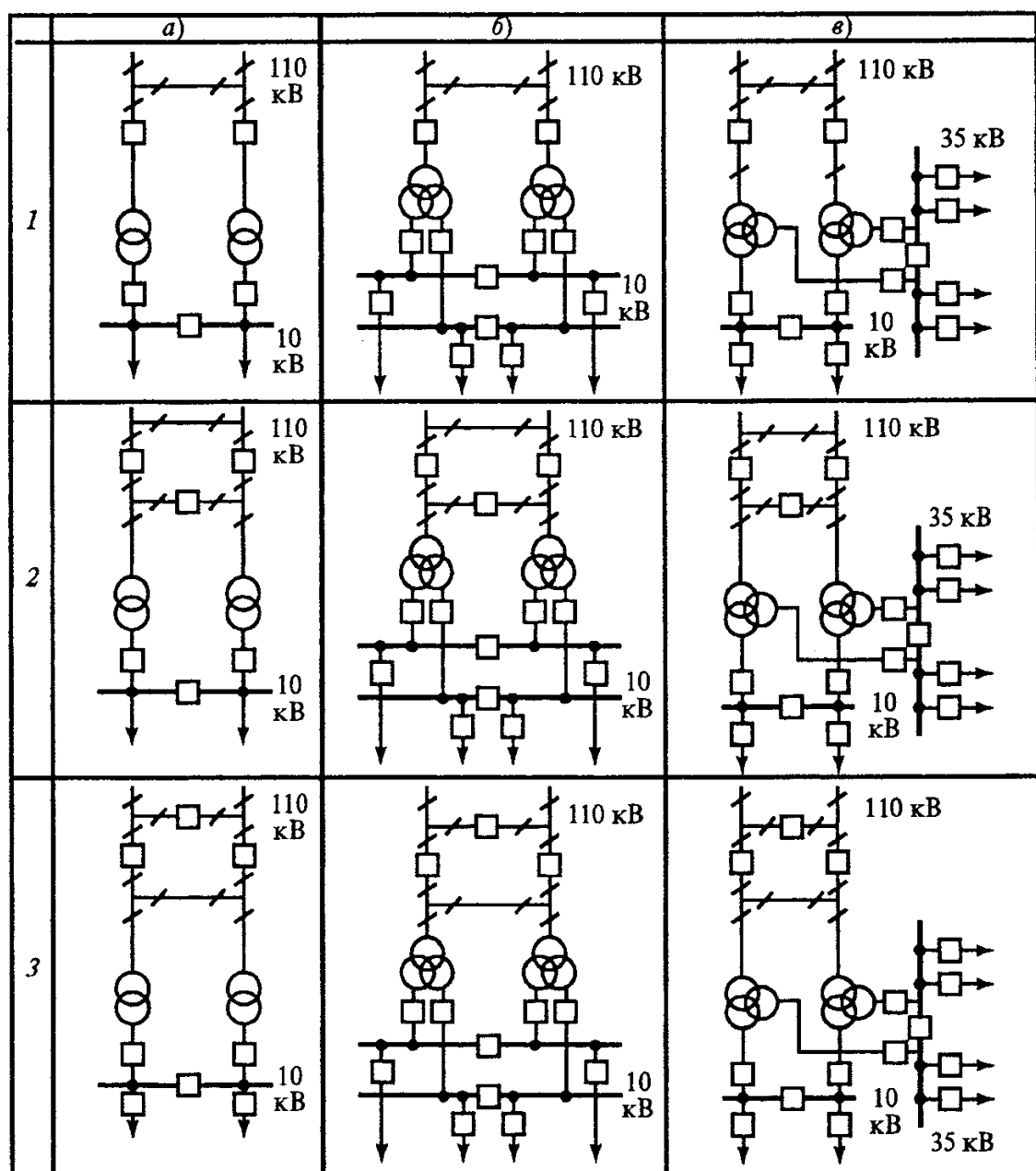


Рис. 2.4. Схемы типовых унифицированных подстанций 110 кВ

В период строительства электрических сетей высокими темпами, на этапе «электрификации вширь» (1960–1985 гг.), на ПС 110 кВ (частично – 35 и 220 кВ) с упрощенными схемами на ВН в качестве коммутационных аппаратов получили широкое распространение отделители и короткозамыкатели. Простота конструкции и их относительная дешевизна по сравнению с выключателями позволила обеспечить массовое строительство ПС в короткие сроки. В то же время эти аппараты обладают определенными конструктивными дефектами и эксплуатационными недостатками. Принципиальным недостатком схем с отделителями и короткозамыкателями является то, что искусственно со-

здаваемое КЗ для отключения поврежденного участка сети в бестоковую паузу с помощью отделителя резко увеличивает общую продолжительность наиболее тяжелых условий работы выключателей на смежных ПС. Поэтому в настоящее время использование отделителей и короткозамыкателей на вновь сооружаемых ПС прекращено, а при реконструкции действующих ПС они должны заменяться выключателями. К номерам типовых схем, в которых отделители и короткозамыкатели заменены на выключатели, добавлен индекс «Н» (3Н, 4Н, 5Н, 5АН).

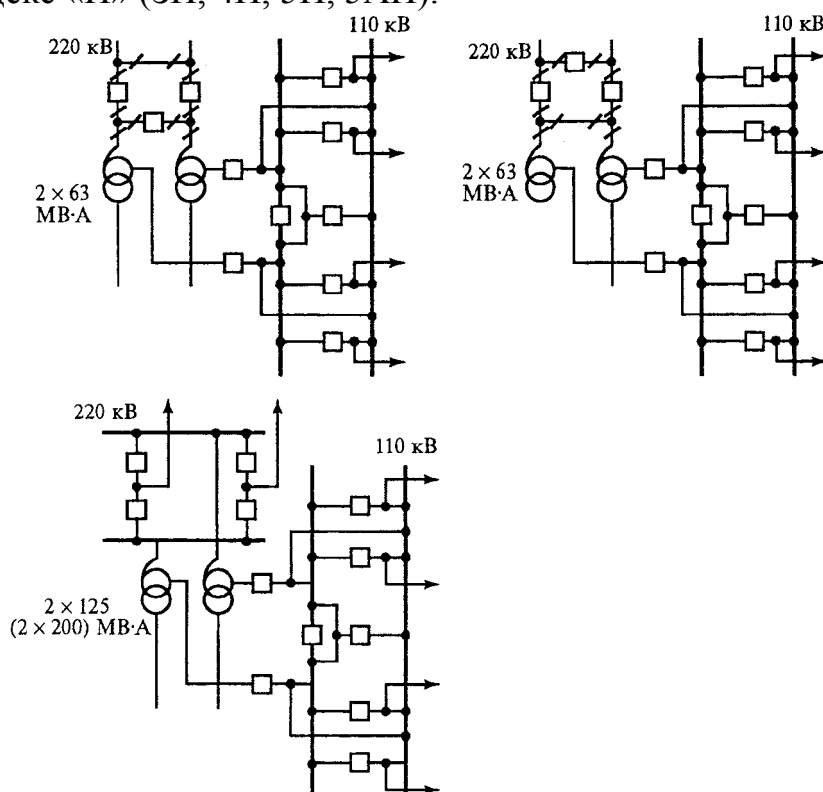


Рис. 2.5. Схемы типовых унифицированных подстанций 220 кВ

Блочные схемы 1, 3Н являются, как правило, первым этапом двухтрансформаторной ПС с конечной схемой «сдвоенный блок без перемычки». Это тупиковые ПС, питаемые по линиям электропередачи без ответвлений. Схема 1 применяется в условиях загрязненной атмосферы, где целесообразна установка минимума коммутационной аппаратуры, или для ПС 330 кВ, питаемых по двум коротким ВЛ. Сдвоенная схема 3Н применяется вместо схемы 4Н в условиях стесненной площадки.

Схема РУ типа «два блока с выключателями и неавтоматической «ремонтной» перемычкой со стороны линии» (4Н) применяется на тупиковых подстанциях ответственных потребителей.

Мостиковые схемы 5Н (мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычки со стороны линий) и 5АН (мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычки со стороны трансформа-

торов) находят широкое применение в сетях 110–220 кВ на подстанциях проходного типа – их ещё называют транзитными ПС.

В последнее время схемы 5Н и 5АН получили новое развитие и могут содержать пять выключателей – два выключателя со стороны линий, два выключателя со стороны трансформаторов и один выключатель в транзитной перемычке.

Добавить РУ с несколькими подходящими линиями

2.4.3. Схемы РУ напряжением 6–10 кВ подстанций

Для понижающих подстанций, на которых распределительные устройства напряжением 6–10–20 кВ присоединяются к обмотке вторичного напряжения силового трансформатора, практически все схемы могут быть выполнены из схем, приведённых ниже – рис. 2.6:

Схема с одной секционированной выключателем системой шин применяется при двух трансформаторах с нерасщепленными обмотками НН без реактирования отходящих линий..

Схема с двумя секционированными системами шин применяется при двух трансформаторах с расщепленной обмоткой НН или сдвоенных реакторах.

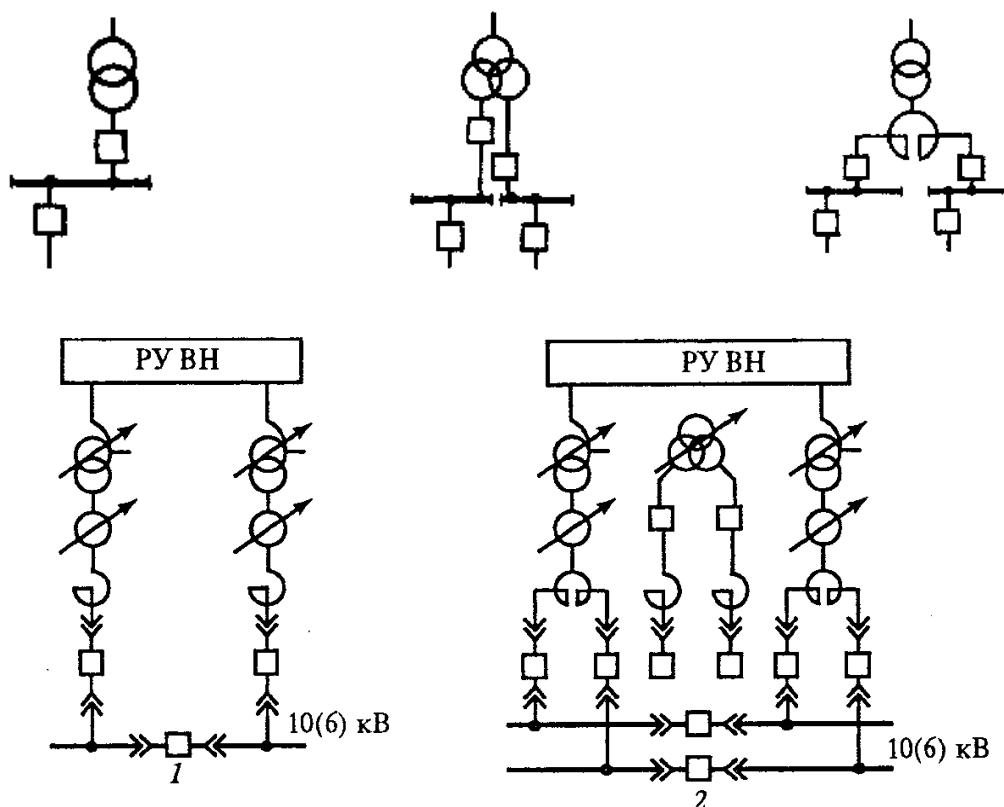


Рис. 2.6. Типовые схемы РУ 10 (6) кВ: а – одна секционированная система шин; б, в – две секционированные системы шин

2.5. Принципы построения систем электроснабжения промышленных предприятий и городов

При проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий и городов (СЭС ППиГ) основными вопросами являются выбор общей схемы питания числа, мощности и расположения понижающих подстанций, напряжений питающих и распределительных сетей, способов передачи электроэнергии по территории предприятия.

При построении схемы электроснабжения необходимо учитывать ряд специфических факторов, свойственных отдельным ПП, в частности, наличие зон о загрязненной и агрессивной окружающей среде, особых групп электроприемников, требующих повышенной надежности питания, электроприемников с резкопеременной ударной нагрузкой и др. Эти факторы обуславливают дополнительные требования к СЭС ПП.

Концентрация крупных производств на сравнительно малой территории приводит к созданию крупных нагрузочных узлов. Многообразие конкретных условий, которые нужно учесть при проектировании электроснабжения предприятий разных отраслей, приводит к многообразию схем внешнего электроснабжения. Однако практика проектирования выявила для этих потребителей характерные особенности, определила общий подход и создала ряд характерных схем.

1. Выбор схемы и напряжения сети внешнего электроснабжения производится на основе технико-экономического сравнения возможных вариантов с учетом перспективы развития предприятия, чтобы осуществление первой очереди не приводило к большим затратам, связанным с последующим развитием.

2. При проектировании схемы электроснабжения промышленного предприятия следует учитывать потребность в электроэнергии всех потребителей района – городов и поселков, сельского хозяйства. Схема должна оптимизироваться с учетом интересов всех рассматриваемых потребителей.

3. Основным источником электроснабжения, как правило, являются энергетические системы. Исключение составляют предприятия с большим теплоснабжением, для которых основным источником может являться ТЭЦ. При этом обязательно предусматривать связь ТЭЦ с энергосистемой, как правило, на напряжении 110 кВ и выше. Примерами построения таких СЭС служат Челябинский металлургический комбинат, город Миасс и др.

4. Общей тенденцией построения современных схем электроснабжения промышленных предприятий является применение глубоких вводов – максимальное приближение источников питания к электроустановкам предприятий, сведение к минимуму количества сетевых звеньев и ступеней трансформации, дробление ПС ВН при размещении предприятий на значительной территории.

Применяемые для внешнего электроснабжения промышленных предприятий и городов напряжения зависят от напряжения электрических сетей энергосистемы в районе размещения предприятий и от их нагрузки.

Электроснабжение ПП разделяют на внешнее и внутреннее (внутризаводское). К внешнему электроснабжению условно отнесем часть СЭС, включавшую в себя головные выключатели, расположенные на районной понижающей подстанции энергосистемы (ЭС), питающие предприятие линии электропередачи и понижающие трансформаторы главной понижительной подстанции (ГПП) предприятия, если она имеется, с коммутационной аппаратурой на стороне высшего напряжения ГПП.

Независимым источником питания (ИП) электроприемника или группы электроприемников называют ИП, на котором сохраняется напряжение при исчезновении его на других ИП. Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) к независимым ИП могут быть отнесены две секции или системы шин одной или двух электростанций или подстанций при соблюдении следующих условий:

- каждая из секций или систем шин питается от независимых источников;
- секции или системы шин не связаны между собой или же имеют связь, автоматически отключающуюся при нарушении нормальной работы одной из секций или системы шин.

Питание электроэнергией ППиГ, имеющих электроприемника 1-й категории, осуществляется не менее чем по двум линиям. Также по двум линиям питаются ПП с электроприёмниками 2-й категории, бесперебойная работа которых необходима для функционирования основных производств. Для питания электроприёмников особой группы 1-й категории предусматривается третий независимый ИП. Питание электроприемников 3-й категории может выполняться от одного источника, если перерыв электроснабжения, необходимый для ремонта или замены поврежденного элемента СЭС, не превышает одних суток.

Питание по двухцепным линиям, смонтированным на общих опорах, может быть применено для электроприемников всех категорий ПП, при этом для электроприемников особой группы 1-й категории должен быть предусмотрен специальный аварийный ИП [1]. Применение же двух одноцепных линий должно обосновываться технико-экономическими расчетами. Оно целесообразно в районах с интенсивным образованием гололеда, на затопляемых или заболоченных участках трассы, где осложнено выполнение работ по восстановлению питания, при высоких требованиях к бесперебойности питания, например, при преобладании нагрузок 1-й категории.

При построении СЭС ППиГ необходимо учитывать требования потребителей, а также энергетической системы (технические условия присоеди-

нения). Эти требования определяют основные параметры и возможности дальнейшего развития СЭС ППиГ.

Основные требования, предъявляемые к СЭС:

- высокая надёжность электроснабжения (необходимая степень надёжности);

- рациональное построение схемы электроснабжения;

- рациональное конструктивное решение;

- удобство и безопасности в эксплуатации;

- возможность перспективного развития.

При построении СЭС ППиГ следует широко применять:

- блочные схемы;

- комплектные и малогабаритные конструкции отдельных элементов схем электроснабжения;

- автоматику и телемеханику на всех ступенях СЭС.

При проектировании СЭС нужно предусматривать раздельную работу линий и трансформаторов, отдавать предпочтение одной системе сборных шин и ограничено применять двойную систему сборных шин, по возможности ограничивать использование дорогах масляных и воздушных выключателей.

Для правильного решения вопросов электроснабжения необходимо различать режимы, возникающие во время аварии и в период, непосредственно следующий после нее – соответственно аварийный и послеаварийный.

Аварийный режим – это кратковременный переходной режим, вызванный нарушением нормальной работы СЭС или отдельных ее звеньев и продолжающийся до отключения поврежденного звена или элемента. Продолжительность аварийного режима определяется в основном временем действия устройств релейной защиты, автоматики и телеуправления, а в отдельных случаях действиями оперативного персонала по отключению поврежденного элемента.

Послеаварийный режим – это режим, возникающий после отключения поврежденных элементов СЭС, т. е. после ликвидации аварийного режима. Он гораздо более длителен, чем аварийный режим, и продолжается до восстановления нормальных условий работы СЭС.

СЭС в целом нужно отроить таким образом, чтобы в послеаварийном режиме она обеспечивала функционирование основных производств ПП. При этом используются все дополнительные ИП и возможности резервирования, в том числе и те, которые в нормальном режиме нерентабельны (различные перемычки, связи на вторичных напряжениях и др.). В послеаварийном режиме допустимо частичное ограничение передаваемой мощности, а также позволены отклонения некоторых параметров качества электроэнергии.

2.6. Построение системы электроснабжения города

Для формирования системы электроснабжения крупных и крупнейших городов используются также сети напряжением 220–330 кВ и выше. Системы электроснабжения условно включают:

- сети внешнего электроснабжения – линии 220–330 кВ, обеспечивающие связь системы электроснабжения города с внешними межсистемными электрическими сетями 330–500–750 кВ, и ПС 220 кВ и выше, от которых питаются городские сети 110 кВ, а также линии 220 кВ и выше, связывающие эти ПС;
- сети внутреннего электроснабжения города – линии 110 и 220 кВ и ПС 110–220/10 кВ, предназначенные для питания городских сетей 10 кВ.

При разработке схемы электроснабжающих сетей крупных и крупнейших городов, как правило, следует предусматривать [РД 34.20.185-94]:

- создание вокруг города кольцевой магистральной сети напряжением 110–220–330 кВ с двухсторонним питанием и понижающими подстанциями. Кольцевая сеть должна присоединяться к подстанциям более высоких напряжений энергосистемы и городским электрическим станциям;
- сооружение глубоких вводов 110 кВ и выше для питания отдельных (центральных) районов города, не охватываемых кольцевой сетью указанного напряжения. В зависимости от местных условий питание подстанций глубокого ввода может предусматриваться от разных секций одной или разных опорных подстанций, а также ответвлениями от кольцевой сети с двухсторонним питанием;
- кольцевая сеть 110 кВ и выше крупнейших городов должна быть связана по сети внешнего электроснабжения не менее чем с двумя независимыми источниками питания энергосистемы через разные опорные подстанции. Опорные подстанции рекомендуется располагать в противоположных местах кольцевой сети. Линии связи кольцевой сети с опорными подстанциями энергосистемы во всех случаях должны сооружаться по разным трассам;
- мощность трансформаторов подстанций глубокого ввода 110–220 кВ при установке двух трансформаторов и отсутствии резервирования по сети 6–10–20 кВ выбирается с учетом их загрузки в нормальном режиме на расчетный срок согласно методике, приведенной в ГОСТ 14209-85 «Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки» не более 80% номинальной мощности.

Опорные районные понизительные подстанции, электростанции и подстанции глубокого ввода в системе электроснабжения города являются центрами питания (ЦП). Число и разновидность ЦП зависят от ряда факторов, прежде всего, от размера города, его общей электрической нагрузки и принятого способа теплоснабжения. Подстанции глубокого ввода предназначены для приближения ЦП к нагрузкам, что позволяет уменьшить протяженность распределительных электросетей и снизить в них потери электроэнергии.



Рис. 2.7. Система электроснабжения города

Выбор схемы электроснабжающей сети зависит от конкретных условий: географического положения и конфигурации селитебной территории города, плотности нагрузок и их роста, количества и характеристик источников питания, исторически сложившейся существующей схемы сети и др. Выбор производится по результатам технико-экономического сопоставления вариантов.

На рис. 2.7 приведена «идеализированная» система электроснабжения города. Линии электропередачи напряжением 110–220 кВ выполняются в виде двухцепного кольца, охватывающего город и выполняющего роль сборных шин,

которые принимают энергию от ЦП – местных электростанций или ПС 110–220 кВ, расположенных на окраине или за пределами города.

Глубокие вводы в районы города с высокой плотностью и этажностью застройки выполняются КЛ–110 кВ. Пропускная способность кольца 110–220 кВ должна обеспечивать перетоки мощности в нормальных и послеаварийных режимах при отключении отдельных элементов сети.

Для более благоприятного распределения мощности в кольце следует чередовать присоединение ЦП к сети 110–220 кВ и ПС 110–220/10 кВ.

Приведенная схема дает возможность дальнейшего расширения без коренной ломки. Пропускная способность сети 110–220 кВ может увеличиваться за счет «разрезания» кольца и подключения его к новым ЦП и за счет увеличения количества линий 110–220 кВ, т. е. повторения кольца с прокладкой линий по новым трассам и присоединения к ним новых ПС 110–220/10 кВ (рис. 2.8). Присоединение сети 110–220 кВ кольцевой конфигурации к новым ЦП позволяет изменять направление потоков мощности в ней, увеличивая пропускную способность без реконструкции. Схемы электроснабжения конкретных городов в той или иной степени отличаются от идеальной схемы, однако ее общие принципы находят соответствующее отражение в конкретных проектах.

Основным типом конфигурации сети 110–220 кВ является двухцепная ВЛ, опирающаяся на два ЦП (тип Д2, рис. 2.1, в); могут применяться также двухцепные радиальные ВЛ (тип Р2, рис. 2.1, б), хотя их применение ограничено, так как они характеризуются худшим использованием пропускной способности ВЛ, меньшей надежностью и гибкостью.

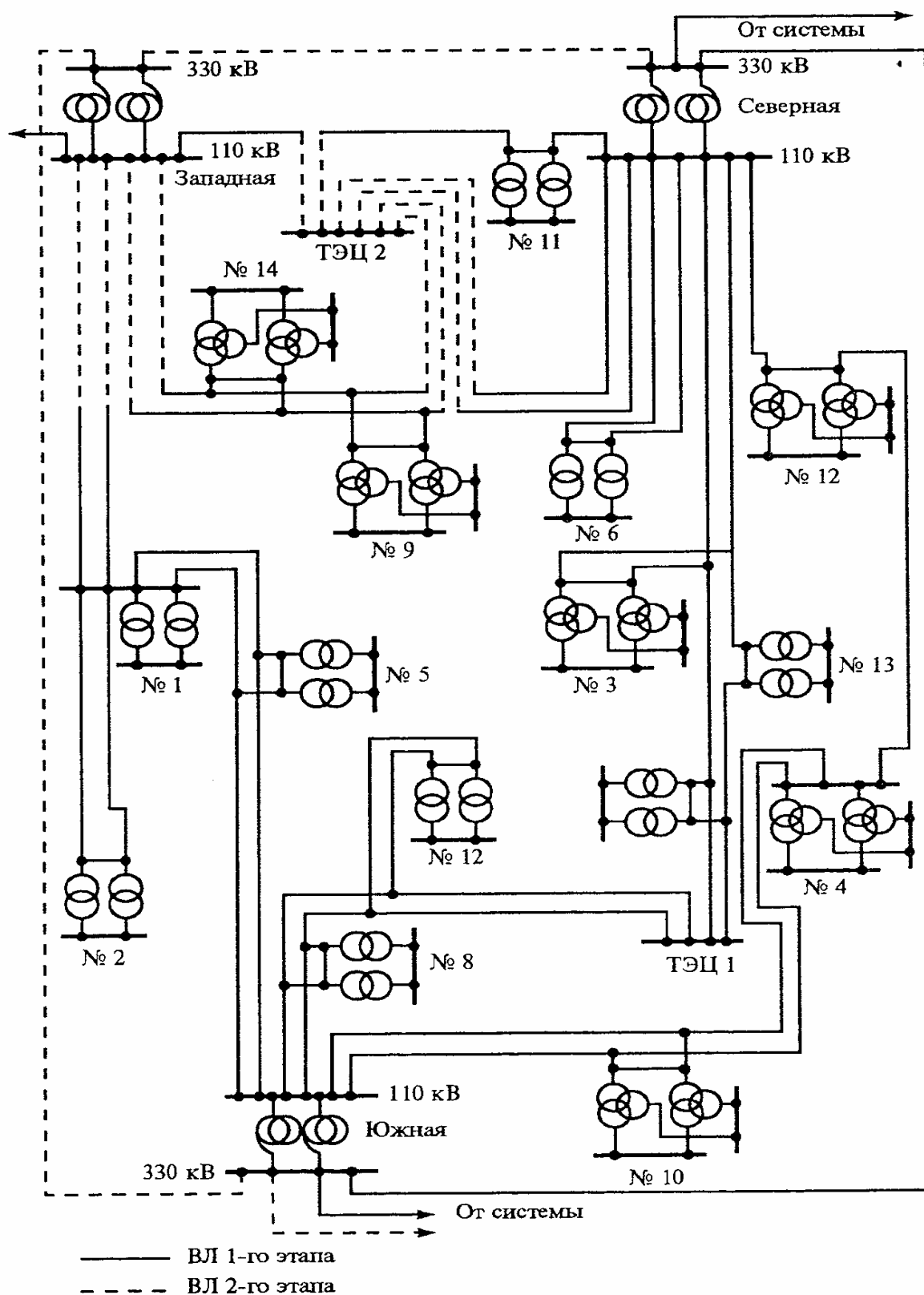


Рис. 2.8. Схема сети 110–330 кВ кольцевой конфигурации для электроснабжения крупного города

Практика проектирования и выполненные технико-экономические исследования позволяют дать следующие рекомендации по схемам присоединения городских ПС к сети 110–220 кВ:

- к двухцепным ВЛ, опирающимся на два ЦП (конфигурации Д2, рис. 2.9, а), целесообразно присоединять не более трёх-четырёх подстанций, а к двухцепным радиальным ВЛ (конфигурации Р2, рис. 2.9, б) – не более двух;

- главные электрические схемы городских ПС на стороне 110–220 кВ рекомендуется выполнять по типовым схемам 4Н, 5 (5Н) (рис. 2.3);

- в качестве коммутационных узлов сети 110 кВ целесообразно использовать РУ 110 кВ ПС с ВН 220–500 кВ и городских ТЭЦ.

Для крупных и крупнейших городов оптимальная мощность ПС 110/10 кВ, питаемых по ВЛ, 2х25 МВА с возможностью замены по мере роста нагрузок на 2х40 МВА, для ПС, питаемых по КЛ, 2х40 МВА с возможностью замены на 2х63 МВА.

Исходя из рекомендованных выше схем присоединения городских ПС к ВЛ 110 кВ и их оптимальной мощности сечение проводов для городских двухцепных ВЛ рекомендуется принимать не ниже 240 мм² (по алюминию).

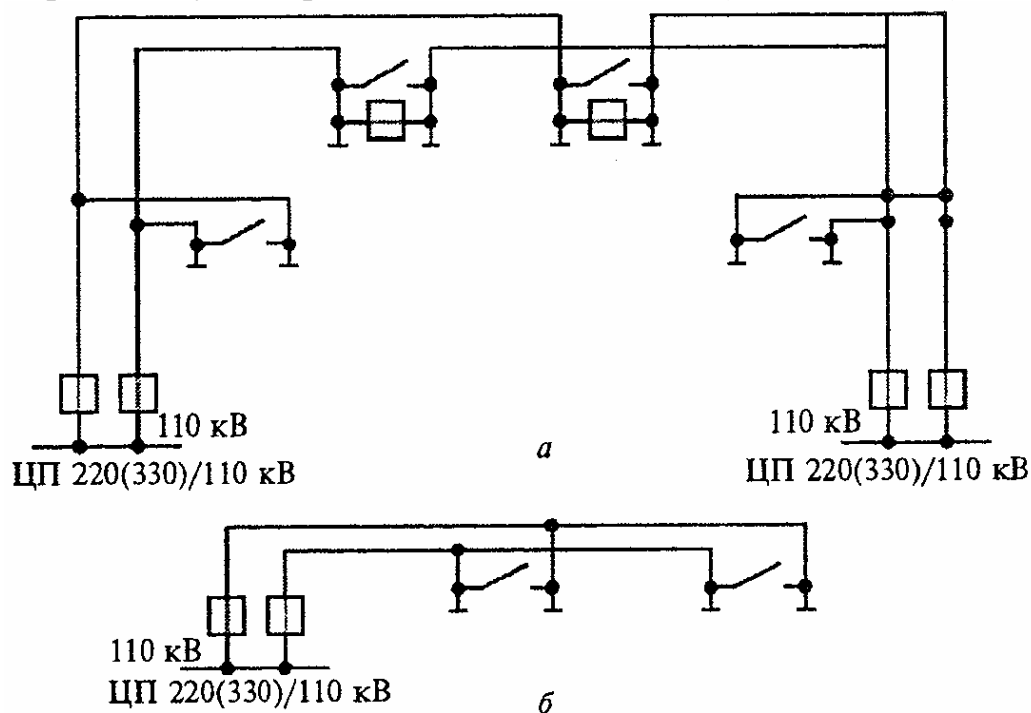


Рис. 2.9. Схемы присоединения городских подстанций к сети 110 кВ

Крупнейшие города с населением 1 млн человек и более являются важнейшими промышленными и культурно-политическими центрами страны. Доля потребителей первой и второй категории по надежности оценивается в 70–80 % общей нагрузки города. Частичное, а тем более полное погашение систем электроснабжения таких городов имеет серьезные социально-экономические

последствия. Поэтому для них признано целесообразным установить принципы построения систем электроснабжения, обеспечивающие его высокую надежность.

Характерной особенностью последних лет является размещение источников небольшой мощности (5–15 МВт) на территории городов. Для отдельных ответственных потребителей городской сети (вычислительные центры, банки, крупнейшие магазины и др.) принята целесообразной установка источников бесперебойного питания.

Построение электроснабжающих сетей напряжением 220(330) кВ должно удовлетворять следующим требованиям:

- схема должна предусматривать сооружение не менее двух ПС с ВЛ 220 кВ и выше, питающихся от энергосистемы;
- линии связи с энергосистемой должны присоединяться не менее, чем к двум внешним территориально разнесенным энергоисточникам и сооружаться, как правило, по разным трассам;
- общее количество и пропускная способность линий связи с энергосистемой должны выбираться с учетом обеспечения питания города без ограничений при отключении двухцепной ВЛ;
- построение схемы должно обеспечивать ограничение транзитных потоков через городскую систему электроснабжения;
- ЦП 220(330) кВ должны выполняться, как правило, двухтрансформаторными (220 кВ – не менее 2х125 МВА, 330 кВ – не менее 2х200 МВА);
- для обеспечения оптимальной схемы ЦП 220–330 кВ количество присоединяемых ВЛ этих напряжений, как правило, не должно превышать четырех.

Дополнительно рекомендуется при построении сети 110 кВ исходить из обеспечения резервирования не менее 70 % нагрузки любого ЦП 220–330 кВ при его полном погашении.

Воздушные линии электропередачи 35–110–220 кВ рекомендуется выполнять двухцепными с одновременной подвеской обеих цепей. В городах ВЛ должны размещаться в отведенных для них коридорах, как правило, за пределами селитебной территории. Провода ВЛ 110 кВ в крупных и крупнейших городах рекомендуется принимать сечением не менее 240 мм².

В крупных и крупнейших городах при невозможности прокладки ВЛ 35 кВ и выше из-за стесненности территории либо по обоснованным градостроительным соображениям должны предусматриваться кабельные линии соответствующих классов напряжения [РД-94].

Подстанции глубокого ввода 110–220 кВ с трансформаторами 25 МВ·А и более, а также пункты перехода воздушных линий 110–220 кВ в кабельные, при размещении их на селитебной территории, должны выполняться, как правило, закрытыми.

При размещении подстанций с развитым распределительным устройством (РУ) 110 кВ и выше в центральных районах крупных и крупнейших

городов рекомендуется применять комплектные элегазовые распределительные устройства (КРУЭ).

Для подстанций, размещаемых на территории промышленных предприятий и предназначенных также для электроснабжения потребителей города, должны предусматриваться коридоры для захода линий электропередачи и самостоятельные подъезды к подстанциям [РД-94].

В качестве примера на рис. 2.10 приведена схема электроснабжения Челябинских городских электрических сетей напряжением 35–110–220 кВ.

По мере роста нагрузки городских потребителей будет увеличиваться и плотность нагрузки, т. е. с увеличением нагрузки необходимо в систему электроснабжения вводить новые городские подстанции дополнительно к существующим, с тем чтобы радиус обслуживания находился по возможности в пределах наивыгоднейшего. Сооружение дополнительных подстанций должно производиться через установленные промежутки времени по мере роста нагрузки и при использовании пропускной способности отдельных элементов электроснабжения.

Схема сети 35-220 кВ ЧГЭС

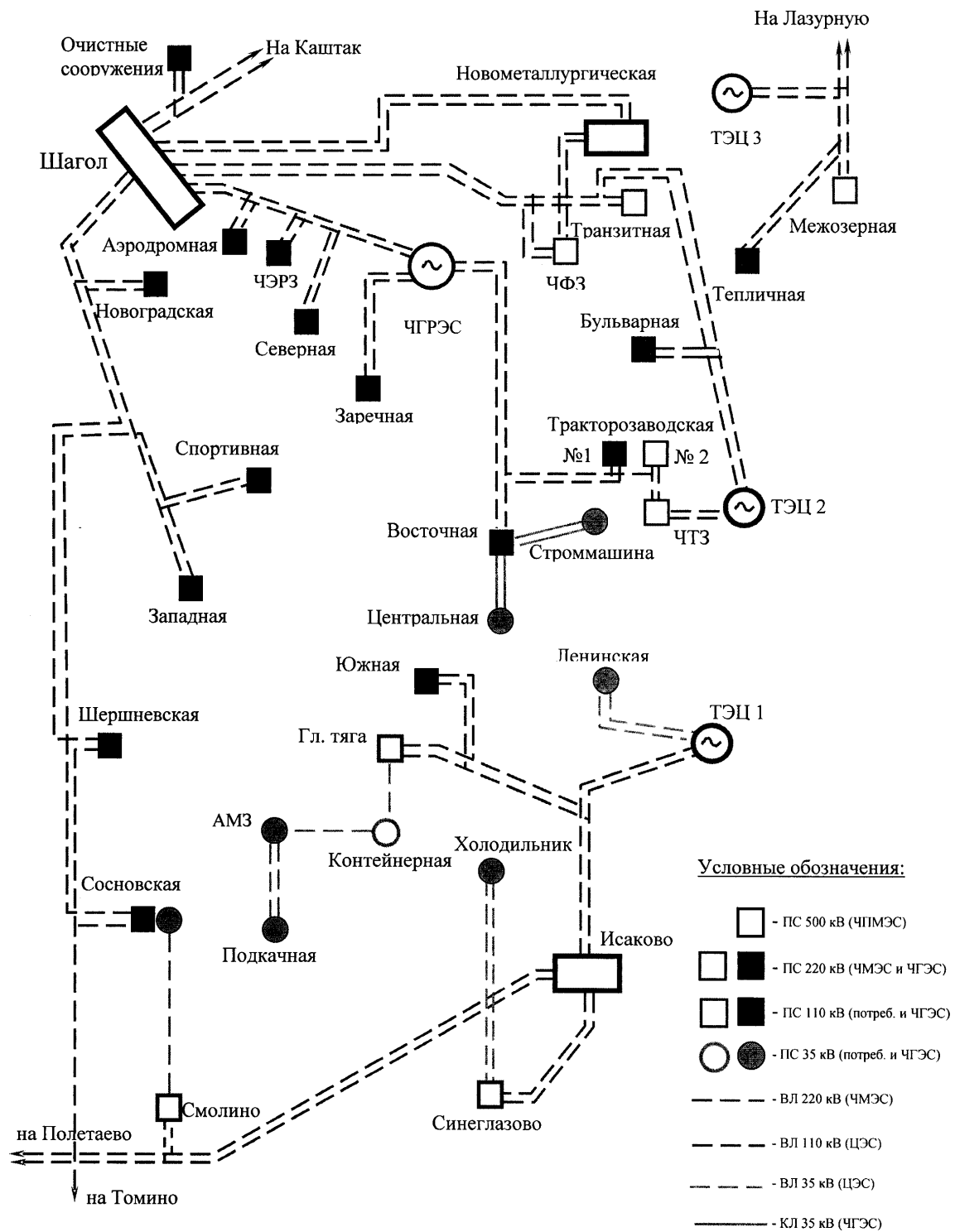


Рис. 2.10. Система электроснабжения Челябинских городских электрических сетей напряжением 35–110–220 кВ

3. ВНУТРЕННЕЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДОВ НА НАПРЯЖЕНИИ 6–10–20 кВ

3.1. Напряжения питания городских электрических сетей

В первом случае энергия передается непосредственно при генераторном напряжении 6–10 кВ. Во втором случае, кроме передачи энергии, имеет место ее трансформация на понижающей подстанции.

При генераторном напряжении 6 или 10 кВ электроснабжение прилегающих к электростанции районов целесообразно осуществлять при этом же напряжении.

Напряжения 6–10–20 кВ применяют для распределения электроэнергии от источника питания по прилегающей к ним территории города и для питания ТП 6–10–20 кВ. Напряжение 10 кВ является основным на современный и ближайший перспективный периоды для вновь сооружаемых и реконструируемых систем электроснабжения городов. Напряжение 6 кВ, как правило, не должно применяться во вновь проектируемых и реконструируемых системах ЭСГ.

Можно отметить следующий порядок выполнения городских распределительных сетей. В новых районах городской застройки напряжение сетей принимается не ниже 10 кВ вне зависимости от напряжения сети в существующей части города. При развитии действующих сетей 6 кВ следует предусматривать их перевод на 10 кВ с использованием оборудования и кабелей 6 кВ. Сохранение напряжения 6 кВ необходимо обосновывать технико-экономическими расчетами. При темпах ежегодного прироста нагрузки 5 % и более в течение ближайших 10–15 лет существующие кабельные сети 6 кВ во всех случаях следует переводить в ближайшие 5–10 лет на напряжение 10 кВ. Если оптимальные сроки перевода сети на повышенное напряжение находятся за пределами первой очереди развития сети или имеется решение о переходе на 10 кВ, новое оборудование и кабели должны приниматься с конструктивным напряжением 10 кВ.

Наличие на подстанции трехобмоточного трансформатора 110/10/6 кВ или дополнительного трансформатора с обмоткой 10 кВ позволит одновременно с осуществлением новых распределительных сетей переводить и действующие сети 6 кВ на напряжение 10 кВ.

Применение напряжения 20 кВ экономически оправдано: при стоимости кабелей, выключателей и трансформаторов этого напряжения не более 120–130% стоимости соответствующего оборудования 10 кВ; в новых районах, питающихся от городских электростанций с генераторным напряжением 20 кВ; при плотностях нагрузки 3040 МВт/км² и более, при питании от подстанций 220/20 кВ; при комплексном электроснабжении некрупных городов и прилегающих обширных сельскохозяйственных районов от понижающих подстанций 110-220/20 кВ.

Напряжение 20 кВ широко используется в странах Евросоюза и США. В нашей стране 20 кВ было введено в стандарт еще в начале 60-х годов, однако исторически широкого применения не получило. Отечественной энергетике были ближе напряжения 6, 10 и 35 кВ.

На рис. 3.1 показано изменение удельных затрат на передачу 1 кВт мощности на 1 км (в ценах 1988 г.) в зависимости от напряжения подземной линии 6–10–20–35 кВ и сечения кабелей 50–70–95–120–150 мм² с алюминиевыми жилами [Козлов-88].

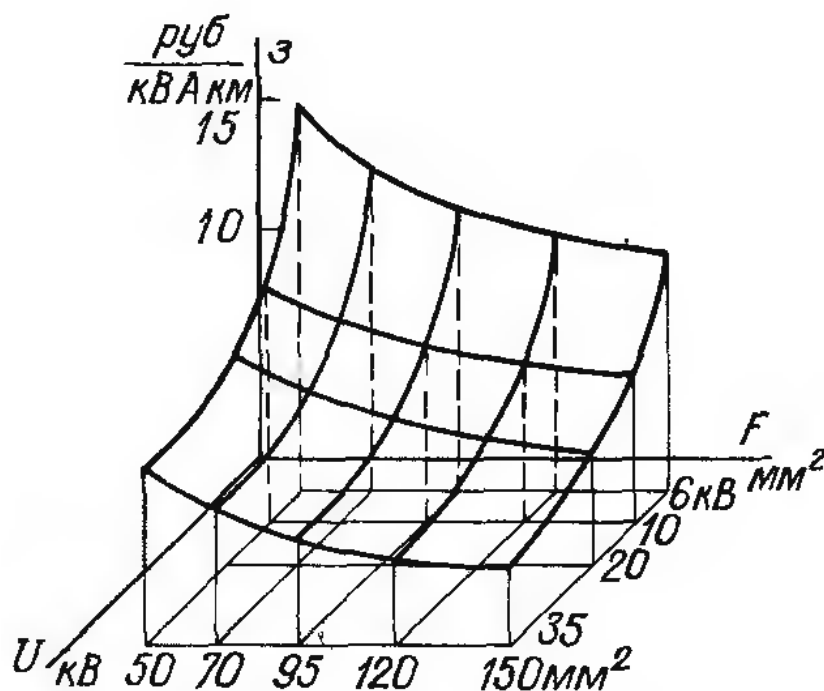


Рис. 3.1. Зависимость удельных приведенных затрат от напряжения и сечения КЛ

Уменьшение удельных затрат относительно кабеля напряжением 6 кВ с сечением жилы 50 мм² приведено в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Относительное изменение удельных затрат на передачу 1 кВт мощности на 1 км в зависимости от напряжения и сечения кабельных линий

Напряжение питания, кВ	Сечение жил кабелей, мм ²				
	50	70	95	120	150
6	1,00	0,83	0,72	0,66	0,61
10	0,60	0,52	0,45	0,41	0,38
20	0,51	0,45	0,38	0,32	0,29
35	0,45	0,36	0,26	0,22	0,20

Из анализа данных табл. 3.1 видно, что при изменении напряжения электрической сети с 6 на 10 кВ для разных сечений жил кабелей удельные

затраты на передачу мощности, уменьшаются примерно в 1,6 раза, с 6 на 20 кВ – примерно в 2 раза, с 6 на 35 кВ – примерно 2,9 раза.

При изменении сечения жил кабелей от 50 до 150 мм² уменьшение удельных затрат для электрических сетей 6 кВ составляет 1,63; для сетей 10 кВ – 1,58; для сетей 20 кВ – 1,88 и для сетей 35 кВ – 2,3 раза. Таким образом, с увеличением напряжения линии передачи эффективность применения кабелей больших сечений увеличивается.

На рис. 3.2 приведены удельные потери мощности и электроэнергии в кабелях и оборудовании 6, 10 и 20 кВ [Лоскутов]. При расчетах был использован кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена марки 3хАПвПг-1х95/16.

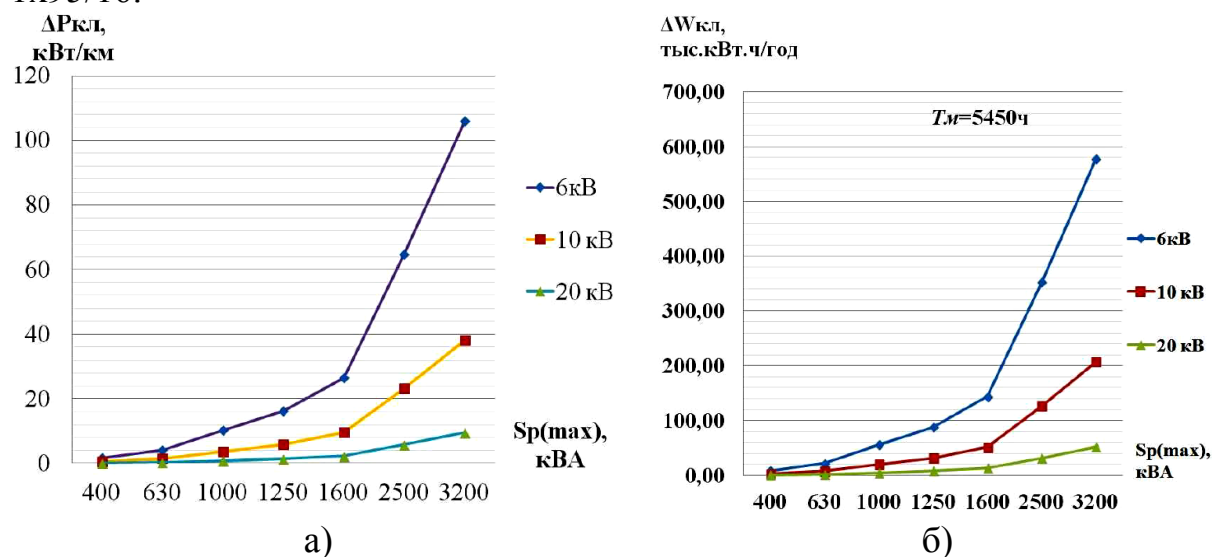


Рис. 3.2. Зависимости удельных потерь мощности (а) и удельных потерь электроэнергии от передаваемой мощности (б)

Аналитическим путем была определена максимальная длина передачи единицы мощности по условиям 10% потерь напряжения для сетей 6, 10 и 20 кВ. Исследование показало, что 1 МВт мощности по кабелю 3хАПвПг-1х95/16 с потерями менее 10% в сети 6 кВ можно передать на максимальное расстояние 4 км, в сети 10 кВ – 9 км, а в сети 20 кВ – 34 км (рис. 3.3). Таким образом, сети 20 кВ позволяют в 3–8 раз увеличить площадь обслуживания потребителей и снизить количество ячеек на центрах питания.

Определена пропускная способность линий различных видов изоляции в зависимости от сечения (рис. 3.4). Рассмотрены кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (АПвПг), с бумажной изоляцией (АОСБ) и самонесущие изолированные провода (СИПЗ). Сравнительный анализ показал, что пропускная способность линий 20 кВ в три раза превышает пропускную способность линий 6 кВ и в 1,9 раз – 10 кВ.

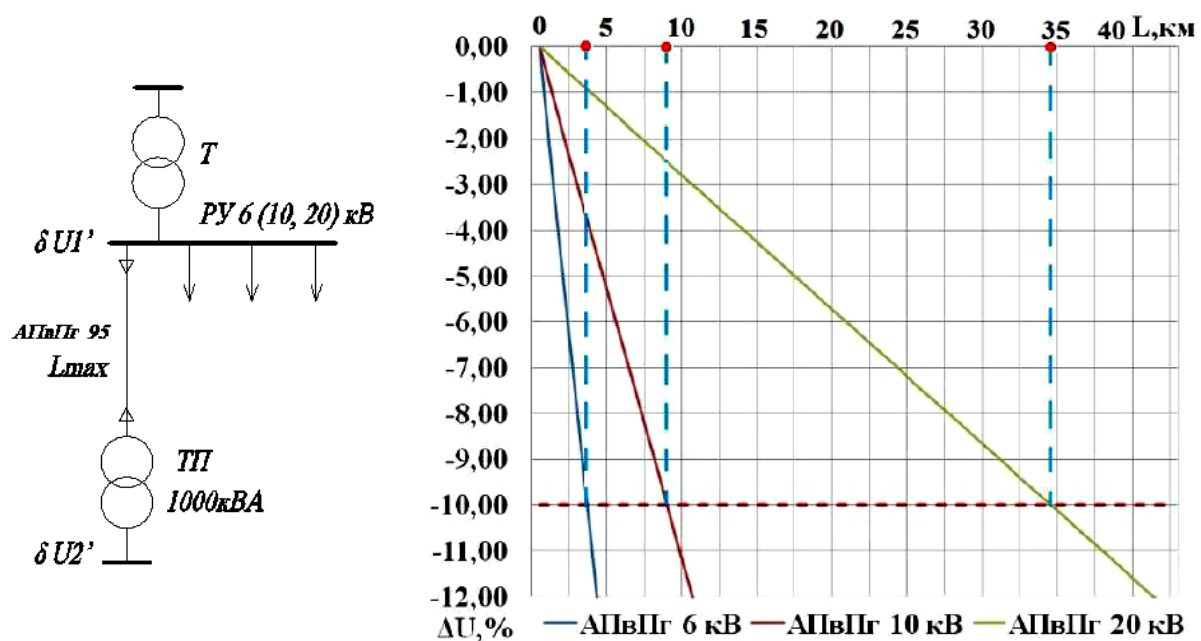


Рис. 3.3. Зависимость дальности передачи мощности от напряжения

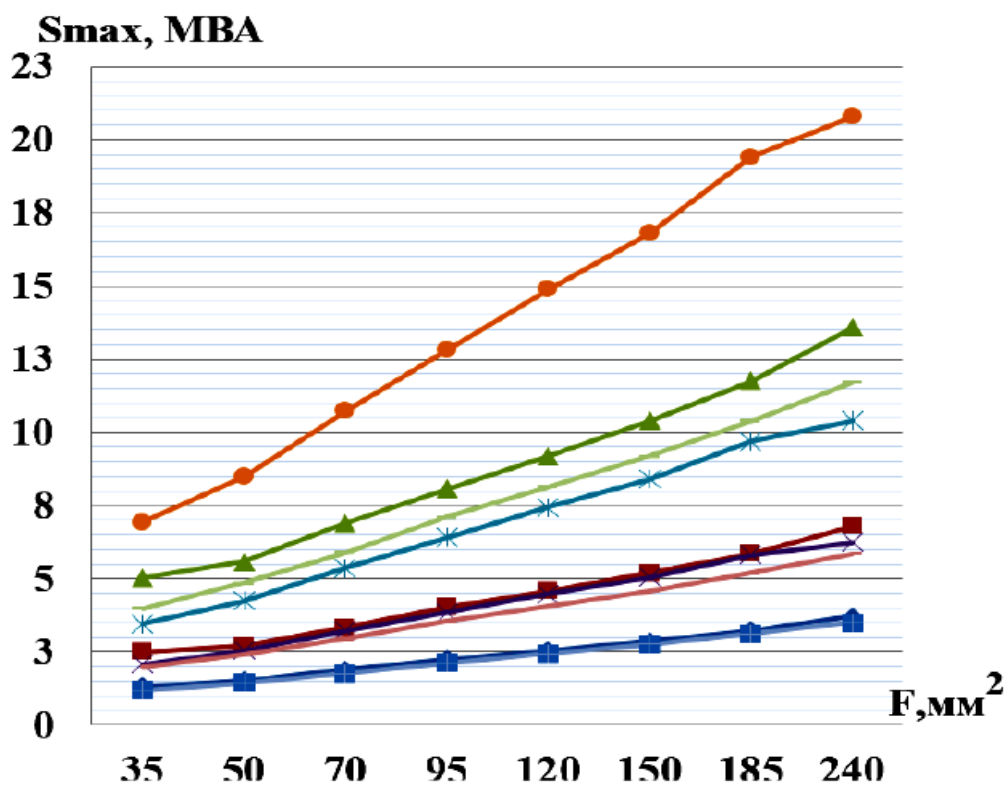


Рис. 3.4. Пропускная способность ЛЭП с разной изоляцией:

- АПвПг 6кВ; — АПвПг 10кВ; — АПвПг 20кВ;
- СИПЗ 6кВ; — СИПЗ 10кВ; — СИПЗ 20кВ;
- АОСБ 6кВ; — АОСБ 10кВ; — АОСБ 20кВ

На рис. 3.5 приведены области использования напряжений 10, 35 и 110 кВ в зависимости от передаваемой мощности и длины линии при допустимой потере напряжения 5 %.

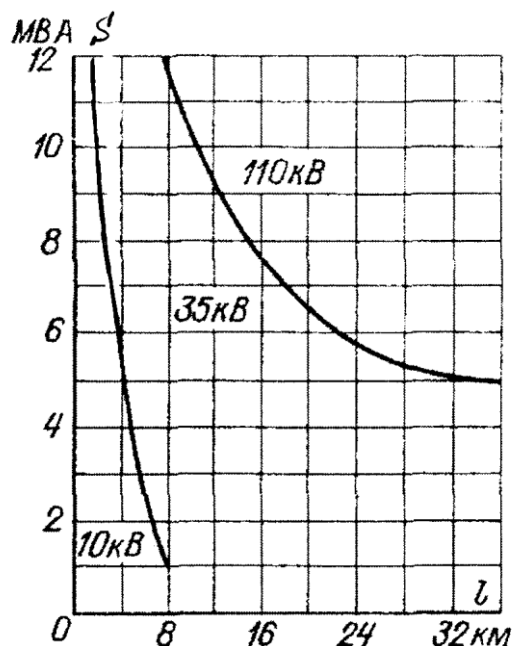


Рис. 3.5. Зоны использования напряжений 10, 35 и 110 кВ

Напряжения до 1 кВ применяют для распределения электроэнергии в ограниченных районах территории города (десятки – сотни метров), внутри жилых и производственных зданий и для непосредственного присоединения электроприемников. В проектируемых и реконструируемых электрических сетях всех назначений должно применяться линейное напряжение 380 В.

Напряжение 660 В предназначено для применения в системах электропитания некоторых промышленных предприятий. В перспективе возможно применение этого напряжения в многоэтажных зданиях большого объема для крупных двигателей централизованных установок кондиционирования воздуха, таких же установок насосов холодной и горячей воды, грузовых и грузопассажирских скоростных лифтов и т. п.; магистральных внутридомовых линий, питающих трансформаторы 660/380–220 В, рассредоточенно устанавливаемые по этажам зданий.

Городские распределительные сети 6–10–20–35 кВ согласно ПУЭ должны выполняться трехфазными с изолированной, компенсированной или резистивно заземленной нейтралью.

Режим электрической сети с изолированной нейтралью получил широкое распространение, поскольку может допускать работу сети с однофазным замыканием на землю. Способ заземления нейтрали через дугогасящий реактор находит в России применение в разветвленных кабельных се-

тях с большой емкостью фаз. Анализ опыта эксплуатации данных режимов нейтрали показывает большую удельную повреждаемость электрических сетей.

Мировой опыт свидетельствует, что применение нейтрали, заземленной через резистор, – наиболее широко применяемый способ в сетях 20 кВ. Возможны два варианта реализации резистивного заземления – высокоомного и низкоомного. При высокоомном заземлении нейтрали резистор выбирается таким образом, чтобы ток, создаваемый им в месте однофазного повреждения, был равен или больше емкостного тока сети. Это гарантирует отсутствие дуговых перенапряжений при однофазных замыканиях. Соответственно высокоомное заземление нейтрали может применяться только в сетях с малыми собственными емкостными токами – до 5–7 А.

В городских распределительных сетях характерны большие емкостные токи, поэтому в них допустимо применение только низкоомного заземления нейтрали. При низкоомном заземлении нейтрали используется резистор, создающий ток в пределах 10–2000 А. Величина тока, создаваемого резистором, выбирается исходя из нескольких конкретных условий: стойкости оболочек и экранов кабелей к протеканию такого тока однофазного замыкания; наличия в сети высоковольтных электродвигателей и генераторов; чувствительности релейной защиты. В настоящее время в ОАО «МОЭСК» применяется способ заземления нейтрали через низкоомный резистор 12 Ом для сетей 20 кВ. Ток однофазного короткого замыкания в сети, с заземленной через низкоомный резистор, имеет большую величину по сравнению с этим же током в сети с изолированной нейтралью в 2,5–3,6 раза, что обеспечивает высокую чувствительность защит от однофазных коротких замыканий. Поэтому можно сделать выводы в пользу преимущества сети с нейтралью, заземленной через низкоомный резистор, для городских сетей 20 кВ:

- быстрое отключение при ОЗЗ поврежденного элемента, исключение развития повреждения;
- отсутствие феррорезонансных явлений, вызываемых кратковременными ОЗЗ из-за широкого диапазона настройки ДГР, необходимого для разветвленных городских сетей с часто изменяющейся конфигурацией по отношению к питающему центру;
- исключение возможности перехода однофазного замыкания в многофазное;
- уменьшение вероятности поражения персонала и посторонних лиц за счет быстрого отключения поврежденной линии;
- перенапряжения, возникающие при дуговых замыканиях на землю, могут достигать всего 1,9–2,2 U_{ϕ} , их длительность ограничена временем работы защиты (менее 1 с.);

– отсутствие длительного воздействия на изоляцию дуговых перенапряжений, что ведет к накоплению дефектов, снижению срока службы и увеличению ущерба.

3.2. Построение питающих линий

Рационально построенная электрическая сеть должна обеспечивать нормативные уровни надежности электроснабжения потребителей, нормированное качество электроэнергии, электробезопасность элементов сети, минимальные затраты на их обслуживание и ремонт. Кроме того, при построении электросети должны быть учтены перспективный рост электрических нагрузок и возможность её автоматизации.

Схемы электрических сетей напряжением 6–10–20 кВ увязываются с построением сетей напряжением 35–110–220 кВ и проектируются в соответствии с строительными нормами и правилами [Инструкция-84, Козлов-88, Файбисович-2006, Цигельман-88].

Схемы электрических сетей должны выполняться с условием, чтобы секции сборных шин напряжением 6–10 кВ ИП не включались в нормальном и послеаварийном режимах на параллельную работу через указанную сеть.

В зависимости от размера города для питания потребителей, расположенных на его территории, предусматривается система электроснабжения (рис. 3.6), представляющая совокупность электростанций, 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. 3.6), ко второй части относят питающие сети 6–10–20 кВ и трансформаторные подстанции напряжением 6–20/0,4 кВ (зоны Б В Г и Д на рис. 3.6). Вторая часть системы электроснабжения предназначена для распределения электроэнергии непосредственно среди городских потребителей электрической энергии. Границы этой части системы начинаются на сборных шинах напряжением 6–10–20 кВ источников питания (электростанций и подстанций) и заканчиваются на вводе к потребителю.

Для крупных городов построение электрической сети напряжением 6–10–20 кВ выполняется по двухступенчатому принципу:

- от подстанций по радиальным линиям питаются распределительные пункты напряжением 6–10–20 кВ (РП), предназначенных для приёма электроэнергии и передачи её в распределительную сеть без трансформации и преобразования (зона Б на рис. 3.6);
- от РП по разным вариантам схем питаются трансформаторные подстанции напряжением 6–10–20/0,4 кВ (зона В, рис. 3.6).

В средних и небольших городах выполняют одноступенчатую электрическую сеть, когда ТП питаются непосредственно от ПС.

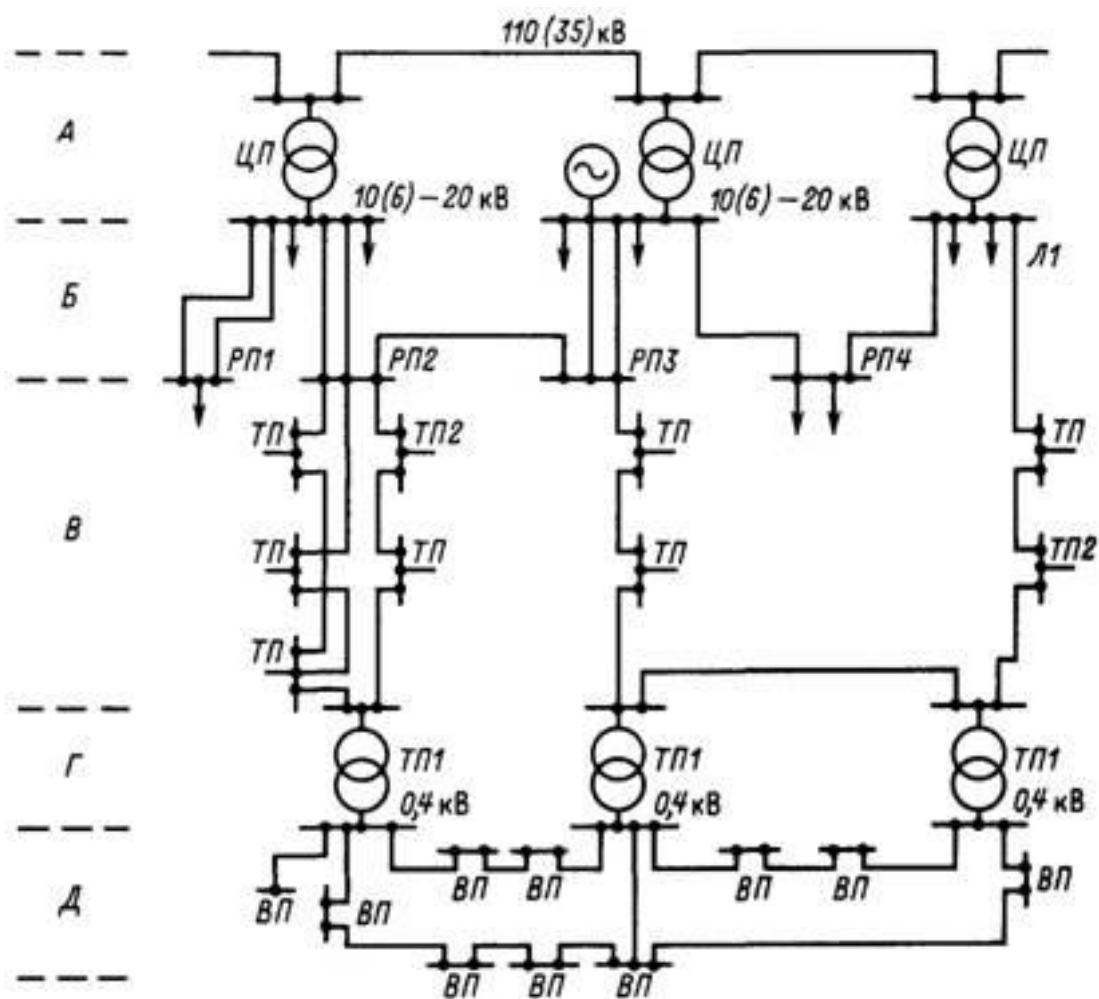


Рис. 3.6. Принципиальная схема электроснабжения города

В средних и малых городах общие электрические нагрузки меньше, поэтому схемы электроснабжения таких городов значительно упрощаются: уменьшаются число ЦП, протяженность питающей сети напряжением 6–10 кВ, число и мощность ТП; реже используются устройства АВР из-за меньшего числа ответственных потребителей.

Трансформаторные подстанции питают непосредственно потребителей электрической сети напряжением 380 В (зоны Г и Д, рис. 3.6). В городских электрических сетях применяют трансформаторы со схемой соединений обмоток «звезда-звезда с нулём» и «треугольник-звезда с нулём», причём в последнее время имеет тенденция к более широкому применению второй схемы.

Целесообразность сооружения РП напряжением 6–10 кВ должна обосновываться технико-экономическим расчетом. Нагрузка РП на расчетный срок должна составлять на шинах 10 кВ не менее 12 МВт, на шинах 6 кВ – не менее 8 МВт [ИНСТРУКЦИЯ-94, п. 4.4.3] – табл. 3.2.

Таблица 3.2

Оптимальные значения мощности и радиус действия РП [Мясоедов]

Поверхностная плотность нагрузки, МВт/км	Мощность РП, МВт		Радиус КЛ до РП, км [Мясоедов]		Средняя длина кабельной линии 10 кВ, км [Козлов]
	6 кВ	10 кВ	6 кВ	10 кВ	
3	5	8	0,7	0,9	3,0–3,8
5	7	11	0,7	0,9	2,7–3,3
8	9	14	0,6	0,8	2,4–3,0
10	10	16	0,6	0,7	2,3–2,8
15	15	18	0,5	0,6	2,1–2,6

В табл. 3.3 приведены области экономического использования электрических сетей напряжением 6–10–20–35 кВ [Козлов-88]. Допустимая нагрузка определена для сечения жил кабелей 240 мм² и ограничена их предельным тепловым режимом. Рассматриваемые зоны рационального использования напряжения определены исходя из формирования электрических сетей по закону экономической плотности тока.

Таблица 3.3

Зоны экономического использования линий

Характеристики линии и её нагрузки	Зона экономического использования, кВ·А, для линий напряжением, кВ			
	6	10	20	35
Линия с нагрузкой:				
– сосредоточенной	1300	1300–5100	5100–9200	9200
– рассредоточенной	1880	1880–7900	7900–14200	14200
Допустимая нагрузка линии	4200	6400	10000	15300

Из табл. 3.3 следует, что зона экономического использования напряжения 6 кВ для линии с сосредоточенной нагрузкой ограничивается мощностью передачи до 1,3 МВ·А, напряжения 10 кВ – 1,3–5,1 МВ·А, напряжения 20 кВ – 5,1–9,2 МВ·А и напряжения 35 кВ – 9,2 МВ·А. Для линии с рассредоточенной нагрузкой экономическая мощность при напряжении 6 кВ увеличивается до 1,88 МВ·А, 10 кВ – до 7,9 МВ·А, для 20 кВ – 14,2 МВ·А.

Выбор места расположения РП должен производиться с учетом размещения ТП, потерь напряжения в линиях 6–10 кВ, условий застройки района и т. д. Следует стремиться к расположению РП вблизи границы питаемого им участка сети, углубляясь в район обслуживания на 10–15 % его протяженности, с целью уменьшения обратных потоков энергии в линиях

распределительной сети 6–10–20 кВ и лишнего расхода проводникового металла.

РП следует, как правило, выполнять с одиночной секционированной системой сборных шин с питанием по взаимно резервируемым линиям, подключенным к разным секциям ПС. На секционном выключателе должно предусматриваться устройство АВР (рис. 3.6, а). При этом каждая линия, питающая секцию сборных шин РП, располагается в отдельной траншее и состоит из двух запараллеленных кабелей с наибольшим сечением жил кабеля, например, для кабелей с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами $3 \times 240 \text{ мм}^2$. Параллельно прокладываются два кабеля с целью резервирования и обеспечения надёжности электроснабжения, например, на случай выхода из работы одного из кабелей. Поэтому пропускная способность кабельной линии определяется из условия работы одного кабеля.

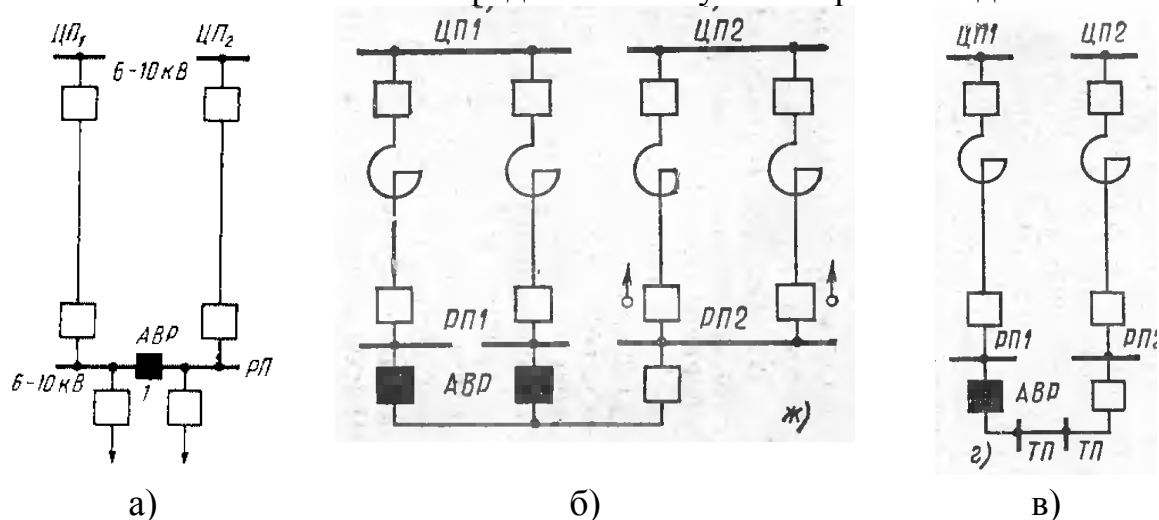


Рис. 3.6. Схемы резервирования питания РП

Для электроснабжения потребителей 1-й, 2-й и 3-й категорий для повышения надёжности электроснабжения применяют схемы питания от разных ИП (ПС). Сборные шины РП разделены на две секции и связаны между собой в нормальном режиме отключенным секционным выключателем, для которого предусмотрено устройство АВР двухстороннего действия (рис. 3.6, а) [Цигельман]. На рис. 3.6, б показан вариант резервирования с использованием устройств АВР между разными РП, а на рис. 3.6, в – вариант резервирования линиям, питающим трансформаторные подстанции.

Схем построения линий напряжением 6–10–20 кВ довольно много. Выбор той или иной схемы зависит в основном от требуемого уровня надёжности электроснабжения, плотности электрических нагрузок, а также от территориального расположения потребителей относительно ПС или РП и относительно друг друга [Цигельман].

Наиболее простой и дешёвой является сеть, выполненная по радиальной или магистральной схеме (рис. 3.7). При радиальной схеме каждая ТП

питается отдельной линией, а при магистральной – одна линия питает несколько ТП. Эти схемы, имея одностороннее питание, обеспечивают минимальную надёжность и могут применяться только для электроснабжения потребителей только 3-й категории. Следует отметить, поскольку сечение жил питающих кабелей определяется, как правило, по термическому сечению, то радиальные линии оказываются недогруженными. А магистральные линии, питающие несколько ТП, могут загружаться полностью, следовательно, они экономически выгоднее.

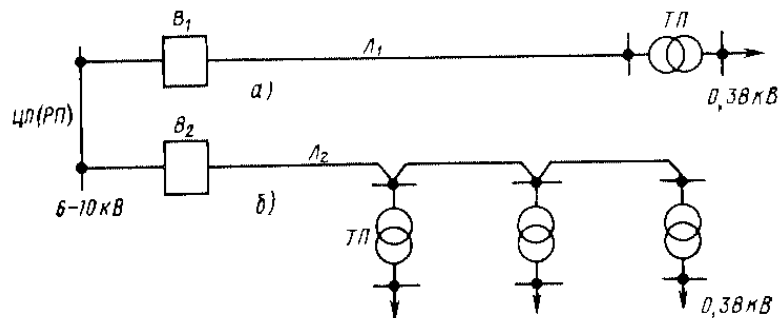


Рис. 3.7. Нерезервируемые линии напряжением 6–10 кВ

В 70–80-е годы прошлого столетия широкое распространение получили петлевые (однолучевые) схемы, состоящие из двух одиночных магистральных линий, питающихся от отдельных ИП и соединённых между собой разъединителем (рис. 3.8). К петлевой схеме, как правило, подключают однотрансформаторные ТП [Инструкция-84] и они могут питать потребителей 2-й категории. В нормальном режиме работы разъединитель Р между магистральными линиями разомкнут (точка нормального разрыва) и они работают раздельно. При повреждении какого-либо участка линии его отключают смежными коммутационными аппаратами и включают разъединитель Р, подавая питание на отключившиеся неповреждённые участки линии.

Но опыт эксплуатации петлевых линий показал их низкую надёжность. При каком-либо повреждении кабеля потребители оказывались запитанными от одного источника питания и в зимнее время, когда восстановление кабеля могло достигать нескольких дней, при повреждении в другом месте какая-то часть или все потребители могли потерять электроснабжение полностью. Поэтому подобные схемы уже в 90-е годы начали переоборудовываться на более надёжные схемы, например, двухлучевые или подобные им с питанием двухтрансформаторных подстанций.

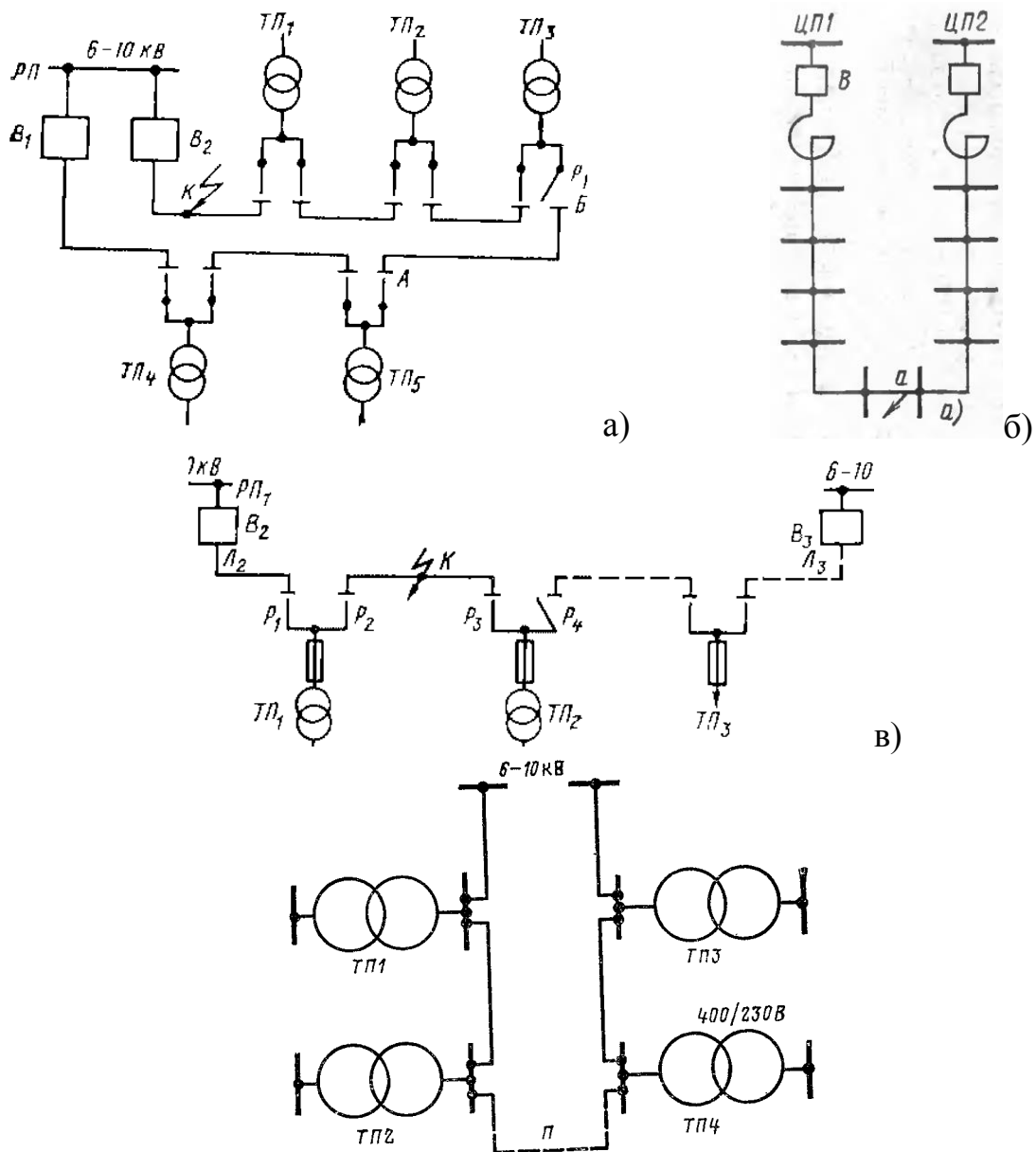


Рис. 3.8. Петлевые (однолучевые) схемы

Магистральные резервируемые сети бывают следующих видов:

- магистральная петлевая сеть (рис. 3.9, а), образующая замкнутый контур, который в зависимости от условий эксплуатации может быть разомкнут в любой точке сети;
- магистральная петлевая сеть с двусторонним питанием (рис. 3.9, б), концы которой подключены к независимым источникам питания, например разным РП или разным секциям шин ЦП;
- двухмагистральная (двухлучевая) сеть с устройствами АВР напряжением 6–10 кВ (рис. 3.9, в), в которой питание нагрузок и резервирование обеспечивают параллельные линии, подключенные к разным секциям РП. Обе магистральные линии могут быть присоединены непосредственно к

ЦП, и в этом случае в схеме электроснабжения будут отсутствовать РП;

– замкнутая сеть, состоящая из ряда взаимно связанных контуров с общими узлами. Простейшим видом замкнутой сети являются радиальные и магистральные резервируемые линии, работающие параллельно.

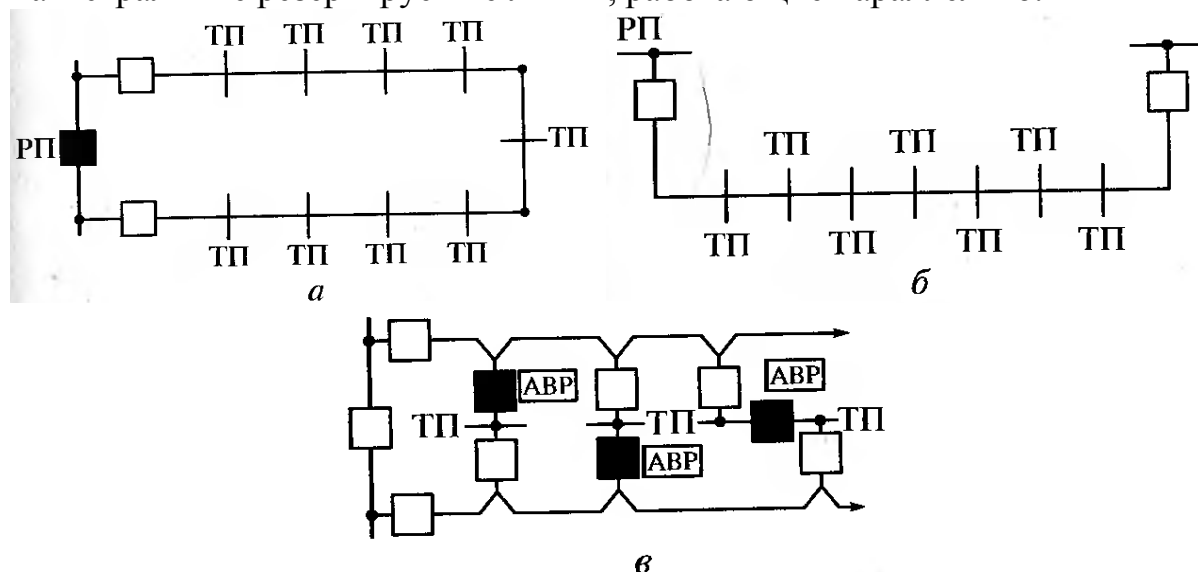


Рис. 3.9. Схемы магистральных городских резервируемых сетей:
а – петлевая; б – петлевая с двусторонним питанием; в – двухмагистральная с устройствами АВР напряжением 6–10 кВ

В связи с непрерывным ростом электрификации городских потребителей увеличиваются требования к надежности их электроснабжения. В результате возникает необходимость в более глубоком резервировании распределительных сетей и использовании в таких сетях средств автоматики для ввода резервных элементов при нарушениях нормального режима сети. Внедрение автоматизированных сетей связано с дополнительными капитальными затратами.

Городские электрические сети напряжением 6–10 кВ характерны тем, что в любом из микрорайонов могут оказаться потребители всех категорий по надежности электроснабжения. Естественно, это требует и надлежащего построения схемы сети. Для электроснабжения потребителей 1-й категории в больших городах (500 тыс. человек и более) применяют так называемую двухлучевую схему, которая предусматривает питание двухтрансформаторных ТП по двум кабельным линиям (лучам), подключенным к разным независимым источникам питания – к двум секциям сборных шин ПС или РП (рис. 3.10, а).

Надежность электроснабжения можно повысить, если двухлучевую линию построить так, чтобы её окончание снова возвращалось на ПС или РП, а в её середине устанавливались нормально разомкнутые коммутационные аппараты (рис. 3.10, б). В нормальном режиме оба участка двухлучевой схемы работают независимо, обеспечивая минимум потерь напряжения и

мощности. При повреждении какого-либо участка линии он локализуется с двух сторон, а при включении нормально разомкнутого аппарата обеспечивается питание соответствующих участков сети.

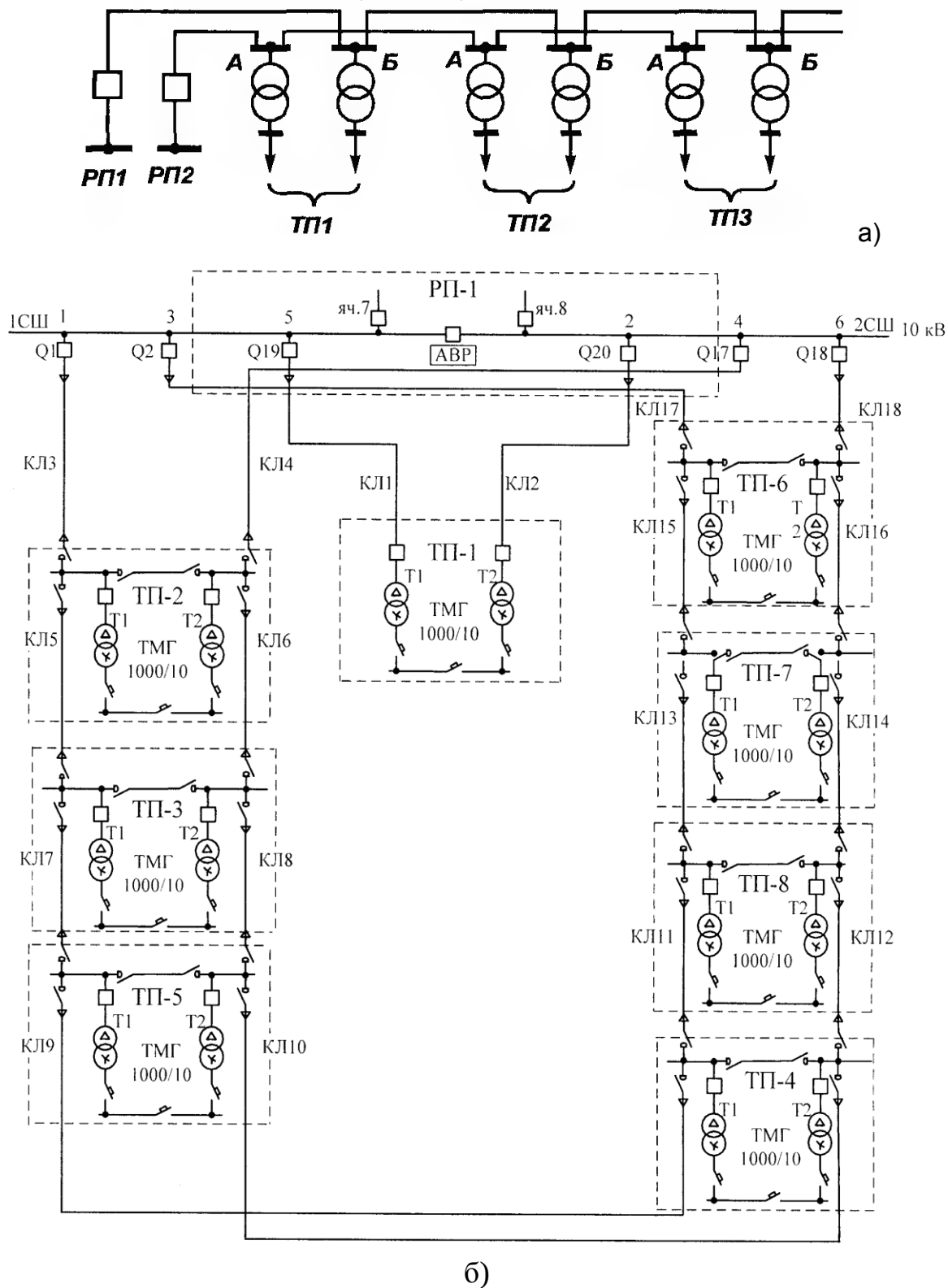


Рис. 3.10. Двухлучевые схемы электроснабжения

Ещё более высокую надёжность имеет двухлучевая схема с двухсторонним питанием, подключенная к четырём независимым источникам питания – между двумя ПС или двумя РП или ПС и РП (рис. 3.11), рекомендуемая [РД 34.20.185-94]. В нормальном режиме лучи и секции каждой ТП работают отдельно и подключены к независимым источникам. В данной схеме реализовано требование по резервированию каждого элемента сети. Это позволяет производить ремонт одного из трансформаторов ТП без прекращения питания потребителей, а также сокращает время ликвидации аварии. Требуемая надёжность электроснабжения обеспечивается так же в результате использования АВР на стороне 0,4 кВ ТП – в случае отключения одной из линий или одного трансформатора питание всей нагрузки потребителя осуществляется от оставшихся в работе линии и трансформатора. К достоинствам данной схемы относится: простота, наглядность, экономичность, достаточно высокая надёжность.

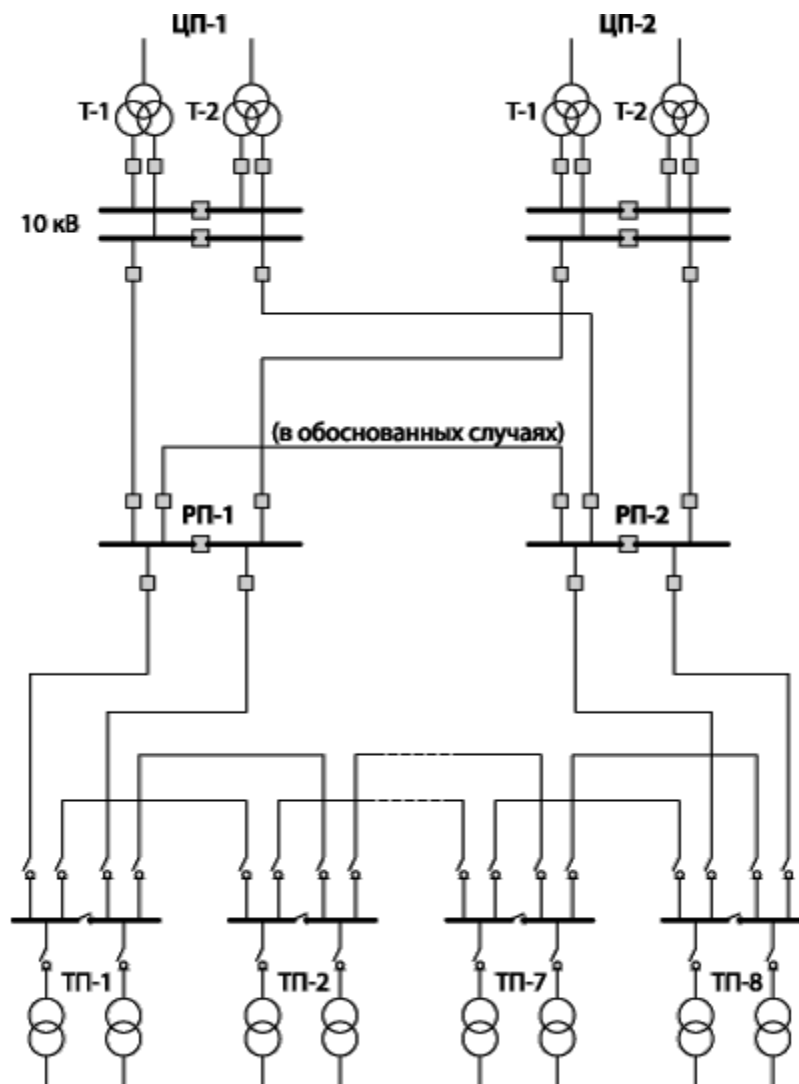


Рис. 3.11. Двухлучевые схемы электроснабжения с двухсторонним питанием (от четырёх источников питания)

Для повышения надёжности электроснабжения потребителей, а также оперативной гибкости магистральные, петлевые, двухлучевые схемы могут иметь между собой поперечные связи.

Двухлучевая схема с АВР на стороне низшего напряжения имеет значительные преимущества, надёжна в эксплуатации, обладает быстродействием (переключение производится за 0,2–0,3 с, тогда как АВР на стороне высшего напряжения включается за 1–1,5 с). Кроме того, эта схема является самовосстанавливающейся: при возникновении напряжения на отключившейся линии (луче) схема приходит в исходное положение без участия обслуживающего персонала.

В экспериментальном порядке в некоторых городах сооружаются и эксплуатируются участки сетей по замкнутой схеме, которые имеют высокую степень надёжности и большую пропускную способность, но требуют несколько большего расхода цветного металла, сложны в эксплуатации, требуют применения специальных видов релейной защиты. Для питания потребителей 1-й категории приходится принимать специальные меры.

На рис. 3.12 приведён план жилого микрорайона с внутриквартальными электрическими сетями напряжением 10 кВ и 380 В. В микрорайоне расположен распределительный пункт напряжением 10 кВ РП-107, питающийся от подстанции «Спортивная». Для электроснабжения микрорайона используются два трансформатора типа ТМГ-1000/10/0,4, установленные в РП-107, и одна четырёхтрансформаторная подстанция ТП-2090 и одно двухтрансформаторная подстанция ТП-2071 также с трансформаторами типа ТМГ-1000/10/0,4. Применение четырёхтрансформаторной подстанции, с одной стороны, позволило сэкономить внутридомовую территорию, а, с другой стороны, обеспечить электроснабжение многоподъездных 9–11-этажных жилых домов. На плане показаны кабельные сети напряжением 380 В, обеспечивающие питание вводных распределительных устройств (ВРУ) жилых и общественных домов.

Воздушные электрические линии широко распространены в небольших городах и сельской местности вследствие их меньшей стоимости по сравнению с кабельными и простоты обслуживания. Их недостатки – возможность повреждения вследствие воздействий ветра, гололеда, ударов молнии. Воздушные линии опасны для людей при обрыве проводов. Кроме того, они ухудшают внешний вид городских улиц и площадей, мешают транспорту, создают опасность аварий, поэтому в крупных и средних городах, как правило, применяют кабельные линии.

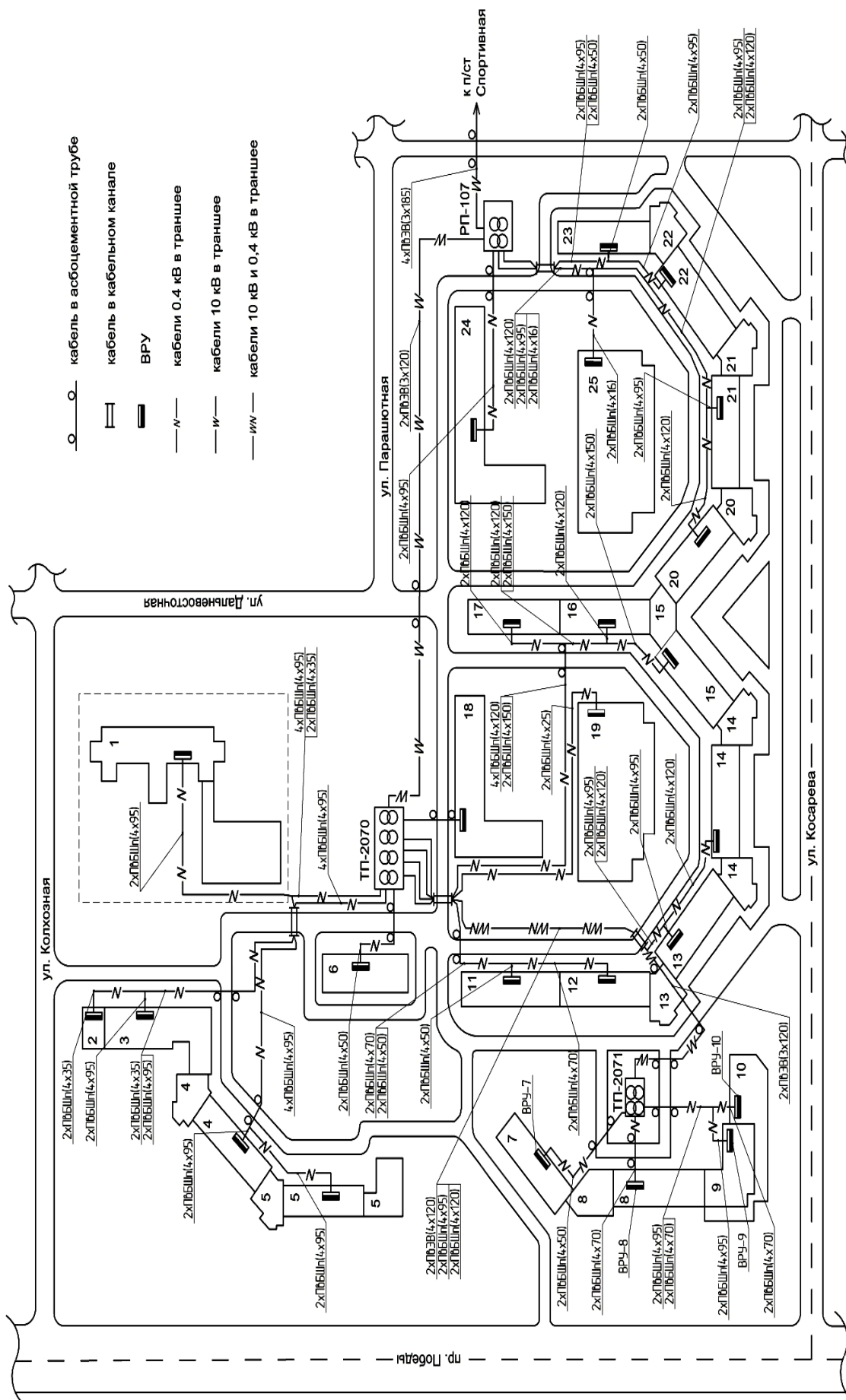


Рис. 3.12. План жилого микрорайона с внутриквартальными электрическими сетями

В электрических сетях должны быть обеспечены отклонения напряжения у приемников электрической энергии, не превышающие $\pm 5\%$ номинального напряжения сети в нормальном режиме и $\pm 10\%$ в послеаварийном режиме. Потребители, электроприемники которых ухудшают качество электрической энергии (тяговые подстанции городского транспорта, сварочные установки и др.) должны предусматривать соответствующие мероприятия по его улучшению с установкой фильтров или стабилизирующих устройств в комплексе с электроприемниками потребителей.

Высокие требования по надёжности предъявляются к схемам электроснабжения, питающих крупные спортивные арены, торговые комплексы, больницы и пр. В качестве примера рассмотрим электроснабжение Ледовой арены «Трактор», г. Челябинск.

Ледовая арена «Трактор» относится к 1-й категории надёжности электроснабжения – это потребители электроэнергии, требующие обеспечения как качественного электроснабжения ЛД, так и при возникновении чрезвычайных ситуаций безопасной эвакуации зрителей (оборудование пожарной сигнализации и пожарные насосы; аварийная противодымная вентиляция; аварийное и эвакуационное освещение и т. п.). Поэтому к защите подобных электрических сетей предъявляются особые требования (рис. 3.13).

Для обеспечения требуемой надёжности электроснабжение осуществляется от четырех независимых источников питания, а именно, от двух ПС «Новоградская» и «Паклинская», от которых по четырем кабельным линиям подаётся напряжение сначала на четыре секции сборных шин РП–10 кВ, а затем – на четырёхтрансформаторную трансформаторную подстанцию ТП. Для резервирования схемы предусмотрены автоматический ввод резерва (АВР) на ПС «Новоградская» и «Паклинская», на РП–10 кВ и в ТП. Таким образом, сформирована кольцевая схема, при которой потеря даже трех трансформаторов на двух двухтрансформаторных подстанциях не повлечет за собой перебой в электроснабжении Ледовой арены «Трактор». Следует отметить, что для обеспечения аварийного электроснабжения ледовой арены дополнительно предусмотрены два дизель-генератора мощностью по 500 кВт·А, подключаемые к сборным шинам низшего напряжения ТП (см. раздел 4).

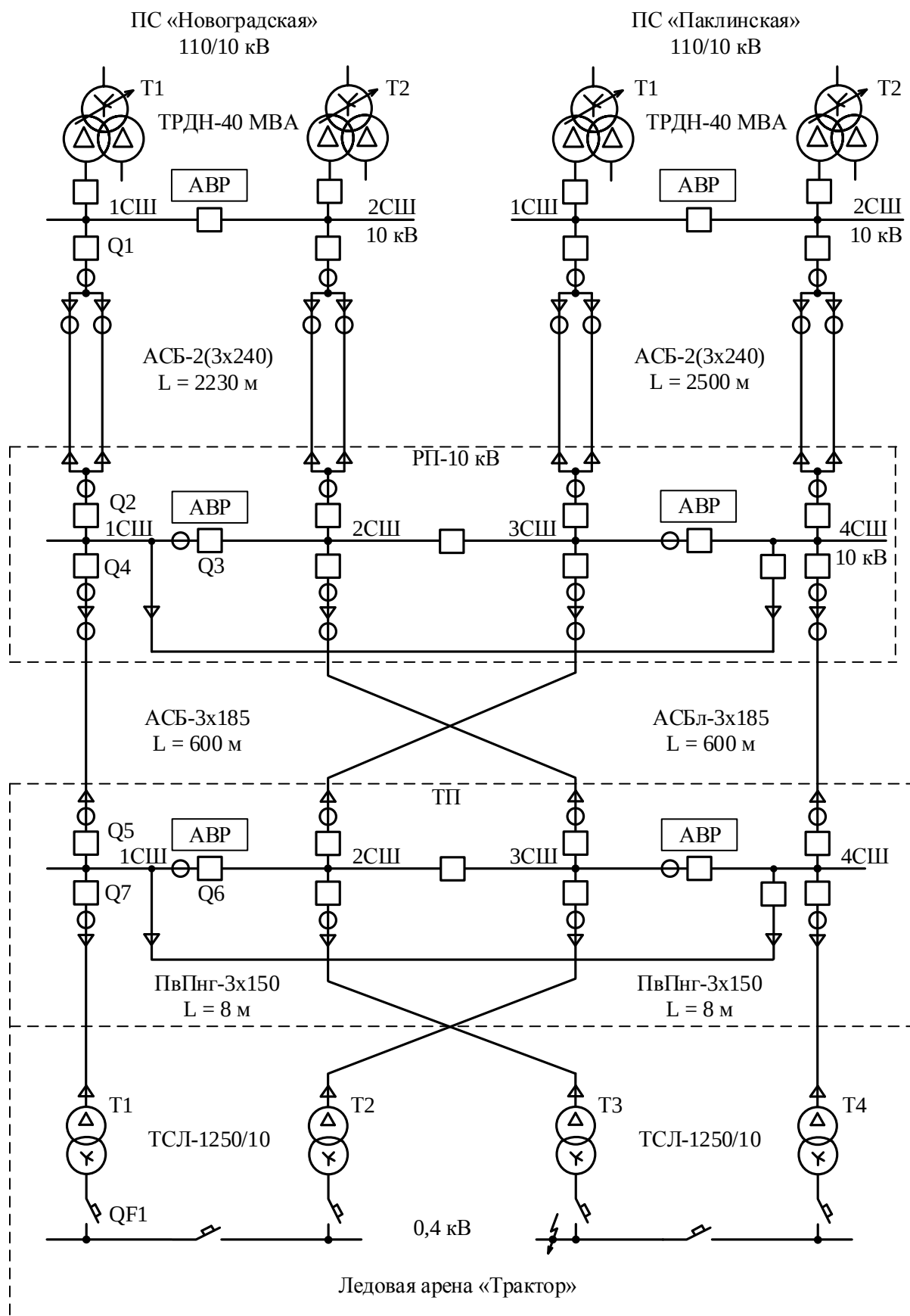


Рис. 3.13. Схема электроснабжения ледовой арены «Трактор»

3.3. Трансформаторные подстанции

Одним из важных вопросов при проектировании внутриквартальных сетей является выбор места для размещения подстанции. Наиболее целесообразно размещать подстанции в центре нагрузки со смещением в сторону питания, однако архитектурно-планировочные решения застройки района не всегда допускают такое размещение.

При многоэтажной застройке и наличии встроенных в жилые дома предприятий общественного и бытового назначения, а также при установке электроплит в квартирах наиболее экономически целесообразно встраивать подстанции непосредственно в здания. Однако в настоящее время ПУЭ и СНиП запрещают размещение подстанций в жилой части зданий ввиду проникновения в квартиры шума от работающих трансформаторов. Тем не менее представляется целесообразным допустить встраивание подстанций при условии применения специальных мер по звукоизоляции строительных конструкций, снижающих проникновение шума в квартиры до уровня, установленного нормами. Весьма перспективным является размещение подстанций в подземном пространстве в непосредственной близости от зданий или даже под зданиями.

Трансформаторы ТП подключают к сборным шинам РУ-10 кВ с помощью вакуумных выключателей, что позволяет организовать полноценную релейную защиту ТП на стороне высшего напряжения.

В районах малоэтажной застройки (до 6 этажей) мощность трансформаторов ТП в зависимости от плотности нагрузки на шинах 0,4 кВ рекомендуется принимать с учётом данных табл. 3.4.

В районах многоэтажной застройки (9 этажей и выше) при плотности нагрузки 8 МВт/км² оптимальная мощность двухтрансформаторных ТП достигает 2х630 и 2х1000 кВ·А, а в отдельных высотных административных зданиях ТП могут содержать трансформаторы мощностью 1600 кВ·А со схемой соединения обмоток Δ/Y_H .

Таблица 3.4

Рекомендуемые мощности трансформаторов [РД-94]

Плотность нагрузки, МВт/км ²	Мощность трансформаторов ТП, кВ·А
от 0,8 до 1,0	1х160
свыше 1,0 до 2,0	1х250
свыше 2,0 до 5,0	1х400
свыше 5,0 до 8,0	1х630

Примечание о токах короткого замыкания внутри жилых и общественных зданий. В случае питания здания от трансформаторов мощностью 630 кВ·А со схемой соединения обмоток Y/Y_H в здании на расстоя-

нии от ТП 300 м ток однофазного короткого замыкания составляет не более 500–600 А (например, при КЗ в розетке), что в целом достаточно безопасно для людей – такие короткие замыкания при соответствующей работе релейной защиты не сопровождаются значительными дугами (с небольшим выделением тепла). При мощности трансформаторов 1600 кВ·А и схеме соединения обмоток Δ/Y_H с учётом повышенных сечений питающих линий на этом же расстоянии ток однофазного короткого замыкания может достигать 3–5 кА и сопровождаться значительными дугами с большими выделениями тепла, которые опасны для людей и могут приводить к ожогам тела до 2–3-й степени. Это необходимо учитывать при выборе мощности трансформаторов ТП.

На распределительных ТП 6–35/0,4 кВ должны применяться силовые трансформаторы [**Положение РС-2013**]:

- маслонаполненные герметичные (ТМГ), литые или сухие (ТСЛ) с уменьшенными потерями (в том числе, за счет применения в трансформаторах магнитопроводов из аморфной стали) и массогабаритными параметрами, а также специальные конструкции трансформаторов мощностью до 100 кВ·А, предназначенные для установки на опорах ВЛ;
- с симметрирующими устройствами;
- со схемой соединения обмоток Δ/Y_H или Y/Z_H (допускается использование схемы соединения обмоток силовых трансформаторов Y/Y_H при наличии соответствующего обоснования, например, замена вышедшего из строя трансформатора на двухтрансформаторной ТП).

В ТП, встроенных в здания, а также сооружаемых в условиях плотной городской застройки или в стесненных условиях должны, как правило, применяться малогабаритные трансформаторы с сухой изоляцией, с пониженным уровнем шума и вибрации:

- с системой автоматического контроля температуры трансформатора;
- с датчиками температуры внутри камеры трансформатора.

Трансформаторные подстанции состоят из следующих конструктивных частей:

- распределительного устройства высшего напряжения;
- трансформаторов;
- распределительных устройств низшего напряжения.

На рис. 3.14 приведён вариант схемы двухтрансформаторной подстанции, которая может питаться от двухлучевой схемы. К распределительному устройству 10 кВ ТП подходят четыре кабеля – два подходящих и два отходящих. Каждая из подходящих и отходящих кабельных линий подключены к секциям сборных шин напряжением 10 кВ с помощью выключателей нагрузки QW. В свою очередь, каждый из трансформаторов подключен к сборным шинам через разъединители QS и выключатели Q. В качестве секционных аппаратов в РУ-10 кВ применяют два разъединителя (из условия возможности обеспечения проведения ремонта одной секции

The diagram illustrates a power distribution system with two substations. The top section shows a 10 kV busbar with two feeders: one to a transformer T1 (KCO-266) and another to a transformer T2 (PY-10 kB). The bottom section shows a 380 V busbar with two feeders: one to a transformer T1 (ЩО-70) and another to a transformer T2 (PY-380 B). The diagram includes various electrical symbols for switches, fuses, and transformers, and is labeled with equipment names like TP1, TMГ-1000/10, and ЩО-70.

На стороне низшего напряжения установлены вводные автоматические выключатели QF. Отходящие от ТП линии подключены к сборным шинам с помощью рубильников QS и автоматические выключатели QF.

На стороне высшего напряжения ТП может питаться от радиальных или магистральных линий (см. раздел 3.5).

57

щиты ТП появилась возможность установки такого коммутационного аппарата.

В случае подвода магистральной линии к трансформатору подстанции обязательно следует предусматривать защитные и коммутационные аппараты. Наиболее дешевой конструкцией высоковольтного ввода является схема с разъединителем и плавким предохранителем. Эту схему применяют при необходимости отключения разъединителем трансформатора на холостом ходу, при относительно редких включениях и отключениях трансформатора (например, не более нескольких раз в месяц). Схема имеет преимущество: предохранитель защищает разъединитель и отключает токи КЗ при повреждении последнего.

В случаях, когда требуется частая коммутация трансформатора ТП со стороны высокого напряжения (по условиям технологического процесса производства, в котором участвует группа электроприемников, питаемых от данной ТП, при отключении трансформатора в периоды снижения нагрузки по экономическим соображениям и т.п.) вместо разъединителя применяют выключатель нагрузки совместно с предохранителем. Выбор той или иной схемы определяется конкретной конструкцией выключателя нагрузки и ячейки, в которой он установлен.

При значительных токах короткого замыкания, когда выключатель нагрузки оказывается неустойчив к их действию, применяют масляный, элегазовый или вакуумный выключатель. Например, в схемах электрообеспечения металлургических предприятий, по указанной причине выключатели нагрузки используют редко.

Масляный или иной (вакуумный или элегазовый) выключатель со стороны напряжения 6, 10 кВ цеховой ТП устанавливают также при частых, например, ежедневных, коммутациях цепи трансформатора, питающего, как правило, отдельные обычно мощные потребители (электродуговые печи, преобразовательные установки и т.п.), а также при необходимости применения сложных защит со стороны высшего напряжения трансформатора указанной ТП.

Соединение трансформаторов со сборными шинами распределительного устройства низшего напряжения может осуществляться по следующим схемам:

- без применения коммутационных аппаратов, если исключена подача напряжения на трансформатор из сети низшего напряжения, а отключение трансформатора в нормальных и аварийных режимах производится аппаратами со стороны высшего напряжения;

- с применением неавтоматических аппаратов (рубильников или выключателей нагрузки), если на трансформатор не может подаваться напряжение со стороны низшего напряжения, но требуется ручное отключение нагрузки или ручное отделение трансформатора от распределительного устройства (РУ) низкого напряжения);

– с применением аппаратов защиты – плавких предохранителей или автоматических выключателей.

Отходящие от РУ низшего напряжения линии могут содержать неавтоматические выключатели с плавкими предохранителями, плавкие предохранители с механическим приводом, предохранители без дополнительных аппаратов, автоматические выключатели на выдвижных блоках или выкатных тележках.

4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 380 В

4.1. Надёжность электроснабжения городских потребителей

Требования к надёжности электроснабжения жилых и общественных зданий регламентированы ПУЭ и строительными нормами [ПУЭ, РД-94, СП-31].

Таблица 4.1

Здания и сооружения	Категории надёжности
<i>Жилые дома:</i> противопожарные устройства (пожарные насосы, системы подпора воздуха, дымоудаления, пожарной сигнализации и оповещения о пожаре), лифты, аварийное освещение, огни светового ограждения	I
<i>Комплекс остальных электроприемников:</i> жилые дома с электроплитами (кроме 1-8-квартирных домов)	II
дома 1-8-квартирные с электроплитами	III
дома св. 5 этажей с плитами на газовом и твердом топливе	II
дома до 5 этажей с плитами на газовом и твердом топливе	III
на участках садоводческих товариществ	III
<i>Общесжития общей вместимостью, чел.:</i> до 50	III
св. 50	II
<i>Отдельно стоящие и встроенные центральные тепловые пункты (ЦТП), индивидуальные тепловые пункты (ИТП) многоквартирных жилых домов</i>	I
Здания учреждений управления, проектных и конструкторских организаций, научно-исследовательских институтов:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов	I
<i>Комплекс остальных электроприемников:</i> здания с количеством работающих св. 2000 чел. независимо от этажности, здания высотой более 16 этажей, а также здания учреждений областного, городского и районного значения с количеством работающих св. 50 чел.	I
здания с количеством работающих св. 50 чел., а также здания областного, городского и районного значения до 50 чел.	II
здания с количеством работающих до 50 чел.	III
<i>Здания лечебно-профилактических учреждений¹:</i> электроприемники операционных и родильных блоков, отделений анестезиологии, реанимации и интенсивной терапии, кабинетов лапароскопии, бронхоскопии и ангиографии, противопожарных устройств и охранной сигнализации, эвакуационного освещения и больничных лифтов	I
комплекс остальных электроприемников	II
<i>Учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования:</i> федерального и республиканского подчинения:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации,	I

лифтов	
комплекс остальных электроприемников	II
комплекс электроприемников учреждений краевого, областного, городского и районного подчинения	II
<i>Библиотеки и архивы:</i>	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации зданий с фондом св. 1000 тыс. ед. хранения	I
комплекс остальных электроприемников	II
комплекс электроприемников зданий с фондом, тыс. ед. хранения:	
св. 100 до 1000	II
до 100	III
<i>Учреждения образования, воспитания и подготовки кадров:</i>	
электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации	I
комплекс остальных электроприемников	II
<i>Предприятия торговли²:</i>	
электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации, лифтов универсамов, торговых центров и магазинов	I
комплекс остальных электроприемников	II
<i>Предприятия общественного питания²:</i>	
электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации	I
комплекс остальных электроприемников	II
<i>Предприятия бытового обслуживания:</i>	
комплекс электроприемников салонов-парикмахерских с количеством рабочих мест св. 15, ателье и комбинатов бытового обслуживания с количеством рабочих мест св. 50, прачечных и химчисток производительностью св. 500 кг белья в смену, бань с числом мест св. 100	II
то же, 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	III
<i>Гостиницы, дома отдыха, пансионаты и турбазы:</i>	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов	I
комплекс остальных электроприемников	II
<i>Музеи и выставки:</i>	
комплекс электроприемников музеев и выставок федерального значения	I
музеи и выставки республиканского, краевого и областного значения:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации	I
комплекс остальных электроприемников	II
комплекс электроприемников музеев и выставок местного значения и краеведческих музеев	III

Рассмотрим комментарии к табл. 4.1.

К 1-й категории относятся огни светового ограждения высотных зданий, устанавливаемые в районах, определяемых службами гражданского воздушного флота.

Электроприемники отдельно стоящих центральных тепловых пунктов (ЦТП), снабжающих теплом жилые дома и общежития высотой 17 этажей и более, относятся к 1-й категории. Центральные тепловые пункты, обслуживающие дома и общежития высотой 16 этажей и менее, – ко 2-й категории. Электроприемники ЦТП, предназначенные для теплоснабжения нескольких зданий, должны питаться не менее чем двумя отдельными линиями от трансформаторных подстанций. Присоединение к этим линиям других электроприемников не допускается. Питание электроприемников тепловых пунктов, встроенных в здание и предназначенные для теплоснабжения данного здания, допускается осуществлять отдельными линиями от вводно-распределительного устройства (ВРУ) здания. При отсутствии технологического резервирования электроприемников требуется установка устройств автоматического ввода резерва (АВР) на вводах.

К 1-й категории относятся электроприемники операционных, отделений реанимации, родильных, неотложной помощи и других аналогичных помещений больниц, от бесперебойной работы которых зависит жизнь больных. Для электроприемников ряда медицинских помещений, например, операционных, реанимационных (интенсивная терапия), палат для недоношенных детей, может потребоваться третий независимый источник. Необходимость третьего независимого источника определяется заданием на проектирование в зависимости от типа применяемого медицинского оборудования.

К 1-й категории относятся комплексы электроприемников междугородных телефонных станций, центральных телеграфов, городских АТС, тяговые подстанции системы централизованного электроснабжения (подстанции децентрализованного электроснабжения относятся к 3-й категории), ЭВМ вычислительных центров, решающих комплекс народнохозяйственных проблем и задачи управления отдельными отраслями, а также обслуживающих технологические процессы, основные электроприемники которых относятся к 1-й категории.

Центральный диспетчерский пункт городской электрической сети, тепловой сети, сети газоснабжения, водопроводно-канализационного хозяйства и сети наружного освещения, пункты централизованной охраны также относятся к 1-й категории. К этой же категории относятся водопроводные насосные станции в городах с числом жителей более 50 тыс. человек, канализационные насосные станции.

В зрелищных предприятиях к 1-й категории относятся аварийное и эвакуационное освещение, пожарные насосы, автоматическая пожарная сигнализация и системы дымозащиты при вместимости зрительного зала 800 чел. и более, а также электроприемники (независимо от вместимости) дворцов и домов пионеров.

Электроприемники 1-й категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников, и перерыв в их электроснабжении может быть допущен лишь на время действия устройств АВР.

Выполнение упомянутых требований к надежности электроснабжения ответственных электроприемников невозможно без применения специальных средств автоматизации. Следует также отметить, что во многих случаях средства автоматики не только обеспечивают надежность электроснабжения, но и выполняют ряд функций по обеспечению высокого качества электроэнергии (напряжение, частота), имеющих важное значение для правильной работы многих бытовых и промышленных электроприемников.

Средства автоматики и телемеханики за последние годы получили широкое распространение как в системах электроснабжения промышленных предприятий, так и в городских электрических сетях. Из различных устройств автоматизации рассмотрим наиболее важные и часто встречающиеся – автоматическое повторное включение (АПВ) и автоматическое включение резерва (АВР).

Автоматическое повторное включение предназначено для быстрого автоматического восстановления питания после самоликвидации весьма кратковременных коротких замыканий в воздушных и кабельных линиях и других элементах электрических сетей. Такие короткие замыкания вызываются: на воздушных линиях – случайными набросами и схлестыванием проводов, перекрытиями проводов птицами и при атмосферных перенапряжениях; на кабельных линиях – пробоями между жилами в кабелях и кабельных муфтах с последующим заплыванием места повреждения кабельной массой; на подстанциях – коммутационными перенапряжениями, вызывающими перекрытие сборных шин, неправильными операциями с разъединителями, ложными срабатываниями газовой защиты на трансформаторах при кратковременных перегрузках.

Как показывает опыт эксплуатации, при кратковременных коротких замыканиях изоляция быстро восстанавливается и отключившаяся линия при повторном включении остается в работе. Устройство АПВ позволяет сократить простои оборудования, убытки от которых во много раз больше, чем стоимость оборудования АПВ. Широко распространена система АПВ однократного действия, как наиболее простая и эффективная.

Чаще всего АПВ применяют на воздушных и кабельных линиях напряжением выше 1 кВ. Как показывают статистические данные, при помощи АПВ удастся восстановить электроснабжение в 60–90 % от общего числа аварийных отключений воздушных линий.

Одним из наиболее эффективных способов обеспечения надежного питания потребителей электроэнергии является автоматическое включение резерва АВР. В зависимости от требований к надежности электроснабжения, схемы распределения энергии, экономических и других факторов АВР

осуществляется на стороне высшего (выше 1 кВ) или на стороне низшего (до 1 кВ) напряжения.

Схемы АВР строят с применением холодного или горячего резерва. В первом случае предусматривается подключение при аварии элемента сети (линии, трансформатора), который в нормальном режиме не работает и находится в резерве. Во втором случае резервный элемент в нормальном режиме находится в работе, но в необходимых случаях принимает на себя дополнительную нагрузку. Такой элемент сети должен быть рассчитан на питание как основной нагрузки, так и дополнительной с учетом допустимой перегрузки при аварийном режиме, установленной ПТЭ.

В системах электроснабжения чаще применяют системы с горячим резервом, как наиболее экономичные по расходу аппаратуры и цветного металла на питающие линии.

Место установки АВР централизовано на вводе в здание или децентрализовано около электроприемников, определяется в проекте в зависимости от взаимного расположения и условий прокладки питающих линий до удаленных электроприемников. Децентрализованная установка АВР обеспечивает большую надежность, однако в большинстве случаев экономически не оправдывается.

Для оценки надёжности работы электрических сетей используются усреднённые усредненные международные показатели надежности электроснабжения потребителей – индексы SAIDI и SAIFI [Биллinton].

Индекс средней продолжительности отключений в системе

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^m n_i \cdot T_i}{N_c}, \quad (4.1)$$

где m – количество участков сети; n_i – количество потребителей на i -м участке; T_i – ежегодное время перерыва электроснабжения потребителей i -го участка; N_c – общее количество потребителей.

Индекс средней частоты отключений в системе

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^m n_i \cdot \lambda_i}{N_c}, \quad (4.2)$$

где λ_i – интенсивность отказов на i -м участке.

В качестве потребителей принимались трансформаторные подстанции. Сравнительный анализ полученных показателей SAIDI и SAIFI показал отставание ПО ЦЭС г. Нижнего Новгорода от большинства европейских сетевых распределительных компаний (рис. 4.1) [Лоскутов].



Рис. 4.1. Усредненные показатели надежности электроснабжения:
а – индексы SAIDI; б – индексы SAIFI

Основными причинами низких индексов SAIDI и SAIFI являются: устаревшее оборудование, технология эксплуатации распределительных сетей, низкий уровень автоматизации и устаревшие схемно-топологические решения (табл. 4.2) [Положение РС-2013].

Эксплуатируемые электрические сети напряжением 6–10–20 кВ являются слабоуправляемыми. В отличие от сетей высокого напряжения 110–500 кВ, в сетях 6–10–20 кВ недостаточный уровень развития и интеграции автоматизированных систем оперативно-технологического управления и мониторинга. Все переключения и переконфигурация схемы сети происходят вручную оперативным персоналом, после трудоемких режимных расчетов.

Таблица 4.2

Эксплуатационные показатели в сетях 6–20 кВ в России

Показатель	%
Телесигнализация	38
Телеуправление	16
Наличие диспетчерских пунктов	78
Диспетчерские пункты, оснащенные диспетчерскими щитами	60
РЗ на электромеханическом реле	~91
Оборудование в эксплуатации более 30 лет	60
АСКУЭ	20

4.2. Внутриквартальное электроснабжение

Ниже приведены упрощенные схемы электроснабжения общественных зданий. На рис. 4.2 представлена схема питания здания, электроприемники которого относятся к 3-й категории надежности. Здание питается от однотрансформаторной ТП, от щита 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.

Для питания ответственных потребителей в крупных городах широко применяют двухтрансформаторные ТП с устройством АВР на стороне низкого напряжения. Схемы такой ТП приведены на рис. 4.3 и 4.4 (с АВР на автоматических выключателях и с АВР на контакторах).

На встроенных ТП и КТП устанавливают не более двух масляных трансформаторов мощностью до 1000–1600 кВ·А каждый. Число сухих трансформаторов не ограничивается.

В жилых зданиях, а также в общественных зданиях, где уровень звука ограничен санитарными нормами, размещение встроенных и пристроенных ТП не допускается.

Электрические сети до 1 кВ жилых и общественных зданий по назначению условно делят на питающие и распределительные. Питающей сетью являются линии, идущие от трансформаторной подстанции до ВРУ и от ВРУ до силовых распределительных пунктов в силовой сети и до групповых щитков в осветительной сети. Распределительной сетью называют линии, идущие от распределительных пунктов в силовой сети до силовых электроприемников.

Групповой сетью являются:

- линии, идущие от групповых щитков освещения до светильников;
- линии от этажных групповых щитков к электроприемникам квартир жилых домов.

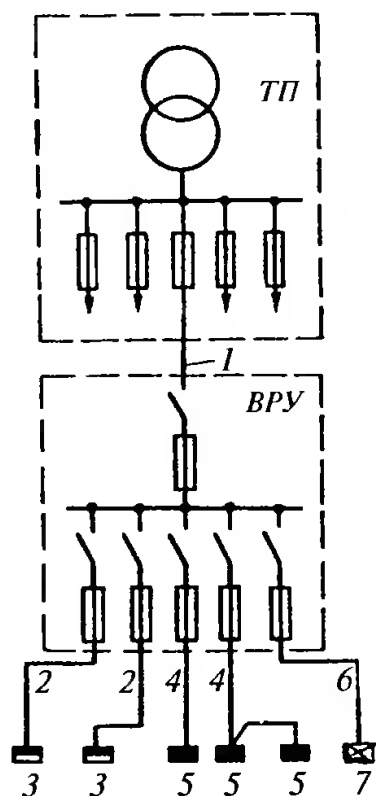


Рис. 4.2. Принципиальная схема электроснабжения общественного здания от одното́нформаторной подстанции: 1 – питающая линия к ВРУ; 2 – питающие линии к РП; 3 – РП силовых электроприемников; 4, 6 – линии; 5 – групповые щитки рабочего освещения; 7 – щиток эвакуационного освещения

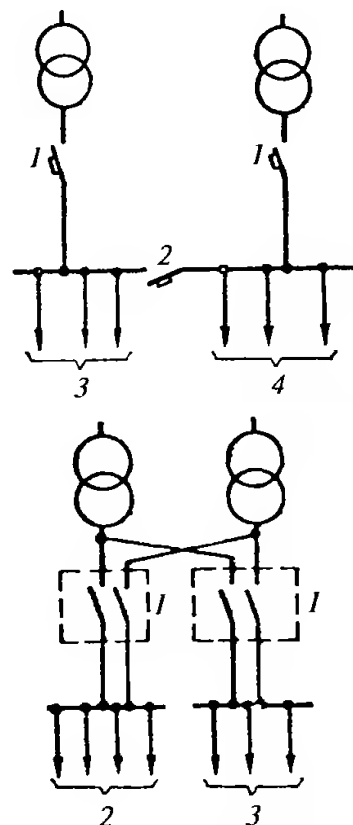


Рис. 4.3. Принципиальная схема электроснабжения общественного здания с встроенной ТП и абонентским щитом с АВР на автоматических выключателях: 1 – автоматические выключатели; 2 – секционный автоматический выключатель; 3 – линия к РП силовой сети, щитку эвакуационного и аварийного освещения; 4 – линия к групповым щиткам рабочего освещения

Сети выполняют по радиальной, магистральной и смешанной схемам. В качестве примера на рис. 4.4 приведена питающая радиальная схема силовой сети здания, а на рис. 4.5 — магистральная схема силовой сети здания.

Ниже приведены типовые схемы электроснабжения жилых зданий различной этажности, обеспечивающие необходимую надежность питания [Тульчин].

Питание жилых домов высотой до 5 этажей включительно. Для питания таких зданий при отсутствии в квартирах электроплит применяются магистральные петлевые схемы с резервной перемычкой или без нее. Такая простейшая схема кабельной сети показана на рис. 4.6. Резервная

перемычка 8 подключается при выходе из строя любой из питающих линий 9 или 10, которые рассчитываются на прохождение по ним тока аварийного режима и по допустимым потерям напряжения.

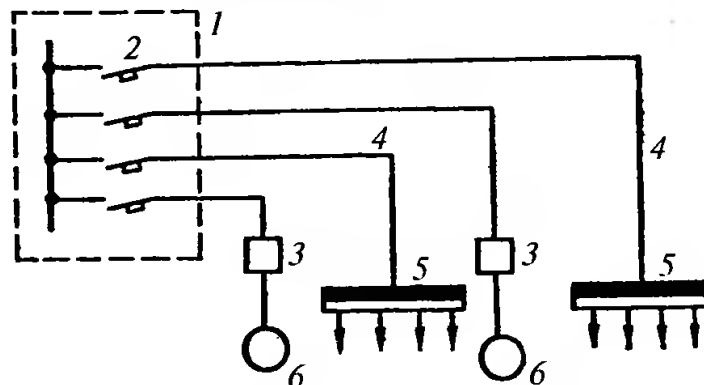


Рис. 4.4. Радиальная схема силовой сети: 1 – распределительный щит; 2 – автоматический выключатель; 2 – пусковой аппарат; 4 – линия; 5 – распределительный пункт; 6 – электроприемник

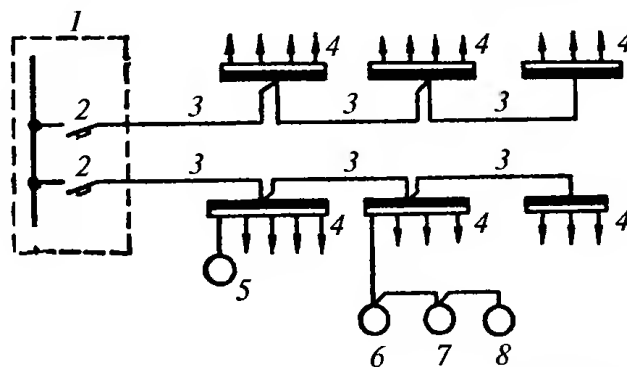


Рис. 4.5. Магистральная схема силовой сети: 1 – распределительный щит; 2 – автоматический выключатель; 3 – питающая линия; 4 – силовой распределительный пункт; 5 – электроприемник; 6–8 – электроприемники, включенные в цепочку

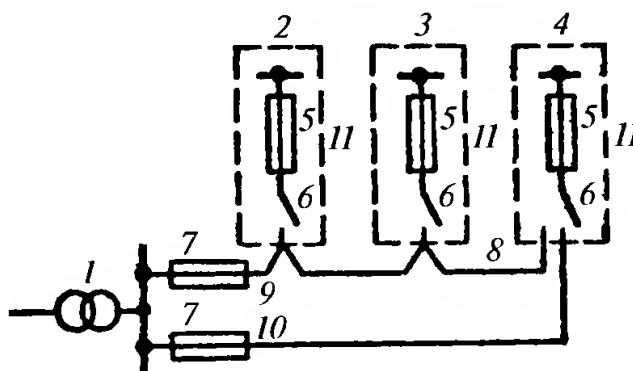


Рис. 4.6. Принципиальная схема электроснабжения жилых домов высотой до 5 этажей с резервной перемычкой: 1 – трансформаторная подстанция; 2–4 – жилые дома; 5, 7 – предохранители; 6 – рубильники; 8 – резервная перемычка; 9, 10 – питающие линии; 11 – ВРУ

Приведенная схема (рис. 4.6) 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.

Если учесть, что указанные жилые дома относятся к 3-й категории надежности, то устройство резервной перемычки не является обязательным. Однако в крупных городах со сложными условиями разрытия даже при хорошей постановке ремонтной службы устранение аварии в течение суток бывает затруднительным. Поэтому прокладку резервной перемычки длиной обычно не более 70–80 м в этих условиях следует считать целесообразным.

На рис. 4.7 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 зданий в линию.

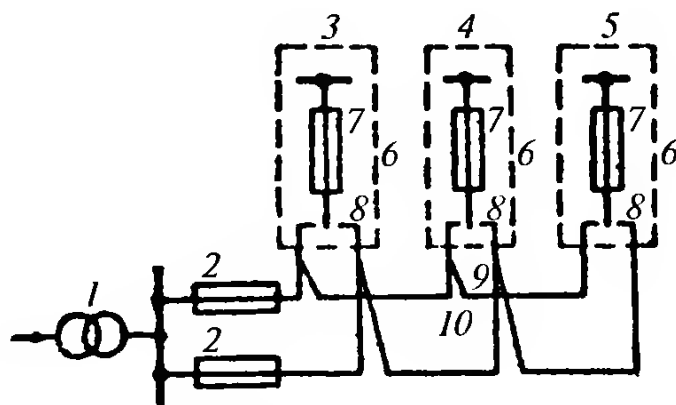


Рис. 4.7. Принципиальная схема электроснабжения жилых домов высотой до 5 этажей с переключателями на вводах: 1 – трансформаторная подстанция; 2, 7 – предохранители; 3–5 – жилые дома; 6 – ВРУ; 8 – переключатели; 9, 10 – питающие линии

Для питания электроприемников жилых домов высотой 9–16 этажей применяют как радиальные, так и магистральные схемы. На рис. 4.8 показана магистральная схема с двумя переключателями на вводах. При этом одна из питающих линий используется для присоединения электроприемников квартир и общего освещения общедомовых помещений, другая – для подключения лифтов, противопожарных устройств, эвакуационного и аварийного освещения и т. п. Каждая из линий рассчитана с учётом допустимых перегрузок при аварийном режиме. Перерыв в пита-

нии по этой схеме не превышает 1 ч, что достаточно электромонтеру для нужных переключений на ВРУ [Тульчин]. Эта схема может быть использована и для домов высотой до 5 этажей, оборудованных квартирными электроплитами.

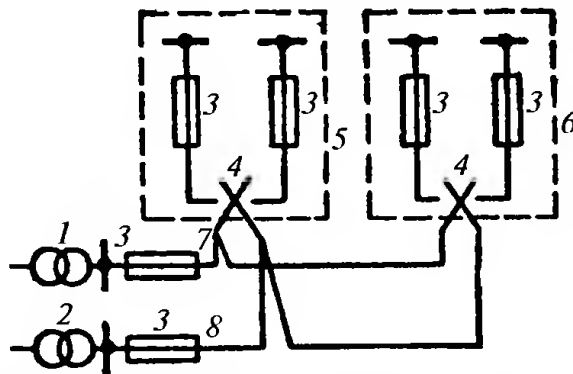


Рис. 4.8. Принципиальная схема электроснабжения жилых домов высотой 9–16 этажей с двумя переключателями на вводах: 1, 2 – трансформаторы; 3 – предохранители; 4 – переключатели; 5, 6 – ВРУ; 7, 8 – питающие линии

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. 4.9 приведена схема питания жилых домов с тремя вводами, причем вводы резервируют друг друга. Первый ввод резервирует второй, второй резервирует третий и третий резервирует первый (рис. 4.9, а); модификация этой схемы приведена на рис. 4.9, 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. Недостатком этой схемы является то, что часть электроприемников на период ремонта необходимо отключать, так как на один кабель приходится вся нагрузка дома.

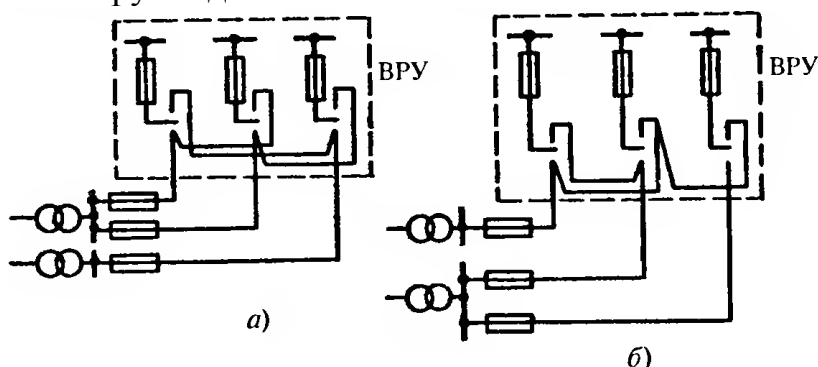


Рис. 4.9. Принципиальная схема электроснабжения жилых домов высотой 9–16 этажей с тремя вводами: а – исходная; б – модифицированная

При питании зданий по схемам, построенных по так называемой двух-

лучевой схеме (рис. 4.8 и 4.9) – это применение АВР на стороне 0,4 кВ ТП. С появлением малогабаритных вакуумных выключателей стала возможна также установка АВР на стороне высшего напряжения. **Параллельная работа трансформаторов через сеть 380 В не допускается.**

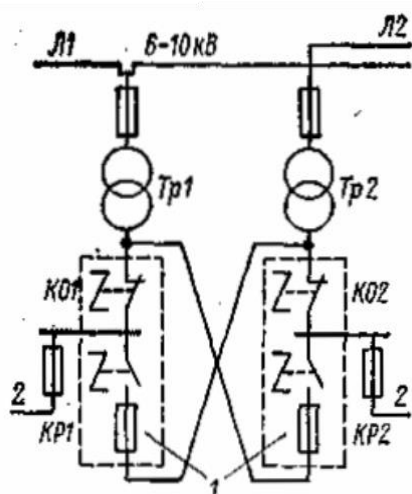


Рис. 4.10. Схема АВР

При питании от ТП электроприемников первой категории автоматизация электроснабжения осуществляется путем установки в ТП двух трансформаторов и устройства АВР при напряжении 380 В с использованием контакторных станций (рис. 4.10). Установка АВР возможна также непосредственно у потребителя на вводах 2. Линии Л1 и Л2 должны быть связаны с разными независимыми источниками питания.

Следует иметь в виду, что в домах высотой до 16 этажей включительно, в которых применяются противопожарные устройства, в частности системы дымозащиты, питание этих устройств должно осуществляться от специальной панели ВРУ с АВР, причем питающие линии к этой панели должны подключаться к вводам в здание до переключателей (рис. 4.11), что повышает надежность их электроснабжения. На вводе питающей линии в здание устанавливаются аппараты защиты и управления.

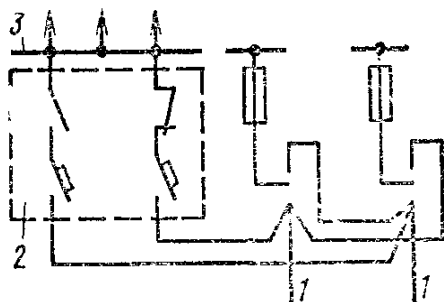


Рис. 4.11. Схема подключения противопожарных устройств в домах высотой до 16 этажей включительно: 1 – питающие линии от ТП; 2 – АВР; 3 – щит питания противопожарных устройств

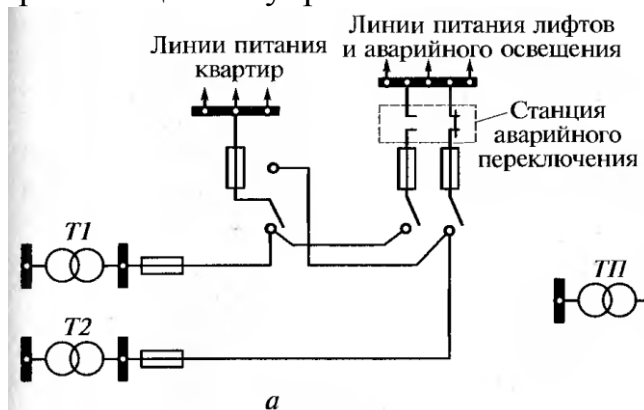


Рис. 4.12. Принципиальная схема электроснабжения жилых домов высотой 17 этажей и более: 1 – автоматическое включение резерва

Питание жилых домов высотой 17 этажей и более. 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 1-й 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. На рис. 4.12 приведена схема электроснабжения жилого дома высотой 17 этажей и более.

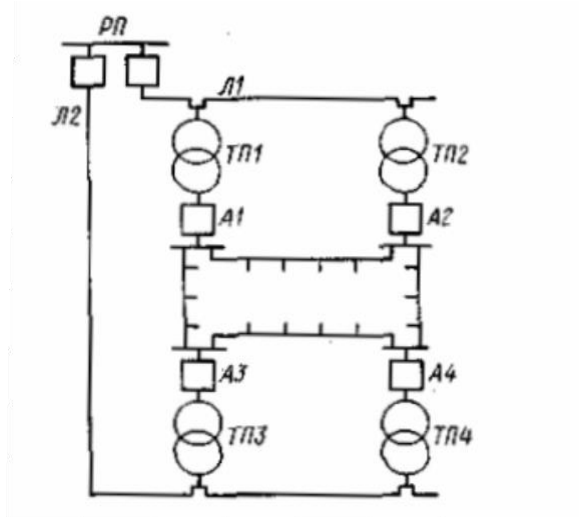


Рис. 4.13. Упрощенный вариант замкнутой сети

К полностью автоматизированным схемам относятся замкнутые сети низкого напряжения, представляющие собой сочетание радиальных линий 6–10 кВ с замкнутой сетью 380 В и резервированием всех элементов сети через замкнутую сеть. Для осуществления селективной защиты предусматривается установка так называемых автоматов обратной мощности на стороне вторичного напряжения трансформаторов в ТП и предохранителей на отходящих от ТП линиях замкнутой сети 380 В. Упрощенный вариант замкнутой сети представлен на рис.4.13.

При выходе из работы любой из линий 6–10 кВ (Л1 или Л2), а также трансформаторов в ТП бесперебойность электроснабжения потребителей, присоединенных к сети 380 В, не нарушается, пропускная способность элементов сети выбирается по наиболее тяжелому режиму, связанному с выходом из работы любой из линий 6–10 кВ, питающих замкнутую сеть 380 В. Замкнутые сети используются только для электроприемников второй категории, так как их питание должно предусматриваться от одного источника.

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 [СП-31].

Электроприемники центральных тепловых пунктов (ЦТП) должны питаться не менее чем двумя отдельными линиями от ТП. Не допускается присоединение к этим линиям других электроприемников [СП-31].

На рис. 4.14 показана схема распределительной сети напряжением 380 В, в которой каждое ВРУ питается по двум радиальным линиям, а на рис. 4.15 приведён план внутридворовых кабельных трасс.

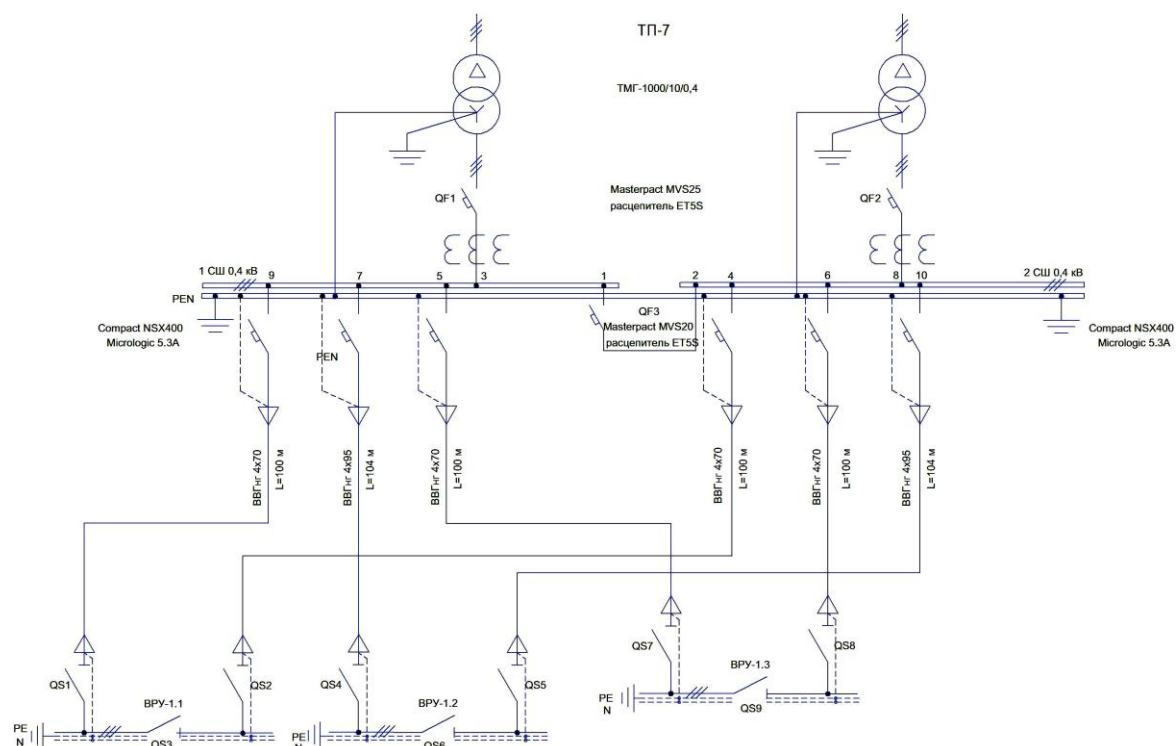


Рис. 4.14. Схема распределительной сети напряжением 380 В

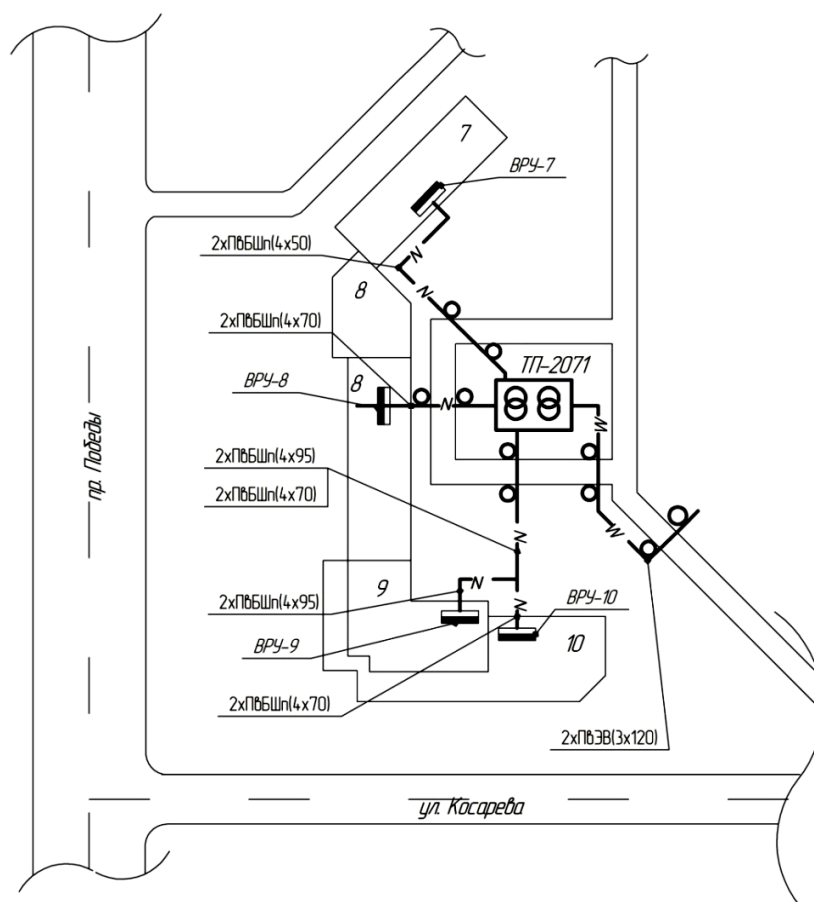


Рис. 4.15. План внутридворовых кабельных трасс

4.3. Внутридомовое электроснабжение

4.3.1. Вводные распределительные устройства

Схемы электрических сетей жилых и общественных зданий должны быть просты и экономичны. Их строят исходя из требований, предъявляемых к надежности электроснабжения электроприемников зданий.

В современных жилых зданиях вводы внешних сетей и коммутационно-защитная аппаратура внутренних распределительных сетей объединяются в единое комплексное вводно-распределительное устройство, которое и является главным распределительным щитом. ВРУ целесообразно размещать в секциях дома, ближайших к ТП. К распределительной части ВРУ присоединяют питающие линии квартир, силовых потребителей, питающие и групповые линии рабочего, эвакуационного и аварийного освещения общедомовых помещений, противопожарных устройств, огней светового ограждения, освещения и силовых потребителей, встроенных и пристроенных общественных помещений. Как уже упоминалось, схемы вводов зависят от принятых схем наружных сетей.

Схемы ВРУ до 1 кВ зависят от требований надежности электроприемников, расположенных в здании, количества и назначения линий внутренней и внешней сетей. На рис. 4.16 приведена принципиальная схема электрической сети 12-этажного жилого дома. Эта схема соответствует электроприемникам II категории по надежности питания.

В здании устанавливают вводно-распределительное устройство (ВРУ) или главный распределительный щит (ГРЩ), предназначенные:

- для приема электроэнергии (к ВРУ или ГРЩ присоединяют внешнюю питающую кабельную линию, идущую от трансформаторной подстанции);
- распределения электрической энергии по электроприемникам здания (к ВРУ присоединяют электрическую сеть здания);
- для защиты от перегрузок и короткого замыкания отходящих от ВРУ линий. Защита осуществляется с помощью установленных во ВРУ предохранителей или автоматических выключателей.

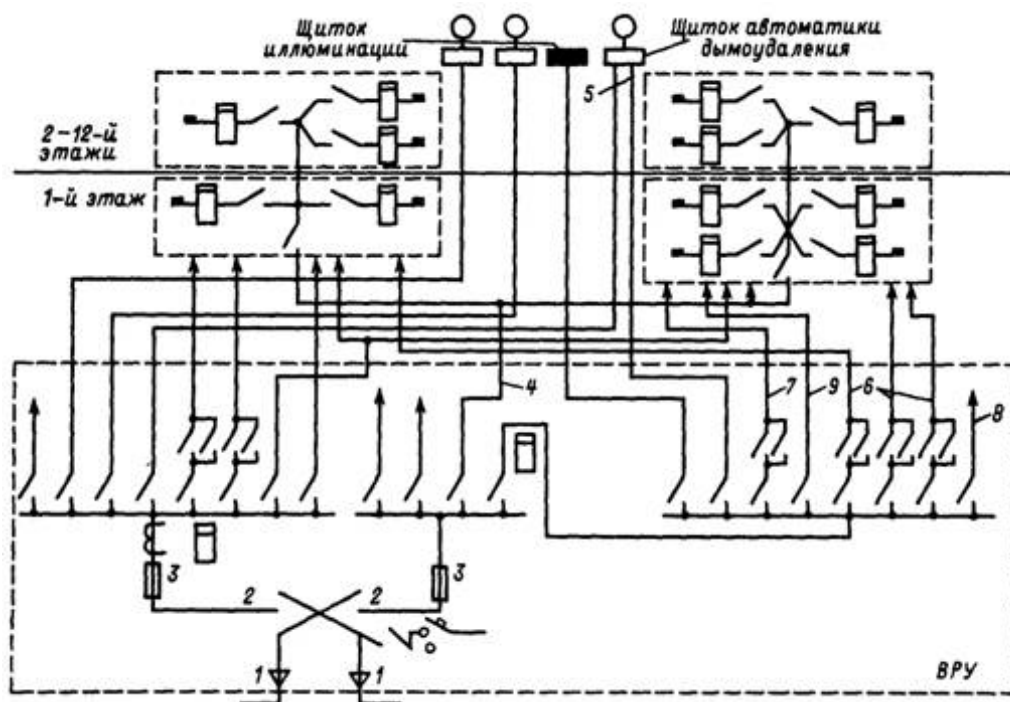


Рис. 4.16. Принципиальная схема электрической сети жилого дома:
1 – кабели ввода 380 В; 2 – переключатели; 3 – плавкие предохранители; 4 – питающие линии квартир; 5 – линии двигателей и общедомовых электроприемников; 6 – линии освещения лестничных клеток, 7 – линии наружного освещения здания; 8 – линии освещения технического подполья; 9 – то же чердака, шахт лифтов; ВРУ – вводно-распределительное устройство

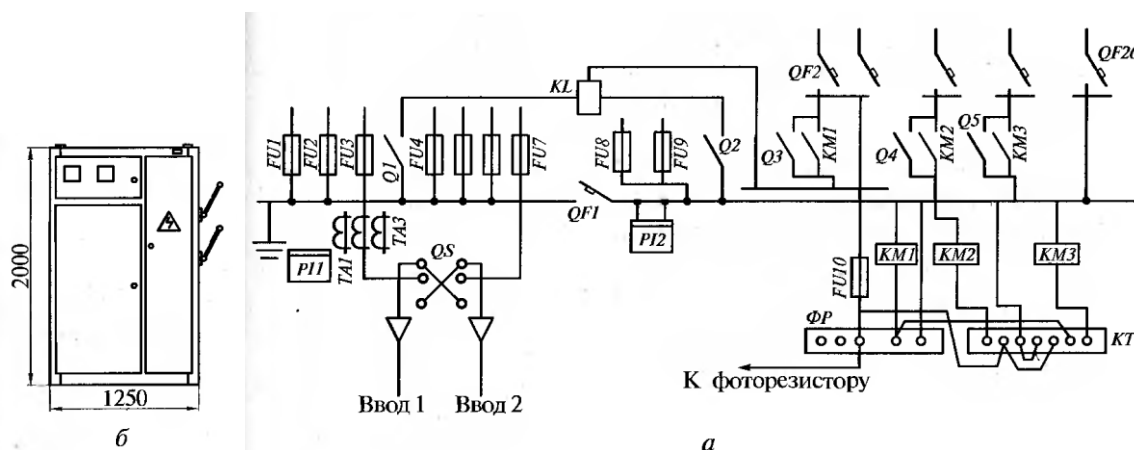


Рис. 4.16 (вариант). Принципиальная электрическая схема (а) и общий вид (б) главного распределительного щита ввода: QS – врубной выключатель ВР32; QF1 – автоматический выключатель АЕ-2046М; QF2–QF26 – автоматические выключатели АЕ-1031; Q1–Q5 – пакетные выключатели ПВП; КМ1–КМ3 – магнитные пускатели ПМЛ; FU1– FU9 – предохранители ПН2-100(250); FU10 – предохранитель ППТ-10; KL – реле РПК; КТ – программное реле времени 2РВМ; ФР – фотореле ФР-2; ТА1–ТА3 – трансформаторы тока; PI1, PI2 – счетчики активной энергии

От ВРУ прокладывают (рис. 4.17):

- линии, питающие квартиры и;
- питающие линии лифтов; к одной линии подключают не более четырех лифтов из разных секций; число лифтов, присоединяемых к каждой питающей линии, не ограничивается;
- линии, питающие разного рода силовые потребители;
- групповые линии рабочего, эвакуационного и аварийного освещения, огней светового ограждения;
- линии, питающие противопожарные устройства;
- групповые линии штепсельных розеток для подключения уборочных механизмов;
- линии, питающие элементы диспетчеризации, кодовые замки и переговорные устройства;
- линии, питающие встроенные в жилые дома предприятия и учреждения.

Кабельные вводы в здание от ТП ко ВРУ выполняют в трубах на глубине не менее 0,5 м и не более 2 м от поверхности земли. При этом в одну трубу нужно затягивать только один силовой кабель. Трубы прокладывают с уклоном в сторону улицы. Трубы для ввода кабеля закладывают, как правило, непосредственно до помещения вводно-распределительного устройства. Концы труб, а также сами трубы при прокладке через стену должны иметь тщательную заделку для исключения возможности проникания в помещения влаги и газа.

Размещать ВРУ и ГРЩ, следует в специально выделенных запирающихся помещениях (электрощитовых), двери из которых должны открываться наружу. Устраивать электрощитовые на лестничных клетках не разрешается. Можно размещать электрощитовые в сухих подвалах при условии, что эти помещения отделены противопожарными перегородками I типа. Нельзя располагать ВРУ, ГРЩ и электрощитовые непосредственно под ванными комнатами, душевыми, туалетами, кухнями пищеблоков, мочевыми и другими помещениями, связанными с использованием воды. В последнее время ВРУ располагают на первых этажах зданий, используя часть квартирной площади.

Конструктивно ВРУ являются комплектными электрическими устройствами заводского изготовления с односторонним или двухсторонним обслуживанием. ВРУ устанавливают в специальном (электрощитовом) помещении, доступ в который имеет только обслуживающий персонал.

Каждую питающую или распределительную линию можно выполнить по радиальной, магистральной или радиально-магистральной (смешанной) схеме. На рис. 4.17 силовой распределительный пункт СРП, групповой щиток освещения ЩО1, электроприемники 1, 2 и 6 подсоединены по радиальной схеме. Групповые щитки освещения ЩО3, ЩО4, электроприемни-

ки 4, 5 и светильники подсоединены по магистральной схеме (включены в цепочку).

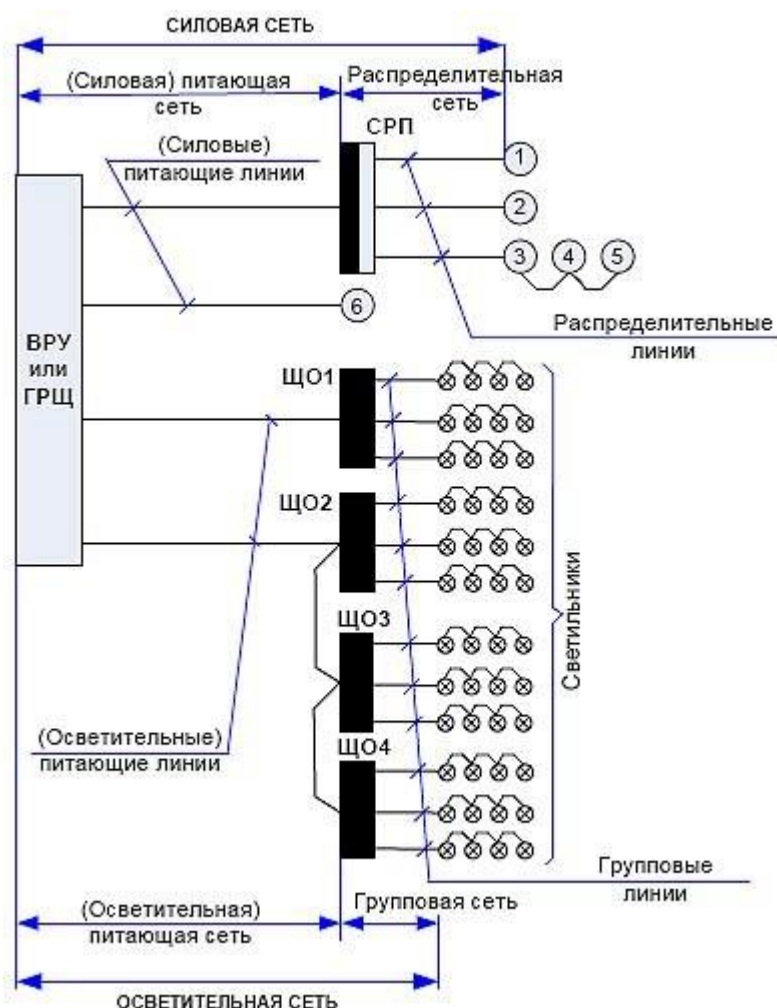


Рис. 4.17. Структурная схема электрической сети здания: ВРУ – вводно-распределительное устройство; ГРЩ – главный распределительный щит; СРП – силовой распределительный пункт; ЩО1–ЩО3 – (групповые) щиты освещения; 1–6 – силовые электроприемники (в основном асинхронные электродвигатели)

Радиальная схема обеспечивает более высокую надежность питания отдельных потребителей, т. к. при аварии питающей линии прекращает работать только один электроприемник. При этом электроприемники других линий продолжают нормальную работу.

По направлению прокладки питающие линии делят:

– на горизонтальные;

– на вертикальные – стояки. *Вертикальные участки питающих линий, служащих для разводки электроэнергии по этажам, называют стояками.*

Следует иметь в виду, что максимальная нагрузка на каждом вводе в здание, как правило, не должна превышать 600 А во избежание необходи-

мости прокладки пучка параллельных кабелей и установки на вводах грозных аппаратов.

Трехфазные линии в жилых домах должны иметь сечение нулевых проводников, равное сечению фазных проводников, если фазные проводники имеют сечение до 25 мм^2 , а при больших сечениях – не менее 50 % сечения фазных проводников. Сечения нулевых рабочих и нулевых защитных проводников в трехпроводных линиях должны быть не менее сечения фазных проводников.

На вводах, как правило, после аппаратов управления устанавливаются предохранители с токоограничивающим действием с целью ограничения токов КЗ.

На каждой отходящей от ВРУ линии устанавливаются аппараты защиты (автоматические выключатели или предохранители). Аппарат управления может быть один на несколько линий одного назначения.

Учет электроэнергии, расходуемой общедомовыми потребителями, осуществляется с помощью трехфазных счетчиков, которые устанавливают на ответвлениях и присоединяют к соответствующим секциям шин.

ВРУ является также точкой разграничения ответственности за эксплуатацию электрических сетей между персоналом электроснабжающей организации и персоналом потребителя (абонента). У каждого из абонентов, расположенных в здании, устанавливают самостоятельное ВРУ, питающееся от общего ВРУ (ГРЩ) здания.

При определенных условиях, особенно в крупных многоэтажных зданиях, экономически целесообразна установка не одного, а нескольких ВРУ. Их расположение наряду с архитектурно-планировочными и другими факторами определяется технико-экономическими расчетами. Как показывают исследования, ВРУ целесообразно размещать в секциях дома, ближайших к трансформаторной подстанции.

4.3.2. Схемы питающих линий внутри жилых зданий

Выбор количества питающих линий, отходящих от ВРУ, и числа стояков, присоединяемых к одной питающей линии, в многоэтажных зданиях является многовариантной задачей.

Число стояков в жилых домах высотой 4 этажа и более, схемы их подключения к питающим линиям и ВРУ должны соответствовать, кроме указанных выше, следующим требованиям:

- в домах с плитами на газообразном и твердом топливе при числе этажей до 10, а также с электрическими плитами при числе этажей до 5 – один стояк на секцию (схема 1, рис. 4.18). Число стояков может быть увеличено по конструктивным соображениям или если это подтверждено технико-экономическими расчетами;

- в домах высотой более 5 этажей – два стояка на секцию с подключе-

нием на каждом этаже до четырех квартир (схемы 2 и 3, рис. 4.18). Применяется вариант с двумя стояками (схема 4, рис. 4.18), когда один стояк питает нижние этажи, второй – верхние.

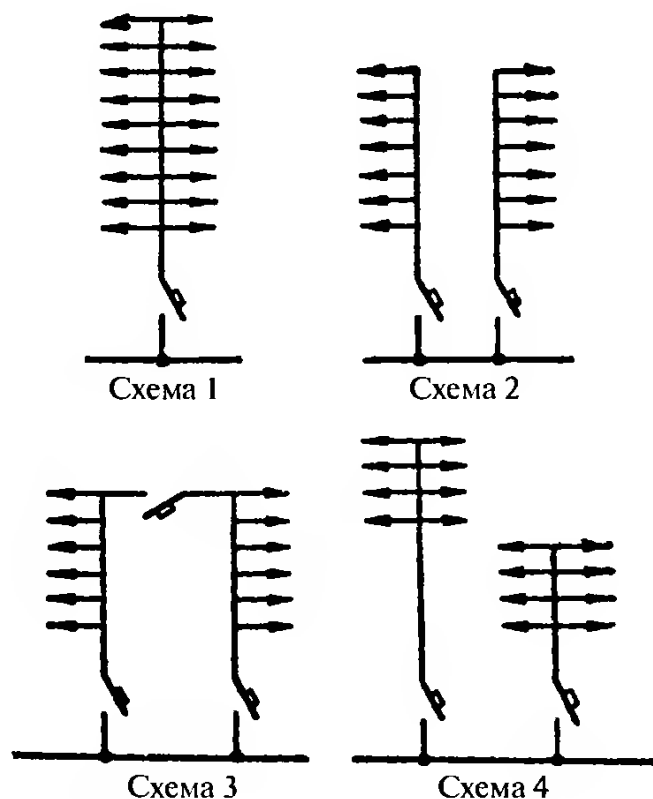


Рис. 4.18. Принципиальные схемы стояков, рекомендуемые по экономическим соображениям

Схемы электрических сетей жилых домов выполняют, исходя из следующего:

- питание квартир и силовых электроприемников, в том числе лифтов, должно, как правило, осуществляться от общих секций ВРУ. Раздельное их питание выполняют только в случаях, когда размахи изменения напряжения на зажимах ламп в квартирах при включении лифтов, выше регламентированных ГОСТ 13109-98;

- распределительные линии питания вентиляторов дымоудаления и подпора воздуха, установленных в одной секции, должны быть самостоятельными для каждого вентилятора или шкафа, от которого питаются несколько вентиляторов, начиная от щита противопожарных устройств ВРУ. При этом соответствующие вентиляторы или шкафы, расположенные в разных секциях, рекомендуется 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 5 этажей на ответвлении к каждому стояку устанавливают отключающий аппарат.

Освещение лестниц, поэтажных коридоров, вестибюлей, входов в здание, номерных знаков и указателей пожарных гидрантов, а также огни светового ограждения и домофоны питаются линиями от ВРУ. При этом линии питания домофонов и огней светового ограждения должны быть самостоятельными. Питание усилителей телевизионных сигналов осуществляют от групповых линий освещения чердаков, а в бесчердачных зданиях – самостоятельными линиями от ВРУ.

Питание сетей эвакуационного и аварийного освещения должно быть независимым от питания сетей рабочего освещения и выполняться при двух вводах в здание от разных вводов, а при одном вводе – по самостоятельным линиям, начиная от ВРУ или ГРЩ. Рабочее эвакуационное и аварийное освещение лестничных клеток и коридоров, как правило, автоматизируется, и управление осуществляется с ВРУ или объединенного диспетчерского пункта (ОДС). Поэтому групповые линии этих видов освещения целесообразно присоединять непосредственно к ВРУ, где сосредоточена вся аппаратура защиты и управления. К ВРУ также присоединяются групповые линии штепсельных розеток для подключения уборочных механизмов.

Силовые электроприемники общедомовых потребителей жилых зданий (лифты, насосы, вентиляторы, электроприемники систем дымозащиты и т. п.), как правило, получают питание от самостоятельной силовой сети, начиная от ВРУ.

Питающие линии лифтов должны прокладываться непосредственно от ВРУ, причём к одной линии можно подключать не более четырех лифтов, установленных в разных секциях. При наличии в каждой секции двух лифтов их присоединяют к разным питающим линиям, но при этом число лифтов, присоединяемых к каждой питающей линии, не ограничивается.

Внутренние электрические сети жилых и гражданских зданий, а том числе сети противопожарных устройств, цепей управления и сигнализации, выполняют, как правило, проводами и кабелями с медными жилами.

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 – $\pm 10\%$. Для ряда электроприемников (аппараты управления, электродвигатели) допускается снижение напряжения в пусковых режимах в пределах значений, регламентированных для данных электроприемников, но не более 15% .

Распределительные и питающие силовые и осветительные сети гражданских зданий прокладывают двумя способами:

- открыто – проводами в пластмассовых трубах и коробах из негорючих и трудногорючих материалов, а также небронированными кабелями. В технических подпольях и этажах, помещениях инженерных

служб, коридорах, подвалах и подпольях, питающие и групповые линии прокладывают на лотках;

– скрыто – в каналах строительных конструкций без труб, в бороздах, штробах и в несгораемом слое подготовки пола проводами в пластмассовых трубах и коробах.

На горизонтальных участках питающие линии можно прокладывать в пустотах железобетонных конструкций (без труб) и в пластмассовых трубах и коробах.

Стояки питающих линий квартир, групповых линий лестничного освещения в жилых зданиях прокладывают скрыто в каналах строительных конструкций (электроблоков). В этих же конструкциях желательно размещать совмещенные этажные электрошкафы (щитки) и ящики для соединений и разветвлений проводников. Для прокладки стояков применяют комплектные токопроводы и трубы (при соответствующем технико-экономическом обосновании). В квартирах прокладка стояков не допускается.

На рис. 4.19 показан пример схемы электроснабжения внутридомовой сети.

4.3.3. Схемы групповой квартирной сети

Групповая квартирная сеть является завершающим звеном электрической сети жилого дома. Она предназначена для питания осветительных и бытовых электроприемников. Назначение групповых линий и их пропускная способность определяются по табл. 4.3, которая составлена с учетом электрических нагрузок, наличия стационарных и переносных электроприемников и удобства эксплуатации [Тульчин].

В жилых и общественных зданиях линии групповой сети, прокладываемые от групповых щитков до штепсельных розеток, выполняют трехпроводными (фазный, нулевой рабочий и нулевой защитный проводники). При этом нулевой рабочий и нулевой защитный проводники не следует подключать на щитке под один контактный зажим.

В перспективе при значительном росте нагрузок возможно устройство трехфазных пятипроводных вводов в квартиры, но при этом необходимы дополнительные меры по обеспечению электробезопасности, такие, как более надежная изоляция проводников и приборов, а также устройство автоматического защитного отключения. Однако и при трехфазных вводах целесообразно групповые линии общего освещения и штепсельной сети внутри квартир выполнять однофазными, а для питания электрических плит, электроводонагревателей и т. п. – трехфазными. Как правило, рекомендуется выделять общее освещение на отдельную групповую линию.

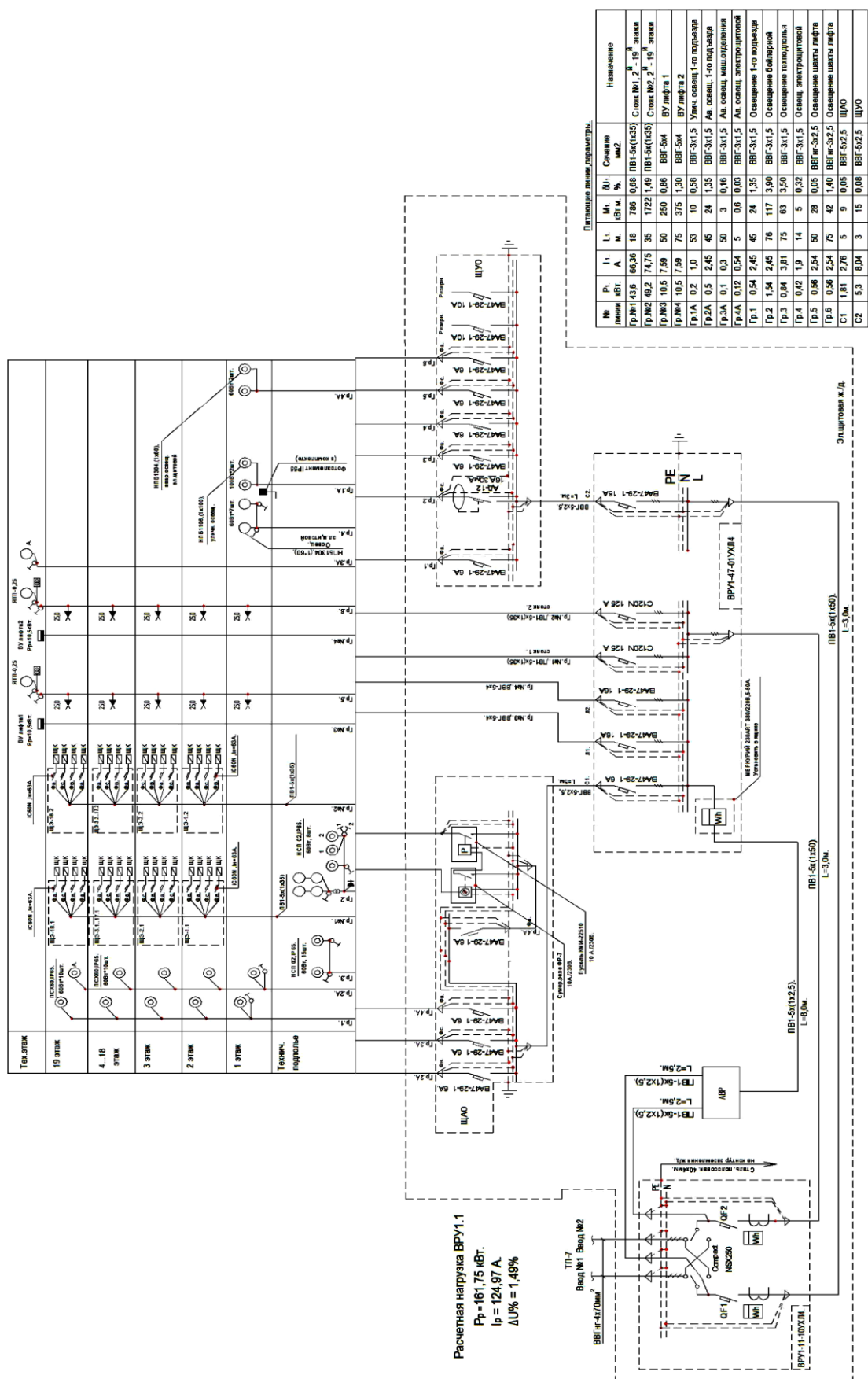


Рис. 4.19. Схема внутридомовой сети

Таблица 4.3

Расчетный ток групповых линий квартир жилых домов

Жилые дома	Назначение групповых линий	Расчетный ток, А
С плитами на газообразном и твердом топливе	Питание ламп общего освещения	16
	Питание штепсельных розеток на ток 6 и 10 А	16/25
	Питание электробытовых машин и приборов мощностью до 4 кВт	25
С электроплитами до 5,8 кВт	Питание ламп общего освещения	16
	Питание штепсельных розеток на ток 6 и 10А	16/25
	Питание электроплиты, и бытовых машин и приборов мощностью до 4 кВт	25–32
С электроплитами от 5,9 до 8 кВт	Питание ламп общего освещения	16
	Питание штепсельных розеток на ток 6 и 10 А	16/25
	Питание электроплиты и бытовых машин и приборов мощностью до 4 кВт	40
Садоводческих товариществ	Питание ламп общего освещения и штепсельных розеток	16

В жилых зданиях квартирного типа устанавливают один однофазный счетчик на каждую квартиру. Расчетные квартирные счетчики рекомендуется размещать совместно с аппаратами защиты (предохранителями, автоматическими выключателями) и выключателями (для счетчиков) на общих квартирных щитках. Для безопасной замены счетчика перед ним должен быть установлен рубильник или двухполюсный выключатель, располагаемый на квартирном щитке.

Нормами регламентируется число штепсельных розеток, устанавливаемых в квартирах. Так, в жилых комнатах квартир и общежитий – одна розетка на каждые 6 м² площади комнаты; для подключения бытового прибора мощностью до 2,2 кВт – одна штепсельная розетка с заземляющим контактом на ток 16 А.

На рис. 4.20 приведена схема групповой сети квартиры с электроплитой. Как видно из рисунка, для зануления корпуса стационарной электроплиты, ванны и бытовых приборов, требующих зануления, от этажного щитка прокладывается отдельный нулевой защитный проводник РЕ. Сечение его принимается равным сечению фазного проводника [Козлов-1971]. Для безопасной смены счетчика перед ним устанавливается двухполюсный выключатель.

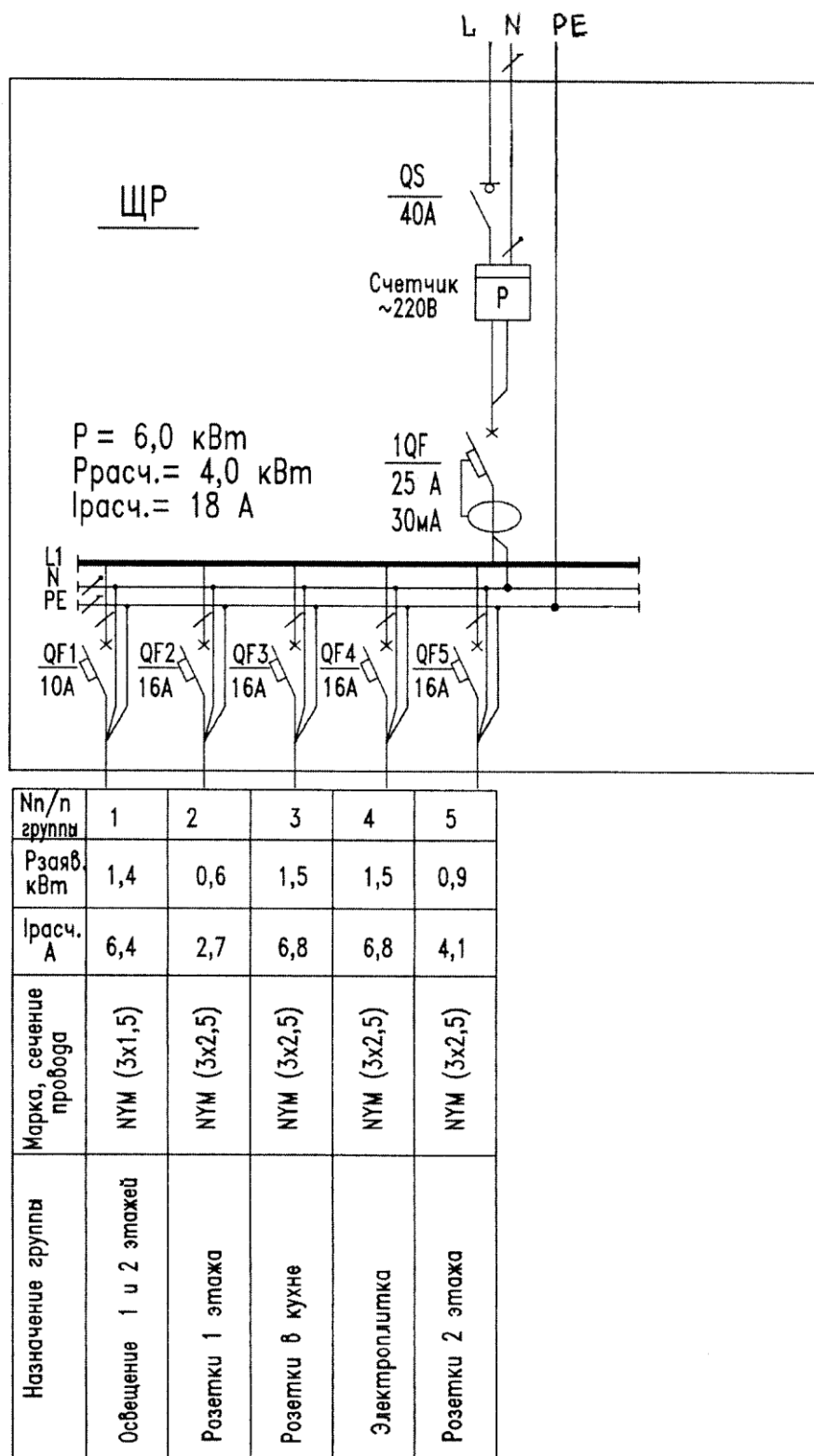


Рис. 4.20. Принципиальная схема групповой квартирной сети:
 QS – выключатель-разъединитель (однополюсный или двухполюсный);
 Р – счетчик учёта электроэнергии; 1QF – дифференциальный
 автоматический выключатель двухполюсный (УЗО);
 QF1–QF5 – автоматические выключатели однополюсные

4.4. Электрические сети общественных 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 и общественных зданий.

Построение схем электроснабжения и электрооборудование общественных зданий имеют ряд особенностей по сравнению с рассмотренными выше схемами жилых зданий. Эти особенности определяются значительным удельным весом силовых электроприемников технологического и санитарно-технического оборудования, режимами его работы, специфическими требованиями к освещению некоторых помещений, а также возможностью встраивания трансформаторных подстанций в некоторые из этих зданий. Необходимо подчеркнуть, что наряду с отличиями схем электрических сетей общественных зданий должны отвечать и общим требованиям.

Общественные здания отличаются большим разнообразием, поэтому в данном разделе рассматривается электроснабжение только некоторых наиболее распространенных общественных зданий.

Расчеты и опыт эксплуатации показали, что в ряде общественных зданий (торговые комплексы, спортивные арены и др.) целесообразно применять встроенные подстанции, в том числе комплектные. При этом обеспечивается экономия цветных металлов, исключается прокладка внешних кабельных линий до 1 кВ, нет необходимости в устройстве отдельных ВРУ в здании, поскольку имеется возможность его совмещения с РУ 0,4 кВ подстанции, и т. д.

Однако, как указывалось выше, нормы и правила исключают встраивание подстанций в здания учебных заведений, детских дошкольных учреждений, лечебных корпусов больниц, жилые зоны гостиниц и т. п. [Козлов-1977].

На встроенных ТП допускается установка как сухих, так и масляных трансформаторов. При этом масляных трансформаторов должно быть не более двух при мощности каждого до 1000 кВ·А. Количество и мощность сухих трансформаторов и трансформаторов с негорючим наполнением не ограничиваются. Подстанции обычно располагают на первых или технических этажах, допускается располагать ТП с сухими трансформаторами и с трансформаторами с негорючим наполнением в подвалах, а также на средних и верхних этажах зданий, если предусмотрены грузовые лифты для их транспортировки. В места размещения ТП не должна попадать вода.

Выбор мощности и количества трансформаторов и трансформаторных подстанций определяется уровнями электрических нагрузок и технико-экономическими расчетами. Подстанции, как правило, бывают двухтрансформаторные, но в относительно небольших зданиях 2-й и 3-й категорий по надежности электроснабжения возможна установка однитрансформаторных подстанций при условии резервирования (перемычки и АВР по низкому напряжению).

В общественных зданиях от одной линии рекомендуется питать несколько вертикальных участков (стояков) питающей сети освещения. При этом в начале каждого стояка, питающего три и более групповых щитков, следует устанавливать коммутационный аппарат.

Распределение электроэнергии в общественных зданиях производится по радиальным или магистральным схемам. Для питания потребителей 1-й категории надежности электроснабжения, также электроприемников большой мощности (крупные холодильные машины, электродвигатели насосных, крупные вентиляционные камеры, встроенные пищеблоки и др.) применяют радиальные схемы. Распределение электроэнергии к силовым распределительным щитам, пунктам и групповым щиткам сети электрического освещения осуществляют по магистральной схеме.

Электроприемники небольшой, но равной или близкой по значению установленной мощности соединяют в «цепочку», что обеспечивает экономию проводов и кабелей, а также уменьшение количества аппаратов защиты на распределительных пунктах.

В общественных зданиях рекомендуется питающие линии силовых и осветительных сетей выполнять раздельными. Как и в жилых зданиях, на вводах питающих сетей в общественные здания устанавливают ВРУ с аппаратами защиты, управления, учета электроэнергии, а в крупных зданиях – и с измерительными приборами. Там, где это целесообразно по условиям эксплуатации, применяют, например, автоматические выключатели, которые совмещают в себе функции защиты и управления [Сибикин]. На вводах обособленных потребителей (торговых предприятий, отделений связи и др.) устанавливают дополнительно отдельные аппараты управления.

Светильники эвакуационного и аварийного освещения присоединяют к сети, независимой от сети рабочего освещения, начиная от щита ТП или от ВРУ. Так, например, при двухтрансформаторной ТП рабочее, эвакуационное и аварийное освещение присоединяют к разным трансформаторам. Силовые распределительные пункты, щиты и щитки располагают, как правило, на тех же этажах, где находятся электроприемники. Силовые электроприемники, присоединяемые к распределительным пунктам, щитам и щиткам, группируют с учетом их технологического назначения.

Предпочтение следует отдавать трехфазным пятипроводным групповым линиям, обеспечивающим втрое большую нагрузку и в 6 раз меньшую потерю напряжения по сравнению с однофазными групповыми линиями.

Распределение нагрузок между фазами сети освещения должно быть по возможности равномерным. В целях экономии электроэнергии в помещениях с боковым естественным освещением предусматривают автоматическое отключение светильников рядами, параллельными окнам, в зависимости от требуемой освещенности.

Отклонения напряжения от номинального на зажимах силовых электроприемников и наиболее удаленных ламп электрического освещения не должны превышать в нормальном режиме $\pm 5 \%$, а в максимальном – $\pm 10 \%$.

Более подробные сведения об электроснабжении жилых и общественных зданий приведены в нормативных документах, указанных в списке литературы.

4.5. Городское электроосвещение

В сетях наружного освещения применяют напряжение 380/220 В переменного тока при заземленной нейтрали. В установках подсвета зелени с использованием специальных низкорасположенных осветительных приборов допускается применение напряжения 220 В при соблюдении требований, предъявляемых ПУЭ к светильникам для помещений с повышенной опасностью. В установках освещения фонтанов номинальное напряжение питания погружаемых в воду осветительных приборов не должно превышать 24 В.

В установках освещения улиц, дорог и площадей допускается использование линейного напряжения 380 В для питания светильников с газоразрядными лампами. При этом должна быть предусмотрена возможность одновременного отключения всех фазных проводов, вводимых в светильник; на самом светильнике наносят хорошо различимую надпись – 380 В.

Освещение улиц, дорог и площадей в городах и поселках должно обеспечивать значения средней яркости усовершенствованных покрытий, указанные в табл. 4.4.

Средняя яркость скоростных дорог принимается равной $1,6 \text{ кд/м}^2$ независимо от интенсивности движения транспорта. Для непроезжих частей улиц, дорог, площадей, бульваров и скверов, пешеходных улиц и территорий, микрорайонов городов и поселков нормируется средняя горизонтальная освещенность на уровне покрытия (табл. 4.5).

Таблица 4.4

Нормируемые значения средней яркости дорожных покрытий
улиц, дорог и площадей

Категория объекта по освещению	Улицы, дороги и площади	Средняя яркость покрытия, кд/м ²	Средняя горизонтальная освещенность покрытия, лк
А	Магистральные улицы общегородского значения; площади главные, вокзальные и многофункциональных транспортных узлов	1,6	20
		1,2	20
		0,8	15
		0,6	15
Б	Магистральные улицы районного значения, дороги грузового движения (общегородского значения), площади перед крупными общественными зданиями и сооружениями	1	15
		0,8	15
		0,6	10
		0,4	10
В	Улицы и дороги местного значения, дороги промышленных и коммунальных складских районов, поселковые улицы и площади	0,4	6
		0,2	4

По условиям обеспечения надежности электроснабжения устройства наружного освещения и устройства управления ими относятся к следующим категориям:

1 – диспетчерские пункты управления сетями наружного освещения города;

2 – осветительные установки городских транспортных и пешеходных туннелей, дорог, площадей категории А в столицах союзных республик, портовых и крупных городах;

3 – остальные осветительные установки.

Для повышения надежности работы осветительных установок городских транспортных и пешеходных туннелей длиной более 80 м предусматривают электроснабжение их пунктов питания от разных секций вводно-распределительного устройства, подключенных к разным линиям на напряжение 380 В и разным трансформаторам двухтрансформаторной подстанции или трансформаторам двух однострансформаторных подстанций, питающихся по разным линиям 6–10 кВ.

Таблица 4.5

Нормируемые значения горизонтальной освещенности на уровне
покрытий для непроезжих территорий

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность, лк
Непроезжие части площадей категорий А и Б и заводские площади	10
Тротуары, отделенные от проезжей части, на улицах категорий:	
А	4
Б и В	2
Посадочные площадки общественного транспорта на улицах всех категорий	10
Пешеходные мостики	10
Автостоянки на улицах всех категорий	4
Пешеходные туннели: днем	100
вечером и ночью	40
Лестницы пешеходных туннелей вечером и ночью	40
Пешеходные улицы	4
Пешеходные дорожки бульваров и скверов, примыкающих к улицам категорий:	
А	6
Б	4
В	2
Пешеходные аллеи и дорожки микрорайонов	4
Внутренние служебно-хозяйственные и пожарные подъезды, тротуары подъездов микрорайонов	2
Автостоянки, хозяйственные площадки микрорайонов	2
Прогулочные дорожки в микрорайонах	1

В ночное время при снижении интенсивности дорожного движения уровень наружного освещения городских улиц, дорог и площадей при нормируемой средней яркости 0,4 кд/м² или средней освещенности 4 лк и более может быть снижен выключением не более половины светильников. При этом нельзя отключать два рядом расположенных светильника. На улицах и городах при нормируемой средней яркости 0,2 кд/м² или средней освещенности не более 2 лк на пешеходных мостиках, автостоянках, пешеходных дорогах, пожарных проездах, а также на улицах и дорогах сель-

ских населенных пунктов частичное и полное отключение освещения в ночные часы не производится.

Электроснабжение установки наружного освещения получают, как правило, от трансформаторов, предназначенных для питания сети общего пользования; использование для указанной цели отдельных трансформаторных подстанций или специальных трансформаторов допускается лишь в исключительных случаях при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Светильники, устанавливаемые на территории микрорайона, подключают к пунктам питания наружного освещения или к сетям уличного освещения, примыкающим к микрорайону (исключая сети улиц категории А). Светильники наружного освещения территорий детских учреждений, школ, больниц, санаториев и т. п. подключают к вводным устройствам зданий или к трансформаторным подстанциям.

Световые указатели, светящиеся дорожные знаки, светильники открытых лестничных входов и выходов пешеходных туннелей присоединяют к тем проводам сети уличного освещения, которые ночью находятся под напряжением. К сетям уличного освещения не рекомендуется подключать устройства освещения реклам, витрин и т. п. В то же время к проводам, находящимся под напряжением только в вечерние часы, присоединяют осветительные приборы праздничного освещения и освещения архитектурных объектов суммарной мощностью не более 2 кВт на фазу.

Каждый светильник, в котором используются газоразрядные лампы, должен иметь индивидуальную компенсацию реактивной мощности с тем, чтобы коэффициент мощности был не ниже 0,85.

Линии сети наружного освещения подключают к пунктам питания с учетом обеспечения равномерной нагрузки фаз трансформаторов, для чего отдельные линии присоединяют к разным фазам с соответствующим чередованием фаз. В условиях обеспечения режима работы установок наружного освещения в ночные часы с отключением части светильников во многих случаях прокладывают отдельные распределительные линии вечернего и ночного освещения. Распределительные сети наружного освещения улиц, дорог, площадей, территорий микрорайонов в населенных пунктах, как правило, выполняют воздушными с использованием голых проводов. Кабельными выполняют распределительные сети территории детских учреждений, участков улиц с троллейбусным движением в местах наибольшей вероятности схода штанг, а также линии, питающие осветительные приборы подсвета зелени, фасадов зданий, скульптур и монументов. Распределительные сети наружного освещения на улицах категорий А и Б в районах застройки зданиями высотой более пяти этажей, а также на территориях общегородских парков, садов, бульваров, примыкающих к улицам и площадям категорий А и Б, допускается выполнять в виде кабельных линий. Все переходы от кабельных линий к воздушным оборуду-

ются отключающими устройствами, смонтированными в ящиках, которые устанавливают на опорах на высоте не менее 2,5 м от поверхности земли. Это требование не распространяется на кабельные выводы из пунктов питания на опоры, а также на переходы дорог и обходы препятствий, выполняемые кабелем.

В осветительных установках с газоразрядными источниками света, как правило, сечения нулевых жил кабелей принимаются равными сечению фазных проводов. Если же в этих случаях обеспечиваются требования по допустимой потере напряжения и по пропускной способности нулевой жилы, ее сечение может быть уменьшено. В воздушных линиях сечение нулевого провода выбирается во всех случаях равным сечению фазного провода.

Обозначения источников света: ДНаТ – натриевая лампа высокого давления, ДРИ – металлогалогенная лампа, ДРЛ – дуговая ртутная лампа. Цифра, стоящая после букв, означает мощность лампы, Вт.

Управление сетями наружного освещения может быть телемеханическим или дистанционным. Централизованное телемеханическое управление целесообразно применять в городах с населением свыше 50 тыс. жителей. Централизованное дистанционное – в городах и населенных пунктах с количеством жителей до 20 тыс. В городах с населением 20–50 тыс. жителей может быть применено или централизованное телемеханическое, или централизованное дистанционное управление.

Управление наружным освещением города или поселка необходимо осуществлять от одного центрального диспетчерского пункта. В больших городах появляется необходимость помимо централизованного создать ряд районных диспетчерских пунктов. В этих случаях центральный и районные диспетчерские пункты соединяют прямой телефонной связью. В качестве дублирующей связи во многих случаях используют УКВ- радиосвязь.

Управление освещением территории микрорайонов, парков, детских учреждений, гостиниц, больниц и т. п. также целесообразно осуществлять от системы управления наружным освещением города или поселка.

Системы централизованного дистанционного управления предусматривают управление коммутационными аппаратами, обеспечивающими работу освещения в вечерние и ночные часы, главных пунктов питания последовательно включаемых участков сети наружного освещения и контроль их состояния по наличию напряжения на конце участка.

Управление коммутационными аппаратами участков сети наружного освещения производится путем последовательного (каскадного) их включения: к концу участка сети, включаемого контактором головного пункта питания, присоединяется катушка контактора следующего пункта питания (промежуточного).

Для отключения части светильников в ночные часы используются вторые контакторы. В воздушно-кабельных сетях в один участок сети (каскад)

наружного освещения принято включать до 10 пунктов питания, а в кабельных – до 15.

При проектировании схем наружного освещения проводится расчет включения контактора каждого каскада. При этом напряжение на его катушке при прохождении пускового тока должно быть не ниже 85% номинального.

Для управления освещением небольших поселков и сельских населенных пунктов, не имеющих диспетчерских пунктов, целесообразно использовать автоматические фотоэлектрические или программные устройства. В городах эти установки могут найти применение для управления наружным освещением улиц и микрорайонов, еще не включенных в общую систему централизованного управления, а также для управления световой рекламой. Автоматические фотоэлектрические установки целесообразно устанавливать на диспетчерских пунктах для уточнения моментов включения и отключения наружного освещения.

4.6. Автономные и аварийные источники питания СЭС

4.6.1. Организация работы аварийных источников питания

В составе городских потребителей все больше появляются электроприемники, предъявляющие весьма жесткие требования к надежности электроснабжения и качеству электрической энергии. К ним относятся операционные отделения с аппаратурой для реанимации больных, вычислительные центры, средства связи и т. п. Для таких установок возможно применение автономных источников наряду с независимыми источниками энергосистемы. В качестве автономных источников применяются дизельные электростанции с автоматическим запуском, аккумуляторные батареи.

Для электроприемников, не допускающих перерывов электроснабжения и требующих энергии весьма высокого качества, разработаны специальные устройства гарантированного электроснабжения (УГЭ). Схема одного из возможных вариантов такого устройства представлена на рис. 4.21.

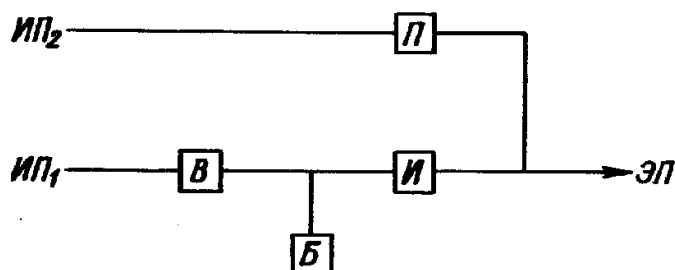


Рис.4.21. Пример одного из варианта схемы

Устройство имеет две цепи, которые присоединяются к разным источникам питания ИП1 и ИП2. В нормальном режиме питание производится от источника ИП1 по цепи выпрямитель (В) – инвертор (И) – электроприемник (ЭП). При этом на вводе ИП обеспечивается требуемое качество электроэнергии. При отказе ИП1 или преобразовательного оборудования электроснабжение производится от аккумуляторной батареи (Б) или от источника ИП2, соответственно, в цепи которого предусмотрен электронный переключатель (П).

В ответственных электроустановках 1-й категории надёжности с целью обеспечения надежности всю схему электроснабжения делят на две части, каждая из которых питается от своего независимого источника питания [ПУЭ]. Рассмотрим ситуацию на примере трансформаторной подстанции, питающейся от двух независимых источников напряжением 10 кВ (рис. 4.22). ТП состоит из двух независимо работающих понижающих трансформаторов Т1 и Т2 напряжением 10/0,4 кВ, к которым с помощью вводных автоматических выключателей QF1 и QF2 подключены две секции сборных шин 1СШ и 2СШ напряжением 0,4 кВ, от которых питаются электроприёмники. Секции сборных шин при нормальном режиме работают раздельно, а установленный между ними секционный выключатель QF3 нормально отключен. Для взаимного резервирования секций сборных шин предусмотрено устройство автоматического включения резерва секционного выключателя (ABP СВ).

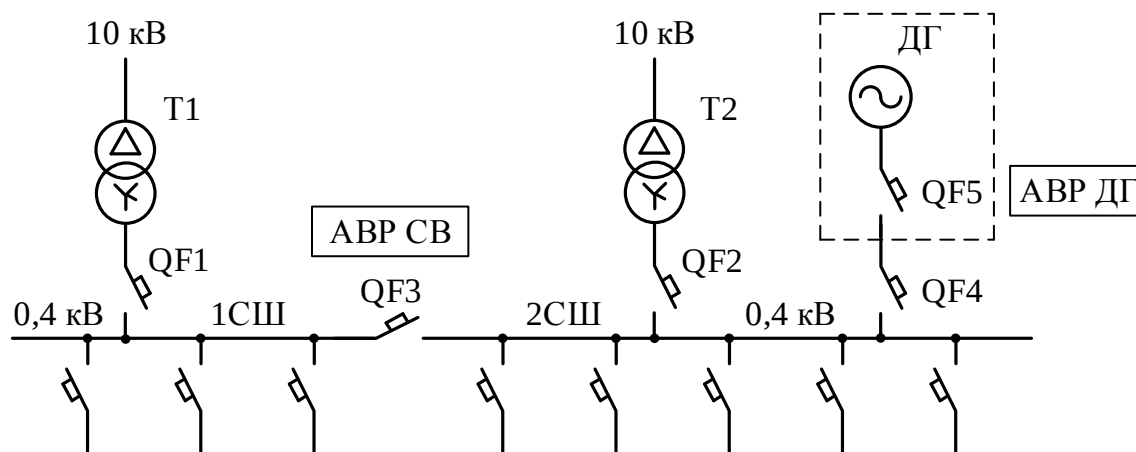


Рис. 4.22. Схема электроснабжения ответственных потребителей

Для ответственных электроприемников особой группы 1-й категории надёжности (от которых зависит безаварийный останов производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров, повреждений дорогостоящего оборудования) предусматривают третий, аварийный источник питания, например, аварийный дизель-генератор (ДГ) напряжением 380 В с быстрым запуском и включением [ПУЭ].

Аварийный дизель-генератор можно подключить к трансформаторной подстанции двумя способами. Один из вариантов его подключения – «развилкой» на обе секции сборных шин напряжением 0,4 кВ, в этом случае он резервирует каждую из подсистем независимо от состояния другой подсистемы. Однако расчеты надежности электроснабжения показали нецелесообразность этого варианта, поскольку вероятность потери питания от основных источников на порядок больше вероятности повреждения секции. Кроме того, осуществление этого варианта связано с неоправданным усложнением первичной и вторичной коммутации. Поэтому в настоящее время аварийный дизель-генератор подключают на одну из секций, а при его недостаточной мощности – по одному на каждую секцию [Беляев-2008, Беляев-2010].

Рассмотрим работу схемы электроснабжения, приведённой на рис. 8.1. При нормальном режиме автоматические выключатели QF1 и QF2 включены и подают напряжение соответственно на 1СШ и 2СШ. Секционный выключатель QF3 отключен, выключатель аварийного ввода QF4 включен (через него осуществляется питание собственных нужд аварийного дизель-генератора), выключатель генератора QF5 отключен.

При исчезновении напряжения на одной из секций и наличии напряжения на другой запускается АВР СВ. После соответствующей выдержки времени АВР СВ отключает выключатель потерявшей питание секции QF1 (QF2), включает секционный выключатель QF3 и обесточенная секция запитывается от другого ввода QF2 (QF1).

При восстановлении напряжения на отключенном вводе QF1 (QF2) работает автоматика возврата к нормальному режиму, которая с установленной выдержкой времени отключает секционный выключатель QF3, включает выключатель ввода QF1 (QF2) и секция запитывается от своего ввода. Схема возвращается в исходное состояние.

При исчезновении напряжения на обоих вводах от трансформаторов Т1 и Т2 (и, соответственно, секциях сборных шин 1СШ и 2СШ) работает устройство автоматического ввода резерва аварийного дизель-генератора (АВР ДГ), которое после установленной выдержки времени отключает выключатели QF1 и QF2 обоих вводов, идёт команда на запуск аварийного дизель-генератора ДГ и включение секционного выключателя QF3, при готовности аварийного дизель-генератора АВР ДГ включает его выключатель QF5. Обе секции сборных шин получают питание от аварийного дизель-генератора ДГ.

При восстановлении напряжения на вводах трансформаторов Т1 и Т2 работает автоматика возврата к нормальному режиму, которая с установленной выдержкой времени даёт команду на останов дизель-генератора ДГ, отключает выключатели QF5 и QF3 и включает выключатели QF1 и QF2 и секции сборных шин 1СШ и 2СШ запитываются от своих вводов – трансформаторов Т1 и Т2. Если напряжение восстановилось только на од-

ном из вводов, то выключатель QF3 не отключают. Схема возвращается в исходное состояние.

При КЗ на секции сборных шин выключатель соответствующего ввода отключается своими защитами, при этом блокируются АВР СВ и АВР ДГ.

Требования к сети, имеющей аварийное электроснабжение. Поскольку аварийный дизель-генератор предназначен для питания только ответственных электроприемников особой группы 1-й категории надёжности и обычно имеет ограниченную мощность. Чтобы не перегрузить генератор, все электроприемники, кроме особо ответственных, отключают при потере основных источников питания защитой минимального напряжения. Затем устройство автоматического ввода резерва дизель-генератора (АВР ДГ) отключает выключатели QF1 и QF2, включает с помощью выключателя QF5 питание от генератора и затем секционный выключатель QF3.

Одновременный групповой самозапуск всех особо ответственных электроприемников от аварийного дизель-генератора может привести к опасному глубокому снижению напряжения на шинах ТП, чрезмерному набросу нагрузки на дизель и его остановке. Поэтому применяют поочередный самозапуск электродвигателей. Уставки реле времени принимают такими, чтобы самозапуск следующего электродвигателя начинался в конце пуска предыдущего. При управлении электродвигателями от системы автоматического управления (САУ) технологических установок в них закладывается аналогичный алгоритм.

Разумеется, устройства защиты электрической сети должны быть надёжными, селективными и чувствительными не только в режиме работы сети от основных источников электроснабжения, но и при электроснабжении от аварийных источников, когда токи КЗ существенно меньше, чем в режиме питания от основных источников.

Требования к аварийным дизель-генераторам. Аварийный дизель-генератор, кроме быстрого запуска и включения, должен «вписываться» в прилегающую сеть напряжением 380 В. Это означает, что:

- мощность дизель-генератора должна быть достаточна для обеспечения работы особо ответственных потребителей;
- генератор должен обеспечивать токи КЗ, достаточные для работы защит прилегающей сети и согласования по чувствительности токовых защит генератора с токовыми защитами отходящих линий напряжением 380 В;
- состав защиты генератора должен соответствовать его мощности и условиям применения. Если оказалось, что защита генератора не обладает необходимой чувствительностью при КЗ, то можно пересмотреть построение сети напряжением 380 В (разукрупнить нагрузки, уменьшить номиналы автоматических выключателей отходящих линий), это легко осуществить при проектировании сети, но в условиях действующих установок весьма затруднительно.

Заводы изготовители аварийных дизель-генераторов обычно оснащают их системой автоматического управления (САУ агрегата), которая поддерживает агрегат в состоянии готовности к пуску, осуществляет его автоматический пуск при исчезновении напряжения на вводе к этому генератору, а также пуск и останов по внешней команде. Современные САУ обеспечивают разворот генератора и включение его автоматического выключателя за время 2–5 с. Доступ к внутренним алгоритмам этой САУ, особенно при ее выполнении на микропроцессорах, практически невозможен. Для согласованного действия этой САУ с автоматикой ТП предусматривают дополнительную автоматику, которую условно называют устройством АВР аварийного дизель-генератора АВР ДГ.

Требования к устройству АВР аварийного дизель-генератора:

- АВР ДГ должно приходить в действие при исчезновении напряжения на обоих вводах и секциях КТП от пускового органа минимального напряжения и блокироваться при КЗ на шинах КТП;

- пусковой орган минимального напряжения АВР ДГ должен иметь выдержку времени для предотвращения излишних действий при КЗ в питающей сети или на отходящих линиях, а также для согласованного действия устройств противоаварийной автоматики в сети;

- пусковой орган минимального напряжения АВР ДГ должен действовать на отключение выключателей рабочих вводов и блокировать АВР СВ перед включением генератора и во время его работы для предотвращения несинхронного включения;

- команда на пуск аварийного дизель-генератора должна даваться по факту отключения выключателей вводов. После окончания пуска САУ агрегата включает автоматический выключатель дизель-генератора;

- если аварийный ввод предусмотрен только на одной из секций ТП, то устройство АВР должно включать секционный выключатель;

- при восстановлении напряжения на одном из вводов должна приходить в действие автоматика возврата от пускового органа максимального напряжения, при этом пуск автоматики возврата должен выполняться с выдержкой времени для предотвращения излишних действий при случайных кратковременных режимах восстановления напряжения и при переходных процессах в питающей сети;

- автоматика возврата должна действовать на останов аварийного дизель-генератора (с отключением автоматического выключателя генератора от САУ агрегата) с последующим включением автомата ввода рабочего питания, на котором восстановилось напряжение, по факту отключения автоматического выключателя генератора. Действие автоматики возврата на включение автоматического выключателя рабочего питания должно быть однократным;

- автоматика возврата должна отключать секционный автоматический выключатель, если напряжение восстановилось на обоих вводах.

О расчёте токов короткого замыкания от генераторов аварийных источников питания. Расчёт токов имеет ряд особенностей и достаточно подробно изложен в книгах [Беляев-2008, Беляев-2010, Соловьёв-2009, Шабад-2010, Шабад-2010].

4.6.2. Пример применения электроснабжения потребителей особой группы 1-й категории надёжности

Для обеспечения повышенной надёжности электроснабжения Ледовой Арены «Трактор» его электроснабжение осуществляется от четырех независимых источников питания, которыми являются две двухтрансформаторные подстанции напряжением 110/10 кВ (см. раздел 3).

Для непосредственного питания ЛА «Трактор» построен распределительный пункт напряжением 10 кВ (РП-10 кВ) и четыре однострансформаторные подстанции напряжением 10/0,4 кВ.

Четыре секции РП-10 кВ, питающиеся от двух двухтрансформаторных подстанций напряжением 110/10 кВ, представляют четыре независимых источника питания ИП1–ИП4 (рис. 4.23).

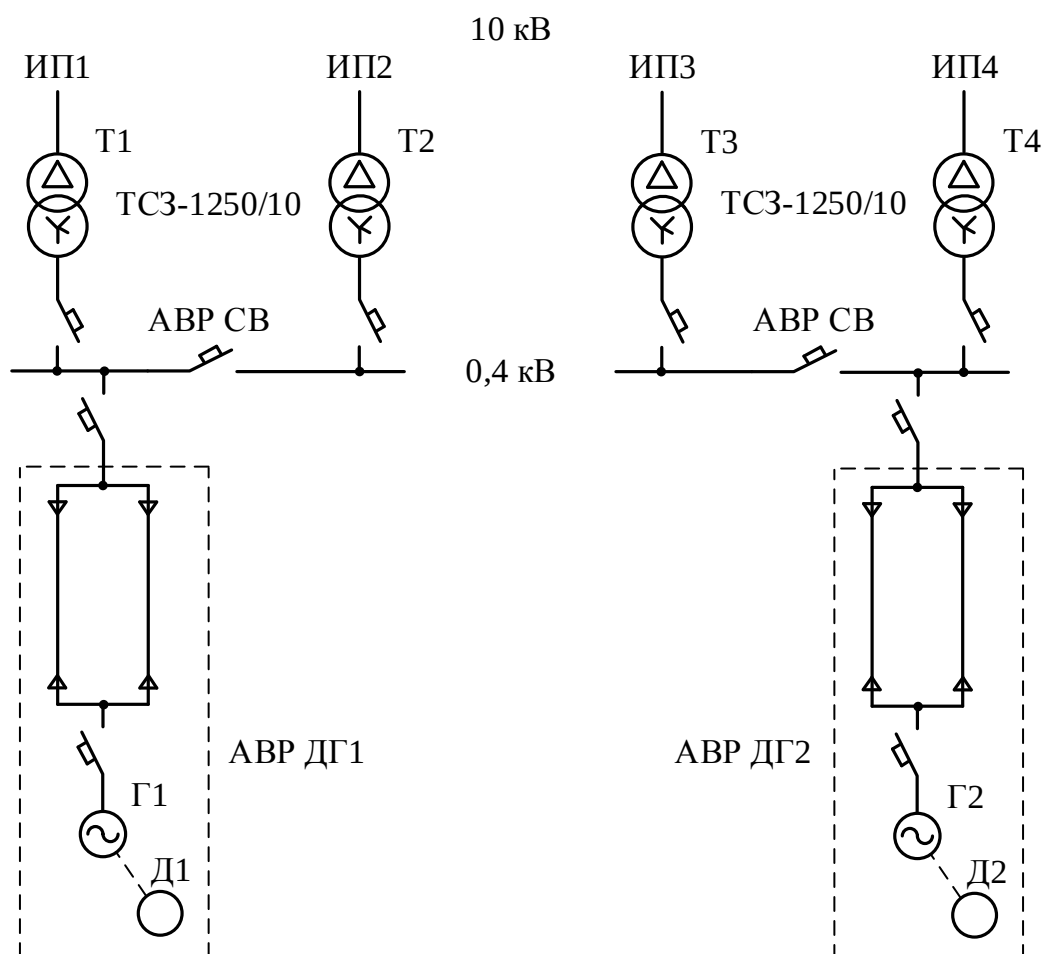


Рис. 4.23. Схема электроснабжения Ледового дворца «Трактор»

Однотрансформаторные подстанции работают попарно, имея между трансформаторами автоматический ввод резерва секционного выключателя АВР СВ.

Для обеспечения аварийного (резервного) электроснабжения электроприемников особой группы 1-й категории надёжности в Ледовом Дворце «Трактор» установлены две дизель-генераторные установки (электростанции) типа ADDo-500 [Дизель] мощностью 500 кВт / 625 кВА – рис. 4.24.



а)



б)



в)



г)

Рис. 4.24. Дизель-генераторная установка типа ADDo-500:
а – общий вид; б – дизель; в – генератор; г – блок-контейнеры

Дизельная электростанция состоит из:

– дизельного двигателя с водяным охлаждением (рис. 4.24, б), произведённого фирмой Doosan; модель P222LE; двигатель 12-цилиндровый с V-

образным расположением цилиндров, с непосредственным впрыском; время автономной работы при 100 % мощности 8,1 ч

– синхронного бесщеточного генератора (рис. 4.24, в), произведённого фирмой Marathon Electric, модель 573RSL4032; напряжение 230/400 В; генератор трехфазный, бесщеточный, 4-полюсный, частота вращения вала 1500 об/мин.

Дизель-генераторы размещаются в двух комплектных утепленных и автоматизированных блок-контейнерах (рис.4.24, г).

На рис. 4.25 приведена схема электроснабжения коттеджа. Электроснабжение коттеджа выполнено четырёхпроводным кабельным вводом. Для обеспечения бесперебойного электропитания 1-й категории электроприёмников предусмотрена установка дизельной электростанции (ДЭС) мощностью 8 кВт·А с автоматическим запуском при исчезновении электропитания по основному вводу. Для ввода и распределения электроэнергии установлен вводно-распределительный шкаф (ПР) с вводной и распределительной аппаратурой и счётчиком учёта электроэнергии. Для питания электроприёмников 1-й категории предусмотрен отдельный распределительный щиток ЩГП. Основными электроприёмниками здесь являются: газовая котельная, насосная станция, освещение и пр.

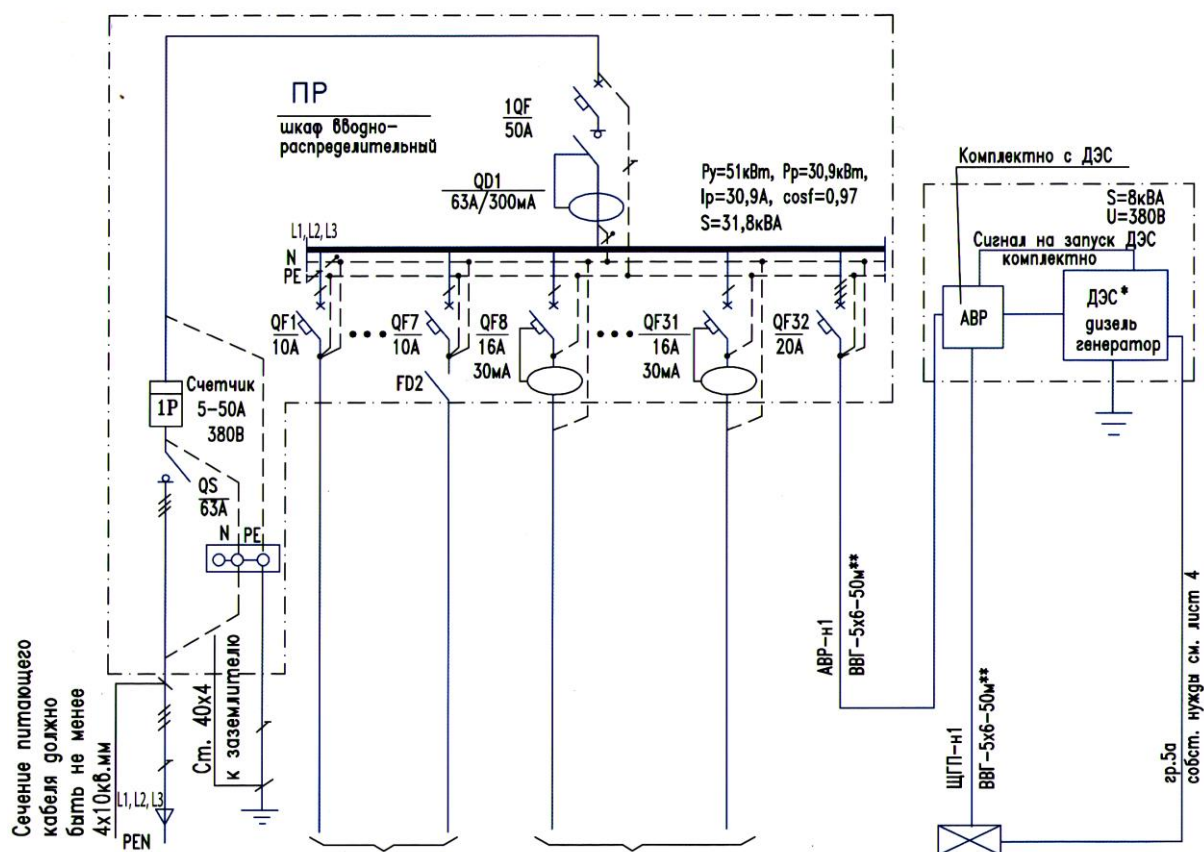


Рис. 4.25. Схема электроснабжения коттеджа (л. 51)

5. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 35–110–220 кВ

5.1. Воздушные линии электропередачи напряжением 35–110–220 кВ

Общая протяженность по состоянию на начало 2014 г. ВЛ напряжением 110 кВ и выше составила 254 тыс. км, ВЛ напряжением 220 кВ – 80,4 тыс. км, ВЛ напряжением 36 кВ – 162 тыс. км [**Положение-2013**].

Общие сведения.

Пропускная способность ВЛ устанавливается на основе расчета электрической сети. Средние значения дальности передачи и пропускной способности по линиям электропередачи напряжением 110–1150 кВ приведены в табл. 5.1 [Файбисович-2006].

Таблица 5.1

Пропускная способность линий электропередачи 110–1150 кВ

Напря- жение, кВ	Сечение фазы, мм ²	Пропускная способ- ность ВЛ, МВт		Длина линии электропередачи, км	
		Нату- ральная	При плотно- сти тока 0,9 А/мм ²	Предель- ная (КПД=0,9)	Средняя (между двумя соседними ПС)
110	70–240	30	11–37	80	25
150	150–300	60	31–63	250	20
220	240–400	135	74–123	400	100
330	2х240– 2х400	360	221–368	700	130
500	3х330– 3х500	900	630–1064	1200	280
750	5х300– 5х400	2100	1500–2000	2200	300
1150	8х300– 8х500	5200	4000–6000	3000	–

Примечание: Для ВЛ 750–1150 кВ плотность тока принята равной 0,85 А/мм².

Линии электропередачи состоят из ВЛ основной и распределительной сети. ВЛ основной сети обеспечивают связь между крупными электростанциями и передачу мощности от них в районы потребления электроэнергии. ВЛ распределительной сети обеспечивают передачу электроэнергии от ПС основной сети и электростанций к потребителям электроэнергии.

При проектировании основной электрической сети энергосистем рекомендуется:

- намечать линии электропередачи через крупные узлы нагрузки, избегать прямых связей между электростанциями;
- производить выбор схемы присоединения электростанции и ПС к основной сети с учетом надежности питания узла электрической сети и необходимости обеспечения транзита мощности по ВЛ;
- сооружать между двумя узлами сети по одной трассе, как правило, не более двух линий электропередачи одного напряжения. При необходимости дополнительного усиления сети следует рассматривать целесообразность сооружения ВЛ по другим направлениям или выполнение электропередачи на более высоком напряжении.

Проектирование распределительной сети энергосистем осуществляется с учетом следующего:

- в районах с малым охватом территории сетями при близких значениях технико-экономических показателей вариантов развития сети рекомендуется отдавать предпочтение сооружению ВЛ по новым трассам;
- в крупных городах и промышленных районах с большой концентрированной нагрузкой по одной трассе может предусматриваться строительство двух и более ВЛ;
- при прохождении ВЛ по территории городов, промышленных районов, на подходах к электростанциям ПС, в стесненных условиях, лесных массивах и т. д. ВЛ рекомендуется выполнять на двухцепных опорах. При этом подвеска одной цепи рекомендуется в случае, когда необходимость ввода второй цепи возникает в срок более трех лет после ввода первой, а также когда отключение первой цепи на время проведения работ по подвеске второй допустимо по условиям электроснабжения. Допускается подвеска на одних опорах ВЛ разных классов напряжений;
- при питании ПС с потребителями первой категории применение двух одноцепных ВЛ вместо одной двухцепной допускается при наличии обоснований.

При развитии распределительных сетей отдельных номинальных напряжений необходимо учитывать следующие рекомендации.

При напряжении сети 220–330 кВ:

- использовать в сети одно- и двухцепные ВЛ 220–330 кВ;
- при питании ПС по одноцепной ВЛ с двухсторонним питанием общее число промежуточных ПС не должно превышать трех, а длина такой ВЛ, как правило, не должно быть больше 250 км;
- присоединять к двухцепной ВЛ 220 кВ с двухсторонним питанием до пяти промежуточных ПС. При этом присоединение ПС рекомендуется принимать по схеме «мостик» или блочной схеме (от одной или двух ВЛ 220 кВ);

– проектировать сеть 220–330 кВ внешнего электроснабжения крупных и крупнейших городов с использованием принципа кольцевой конфигурации. В системе электроснабжения таких городов рекомендуется предусматривать сооружение не менее двух ПС 220–330 кВ, через которые осуществляется связь с сетью энергосистемы, а питающие ВЛ рекомендуется прокладывать по разным трассам. При присоединении сети крупных и крупнейших городов к энергосистеме рекомендуется обеспечивать минимальные транзитные перетоки мощности через городскую сеть. Общее количество и пропускная способность линий, связывающих сети таких городов с энергосистемой, рекомендуется выбирать с учетом обеспечения питания городских потребителей без ограничений при отключении двухцепной питающей ВЛ 220 кВ;

– выполнять, как правило, ПС 220–330 кВ двухтрансформаторными. При большой концентрации нагрузок ПС 330 кВ могут выполняться с установкой трех-четырех трансформаторов. Установка на ПС одного трансформатора допускается временно при обеспечении резервирования потребителей.

При напряжении сети 110 кВ:

– не допускать сооружения новых протяженных ВЛ 110 кВ параллельно существующим ВЛ 220 кВ;

– использовать в качестве источников питания сети 110 кВ ПС 220-330/110 кВ, имеющие независимые питающие линии, и шины 110 кВ электростанций;

– обеспечивать двухстороннее питание ПС, присоединенных к одноцепной ВЛ 110 кВ. Длина такой ВЛ, как правило, не должна быть более 120 км, а количество присоединяемых промежуточных ПС - более трех. Присоединение к такой ВЛ двухтрансформаторных ПС рекомендуется по схеме «мостик». При однострансформаторной ПС (первый этап развития двухтрансформаторной ПС) присоединение к линии осуществляется по блочной схеме. Допускается присоединение ПС к одноцепной тупиковой ВЛ 110 кВ только на первом этапе развития сети. При этом резервирование ответственных потребителей должно быть обеспечено по сети вторичного напряжения;

– осуществлять применение двухцепных ВЛ с двухсторонним питанием в системах электроснабжения крупных городов, а также в схемах внешнего электроснабжения потребителей транспортных систем (электрифицированные участки железных дорог, продуктопроводов и т.п.). К таким ВЛ рекомендуется присоединение не более пяти промежуточных ПС, с чередованием ПС по схеме «мостик» и блочной схеме;

– применять двухцепные тупиковые ВЛ в схемах электроснабжения крупных городов, промузлов, промышленных предприятий и т. п. с присоединением к такой ВЛ до двух ПС 110 кВ. При этом потребители первой категории таких ПС должны резервироваться по сети вторичного напря-

жения. К двум одноцепным тупиковым ВЛ может быть присоединено до трех ПС.

При напряжении сети 35 кВ:

- не допускать сооружения новых протяженных ВЛ 35 кВ параллельно существующим ВЛ 110 кВ и не сооружать новые ВЛ 35 кВ протяженностью свыше 80 км;

- оценивать целесообразность сооружения новых ВЛ 35 кВ в габаритах 110 кВ;

- рассматривать возможность перевода существующих ВЛ 35 кВ на напряжение 110 кВ;

- использовать преимущественно одноцепные ВЛ 35 кВ с питанием от разных ПС 110-220 кВ или разных секций (систем шин) одной ПС.

Трасса ВЛ выбирается по возможности кратчайшей с учетом условий отчуждения земли, вырубки просек, комплексного использования охранной зоны и приближения к дорогам и существующим ВЛ.

Вблизи промышленных предприятий трассы ВЛ, как правило, располагаются вне зон действия ветра преобладающего направления от источников загрязнения.

На железобетонных опорах сооружаются двухцепные ВЛ до 220 кВ включительно. В последние 10—15 лет строительство ВЛ 500 кВ на железобетонных опорах составляло около 40 % общего ввода новых ВЛ. На ВЛ 750–1150 кВ используются металлические опоры. В условиях, когда доставка железобетонных опор на трассу ВЛ затруднена, рекомендуется использовать металлические опоры.

На ВЛ напряжением 35 кВ и выше рекомендуется применять сталеалюминиевые провода. Использование алюминиевых проводов и проводов из алюминиевого сплава обосновывается расчетами. На больших переходах через водные пространства (ущелья) при наличии технической целесообразности в качестве проводов могут применяться стальные канаты.

5.2. Кабельные линии напряжением 35–110–220 кВ

Общая протяженность КЛ напряжением 110 кВ и выше в России по состоянию на начало 2004 г. составила около 1500 км (по цепям).

Кабельные линии 110 и 220 кВ в отечественной практике нашли применение при построении сети крупнейших городов, в схемах электроснабжения химических, нефтеперерабатывающих, металлургических, автомобильных и других промышленных предприятий, выдачи мощности электростанций, преодоления водных преград и в других случаях. В схемах электрических сетей с использованием КЛ 110-220 кВ получили распространение радиальные и цепочечные схемы построения сети.

В мировой практике в 1970–80-е годы прошлого столетия использование кабелей 220 кВ и выше переменного и постоянного тока было свя-

зано преимущественно с преодолением водных преград (реки, проливы). В последние годы наряду с этим все более широкое применение получают кабельные прокладки сверхвысокого напряжения (СВН) при организации глубоких вводов в центральные районы крупнейших городов. Помимо надежного электроснабжения КЛ СВН обеспечивают максимальное сохранение окружающей среды и позволяют избежать строительства ВЛ на территории городов.

Совершенствование конструкции и технологии изготовления позволило создать более совершенные кабели традиционного типа и активно вести новые разработки. В настоящее время европейскими производителями кабельной продукции разработаны, испытаны и созданы промышленные образцы кабеля СВН рекордной пропускной способности напряжением:

- до 1000 кВ маслонаполненные с поперечным сечением токоведущей части 2500 мм², пропускная способность 3 млн кВт;
- до 500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена с поперечным сечением токоведущей части 2500 мм², пропускная способность 1,9 млн кВт.

В настоящее время применяют, как правило, кабели с алюминиевыми жилами в алюминиевой оболочке. Применение кабелей с медными жилами требует специального обоснования. Для КЛ, прокладываемых в земле и воде, применяют бронированные кабели. Применение кабелей в свинцовой оболочке предусматривается для прокладки подводных линий, в шахтах, опасных по газу и пыли, для прокладки в особо опасных коррозионных средах. В остальных случаях при невозможности использовать кабели в алюминиевых или пластмассовых оболочках их замена на кабели в свинцовых оболочках требует специального обоснования.

В последние годы в сетях зарубежных энергосистем получили широкое распространение кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (российское обозначение СПЭ, английское – XLPE). Кабели среднего напряжения из сшитого полиэтилена занимают 80-85 % рынка в США и Канаде, 95 % – в Германии и Дании, 100 % – в Японии, Финляндии, Швеции и Франции. Основные достоинства кабелей со СПЭ-изоляцией:

- изготавливаются на напряжение до 500 кВ;
- срок службы кабелей составляет не менее 30 лет;
- пропускная способность в зависимости от условий прокладки на 15–30 % выше, чем у кабелей с бумажной или маслонаполненной изоляцией, т. к. кабели со СПЭ-изоляцией рассчитаны на длительную работу при температуре жилы 90 °С, а их бумажно-масляные аналоги допускают нагрев до 70 °С;
- отвечают экологическим требованиям;
- прокладка и монтаж меньше зависят от погоды и могут проводиться даже при температуре –20 °С;

– значительно дешевле и проще становятся обслуживание и ремонт при механических повреждениях, существенно легче выполняются прокладка и монтаж соединительных муфт и концевых заделок в полевых условиях.

Для кабелей с нормально пропитанной бумажной изоляцией наибольшая допустимая разность уровней между точками прокладки приведена в табл. 3.27. Разность уровней для кабелей с нестекающей пропиткой, пластмассовой и резиновой изоляцией не ограничивается. Максимальная возможная разность уровней в маслонаполненных КЛ низкого давления составляет 20–25 м. Для кабелей высокого давления (в стальных трубах) возможная разность уровней между стопорными муфтами определяется минимально допустимым снижением давления масла в трубопроводе до 1,2 МПа. Нормальное давление масла принимается равным (1,5+2 %) МПа, максимальное - согласовывается с заводом-изготовителем.

5.3. Вопросы экологии при проектировании развития электрической сети

5.3.1. Воздушные линии

На современном этапе развитие электрических сетей осуществляется в условиях повышенного внимания администрации регионов и общественности к вопросам охраны окружающей среды, что осложняет выбор трасс и площадок для сооружения электросетевых объектов. В ряде стран использование сетей напряжением выше 400 кВ запрещено законом. Условия выбора трасс и площадок существенно влияют на принципиальную возможность осуществления и показатели намеченных вариантов схемы сети. Пренебрежение конкретными географическими условиями может изменить соотношение технико-экономических показателей сравниваемых вариантов и повлиять на выводы. В наиболее сложных случаях – в условиях городской и промышленной застройки, а также в районах с особыми географическими условиями – рекомендуется предварительная проработка сравниваемых вариантов на картографическом материале, при необходимости - с предварительным согласованием с заинтересованными организациями. В остальных случаях рекомендуется руководствоваться приведенными ниже данными, основанными на нормативных документах и опыте проектирования электрических сетей.

Отчуждение земли при сооружении линии электропередачи производится в виде площадок для установки опор. С учетом принятых в настоящее время конструкций ВЛ разных напряжений значения постоянного отвода земли для строительства линий характеризуются данными табл. 5.2.

Исходя из общей протяженности электрических сетей, можно оценить суммарную площадь земли по стране, изъятую для сооружения линий электропередачи 35–750 кВ, которая составляет доли процента от общей

площади сельхозугодий. Однако при выборе и согласовании трасс ВЛ возражения со стороны землепользователей базируются не на объемах отчуждения земель, а на помехах для использования сельхозугодий, создаваемых ВЛ. С этой точки зрения рекомендуется оперировать понятием охранных зон электрических сетей, которые устанавливаются вдоль ВЛ в виде земельного участка, ограниченного вертикальными плоскостями, отстоящими по обе стороны линий от крайних проводов на расстояния:

Таблица 5.2

Класс напряжения	Охранная зона	Класс напряжения	Охранная зона
до 20 кВ	10 м	150, 220 кВ	25 м
35 кВ	15 м	330, 500 кВ	30 м
110 кВ	20 м	750 кВ	40 м

С учетом этих расстояний и применяемых конструкций ВЛ охранные зоны характеризуются данными табл. 5.3.

Таблица 5.3

Ширина и площади охранной зоны

Напряжение ВЛ, кВ	Ширина охранной зоны, м	Площадь охранной зоны ВЛ, га/км
до 20	26	2,6
35	38	3,8
110	50	5,0
220	64	6,4
330	78	7,8
500	84	8,4
750	120	12,0

Входящие в охранные зоны земельные участки не изымаются у землепользователей и используются ими для проведения сельскохозяйственных и иных работ с соблюдением установленных требований. Соблюдение этих требований, практически не ограничивая сельскохозяйственное землепользование, создает определенные неудобства (ограничения в обработке земли механизмами, запрет полива сельскохозяйственных культур и др.).

При выборе трассы ВЛ в городских условиях ширина коридора для ВЛ 110 кВ составляет 20 м.

Для прохождения ВЛ по лесным массивам должны быть прорублены просеки, ширина которых регламентирована в зависимости от напряжения и назначения ВЛ, ценности лесов и высоты основного лесного массива. Для большинства ВЛ напряжением 220 кВ и ниже ширина просеки регламентируется расстоянием 3–5 м от крайнего провода при его максимальном отклонении до кроны деревьев; для ВЛ 330–500 кВ и 750 кВ, проходящих по ценным лесным массивам – аналогично (расстояние 6 м), а в остальных случаях для ВЛ 330–

750 кВ ширина просеки принимается равной расстоянию между крайними проводами плюс расстояния, равные высоте основного лесного массива с каждой стороны от крайнего провода.

5.3.2. Подстанции

Для ориентировочной оценки размера площадки, необходимой для сооружения ПС, в табл. 5.4 приводятся данные для наиболее распространенных типов ПС.

Таблица 5.4

Ориентировочные размеры площадок открытых подстанций 110-750 кВ

Сочетания напряжений, кВ	Количество и мощность трансформаторов, шт.хМВ·А	ВН		СН		Ориентировочные размеры площадки, м
		Кол-во ВЛ	Типовая схема	Кол-во ВЛ	Типовая схема	
110/10	2х16–2х40	2	110 – 4Н(5Н)	-	–	60х70
110/35/10	2х16–2х40	2	110 – 4Н(5Н)	4	35 – 9	90х100
220/110/10	2х125–2х200	2	220 – 7	10	110 – 12	150х200
330/110/10	2х125–2х200	2	330 – 7	10	110 – 12	200х250
500/220/10	2х(3х167)	4	500 – 15	10	220 – 12	300х500
750/330	2х(3х333)	4	750 – 16	6-8	330 – 17	600х700

Для закрытых ПС 110/10 кВ с двумя трансформаторами от 16 до 63 МВА и схемой на стороне ВН 110 – 4 (4Н) или 110 – 5 (5Н) размер здания следует принимать 30х30 м, а площадки - 45х50 м.

Сооружение открытых ПС в городах ограничивается стесненностью территории, уровнем шума, создаваемого трансформаторами, а также другими градостроительными требованиями.

Допустимое расстояние от открытых ПС (без проведения мероприятий по борьбе с шумом) до различных зданий и городских территорий характеризуется данными табл. 5.5 [ЭСП, Козлов-88, Файбисович].

Для закрытых ПС минимальные расстояния до жилых и коммунально-бытовых зданий по условиям шума могут приниматься равными для трансформаторов до 60 МВА – 30 м, до 125 МВА – 50 м, до 200 МВА – 70 м.

Таблица 5.5

Допустимое расстояние от открытых подстанций до зданий и территорий в городах

Мощность трансформаторов до МВА	Расстояния, м, не менее, до			
	жилых зданий, спальных корпусов детских учреждений, поликлиник	школ и других учебных заведений, гостиниц, общежитий, клубов, кинотеатров	площадок отдыха в микрорайонах	предприятий торговли, общественного питания, коммунально-бытовых
40	300	250	150	50
60	700	500	350	100
125	1000	800	600	350

В настоящее время выработаны установившиеся принципы выполнения элементов электрических сетей городов и поселков. Воздушные линии напряжением 35–110–220–330 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 кабельные линии. 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 кВ·А 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 35–110–220–330 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 деревянные опоры.

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 для замены кабелей без вскрытия дорожных покрытий предусматривают прокладку в трубах, выполняемых с помощью «проколов» под дорогой.

5.4. Подстанция 110/10 кВ закрытого типа и кабельная линия напряжением 110 кВ

5.4.1. Экологические и техногенные условия строительства закрытых подстанций кабельных линий напряжением 110 кВ и выше

Сооружение открытых подстанций в городах и на промышленных предприятиях ограничивается стесненностью территории, уровнем шума, создаваемого трансформаторами, напряженностью электрического поля от ВЛ-110 кВ и электрооборудования ПС, а также другими градостроительными требованиями. Кроме того, возникает опасность протекания токов КЗ по земле при обрывах проводов и грозозащитных тросов и при эксплуатационных КЗ в сети – возникновения напряжений прикосновения и шага.

На современном этапе, развитие электрических сетей осуществляется в условиях повышенного внимания администрации регионов и общественности к вопросам охраны окружающей среды, что осложняет выбор трасс и площадок для сооружения электросетевых объектов. Условия выбора трасс и площадок существенно влияют на принципиальную возможность осуществления и показатели намеченных вариантов схемы сети. В наиболее сложных случаях – в условиях городской и промышленной застройки, а также в районах с особыми географическими условиями – рекомендуется предварительная проработка сравниваемых вариантов на картографическом материале, при необходимости – с предварительным согласованием с заинтересованными организациями.

Отчуждение земли при сооружении линии электропередачи производится в виде площадок для установки опор (рис. 5.1). С учетом принятых в настоящее время конструкций ВЛ разных напряжений, значения постоянного отвода земли для строительства линий характеризуются шириной охранной зоны, которая устанавливается вдоль ВЛ в виде земельного участка, ограниченного вертикальными плоскостями, отстоящими по обе стороны линий от крайних проводов на расстояния:

- для ВЛ-110 кВ – 50 м;

- для ВЛ-220 кВ – 64 м.

Площадь охранной зоны – соответственно 5,0 и 6,4 га/км.

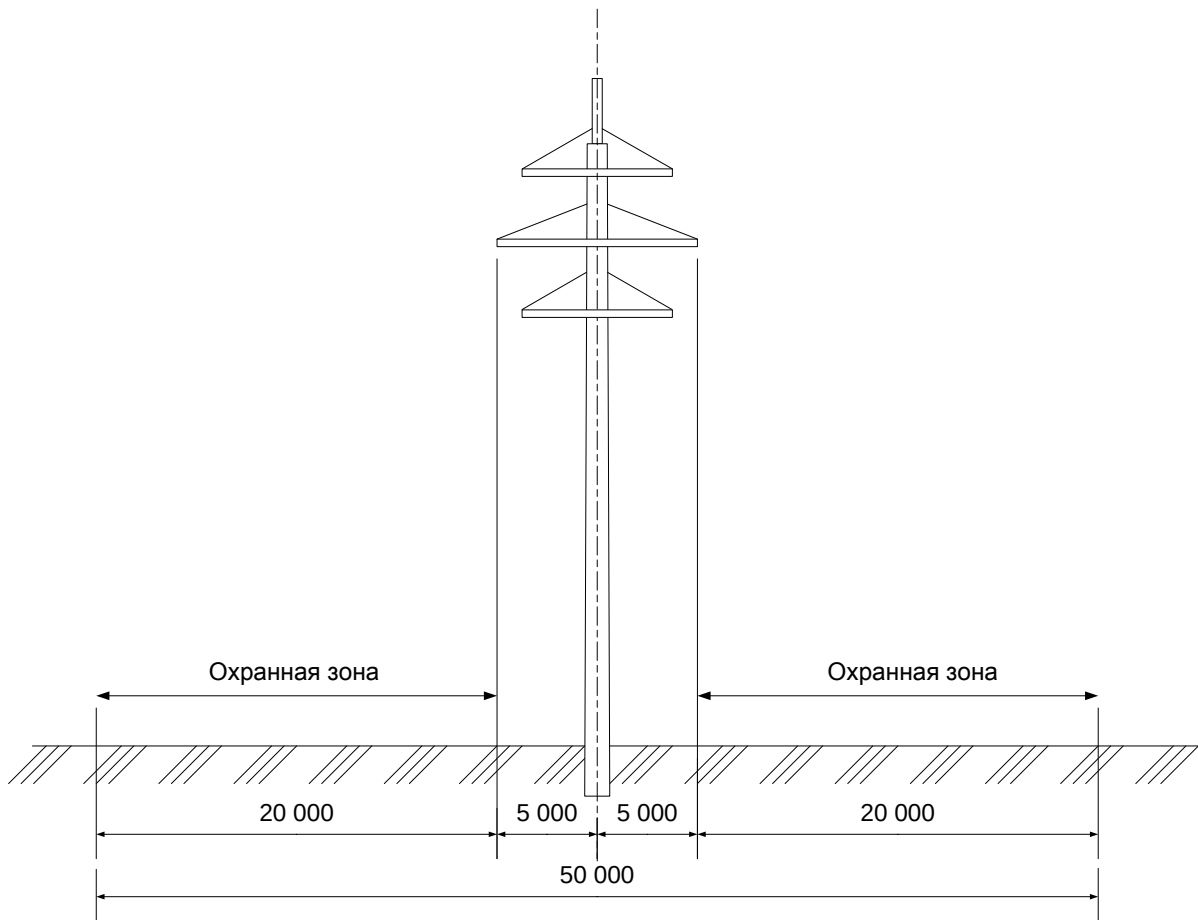


Рис. 5.1. Габариты двухцепной воздушной линии напряжением 110 кВ

Стоит также отметить, что администрация города Челябинска рекомендует не строить воздушные линии напряжением 35-110-220 кВ, предлагая заменять их на кабельные линии соответствующего напряжения.

Допустимое расстояние от жилых домов до открытых ПС с трансформаторами мощностью 40 МВА должно быть не менее 300 м, мощностью 60 МВА – 700 м.

Для закрытых ПС минимальные расстояния до жилых и коммунально-бытовых зданий по условиям шума могут приниматься равными для трансформаторов до 60 МВА – 30 м, до 125 МВА – 50 м, до 200 МВА – 70 м.

Ориентировочные размеры площади, занимаемой ПС 110/10 кВ с трансформаторами 16-40 МВА составляет 90×100 м, ПС 220/110/10 кВ – 120×150 м. При строительстве ВЛ и ПС первоначально нужно будет заплатить за отчуждаемую землю, а при эксплуатации – нести затраты на налоги на землю.

В сложившихся обстоятельствах с технической, экологической и экономической точек зрения актуально строительство закрытых ПС с питани-

ем их по кабельным линиям 110 кВ. Этому способствует и появление нового электротехнического оборудования.

5.4.2. Кабельная линия напряжение 110 кВ

Для кабельной линии 110 кВ приняты одножильные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена производства компании АББ. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена должны иметь жилы с сечением, адекватным требованиям системы по пропускной способности. Потери энергии можно сократить путем увеличения сечения жил. Потери под нагрузкой в основном составляют омические потери в проводнике и металлическом экране. Непрерывная нагрузка на кабели с СПЭ-изоляцией может прилагаться вплоть до температуры проводника 90°C. Однако лучше ограничить рабочую температуру примерно 65°C, чтобы иметь запас по нагрузке, уменьшить потери и избежать возможной термической нестабильности вследствие высушивания прилегающей почвы. Для проектируемой подстанции принимается кабель с алюминиевой жилой сечением 185 мм² ($I_{\text{доп } 65^{\circ}\text{C}} = 320 \text{ А}$, $I_{\text{доп } 90^{\circ}\text{C}} = 440 \text{ А}$), что соответствует пропускной способности провода АС-95/16 ($I_{\text{доп}} = 330 \text{ А}$).

Каждая цепь двухцепной кабельной линии напряжением 110 кВ (рис. 5.2) прокладывается в отдельных железобетонных лотках Л-4-8/2 (2970×780×530 мм) и закрываются железобетонными плитами перекрытия лотков П-5д-8 (780×740×70 мм). Обе цепи укладываются в общий железобетонный лоток Л-15-8/2 (2970×1840×720 мм) закрытый плитами перекрытия П-15д-8 (1840×740×120 мм).

Ширина двухцепной линии с охранными зонами составляет меньше 4-х метров (рис. 5.3) по сравнению 50-ю метрами, которые занимает двухцепная ВЛ-110 кВ, т. е. ширина полосы, занимаемая КЛ-110 кВ уменьшается в 13 раз. Экономически это означает, что снижаются затраты на покупку земли под строительство КЛ, а также ежегодные платежи за используемую землю.

Основные достоинства кабелей со СПЭ-изоляцией:

- изготавливаются на напряжение до 500 кВ;
- срок службы кабелей составляет не менее 30 лет;
- пропускная способность в зависимости от условий прокладки на 15-30 % выше, чем у кабелей с бумажной или маслonaполненной изоляцией, т.к. кабели со СПЭ-изоляцией рассчитаны на длительную работу при температуре жилы 90 °С, а их бумажно-масляные аналоги допускают нагрев до 70 °С;
- отвечают экологическим требованиям;
- прокладка и монтаж меньше зависят от погоды и могут проводиться даже при температуре -20 °С;
- значительно дешевле и проще становятся обслуживание и ремонт при механических повреждениях, существенно легче выполняются прокладка и монтаж соединительных муфт и концевых заделок в полевых условиях.

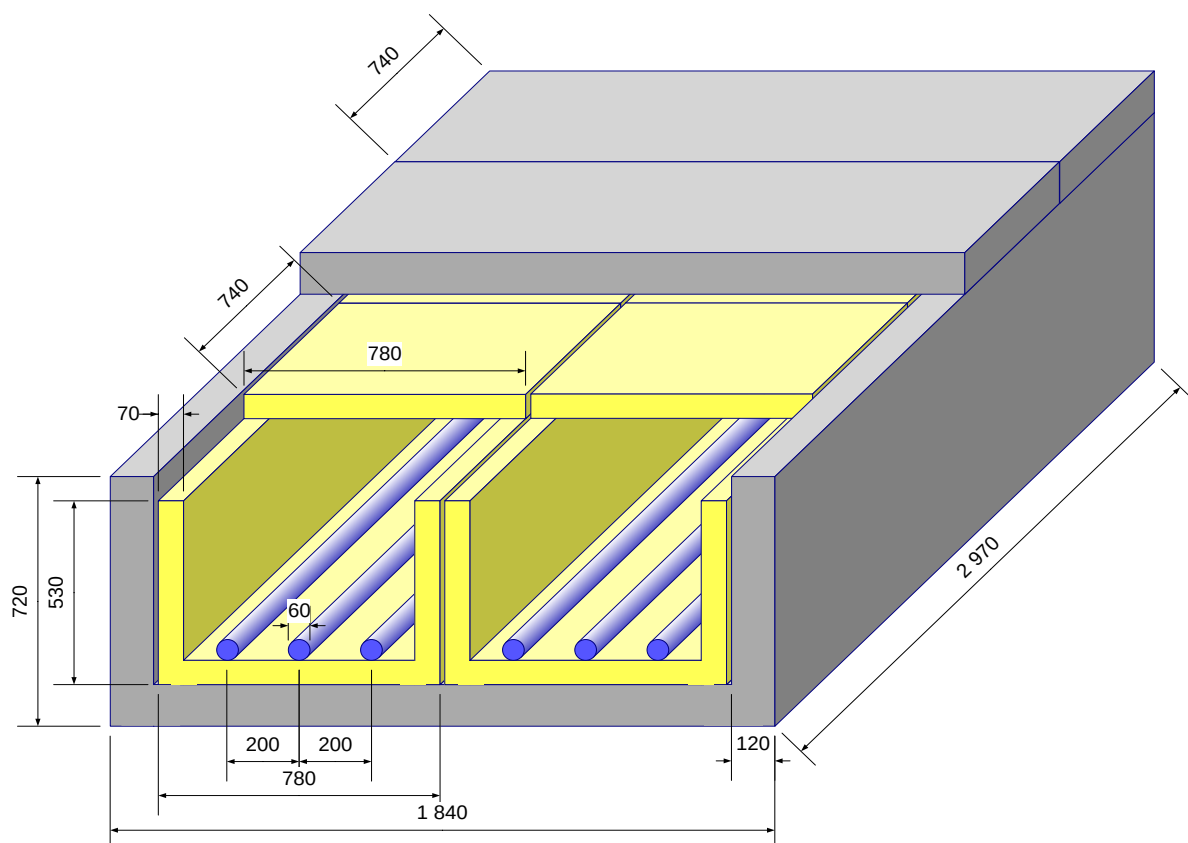


Рис. 5.2. Прокладка двухцепной кабельной линии
в железобетонных лотках

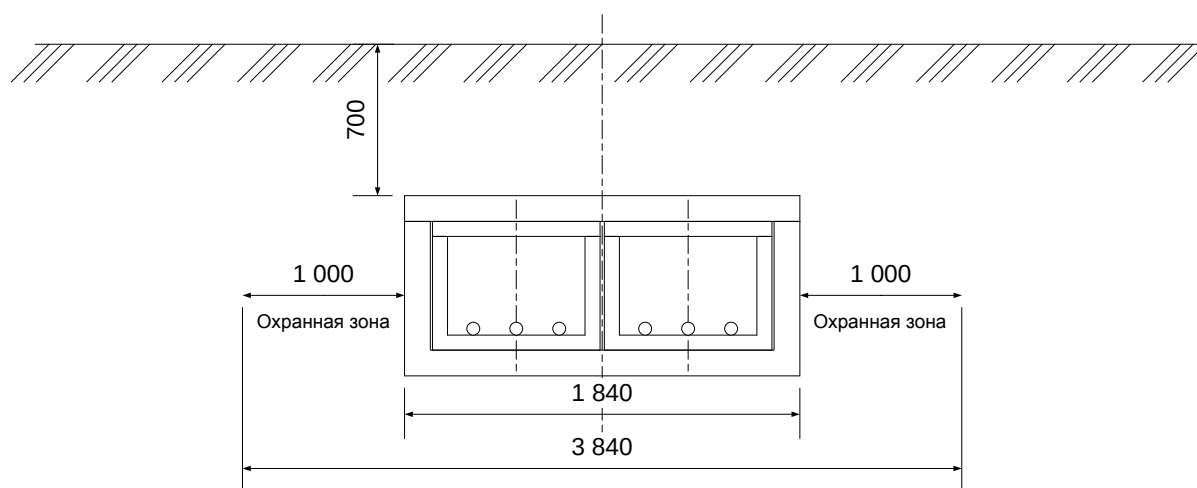


Рис. 5.3. Габариты двухцепной кабельной линии напряжением 110 кВ

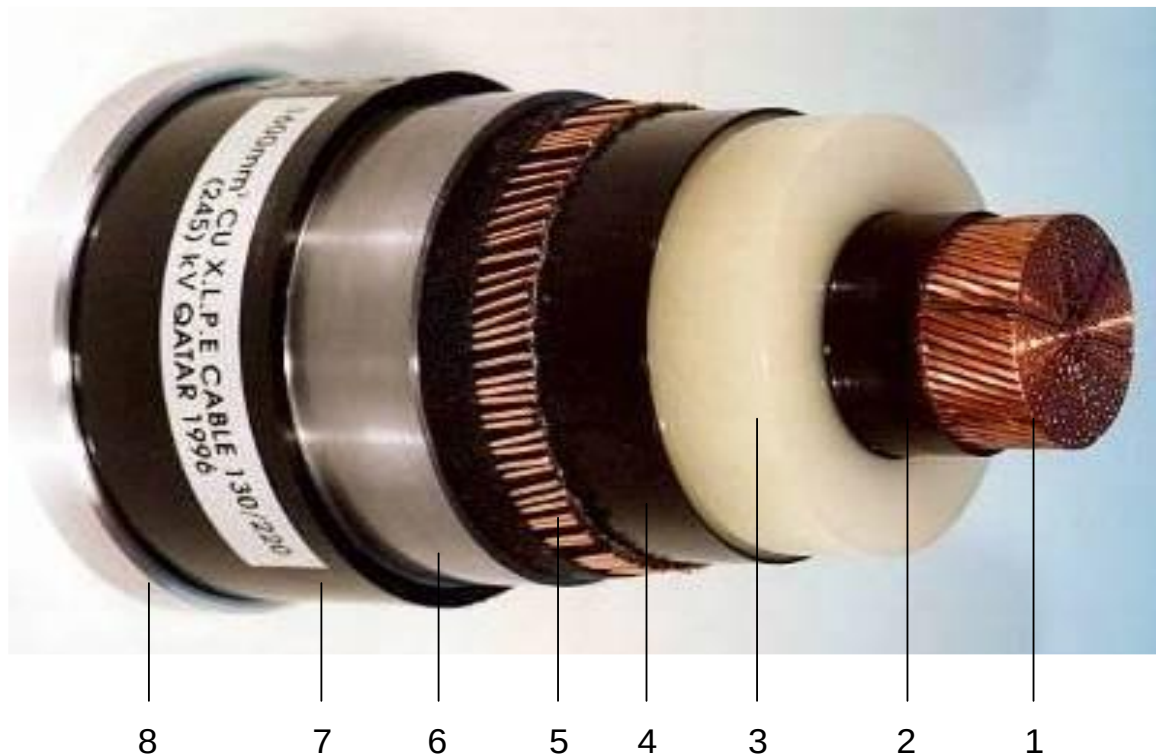
Конструкция кабелей с СПЭ-изоляцией представлена на рис. 5.4.

Одно- и трехжильные кабели с изоляцией из СПЭ включают в себя следующие элементы:

1 – Жилы:

– Медные или алюминиевые скрученные уплотненные жилы.

- Медные секторные жилы.
- Медные или алюминиевые профильные жилы.
- Продольная герметизация жилы.



Обозначение: 1 – круглая медная многопроволочная жила;
 2 – полупроводящий слой по жиле; 3 – изоляция из сшитого полиэтилена;
 4 – полупроводящий слой изоляции; 5 – экран из медных проволок;
 6 – алюминиевый экран; 7 – неметаллическая наружная оболочка; 8 – броня

Рис. 5.4. Кабель 110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена

2 – Полупроводящий слой по жиле.

Полупроводящий слой по жиле плотно связан с СПЭ-изоляцией путем экструзии. Для получения хороших электрических характеристик используется гладкий материал.

3 – Изоляция из сшитого полиэтилена

Изоляция из сшитого полиэтилена накладывается одновременно с полупроводящим слоем по жиле и по изоляции методом тройной экструзии. Прилегающие поверхности между изоляцией и полупроводящими слоями не подвергаются внешнему воздействию ни на одной стадии изготовления. Высококачественные системы переработки материалов, тройная экструзия, сухой метод полимеризации и сверхчистые материалы для сшиваемого полиэтилена обеспечивают высокое качество изделий. Толщина изоляции определяется конструктивными электростатическими напряжениями переменного тока и импульсными напряжениями.

4 – Полупроводящий слой по изоляции

Полупроводящий слой по изоляции плотно связанного с СПЭ-изоляцией путем экструзии. Материал полупроводящего слоя обладает высокой проводимостью. Для получения хороших электрических характеристик используется гладкий материал.

5 – Экран из медных проволок

Экран из медной проволоки покрыт полимерной оболочкой.

6 – Алюминиевый экран

7 – Неметаллическая наружная оболочка

– полиэтилен

– ПВХ пластикат

– Безгалогенный материал, не распространяющий горение

– Токопроводящий слой, экструдированный поверх оболочки для её специальной проверки.

Чаще всего выбор падает на полиэтилен. ПВХ применяется, если существуют повышенные требования по нераспространению горения.

8 – Броня

– Однопроволочная броня.

– Двухпроволочная броня.

5.4.3. Закрытая подстанция напряжением 110/10 кВ

Распределительное устройство 110 кВ ПС выполнено из трехфазных элегазовых модулей Power^{IT} ЕХК-0 производства фирмы АББ (рис. 5.5), которые включают выключатели, разъединители-заземлители, измерительные трансформаторы, вспомогательные модули и т.д.

На рис.5.6 приведены технические характеристики ячеек. Размеры модулей: ширина – 800 или 1000 мм; высота – 2370 мм; глубина – 3300 мм.

Все трехфазные модули соединяются друг с другом с помощью тщательно обработанных фланцевых соединений. Фланцы всех модулей имеют одинаковые размеры, что позволяет свободно соединять между собой любые компоненты. Это упрощает процессы проектирования и планирования подстанции. В элегазовой подстанции Power^{IT} можно реализовать все базовые схемы, используемые в конструкциях классических подстанций.

С помощью стандартных модулей можно создавать подстанции с одинарной или двойной системой шин, с обходными шинами, а также с разъединителями и шинными перемычками (рис. 5.7, 5.8, 5.9).

На рис. 5.8 видно, что слева внизу размещается 1-ая секция сборных шин (3 ячейки), справа выше 2-ая секция сборных шин (3 ячейки). Между секциями сборных шин располагается ячейка секционного выключателя.

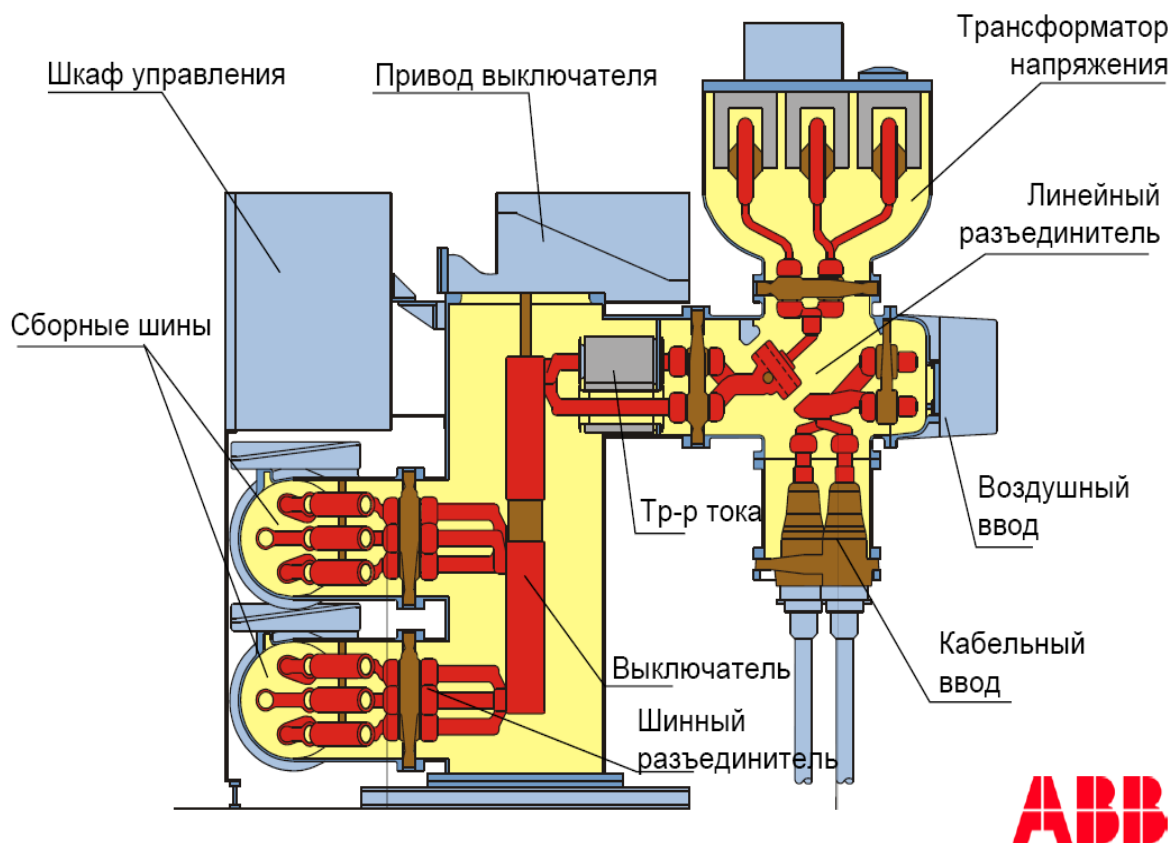
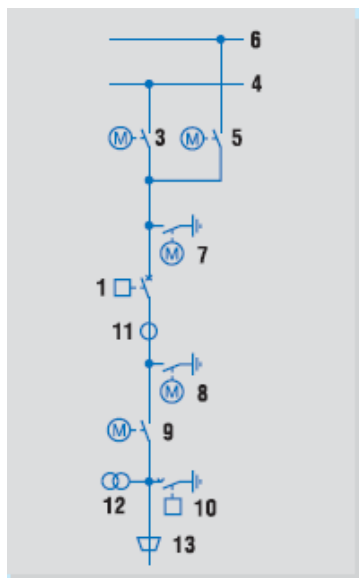


Рис. 5.5. КРУЭ типа EXK-01

ЯЧЕЙКА КРУЭ АБВ EXK-01

Обозначение :

- 1 – элегазовый выключатель;
- 3, 5, 9 – разъединители;
- 4 – система шин 1;
- 6 – система шин 2;
- 7, 8, 10 – заземляющие ножи;
- 11 – трансформатор тока;;
- 12 – трансформатор напряжения;
- 13 – кабельный или шинный ввод/вывод



Технические данные:

- номинальное напряжение 123 кВ;
- номинальный ток 800-2500 А;
- номинальный ток динамической стойкости 82 кА;
- номинальный ток термической стойкости 31,5 кА;
- минимальное давление газа (как дугогасительной среды) 520 кПа (~ 5,2 атм)
- минимальное давление газа (как изолирующей среды) 600 кПа (~ 6 атм)

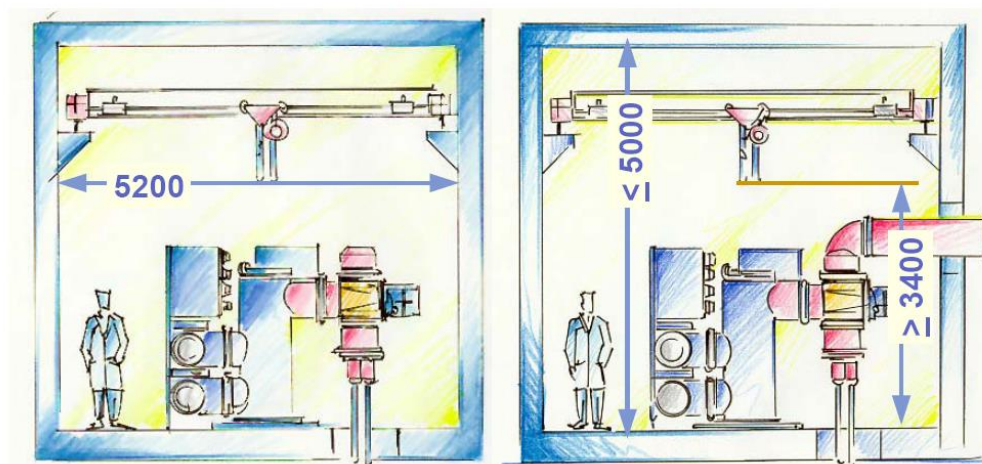
Размеры ячейки:

- ширина 1000 мм;
- высота 2370 мм;
- глубина 3300 мм

Рис. 5.6. Ячейка КРУЭ АБВ EXK-01

КРУЭ типа ЕХК-01 примеры исполнения

Двойная система шин



Ячейки: ширина 1000 (800)
высота 2370
глубина 3300



Рис. 5.7. КРУЭ типа ЕХК-01. Модульная система



Рис. 5.8. Внешний вид ЗРУ-110 кВ фирмы SIEMENS с использованием элегазовых ячеек КРУЭ



Рис. 5.9. КРУЭ типа EXK-01. Модульная система

Разработанная схема ЗРУ-110 кВ (рис. 5.10) позволяет осуществить питание ПС от четырех кабельных линий, т.е. ПС может иметь связи, по крайней мере, с двумя питающими центрами.

Размер помещения, в котором располагается ЗРУ-110 кВ, составляет 6×12 м.

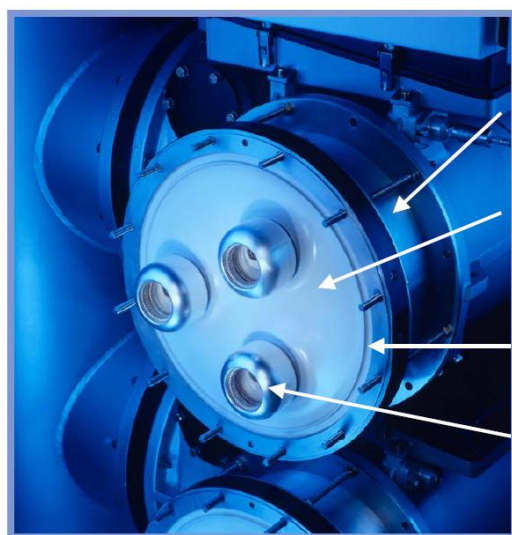
Характерные особенности и преимущества элегазовых подстанций Power^{IT} ЕХК-0 в трехфазном исполнении это:

- компактная конструкция;
- высокий коэффициент готовности;
- низкий уровень требований к техническому обслуживанию и ремонту;
- короткие сроки поставки и ввода в эксплуатацию;
- сборка из унифицированных модулей.

5.4.4. Конструктивное исполнение отдельных элементов элегазовых модулей

Секционный шинопровод (рис. 5.11). Шины состоят из сборных компонентов, длина которых соответствует ширине ячейки (800 или 1000 мм). Наличие в каждом отсеке газоизоляционных перегородок позволяет отказаться от требующих больших затрат времени процедур заполнения газом и отвода газа из больших объемов. Использование телескопических поперечных сборочных элементов дает возможность упростить выполнение задач по сборке на месте эксплуатации, а также по расширению или модернизации установки.

ЕХК-01 Присоединения шин



Телескопическая труба (поперечный монтажный модуль)

Барьерный изолятор

Уплотнительные кольца - паз

Контактная система

ABB

Рис. 5.11. Присоединение шин

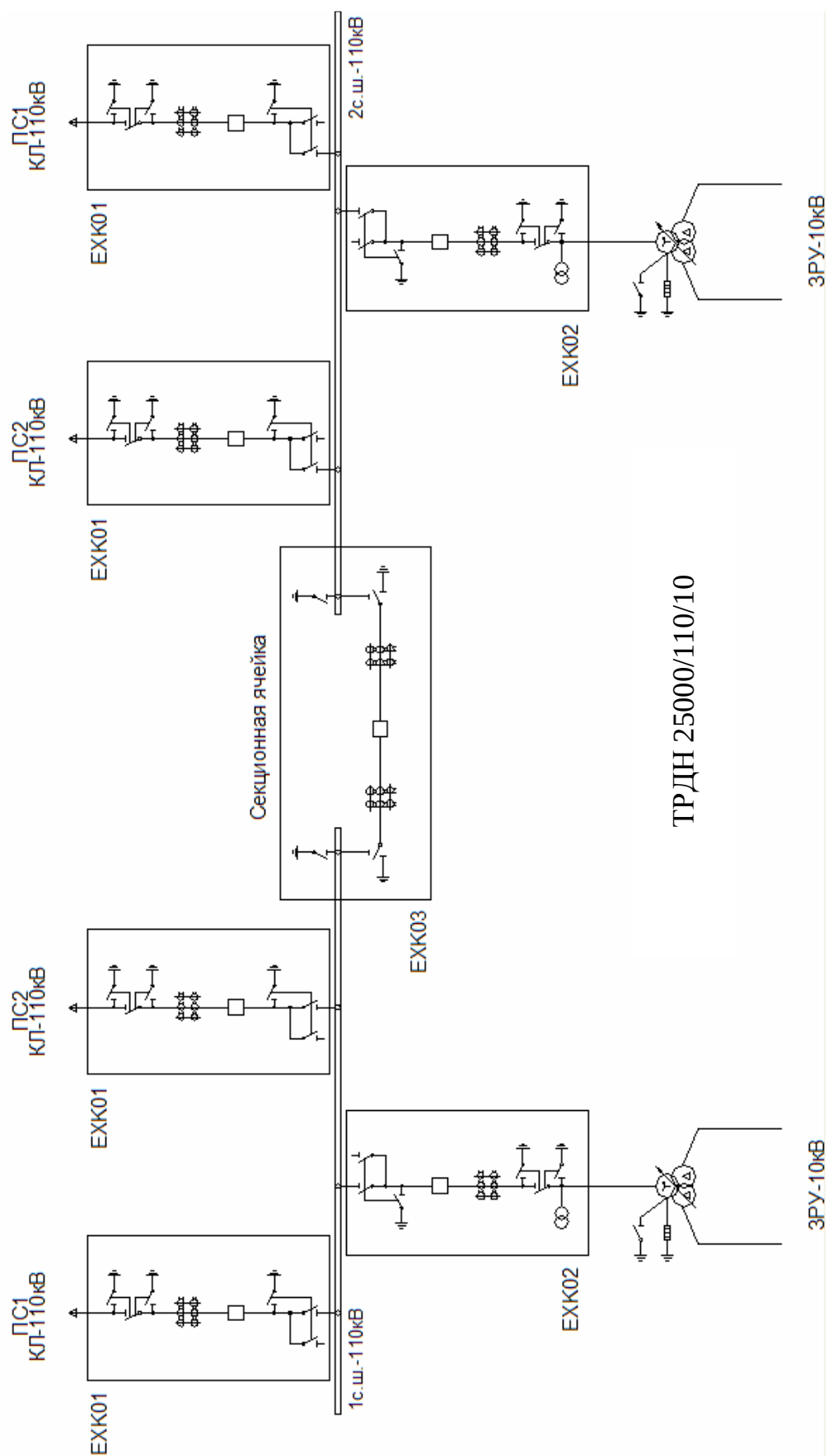


Рисунок 11.1 – Схема ЗРУ 110 кВ

Рис. 5.10. Схема ЗРУ-110 кВ

Фазные шины в каждом отсеке крепятся к газонепроницаемым изоляционным перегородкам, а перегородки, в свою очередь, соединяются с телескопическими поперечными сборочными элементами. Для соединения шин используются разъемные штекерные соединители в поперечных сборочных элементах. Это обеспечивает необходимую гибкость для компенсации изменения длины проводов под действием температуры. Таким образом, полностью исключается возможность механической нагрузки изоляторов вследствие разницы в температуре отдельных проводов. Неотъемлемой частью каждого шинного модуля является комбинированный разъединитель-заземлитель. Привод разъединителя, помимо понижающего редуктора, включает также стопорное устройство с электрической блокировкой для обоих механизмов. Реечная передача преобразует вращательное движение изолирующих валов в осевое перемещение контактов. Указатели положения и вспомогательные переключатели имеют жесткое соединение с приводом. Поскольку их переключение происходит непосредственно перед тем, как контакты достигают конечного положения, всегда гарантируется точная индикация положения контактов. Также возможно ручное управление комбинированным разъединителем-заземлителем с помощью рукоятки.

Выключатель с трансформатором тока. Выключатель (рис. 5.12) имеет два или три соединительных фланца, положение и форма которых определяются схемой станции. Поскольку все остальные модули могут соединяться напрямую, при надлежащем планировании проекта можно создавать очень компактные и, следовательно, недорогие станции.

Выключатель имеет одну ступень давления, работает по принципу автодутья с одним разрывом на полюс и поэтому не требует больших затрат времени на техническое обслуживание. Дугогасительная камера (рис. 5.12), используемая в данном выключателе, аналогична камерам выключателей наружной установки, которые проходят испытания в самых суровых условиях. Такая дугогасительная камера характеризуется последовательным размыканием главных и дугогасительных контактов. Использование долговечных дугогасительных контактов и отсутствие износа главных контактов позволяют проводить проверки и техническое обслуживание гораздо реже, а в большинстве случаев вообще отказаться от них. Поршень автопневматического выключателя, соединенный с контактным соплом, создает поток элегаза, необходимый для гашения дуги во время движения на отключение. В отличие от обычного пневматического выключателя, автопневматический выключатель имеет две камеры.

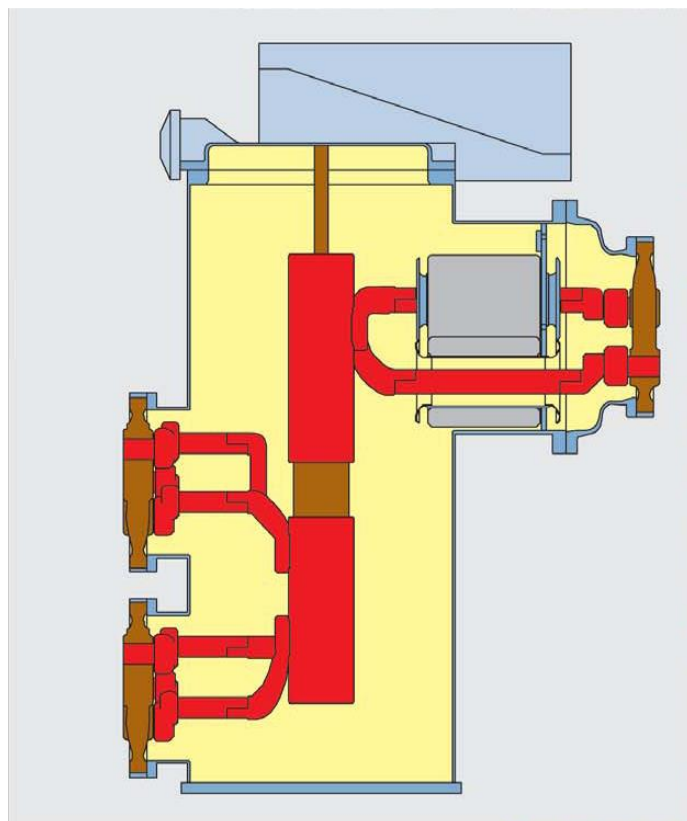


Рис. 5.12. Элегазовый выключатель с трансформатором тока

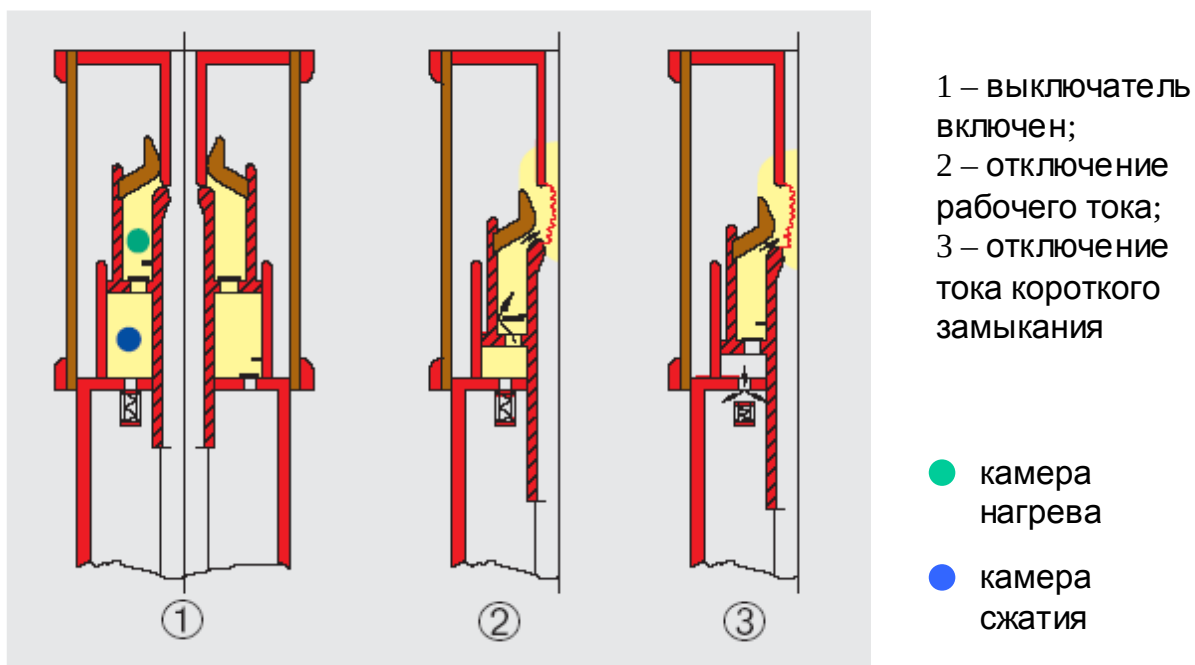


Рис. 5.13. Элегазовый выключатель 110 кВ

Камеры отделяются друг от друга с помощью свободно подвижного клапана-заслонки. В камере сжатия происходит сжатие элегаза во время движения контакта на отключение. Газ гасит дугу рабочего тока, а также слабый ток короткого замыкания. Камера сжатия и геометрия контактов оптимизированы для обеспечения защиты от небольших перенапряжений и мягкого гашения дуги. В камере нагрева происходит нагрев элегаза за счет энергии дуги короткого замыкания. Создаваемое при этом давление используется для отключения токов короткого замыкания вплоть до номинального тока отключения. Таким образом, энергия, необходимая для отключения тока короткого замыкания, не создается приводом, и привод (гидропружинный) может быть исключительно простым и надежным. Большинство коммутационных операций выполняется при токах нагрузки, они выполняются с приложением меньшей механической нагрузки со стороны камеры сжатия. Соответственно, меньше реактивные силы и меньше износ.

Трансформаторы тока и напряжения. Для измерения и защиты используются индуктивные однофазные трансформаторы тока и напряжения (рис. 5.14). Роль первичной изоляции для трансформаторов обоих типов играет элегаз. Данные трансформаторы характеризуются безопасностью в работе, поскольку этот изоляционный материал не подвержен старению. Фидерные трансформаторы тока располагаются в соединительном фланце выключателя. Имеющийся объем сердечника дает возможность установки до четырех сердечников. Используемый трансформатор тока разработан как низковольтный трансформатор. Имеющиеся коэффициенты трансформации, классы точности, выходная мощность вторичных обмоток и т. д. соответствуют обычным требованиям к современным устройствам для измерения и защиты. Трансформаторы напряжения имеют так называемую пленочную элегазовую изоляцию. В устройствах данного типа отдельные слои обмотки изолированы друг от друга с помощью пластиковой пленки, а промежуточные пространства заполнены элегазом по специальной технологии. На вторичной стороне трансформатора напряжения имеются две измерительные обмотки и одна обмотка, соединенная в разомкнутый треугольник, для обнаружения замыкания на землю.

Отсек с комбинированным разъединителем-заземлителем. Линейный разъединитель находится в модуле, имеющем форму креста (рис. 5.15). Линейный разъединитель состоит из тех же активных элементов, что и шинный разъединитель. Подвижный контакт разъединителя может занимать три положения: при повороте по часовой стрелке замыкается основная силовая цепь; в среднем положении силовая цепь разорвана; при повороте против часовой стрелки подвижный контакт соединяется с заземлителем, обеспечивая защитное заземление ячейки распределительного устройства.

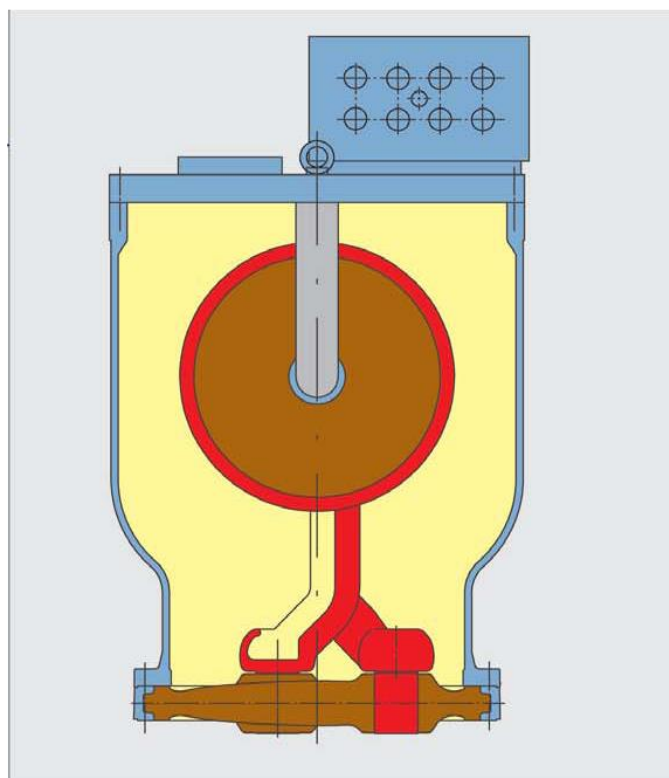


Рис. 5.14. Трансформатор напряжения

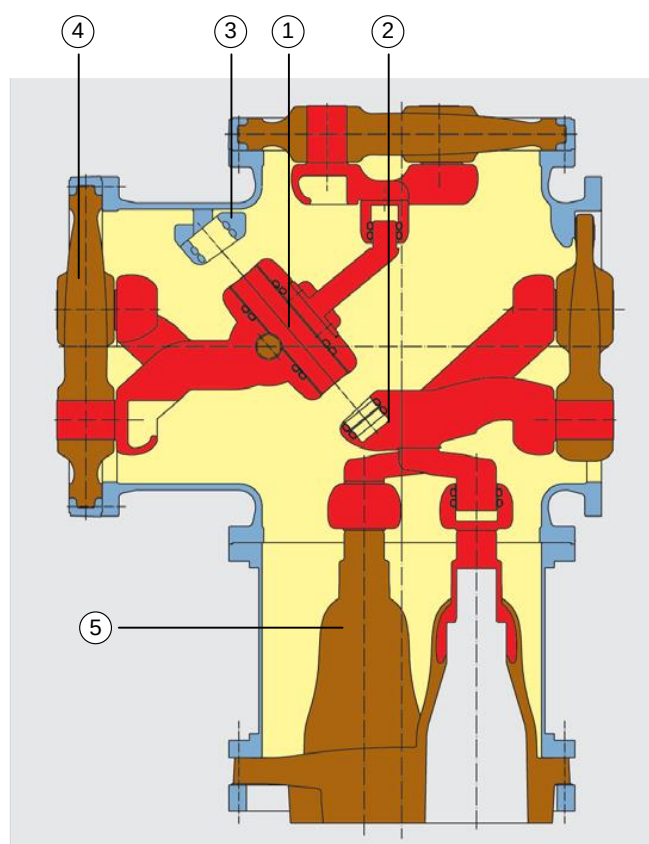


Рис. 5.15. Линейный разъединитель с концевым уплотнением кабелей:
1 – контактный штырь; 2 – контакт разъединителя; 3 – контакт
заземлителя; 4 – барьерный изолятор; 5 – штекерное кабельное соединение

Концевое уплотнение кабелей. С помощью концевого уплотнения кабелей (рис. 5.16) можно соединять кабели любого вида. Для кабелей с СПЭ-изоляцией из (облученного полиолефина сетчатой структуры), предусмотрено концевое уплотнение с малой установочной длиной и сухой твердой изоляцией. Основными элементами съемных концевых уплотнений являются съемные штекерные соединения из эпоксидной смолы и кабельные соединители с изготовленными на заводе наконечниками для защиты от механического напряжения из силиконовой резины. Преимущество использования данных компонентов заключается в последовательном разделении оборудования подстанции и кабельных систем.



Рис. 5.16. Газонепроницаемое компактное концевое уплотнение кабеля

Вспомогательные модули. С КРУЭ ЕХК-0 возможна реализация всех типовых для распределительных устройств электрических схем. Для соединения используемого оборудования в зависимости от схемы станции могут требоваться различные соединительные модули. Основными такими модулями являются следующие (рис. 5.17):

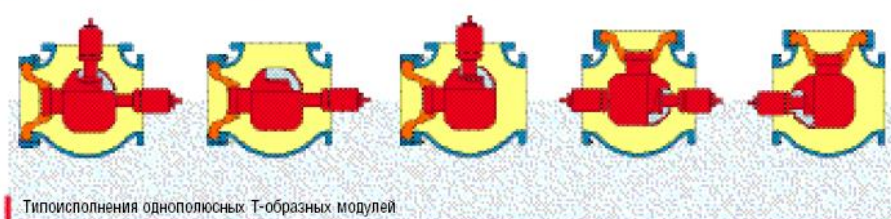
- соединительные трубы;
- угловые секции;
- Т-образные секции.

Модуль ответвления



Т-образный модуль

Т-образные модули применяются в качестве разветвительных модулей или для установки ОПН. Они поставляются в различных типоразмерах, однако принципиально имеют идентичную конструкцию.



Угловой модуль

Угловые модули применяются для разветвления ошиновки на отходящих линиях. Поставляются модули с углами 30°, 45°, 60° и 90°.

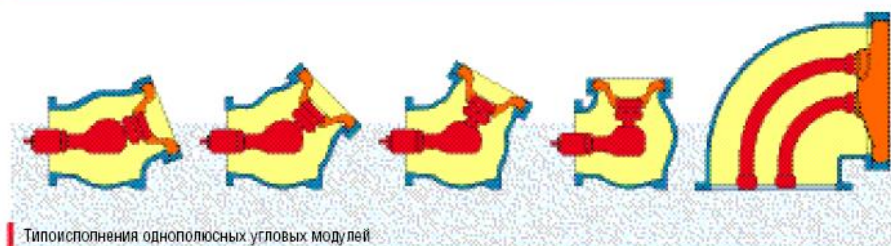


Рис. 5.17. Виды соединительных модулей

Все эти компоненты оснащены опорными или барьерными изоляторами. Для монтажа электрических соединений используются втычные соединители и соединители типа «тюльпан». Иногда для соединения секций станции используются поперечные сборочные элементы, которые позволяют упростить модернизацию, расширение и ремонт станции в будущем.

Далее приведены варианты исполнения типовых ячеек:

- рис. 5.18 – ячейка присоединения к силовому трансформатору с помощью элегазового токопровода;
- рис. 5.19 – секционная ячейка;
- рис. 5.20 – ячейка кабельного ввода или отходящих линий;
- рис. 5.21 – ячейка воздушного ввода.

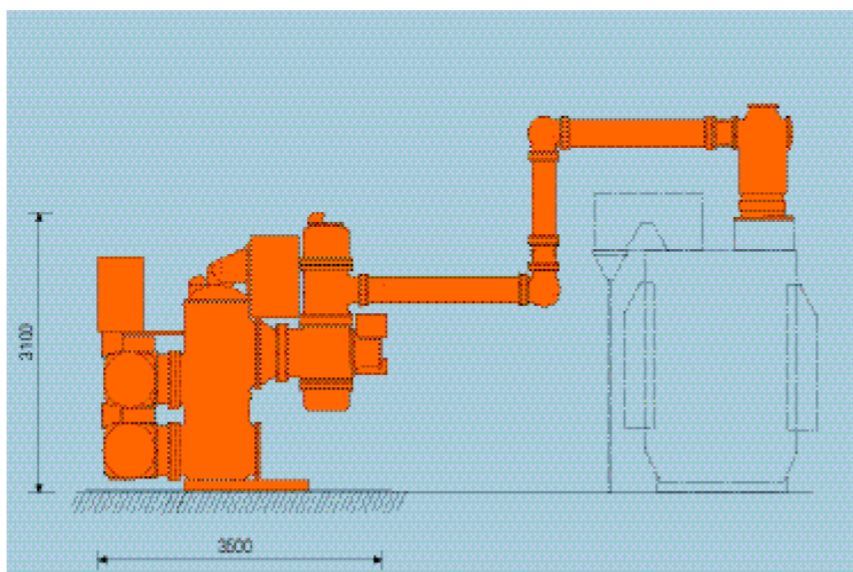


Рис. 5.18. Трансформаторная ячейка

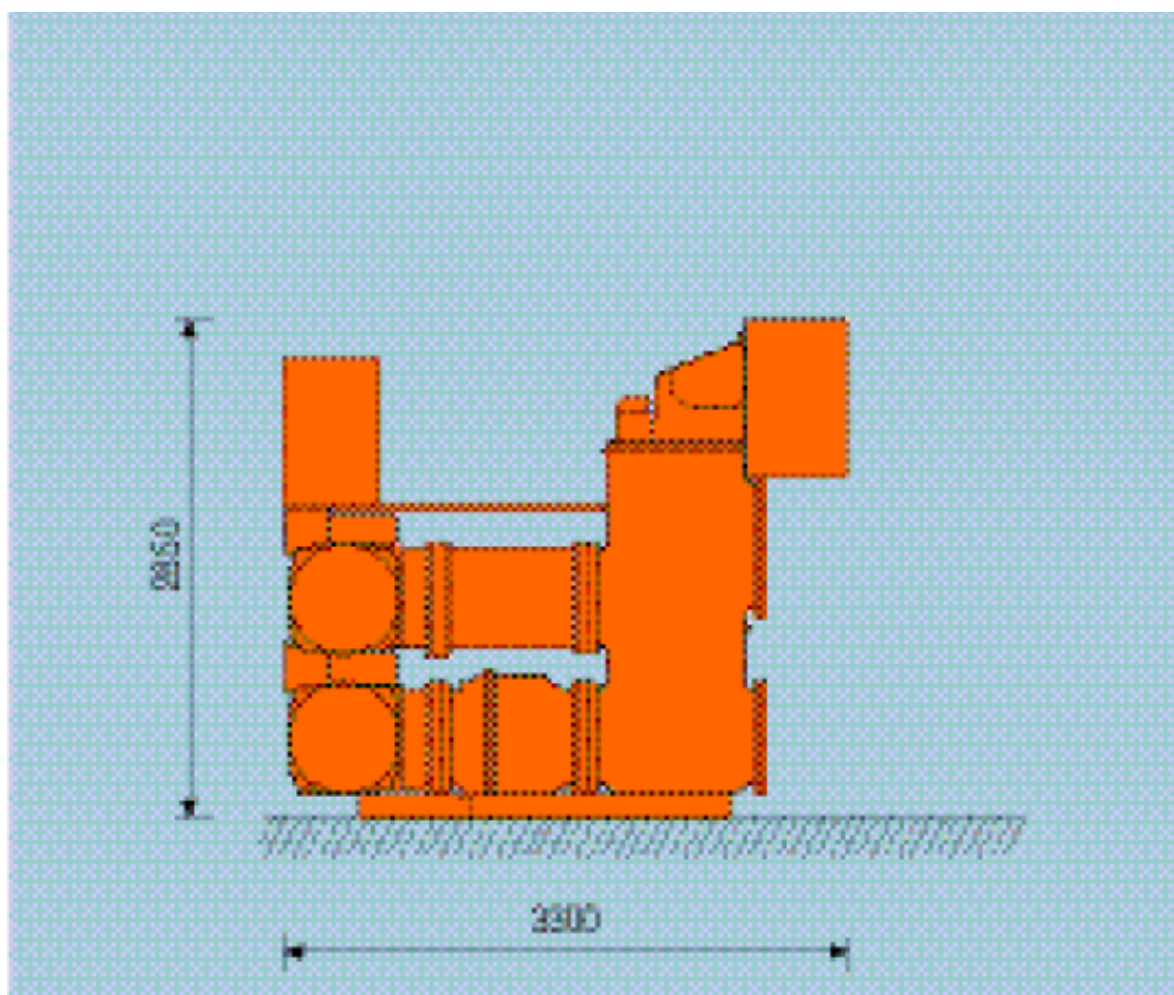


Рис. 5.19. Секционная ячейка

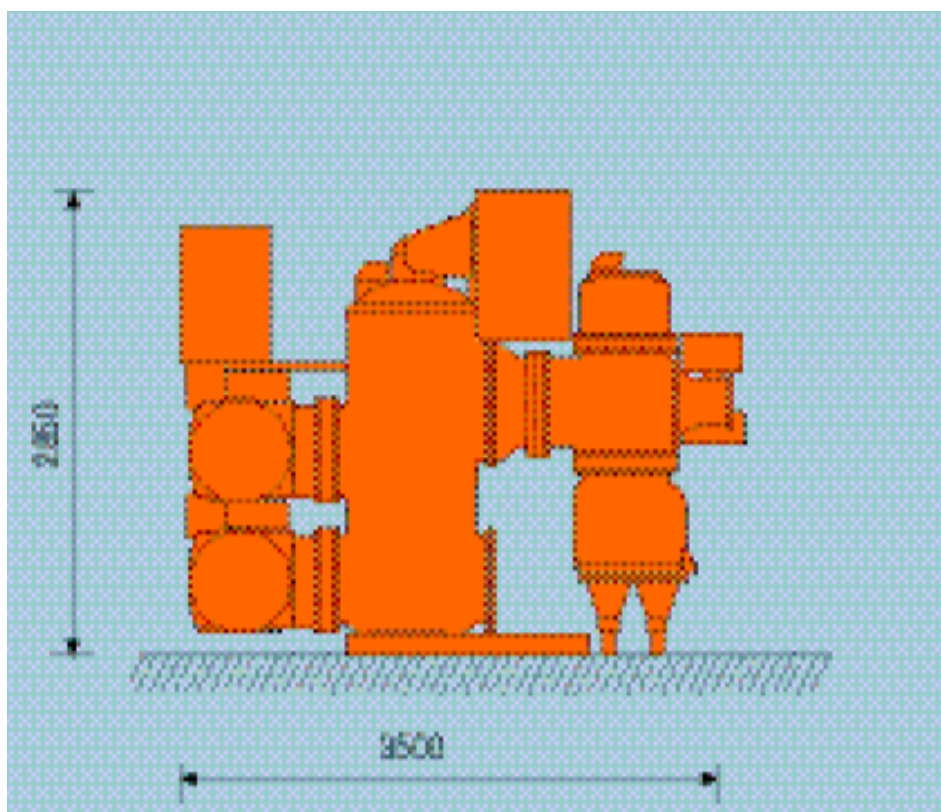


Рис. 5.20. Ячейка кабельного ввода

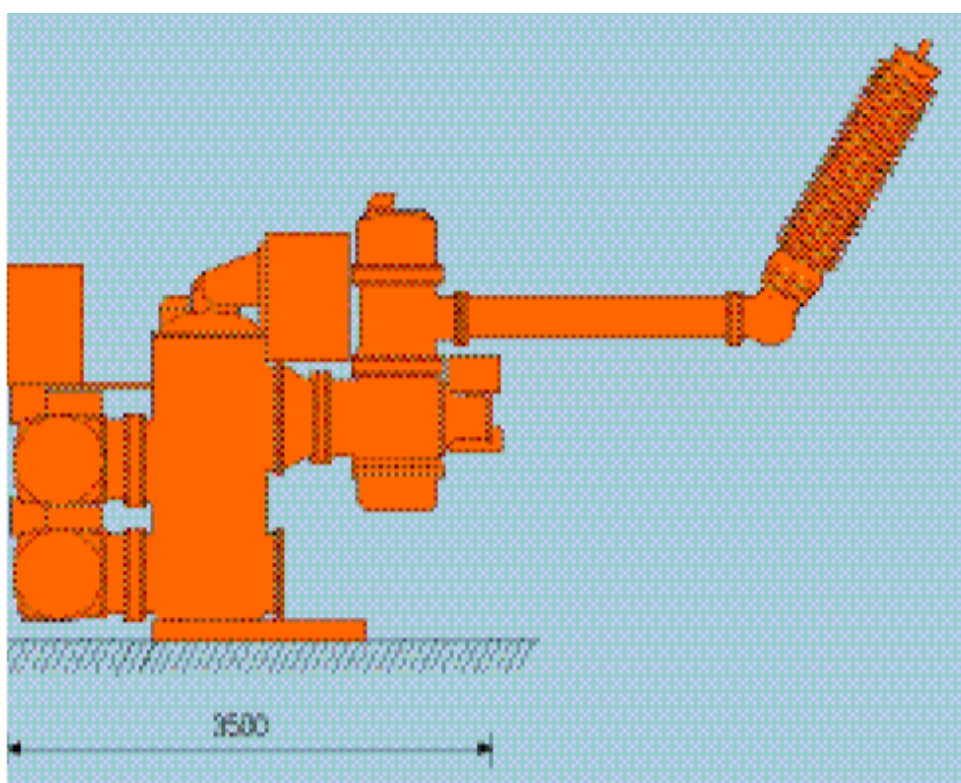


Рис. 5.21. Ячейка воздушного ввода

5.4.5. Строительная часть подстанции

Подстанция размещается в двухэтажном здании (рис. 5.22). Размеры подстанции составляют: по ширине 48 м, по глубине 21 м, высота каждого этажа составляет 6 м. Также имеется цокольное помещение, высотой 3 м, которое используется для подвода питающего кабеля.

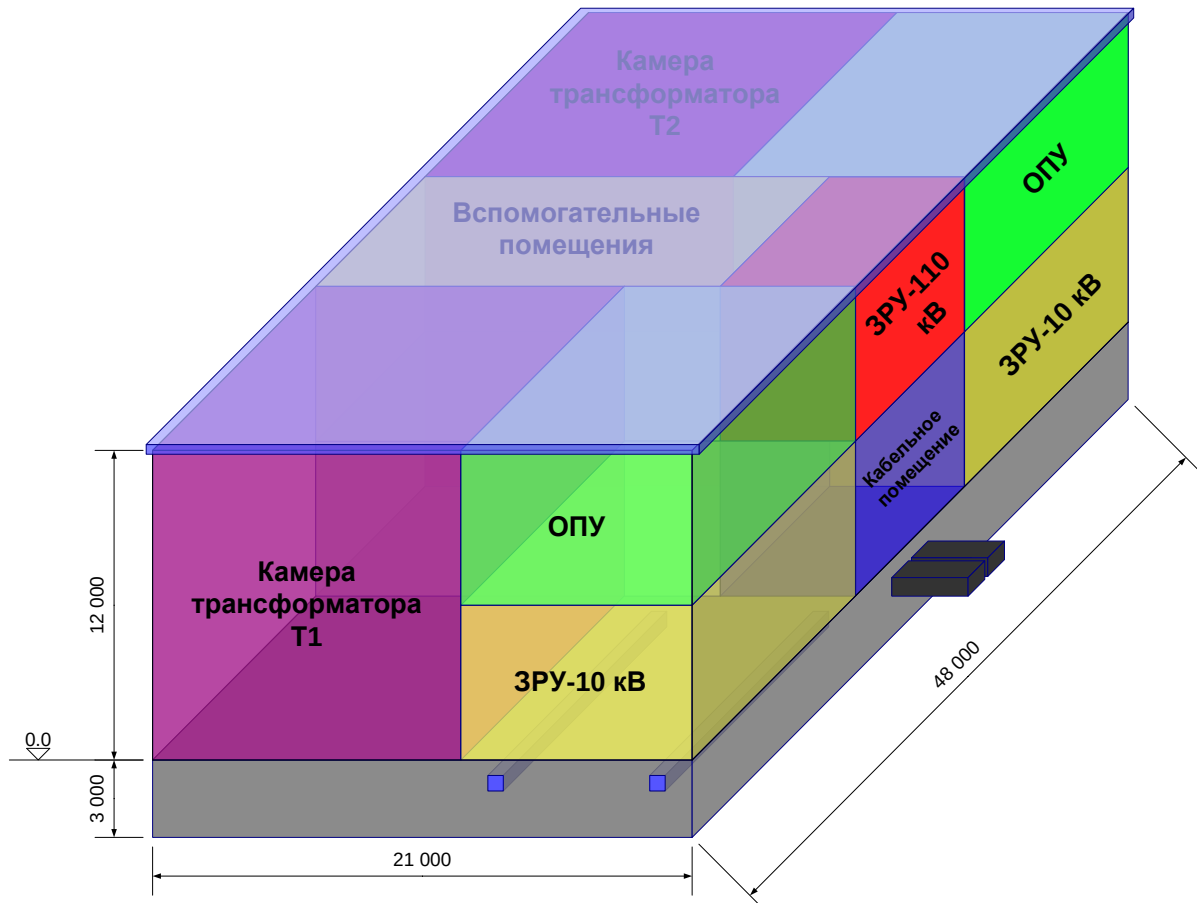


Рис. 5.22. Общий вид здания подстанции 110/10 кВ

Кабельные линии 110 кВ подходят к ПС в земле, в лотках. Через кабельное помещение, расположенное на первом этаже, поднимаются на второй этаж в ЗРУ-110 кВ и подключаются к линейному модулю ЕХК-0. В помещении ЗРУ-110 кВ устанавливаются 7 модулей, позволяющих производить секционирование и подключение силовых трансформаторов. Трансформаторы расположены в закрытых камерах, занимающих по высоте два этажа. Помещение позволяет устанавливать силовые трансформаторы мощностью до 63 МВА. ЗРУ-110 кВ соединяется с силовыми трансформаторами с помощью закрытого элегазового токопровода 110 кВ в трехфазном исполнении. Диаметр этого токопровода 70 см. Токопровод проложен под потолком и через помещения РЗ выходит в камеры силовых трансформаторов (рис. 5.23).

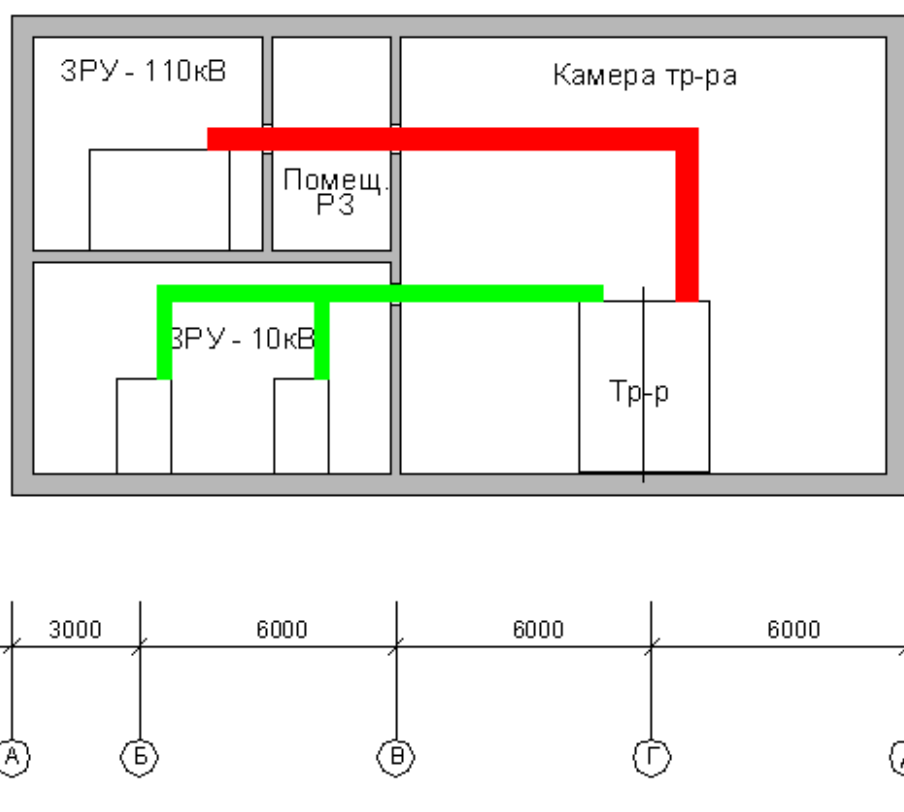
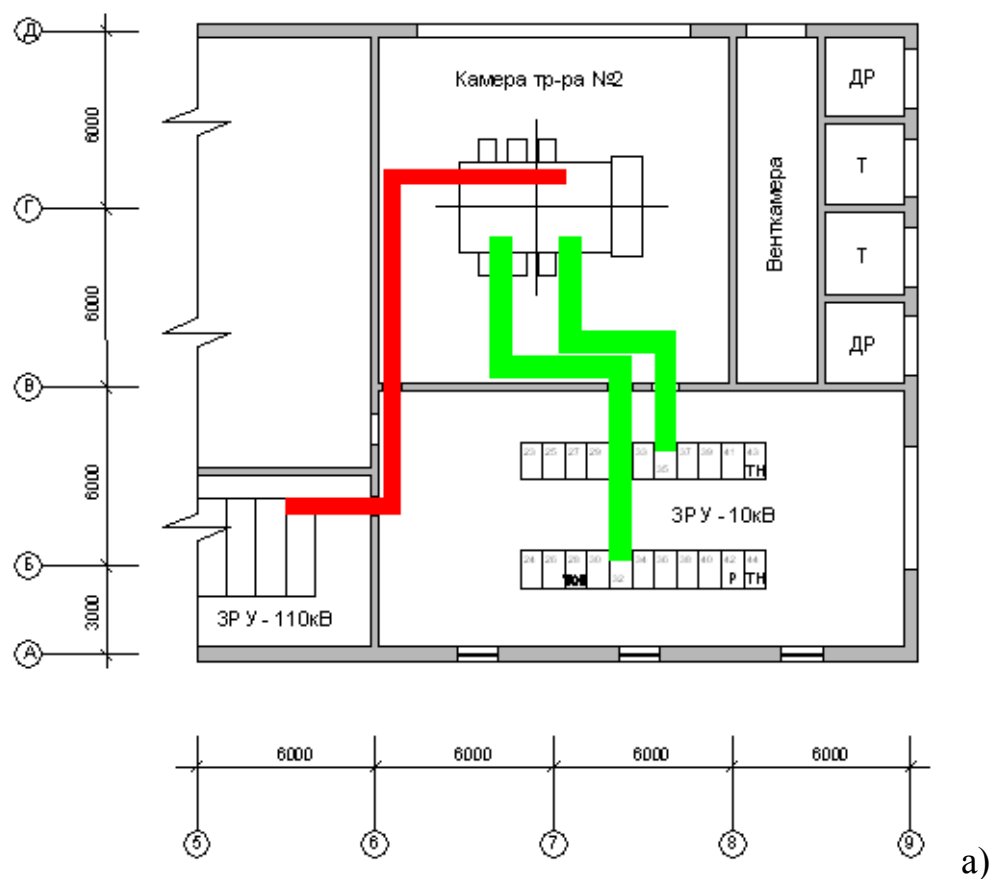


Рис. 5.23. Вид сверху (а) и сбоку (б) на оборудование и токопроводы напряжением 110 и 10 кВ

На 1-м этаже (рис. 5.24) находятся два помещения со ЗРУ-10 кВ, в каждом из которых может устанавливаться до 44 ячеек типа К-63. Силовые трансформаторы со ЗРУ-10 кВ соединяются отечественным стандартным токопроводом. На каждой секции шин установлены ТН, располагающиеся в ячейках. ТСН мощностью по 40 кВА расположены в ячейках ЗРУ-10 кВ.

Рядом с камерами силовых трансформаторов располагаются камеры с 4-мя дугогасящими реакторами и с 4-мя трансформаторами для подключения реакторов к сети.

В одном помещении ЗРУ-10 кВ расположены 1-я и 3-я секции сборных шин, питающиеся от первого трансформатора, во втором помещении ЗРУ-10кВ расположены 2-я и 4-я секции сборных шин, питающиеся от второго трансформатора. Секционирование 1 и 2, 3 и 4 секций шин, расположенных в разных помещениях, осуществляется с помощью кабельных перемычек и соответствующих коммутационных аппаратов.

Кроме названного оборудования на первом этаже располагаются – помещение аккумуляторной батареи и блока бесперебойного питания и мастерские.

Рядом с камерами силовых трансформаторов расположены вентиляционные камеры. Через вентиляционные решетки воздух поступает в камеры трансформаторов и вытягивается наружу, таким образом, обеспечивается естественная вентиляция.

Под каждым трансформатором укладывается гравийная подсыпка, а ниже оборудуется маслоприёмная яма емкостью до 30 м³.

Также на втором этаже (рис. 5.25) располагаются ЗРУ-110 кВ, помещения РЗ, телемеханики, связи.

Линии 10 кВ к потребителям прокладываются в кабельных каналах и в трубах, через проем в фундаменте, выходят из здания подстанции в цокольный этаж (рис. 5.26 и 5.27).

Схема ЗРУ-10 кВ представлена на рис. 5.28.

В целях обеспечения электробезопасности выполнено защитное заземление: 50 электродов установлено по контуру здания подстанции и по 8 электродов около трансформаторов, итого 66 вертикальных электродов. Схема заземляющего устройства представлена на рис. 5.29.

Для защиты здания от прямых ударов молнии на крыше здания ЗРУ под мягкой кровлей выполняется молниеприемная сетка из стальной проволоки диаметром 4 мм с размером ячейки 40×40 мм. Сетка выполняется с четырьмя спусками по периметру крыши из стальной проволоки диаметром 8 мм, соединенными с наружным контуром заземления здания подстанции.

Для монтажа электрооборудования внешние стены здания подстанции оборудуются воротами. Силовые трансформаторы вкатываются в камеры по рельсам. Для ремонта и монтажа силового оборудования под перекрытия помещений устанавливаются кран-балки.

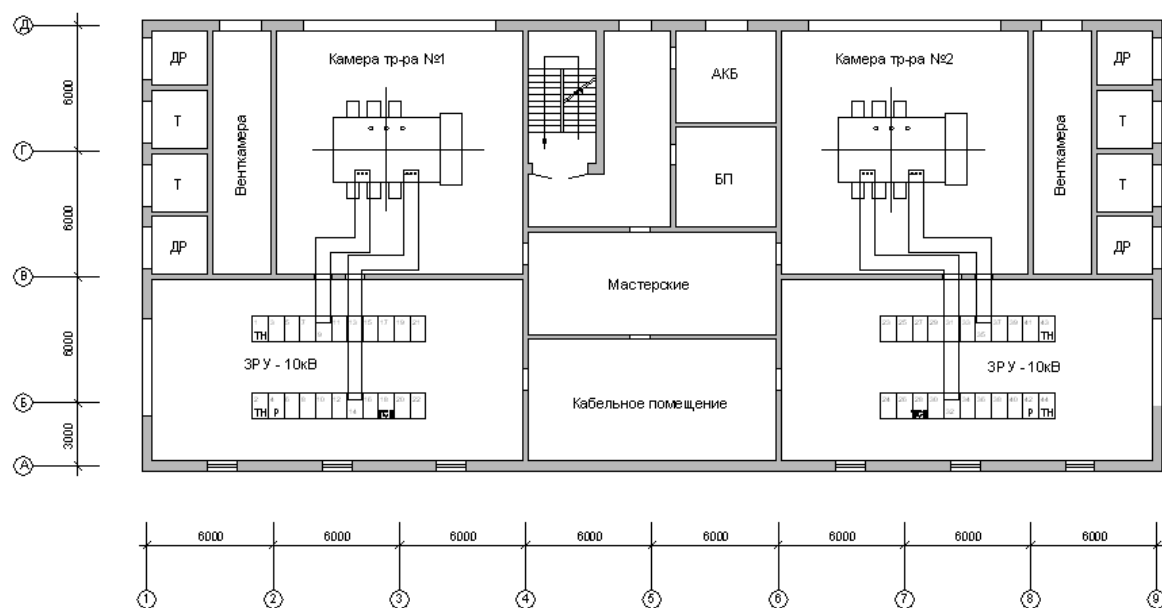


Рис. 5.24. План первого этажа подстанции

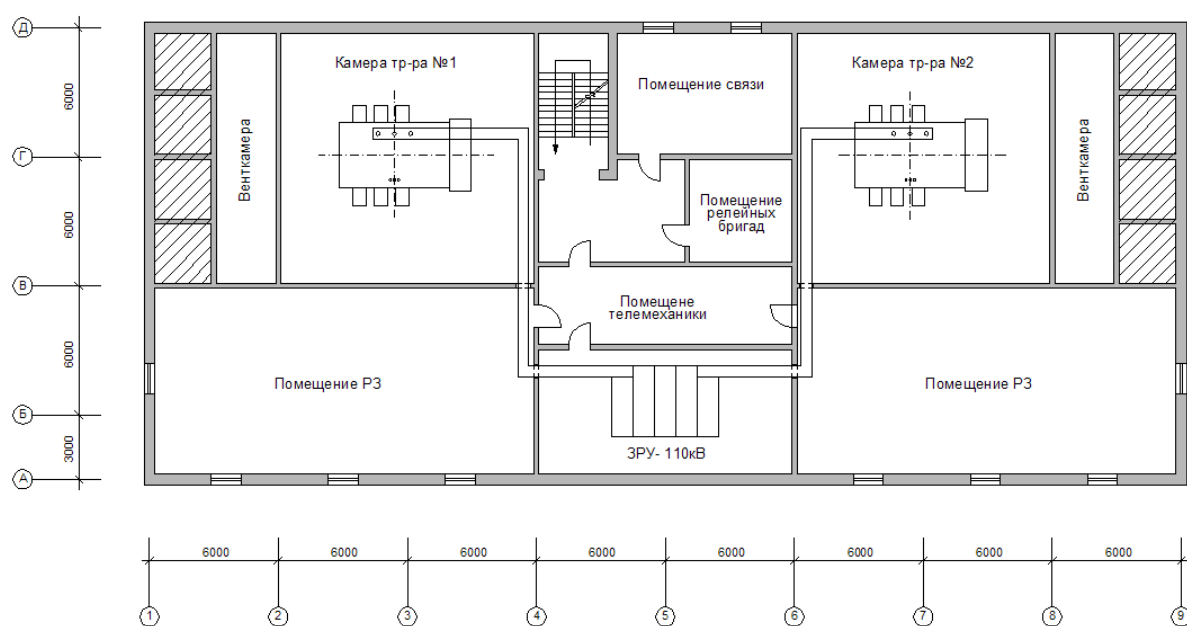


Рис. 5.25. План второго этажа подстанции

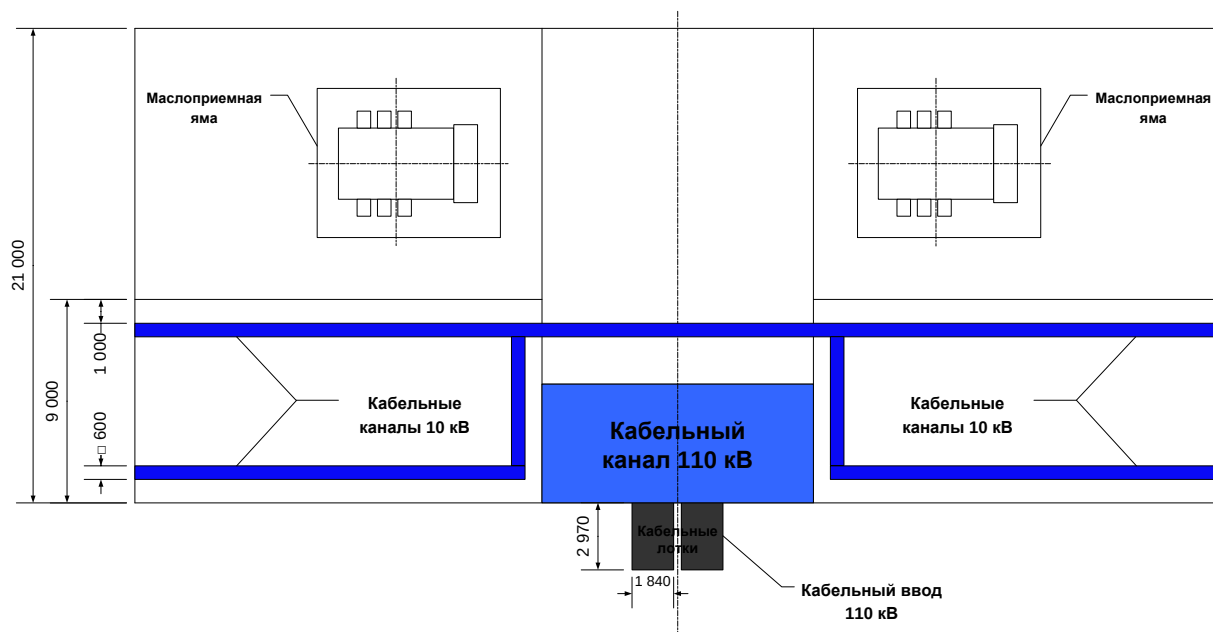


Рис. 5.26. План цокольного этажа

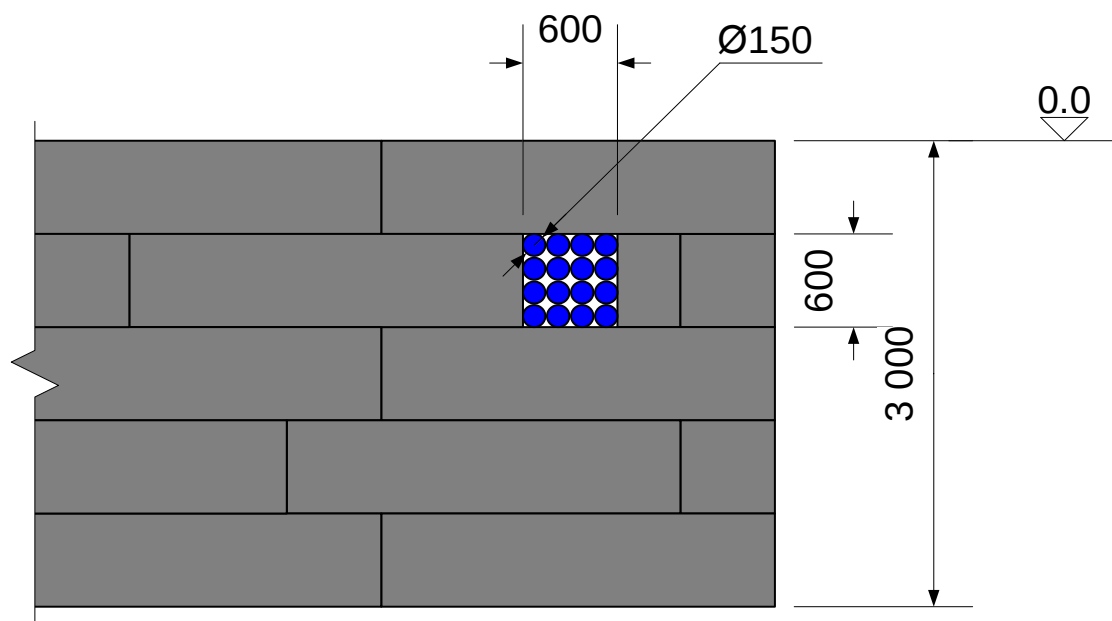


Рис. 5.27. Вывод КЛ-10 кВ через фундамент здания подстанции

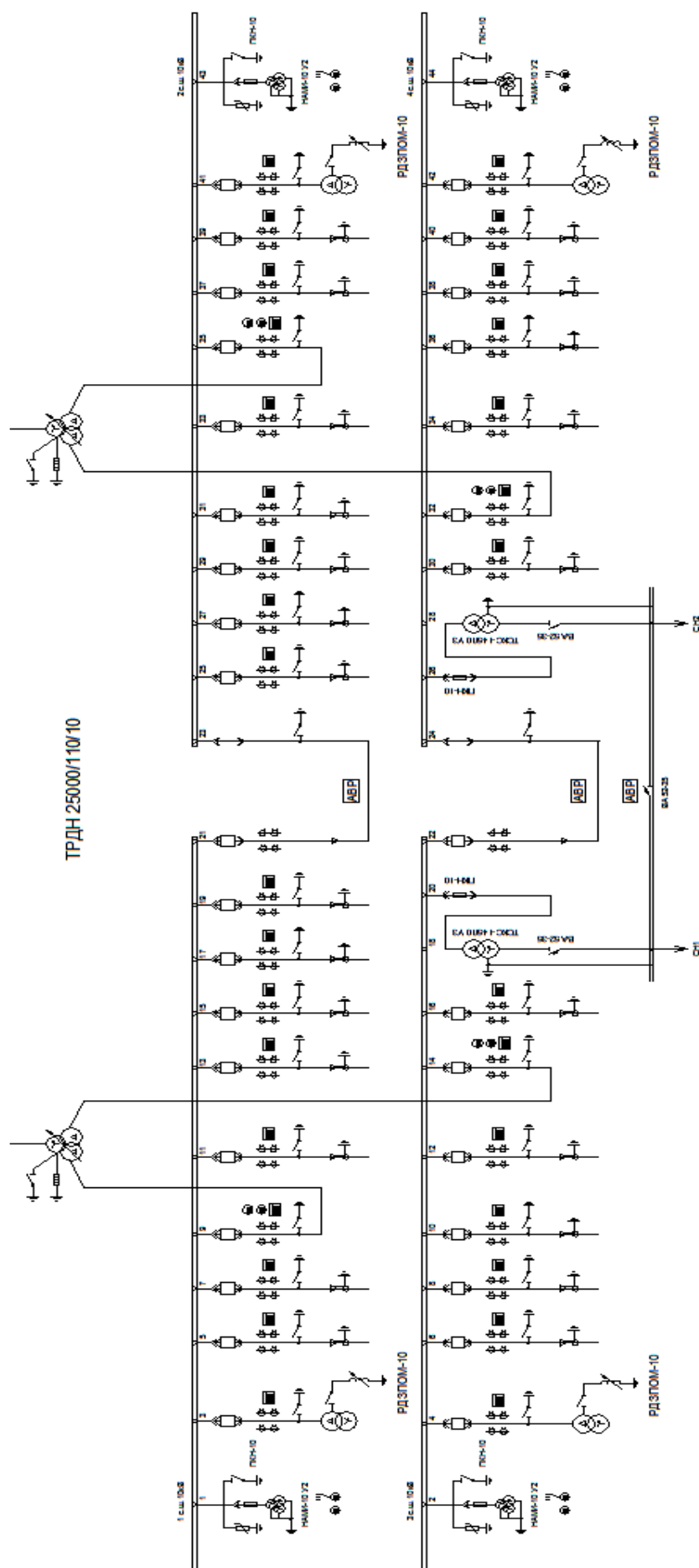


Рисунок 11.29 – Схема ЗРУ-10 кВ

Рис. 5.28. Схема ЗРУ-10 кВ

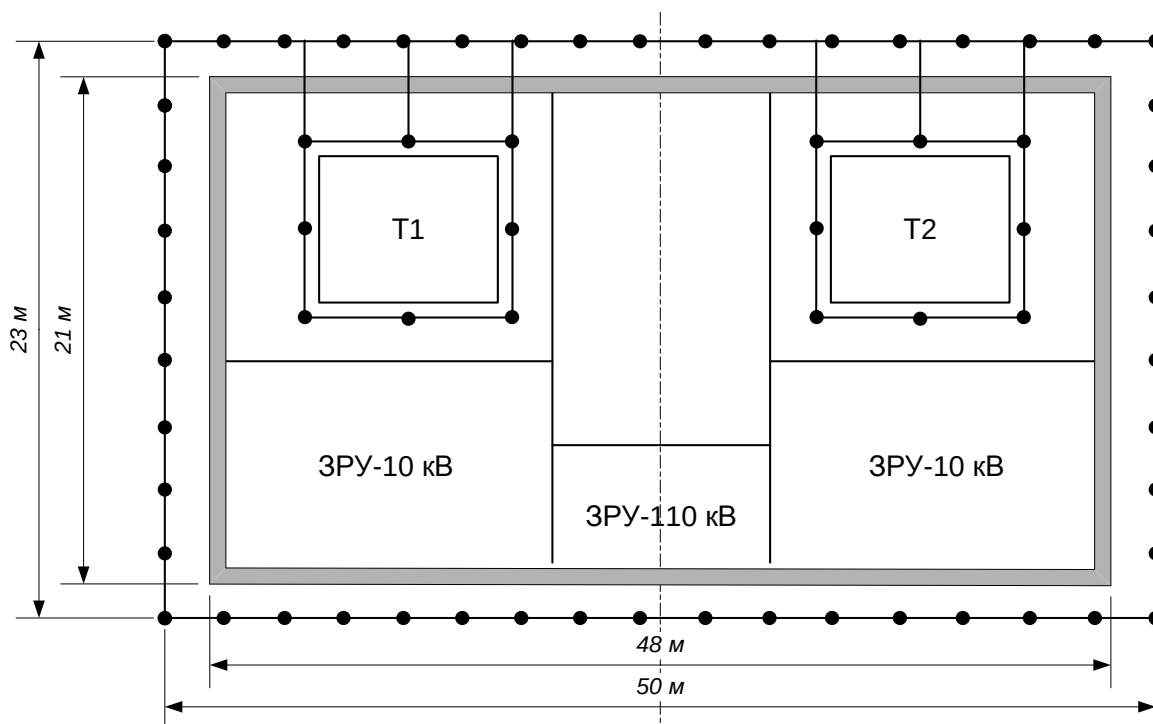


Рис. 5.29. План подстанции с размещением заземляющего устройства

Эксплуатация подстанцией осуществляется в автоматическом режиме, т.е. она работает без обслуживающего персонала. Ремонтные бригады приезжают лишь для профилактических или ремонтно-восстанавливающих (в случае аварии) работ.

Управление выключателями производится по месту и дистанционно с диспетчерского пункта. В качестве канала связи подстанции с диспетчерским пунктом используется оптоволоконный кабель связи.

Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии производится информационно-измерительной системой типа «ЭКОМ 3000». На каждой отходящей линии 10 кВ устанавливается интеллектуальный счетчик типа СЭТ-4ТМ.03, который позволяет производить учет активной и реактивной энергии, как в прямом, так и в обратном направлении.

Разработанная закрытая подстанция с кабельными линиями 110 кВ является экологически безопасной, все оборудование подстанции защищено от внешних загрязняющих факторов и атмосферных воздействий. Проект закрытой подстанции с КЛ-110 кВ может использоваться для строительства подстанций в городских условиях и в условиях промышленной зоны.

Ориентировочные размеры площади, занимаемой ОРУ ПС 110/10 кВ с трансформаторами 25-63 МВА составляет 90×100 м. Размеры закрытой ПС 110/10 кВ с трансформаторами 16-63 МВА составляет 48×21 м, что в 9 раз меньше.

Р.С. В данном техническом эскизном проекте рассмотрена только техническая сторона вопроса. Техничко-экономическая оценка будет дана позже. Хотя очевидно, что стоимость первоначальная стоимость земли под строительство и последующие налоги на землю в определенной мере скомпенсируют стоимость строительства закрытой ПС и КЛ-110 кВ. Кроме того, компактность ПС и КЛ позволяют легче размещать их в городских условиях и условиях промышленной зоны.

На рис.5.30 показан вариант перехода кабельной линий КЛ-110 кВ в воздушную линию ВЛ-110 кВ. На рис. 5.31 показан вариант подхода (отхода) КЛ-110 кВ к открытому распределительному устройству ОРУ-110 кВ подстанции.



Рис. 5.30. Переход КЛ-110 кВ на ОРУ-110 кВ подстанции



Рис. 5.31. Переход КЛ-110 кВ на ОРУ-110 кВ подстанции

Заключение. Проект разработан с участием выпускников кафедры «Электроснабжение» ЮУрГУ 2008 года Е.А. Митряковой и Д.А. Кононенко. Проект явился специальной частью их дипломных проектов.

5.5. Конструктивное исполнение трансформаторных подстанций

5.5.1. Типы трансформаторов, устанавливаемых в ТП

По роду изоляции, способу охлаждения и конструктивному исполнению силовые трансформаторы напряжением 6–10/0,4 кВ подразделяются на масляные, масляные герметичные, с негорючим диэлектриком, сухие, сухие с литой изоляцией и т.д. Типы и исполнения трансформаторов выбираются в зависимости от условий их установки, температуры, состояния окружающей среды и т.п.

Рассмотрим основные типы (рис. 5.32):



ТМГ-1000



ТСЛ-1000

Рис. 5.32. Типы трансформаторов напряжением 6–10/0,4 кВ:

ТМГ – трансформатор масляный, герметичного исполнения, без расширителя. Температурные изменения объема масла компенсируются изменением объема гофров бака или радиаторов за счет их пластичной деформации.

ТСЛ – сухие трансформаторы с сухой литой изоляцией обмоток. В основном они применяются там, где недопустима установка масляных трансформаторов по условиям пожарной опасности. Сухие трансформаторы неустойчивы к грозовым перенапряжениям, при работе создают повышенный уровень шума. Их нужно устанавливать в сухих, непыльных помещениях с относительной влажностью не более 65 %.

5.5.2. Конструктивное исполнение РП иТП

На рис. 5.33 показан план отдельно стоящей двухтрансформаторной подстанции. Здание ТП имеет четыре помещения, в которых отдельно располагаются распределительное устройство высшего напряжения РУ-10 кВ, два силовых трансформатора и распределительное устройство низшего напряжения РУ-0,4 кВ.

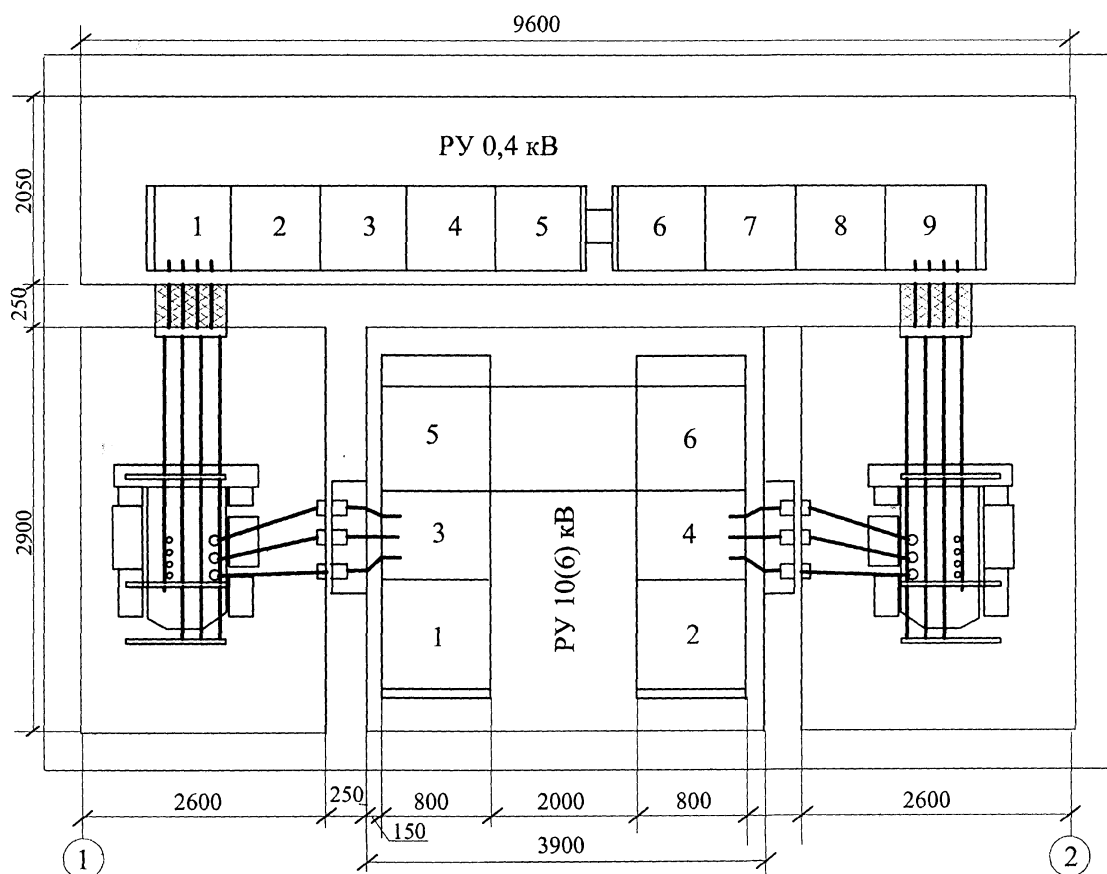


Рис. 5.33. План отдельно стоящей трансформаторной подстанции

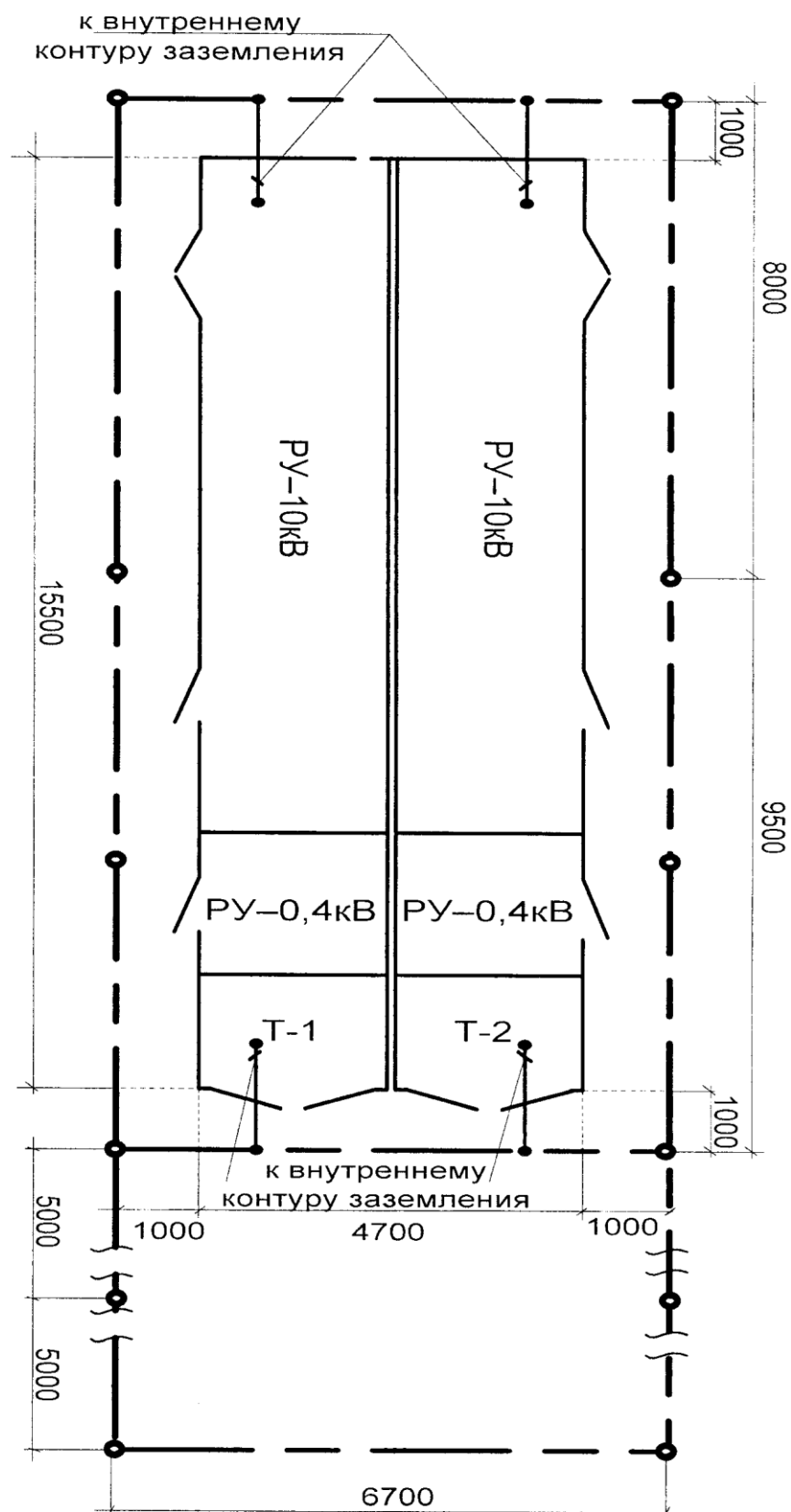


Рис. 5.34. Схема заземления РП-10 кВ

6. БЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, ПИТАЮЩИХ ЖИЛЫЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ ЗДАНИЯ

6.1. Потенциальные опасности поражения электрическим током

Эксплуатация всех видов электроустановок в жилых и общественных зданиях представляет определенную опасность для человека. Действующие электроустановки представляют не только опасность поражения человека электрическим током при прикосновении, но и пожарную опасность при КЗ, перегрузке проводов, кабелей и электроприемников, искрении и повышенном нагреве контактных соединений.

Электротравматизм вызывается следующими основными причинами: несоблюдением ПУЭ, неудовлетворительной эксплуатацией и качеством электрооборудования с точки зрения безопасности, пренебрежением требованиями ПТБ, а также случайными причинами.

Поражения электрическим током можно разделить на три вида [**Электробезопасность-Долин**]:

1. Поражения вследствие непосредственного прикосновения или недопустимого приближения к частям, находящимся под напряжением (1 на рис. 7.1).

2. Поражения, вызванные прикосновением к металлическим частям электроустановок или корпусам электроприемников, оказавшимся под напряжением в результате повреждения изоляции (2 на рис. 6.1).

3. Поражения, вызванные так называемым напряжением шага, возникающим вблизи мест повреждения электрической изоляции или мест замыкания токоведущих частей на землю (3 на рис. 6.1).

Современная система электробезопасности в жилых и общественных зданиях, а также в частных домах и коттеджах должна обеспечивать защиту человека в следующих случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Предельно допустимые значения переменного тока частотой 50 Гц через тело человека в аварийном режиме бытовых электроустановок не должны превышать следующих значений, указанных в табл. 6.1 [**ГОСТ 12.1.038-82**].

Если при прикосновении человека к корпусу поврежденного оборудования или к фазе сети $U_{\text{пр}}$ или I_{h} превысят предельно допустимые значения для нормального или аварийного режима работы электроустановки, указанные выше, то возникнет угроза поражения человека электрическим током.

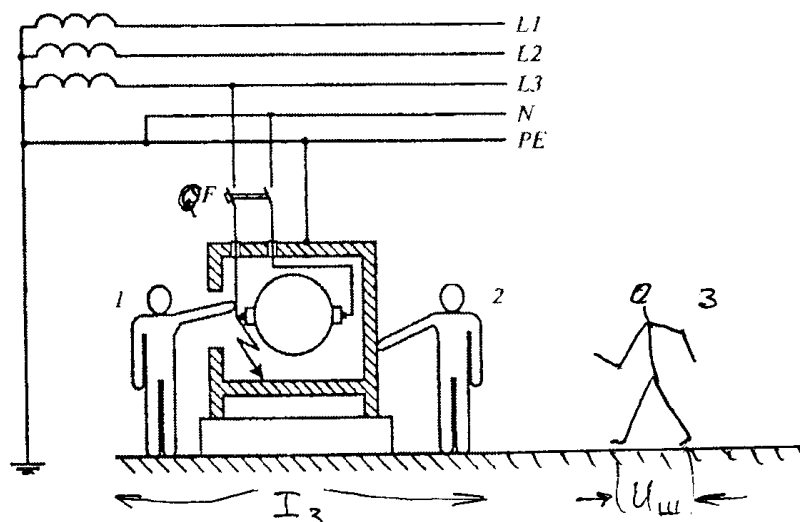


Рис. 6.1. Случаи соприкосновения человека с электрической сетью напряжением 380 В: 1 – прямое; 2 – косвенное; 3 – напряжение шага

Таблица 6.1

Предельно допустимые значения $U_{\text{пр}}$ и I_{h}

Нормируемая величина	Наибольшие допустимые значения при продолжительности воздействия, с											
	0,01–0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	свыше 1,0
$U_{\text{пр}}, \text{В}$	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	12
$I_{\text{h}}, \text{мА}$	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	2

Воздействия электрического тока на организм человека можно разделить на три вида:

- тепловые (ожоги);
- механические (электролиз крови, разрыв тканей);
- биологические (поражение нервной системы).

Считают, что ток 0,1 А представляет смертельную опасность для человека. Для человека опасен как переменный, так и постоянный ток; наибольшую опасность представляет переменный ток частоты 50 Гц. Причем с повышением частоты переменного тока опасность поражения уменьшается.

Главное правило защиты от поражения электрическим током: **основные токоведущие части не должны быть доступными, а доступные проводящие части не должны быть опасными:**

- в нормальных условиях;
- при наличии неисправности.

В зависимости от опасности поражения человека электрическим током

согласно ПУЭ принята следующая классификация помещений, в которых размещаются электрооборудование и электроустановки:

а) помещения без повышенной опасности – сухие нежаркие с токопроводящими полами, без металлоконструкций, токопроводящей пыли; например, жилые, административные и другие общественные здания с деревянными, линолеумными и подобными полами;

б) помещения с повышенной опасностью – влажные (относительная влажность более 75 %), жаркие (температура выше 30 °С), с токопроводящими полами (железобетонными, металлическими, земляными), помещения, в которых имеется опасность одновременного прикосновения к металлическим конструкциям зданий и металлическим корпусам электрооборудования;

в) помещения особо опасные – особо сырые помещения, в которых полы, стены и потолок покрыты влагой (бани, прачечные и др.), в которых относительная влажность воздуха близка к 100 %; помещения с химически активной средой, воздействующей на изоляцию. Кроме того, к особо опасным относятся и такие помещения, в которых существуют одновременно два и более признаков повышенной опасности.

Опасность поражения человека электрическим током возникает и при эксплуатации распределительных трансформаторных подстанций ТП, которые питают, например, жилой микрорайон. В состав ТП обычно входят следующие устройства:

- распределительное устройство высокого напряжения 6–10 кВ;
- распределительное устройство низкого напряжения 0,4 кВ;
- силовые трансформаторы напряжением 10/0,4 кВ.

Потенциальную опасность поражения электрическим током в электроустановках РТП могут представлять:

- неизолированные шинные конструкции и высоковольтные выключатели, находящиеся под напряжением;
- измерительные ТТ, первичная обмотка которых включена в высоковольтную сеть, а к вторичной обмотке не подключена нагрузка; в этом случае на вторичной обмотке ТТ имеет место большое напряжение (до десятков киловольт);
- переносное электрооборудование (электроинструмент, испытатели напряжения, лампы и др.);
- силовые трансформаторы 10/0,4 кВ.

Кроме опасности от работающего электрооборудования имеет место опасность напряжения шага, которая увеличивается, если человек, подвергшийся его воздействию, падает, так как при этом напряжение шага возрастает вследствие того, что путь тока проходит уже не через ноги, а через все тело. Наиболее опасны напряжения шага при ударе молнии.

6.2. Системы заземления нейтрали городских электрических сетей

Требования к защитным мерам в отношении обеспечения безопасности в значительной мере зависят от режима нейтрали сети. Наиболее распространенными в жилой застройке являются электрические сети напряжением 6–10–20 кВ и 380 В. В первом случае нейтраль изолируется от земли, во втором – имеет место глухое заземление нейтрали.

В сетях с изолированной нейтралью напряжением 6–10–20 кВ (система заземления нейтрали IT [ПУЭ] – рис. 6.2) обеспечение безопасности при однофазных замыканиях возлагается в основном на заземление. Устройство защитного заземления является основной защитной мерой и представляет собой преднамеренное соединение с землей металлических частей электроустановки, которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции сетей или электроприемников. Заземление осуществляется посредством металлических электродов (труб, стержней, уголков, полос), располагаемых в земле и имеющих назначение создать электрическое соединение с землей. Эти электроды называют заземлителями, их соединение с заземляемыми частями электроустановки осуществляется с помощью заземляющих защитных проводников. Совокупность заземлителей и заземляющих проводников представляет собой заземляющее устройство.

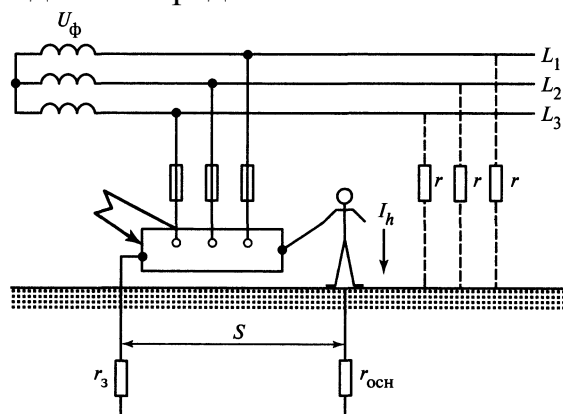


Рис. 6.2. Система заземления нейтрали IT – нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через большое индуктивное или активное сопротивление

Электрические сети напряжением 380 В, в городских условиях работающие с глухим заземлением, имеют наружные (кабельные или воздушные линии, располагаемые между ТП и зданиями) и внутренние (внутридомовые) сети. В зависимости от расположения и назначения они могут иметь три варианта исполнения нулевого рабочего (N) и нулевого защитного (PE) проводников [ПУЭ]:

1. Система заземления TN–C, в которой нулевой рабочий и нулевой защитный проводники совмещены в одном проводнике – рис. 6.3. Такая система заземления используется в электрических сетях с воздушными лини-

ями, применяемыми для электроснабжения сельских потребителей или городских посёлков с малоэтажной застройкой.

2. Система заземления TN–S, в которой нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены – рис. 6.4.

3. Система заземления TN–C–S, в которой нулевой рабочий и нулевой защитный проводники совмещены частично – рис. 6.5.

В ПУЭ 7-го издания [ПУЭ] требования к выполнению групповых сетей жилых и общественных зданий сформулированы следующим образом. Питание электроприемников должно выполняться от электрической сети напряжением 380/220 В с системой заземления TN-S или TN-C-S.

Во всех зданиях линии групповой сети, прокладываемые от групповых, этажных и квартирных щитков до светильников общего освещения, штепсельных розеток и стационарных электроприемников, должны выполняться трехпроводными (с фазным – L, нулевым рабочим – N, нулевым защитным – PE проводниками).

Не допускается объединение нулевых рабочих и нулевых защитных проводников различных групповых линий.

Нулевой рабочий N и нулевой защитный PE проводники не допускается подключать под общий контактный зажим.

Ранее во всем мире применялась *система зануления*, основанная на соединении нетоковедущих частей (корпусов) оборудования с землей и заземленной нейтралью источника. В настоящее время зануление действует в ограниченном количестве электроустановок, однако его рассматривают как составную часть комплекса мероприятий под названием «защита с помощью автоматического отключения источника питания».

В системе TN-C-S в вводно-распределительном устройстве электроустановки совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник PEN разделен на нулевой защитный PE и нулевой рабочий N проводники.

Нулевой защитный проводник PE соединен со всеми открытыми проводящими частями и может быть многократно заземлен, а нулевой рабочий проводник N *не должен иметь соединения с землей*.

Наиболее перспективной для России является система TN-C-S, позволяющая в комплексе с широким внедрением УЗО обеспечить высокий уровень электробезопасности в электроустановках без их коренной реконструкции.

В электроустановках с системами заземления TN-S и TN-C-S электробезопасность потребителя обеспечивается не собственно системами, а устройствами защитного отключения (УЗО), действующими более эффективно с этими системами заземления и системой уравнивания потенциалов.

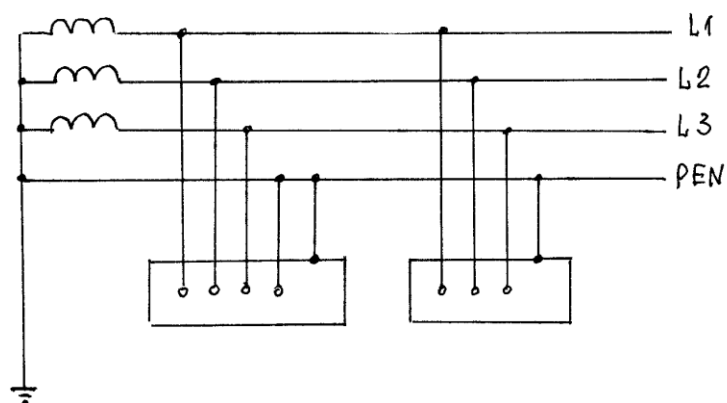


Рис. 6.3. Система TN-C переменного тока: открытые проводящие части (нулевой защитный и нулевой рабочий проводники) совмещены в одном проводнике

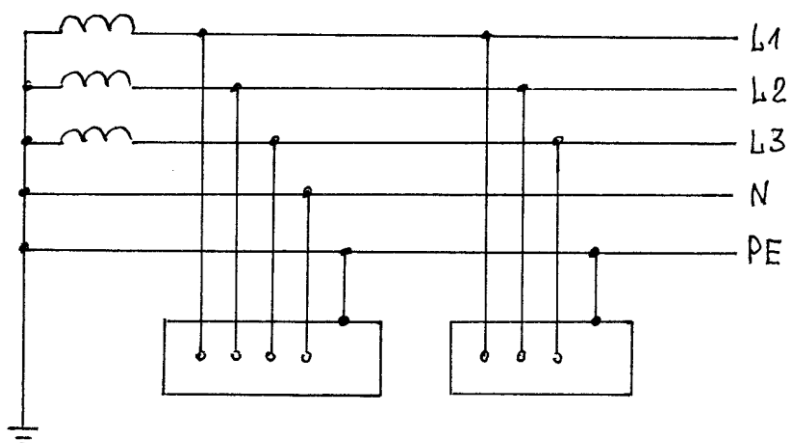


Рис. 6.4. Система TN-S переменного тока: открытые проводящие части (нулевой защитный и нулевой рабочий проводники) разделены

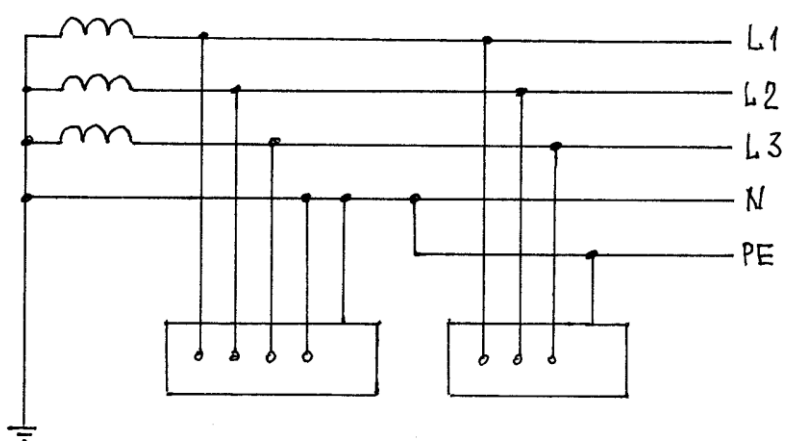


Рис. 6.5. Система TN-C-S переменного тока: открытые проводящие части (нулевой защитный и нулевой рабочий проводники) совмещены в одном проводнике в части системы

В сетях напряжением 380 В с глухо заземленной нейтралью в качестве основной защитной меры применяется зануление корпусов электрооборудования. Наличие заземленной нейтрали дает возможность обеспечить безопасность путем отключения аварийного участка. Это достигается путем соединения корпусов электроприемников с заземленной нейтралью трансформатора. Такое соединение (зануление) создает при всяком замыкании на заземленные части замкнутую металлическую цепь КЗ, отключаемую защитой. В этих сетях нельзя применять заземление электроприемников без соединения их корпусов с нейтралью.

Следует подчеркнуть, что в электрических сетях до и выше 1 кВ заземления практически не разделяются.

Глухое заземление нейтрали устраняет опасные последствия перехода ВН на сторону НН, которые могут возникнуть из-за повреждения изоляции между обмотками силового трансформатора или вследствие падения провода ВН на провод НН. Кроме того, глухое заземление нейтрали предотвращает повышение напряжения проводов по отношению к земле сверх 250 В, что необходимо для осуществления питания от этих сетей осветительных электроприемников.

Исключительно важной защитной мерой служит выравнивание потенциалов в пределах установки или ее отдельных частей. В ряде случаев без выравнивания потенциалов обеспечить безопасность персонала вообще невозможно. Выравнивание потенциалов применяется совместно с системами заземления, зануления и другими защитными мерами.

6.3. Система уравнивания потенциалов

По законам физики каждый проводник обладает определённым электрическим потенциалом, Но сам по себе он не опасен, а опасность несёт разность потенциалов между различными металлическими предметами. И чем эта разница выше, тем выше риск поражения электрическим током.

Разность потенциалов может быть вызвана различными явлениями: атмосферные перенапряжения, блуждающие токи, статическое электричество и т. п. Но особо опасны случаи возникновения утечек тока из электропроводки через металлические предметы в доме или корпуса электроприборов. Например, находясь в ванной комнате и касаясь одновременно металлической водопроводной трубы и корпуса стиральной машины, можно попасть под разность потенциалов, например, при пробое изоляции в стиральной машине – рис. 6.6. Чтобы возможности возникновения разности потенциалов все металлические трубы, корпуса бытовой техники и пр. соединяются между собой металлическими проводниками. Но этого недостаточно, необходимо также энергию электрического тока отвести безопасно в землю – для этого служит система уравнивания потенциалов.



Рис. 6.6. Понятие системы уравнивания потенциалов

Для обеспечения условий электробезопасности в конкретной электроустановке важное значение имеет система уравнивания потенциалов. Правила МЭК предусматривают подсоединение всех подлежащих заземлению проводников к общей шине. Это позволяет избежать протекания различных токов (непредсказуемых циркулирующих) в системе заземления, вызывающих возникновение разности потенциалов на отдельных элементах электроустановки.

Систему уравнивания потенциалов образно можно представить, как дерево, корни которого соединены с землей, а ветви присоединяются ко всем металлическим открытым частям здания и сторонним проводникам, как показано на рис. 6.7 [ПУЭ, Титов].

ПУЭ 7-го издания предписывают выполнение в жилых и общественных зданиях основной и дополнительной системы уравнивания потенциалов. [ПУЭ].

Основная система уравнивания потенциалов должна соединять между собой следующие проводящие части (рис. 6.7):

- нулевой защитный PE или PEN проводник в системе TN;
- заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления (8) на вводе в здание;
- открытые проводящие части электрооборудования (буква М);
- металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: горячего и холодного водоснабжения (С1), канализации (С2), отопления (С5), газоснабжения (С3);
- металлические части каркаса здания и арматура железобетонных конструкций (С9);
- металлические части централизованных систем вентиляции и кондиционирования (С4);

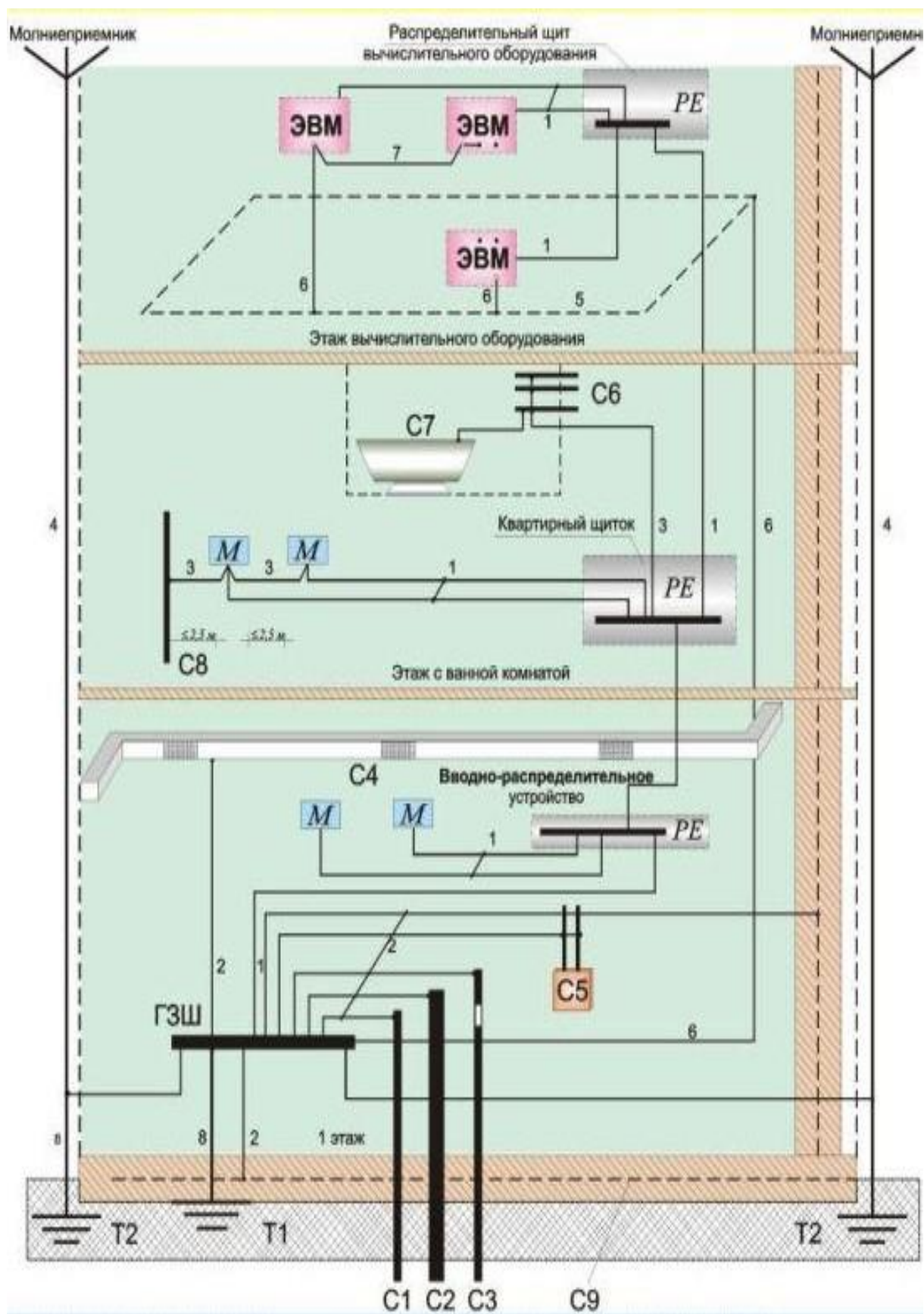


Рис. 6.7. Система уравнивания электрических потенциалов в здании

- заземляющие устройства системы молниезащиты (Т2);
- металлические оболочки телекоммуникационных кабелей;
- заземляющий проводник функционального (рабочего) заземления, которое применяется для обеспечения функционирования информационно-вычислительных, медицинских и других специальных систем, если таковые имеются в здании (5, 6, 7).

Все перечисленные части должны быть присоединены **к главной заземляющей шине (ГЗШ)** здания при помощи проводников основной системы уравнивания потенциалов (2).

Дополнительная система уравнивания потенциалов предусматривает соединение между собой всех одновременно доступных прикосновению открытых проводящих частей электрооборудования и сторонних проводящих частей в отдельном помещении, отдельной зоне, включая металлические части строительных конструкций здания, металлические ванны (С7) и металлические трубы, находящиеся в ванной комнате (С6), а также нулевые защитные проводники (1), в том числе защитные проводники штепсельных розеток.

Присоединение каждой открытой проводящей части к защитному заземляющему проводнику должно быть выполнено при помощи отдельного ответвления. Последовательное включение не допускается.

Присоединение проводящих частей к основной системе уравнивания потенциалов должно быть выполнено также при помощи отдельного ответвления.

Присоединение проводящих частей к дополнительной системе уравнивания потенциалов может быть выполнено при помощи, как отдельных ответвлений, так и путем присоединения к одному общему неразъемному проводнику.

Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее половины наибольшего сечения защитного проводника электроустановки, если сечение проводника уравнивания потенциалов при этом не превышает 25 мм² по меди или равноценное ему из других металлов. В любом случае сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов не должно быть менее медных – 6 мм², алюминиевых – 16 мм², стальных – 50 мм².

Сечение медных проводников дополнительной системы уравнивания потенциалов, не входящих в состав кабеля должны быть не менее: 2,5 мм² – при наличии механической защиты; 4 мм² при отсутствии механической защиты.

Главная заземляющая шина – это важная часть элементов заземляющего устройства, предназначенная для систем электроснабжения напряжением до 1 кВ, выполняющая соединительную функцию нескольких проводников и служащая для организации работы системы заземления, а также уравнивания потенциалов. **Главная заземляющая шина является ча-**

стью заземляющего устройства электроустановки до 1000 В и предназначена для присоединения нескольких проводников с целью заземления и уравнивания потенциалов.

Главная заземляющая шина должна быть, как правило, медной. Допускается применение главной заземляющей шины из стали. Применение алюминиевых шин не допускается. Сечение главной заземляющей шины должно быть не менее сечения РЕ (PEN) проводника питающей здание линии.

Конструктивно она должна быть расположена так, чтобы обслуживающий персонал имел беспрепятственный доступ для подключения или отключения защитных проводников. В конструкции главной заземляющей шины должна быть предусмотрена возможность индивидуального отсоединения каждого из присоединенных к ней проводников. Отсоединение должно быть возможно только с использованием инструмента.

Главная заземляющая шина может быть выполнена внутри вводного устройства электроустановки до 1000 В или отдельно от него. Внутри вводного устройства в качестве главной заземляющей шины используется шина РЕ. К ней должен быть подключен РЕ-проводник, а она, в свою очередь, должны соединена с заземляющим устройством здания.

Если здание имеет несколько обособленных вводов, главная заземляющая шина должна быть выполнена для каждого вводного устройства.

Для отдельных помещений и зон целесообразно предусматривать свои заземляющие шины, к которым присоединять защитные РЕ проводники, защитные проводники дополнительной системы уравнивания потенциалов. В качестве такой шины могут быть использованы медные закрытые кожухом шины или клеммники сечением не менее сечения большего РЕ проводника, присоединенного к этой шине (рис. 6.8).

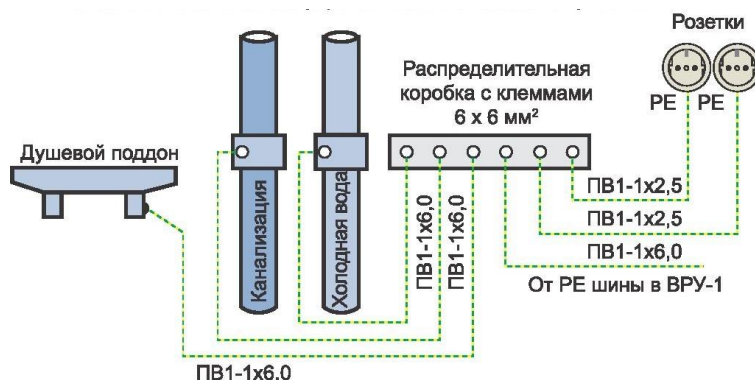


Рис. 6.8. Дополнительная система уравнивания потенциалов ванной комнаты

Рабочее функциональное заземление.

В электроустановках зданий, содержащих специальное оборудование, требуется выполнить рабочее функциональное заземление, предназначен-

ные для обеспечения нормальной работы этого оборудования. Например, для создания определенного режима работы отдельных участков электрической сети, для нормальной работы информационно-вычислительной техники, лечебного физиотерапевтического и другого электронного оборудования.

В некоторых случаях заземляющие устройства защитного и рабочего функционального заземления могут быть общими. Однако, для обеспечения работы отдельного специального оборудования, например, медицинского томографа, разработчики требуют практически полного отсутствия наведенного электрического потенциала на его корпусе. Это требование может быть выполнено путем устройства отдельного функционального заземляющего устройства, не связанного с другими заземляющими устройствами и не подверженных их влиянию.

Выполнение таких требований вызывает большие трудности особенно в черте городов или крупных промышленных предприятий. В этих случаях приходится выполнять специальные – глубинные заземлители. Электроды такого заземлителя размещают в земле на большой глубине (40–50 м), что обеспечивает стабильность сопротивления растеканию тока заземлителя и исключает наведение посторонних электрических потенциалов на глубинном заземлителе.

6.4. Устройства защитного отключения

Обычно защита человека от поражения электрическим током при косвенном прикосновении к поврежденной установке осуществляется путем отключения ее предохранителями или автоматическими выключателями. Но эти защиты не реагируют на малые токи утечки, возникающие в начале развития повреждения в сети, а также при обрыве нулевого проводника. В этих случаях единственным средством защиты человека от косвенного прикосновения является устройство защитного отключения (УЗО), обеспечивающее быстрое (за долю секунды) отключение установки от сети.

Функционально УЗО можно определить, как быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на ток небаланса в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке. Основные функциональные блоки УЗО применительно к системе TN показаны на рис. 6.9 [Ершов. РЗ. Ч.2].

Важнейшим функциональным блоком УЗО является дифференциальный трансформатор тока ДТА. Этот трансформатор также называют трансформатором тока нулевой последовательности (ТТНП), несмотря на то, что понятие «нулевая последовательность» применимо только к трехфазным цепям и используется при расчетах несимметричных режимов многофазных цепей.

Пусковой орган или пороговый элемент (ПО) выполняется, как правило, на чувствительных магнитоэлектрических реле прямого действия или электронных компонентах. Исполнительный механизм ИМ включает в себя силовую контактную группу с механизмом привода.

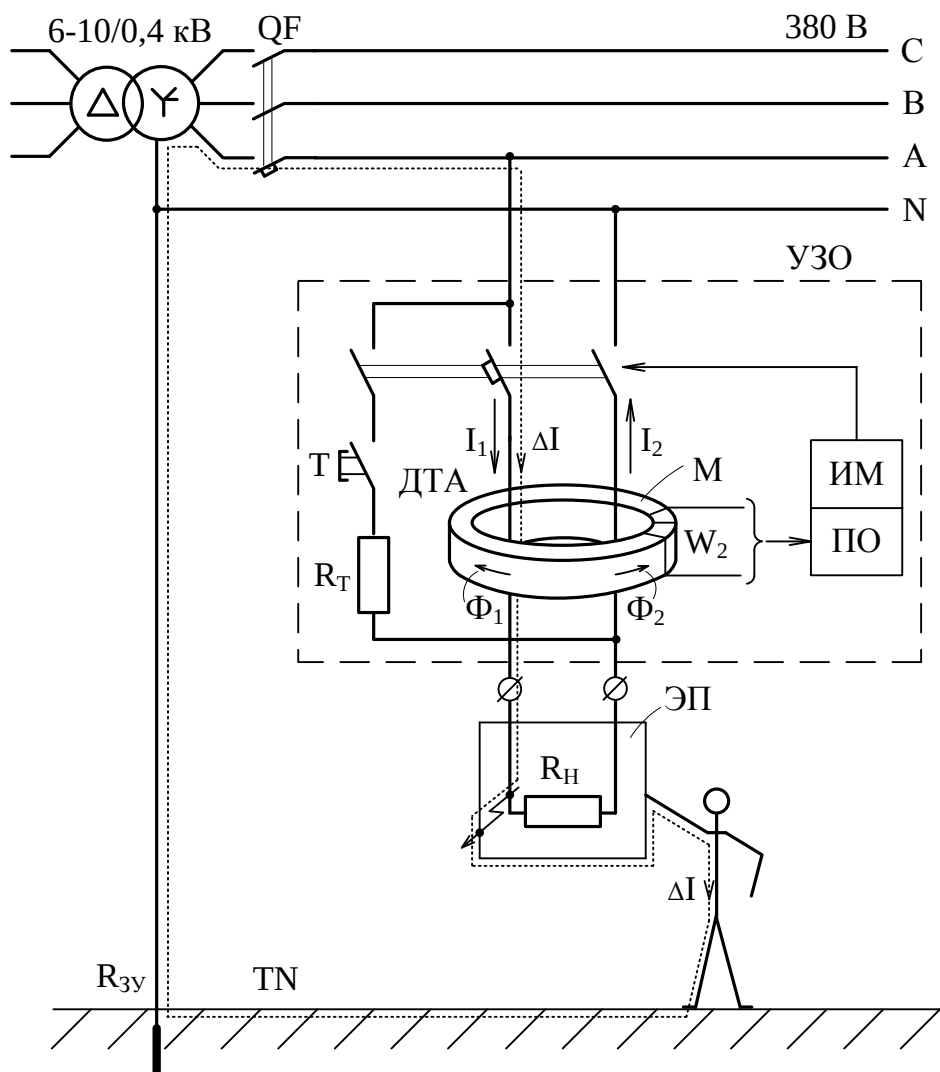


Рис. 6.9. Принцип построения устройства защитного отключения

В нормальном режиме в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода трансформатора тока ДТА, протекает рабочий ток нагрузки. Проводники, проходящие сквозь окно магнитопровода, образуют первичную обмотку дифференциального трансформатора тока. Если обозначить ток, протекающий по направлению к нагрузке I_1 , а от нагрузки – I_2 , то можно записать равенство $I_1 = I_2$.

Равные, но встречно направленные токи наводят в магнитном сердечнике трансформатора тока ДТА равные, но встречно направленные магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 . Результирующий магнитный поток равен нулю и ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю. Пусковой орган ПО находится в этом случае в состоянии покоя.

При нарушении изоляции или при прикосновении человека к открытым токопроводящим частям или к корпусу электроприемника, на котором произошел пробой изоляции, по фазному проводнику через УЗО кроме тока нагрузки I_1 протекает дополнительный ток – ток утечки ΔI , являющийся для трансформатора тока током небаланса.

Неравенство токов в проводниках вызывает неравенство магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке W_2 трансформированного тока небаланса ΔI . Если этот ток превышает значение уставки порогового элемента пускового органа ПО, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм ИМ. Исполнительный механизм ИМ, обычно состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов, размыкает электрическую цепь. В результате защищаемая УЗО электроустановка обесточивается.

Для осуществления периодического контроля исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования, состоящая из резистора R_T и кнопки Т (Тест). При нажатии на кнопку «Тест» искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Срабатывание УЗО означает, что оно исправно.

На рис. 6.10 показано УЗО при различных вариантах выполнения электрической сети с глухо заземленной нейтралью – четырёхпроводной (система TN-C) и пятипроводной (система TN-C-S). В схеме, показанной на рис. 7.9, корпус электроприёмника не заземлён, при пробое изоляции человек попадает под полное фазное напряжение и по нему протекает весь ток небаланса ΔI . А в схемах, показанных на рис. 7.10, корпус электроприёмника заземлен, ток небаланса возвращается через нулевой защитный проводник РЕ или PEN, а человек попадает под напряжение прикосновения U_f , величина которого значительно меньше фазного напряжения сети.

Устройство защитного отключения может быть выполнено с использованием **дифференциальных выключателей нагрузки** (рис. 6.11, а, б) или **дифференциальных автоматических выключателей** (рис. 6.11, в, г), которые могут иметь исполнение как однофазное (двухполюсные), так и трёхфазные (четырёхполюсные).

Дифференциальный выключатель нагрузки обеспечивает защиты электрической сети только при пробое изоляции, т. е. выполняет функцию только устройства защитного отключения. А дифференциальный автоматический выключатель кроме функции защитного отключения выполняет защиту от перегрузок (на схеме обозначено символом t^0 – тепловой элемент) и защиту от коротких замыканий (символ $I>$ – электромагнитный элемент).

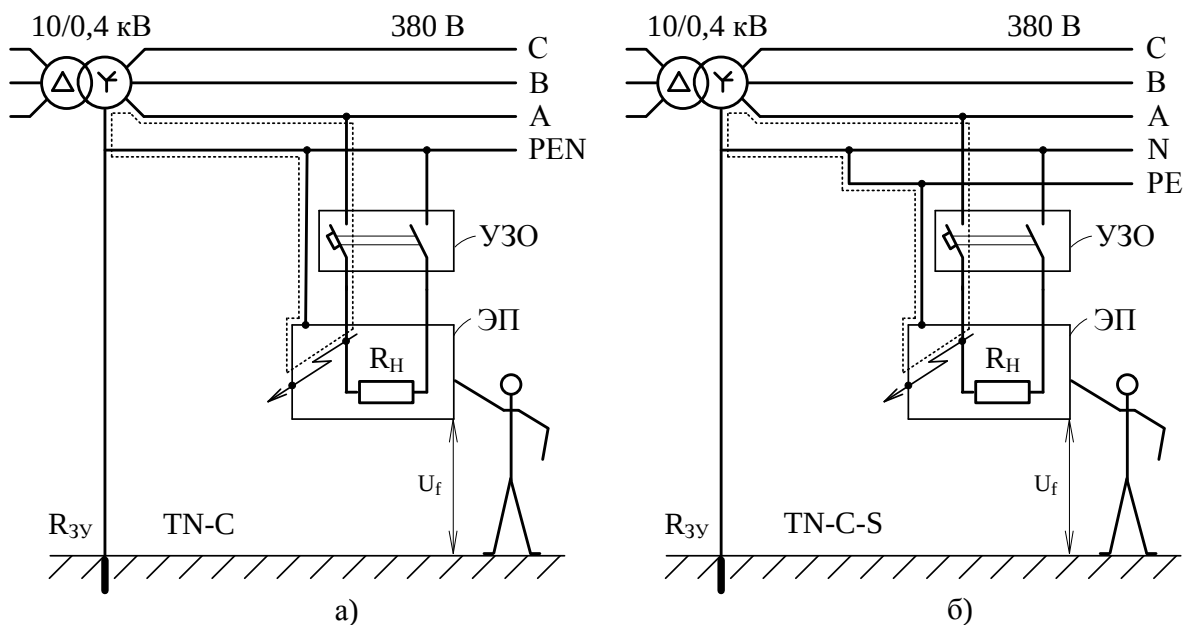


Рис. 6.10. Варианты исполнения УЗО при разных системах заземления

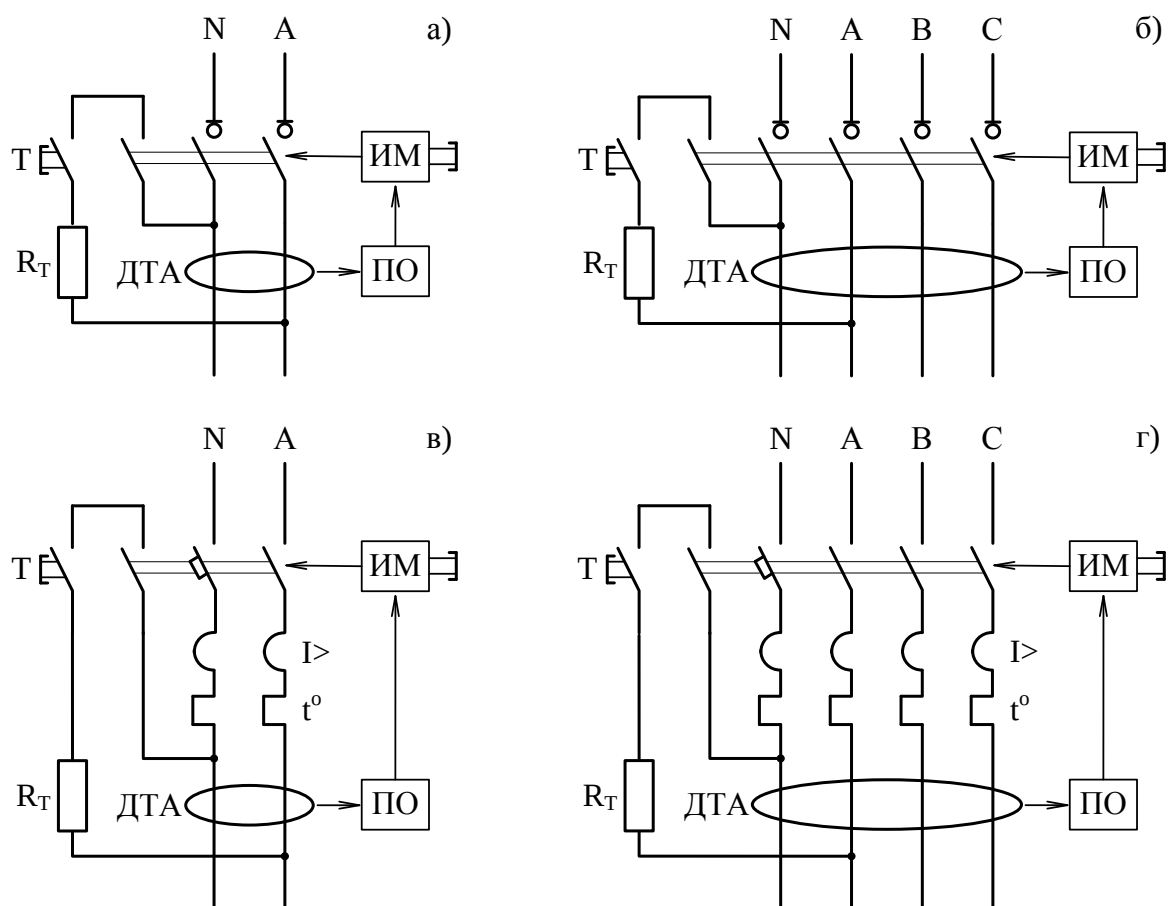


Рис. 6.11. Схемы дифференциальных выключателей нагрузки (а, б) и дифференциальных автоматических выключателей (в, г)

Оба типа выключателей выпускаются со следующими техническими характеристиками: номинальный ток I_n , от 6 до 125 А; номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$, 6, 10, 30, 100, 300, 500 мА; время отключения при номинальном дифференциальном токе не более 40 мс.

Согласно ПУЭ 7-го издания [ПУЭ] номинальный дифференциальный отключающий ток УЗО (уставка) должен быть не менее чем в три раза превышать суммарный ток утечки защищаемой цепи электроустановки, т. е. $I_{\Delta n} \geq 3 \cdot \Delta I$.

При отсутствии фактических (замеренных) значений тока утечки в электроустановке ПУЭ предписывают принимать ток утечки электроприёмников из расчёта 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а ток утечки цепи из расчёта 10 мкА на 1 м длины фазного проводника [СП-31, Эл-ть. Долин].

Нормативными документами задаются значения отключающего дифференциального тока, равными:

- 10 мА для одиночных потребителей с номинальным током не более 16 А;
- 30 мА для линий штепсельных розеток, устанавливаемых в помещении, переносных электроприёмников, розеток строительных площадок, в зданиях из металла и т. д.;
- 30, 100 мА для нескольких групп электроприёмников, для стационарных электроприёмников (электроплиты, водонагреватели и т. п.);
- 300, 500 мА для защиты от пожара.

На рис. 6.12 приведен вариант схемы электроснабжения квартиры с применением УЗО.

УЗО устанавливают:

- во ВРУ, расположенных в помещениях без повышенной опасности поражения током, в местах, доступных для обслуживания;
- в групповых цепях электроустановок зданий, где имеет место наибольшая вероятность электропоражения людей при прикосновении к токоведущим или открытым проводящим частям электрооборудования, которые могут из-за повреждения изоляции оказаться под напряжением (розеточные группы, ванные, душевые комнаты, стиральные машины и др.);
- на главном вводе объекта для осуществления противопожарной защиты;
- в многоквартирных жилых домах в групповых, в том числе в квартирных щитках; допускается их установка в этажных распределительных щитках; в индивидуальных домах – во ВРУ и этажных распределительных щитках.

Ограничители перенапряжений или вентильные разрядники следует устанавливать до УЗО.

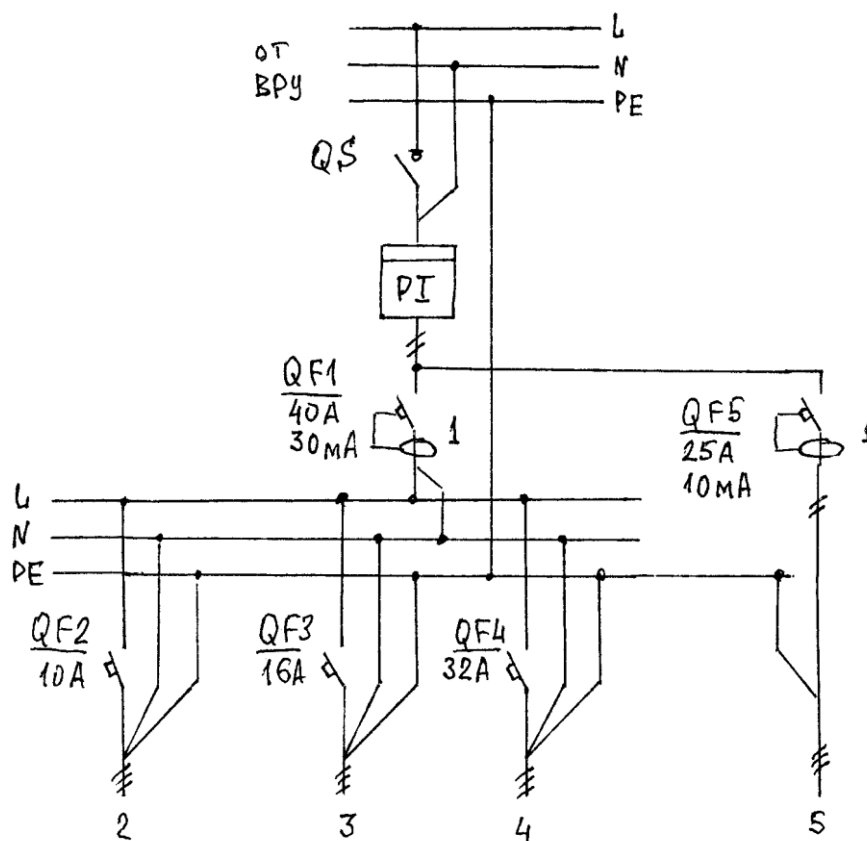


Рис. 6.12. Принципиальная схема электроснабжения квартиры с системой заземления TN-S: 1 – УЗО; 2 – освещение; 3 – розетки; 4 – электроплита; 5 – ванная

6.5. Молниезащита зданий

Молниезащита зданий и сооружений выполняется в соответствии с требованиями «Инструкции по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» [СО 153-34.21.122-2003]. Необходимость устройства молниезащиты определяется в зависимости от опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения, с учетом среднегодовой продолжительности гроз. Значение среднегодовой продолжительности гроз на территории России приводятся на картах, представленных в ПУЭ.

Комплекс средств молниезащиты зданий или сооружений включает в себя устройства защиты от прямых ударов молнии (внешняя молниезащитная система) и устройства защиты от вторичных воздействий молнии (внутренняя молниезащита). Внутренние устройства молниезащиты предназначены для ограничения электромагнитных воздействий тока молнии и предотвращения искрений внутри защищаемого объекта.

В частных случаях молниезащита может содержать только внешние или только внутренние устройства. В общем случае часть токов молнии внешней системы протекает по элементам внутренней молниезащиты. То-

ки молнии, попадающие в молниеприемники, отводятся в заземлитель через систему токоотводов (спусков) и растекаются в земле (заземлителе).

Объекты по требованиям к устройству их молниезащиты подразделяются на обычные и специальные.

Обычные объекты – жилые и административные строения, а также здания и сооружения, высотой не более 60 м, предназначенные для торговли, промышленного производства, сельского хозяйства.

Специальные объекты:

- объекты, представляющие опасность для непосредственного окружения;

- объекты, представляющие опасность для социальной и физической окружающей среды (объекты, которые при поражении молнией могут вызвать вредные биологические, химические и радиоактивные выбросы);

- прочие объекты, для которых может предусматриваться специальная молниезащита, например, строения высотой более 60 м, игровые площадки, временные сооружения, строящиеся объекты.

Все объекты по уровню молниезащиты подразделяются на четыре класса. При проектировании устройств молниезащиты объекта требуется определить его класс, принять необходимый уровень надежности защиты от прямых ударов молнии, необходимость и объем защитных мер от вторичных воздействий молнии.

7. РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

7.1. Нагрузки электрических сетей и уровни электропотребления

Все потребители электроэнергии города разделяются на следующие группы: потребители селитебных зон, коммунальные общегородского значения (водопровод, канализация, электрифицированный транспорт, АТС и др.) и промышленные.

Потребителями энергии селитебных зон являются жилые и общественно-коммунальные учреждения. Режим электропотребления жилых домов определяется укладом жизни населения организацией бытового обслуживания. Электропотребление коммунальных и промышленных потребителей определяется особенностями их технологического процесса. Режим потребления электрической энергии во времени суточными, сезонными и годовыми графиками нагрузки, большинства потребителей график нагрузки имеет значительную неравномерность, что определяется нагрузкой осветительных приборов. Рассмотрение времени наступления утренних сумерек для географических широт РФ в зависимости месяца года показывает, что изменение продолжительности дня течение года может быть принято близким к синусоиде. Следовательно, будем считать, что влияние осветительной составляющей на изменение коэффициента суточной неравномерности графика нагрузки будет выражаться кривой, также близкой к синусоиде, но имеющей характерные значения для июня и декабря. Записывается синусоидальный характер годовых графиков нагрузок коммунальных потребителей и групп потребителей, запишем аналитическую зависимость между активными нагрузками каждого года и нагрузками зимнего и летнего месяцев.

Как правило, нагрузки измеряются в так называемые характерные (режимные) дни во время зимнего максимума и летнего минимума нагрузки.

При проектировании и эксплуатации электрических линий достаточно широко используются обобщенные (типовые) графики нагрузки потребителей, которые получаются на основании многочисленных измерений на действующих объектах электропотребления и элементах сетей. По данным таких графиков определяются: плотность (коэффициент заполнения) зимнего и летнего суточных графиков нагрузки; неравномерность (коэффициент ночного снижения) зимнего и летнего графиков нагрузки; коэффициент утреннего максимума зимнего и летнего графиков нагрузки; коэффициент летнего снижения графика максимальной нагрузки; коэффициент годовой неравномерности электропотребления; продолжительность использования наибольшей нагрузки в течение года (время использования максимума нагрузки); время наибольших потерь мощности время потерь.

Электропотребление в жилых домах в настоящее время рассматривается при наличии газифицированных квартир и квартир с кухонными электроплитами. Расход электроэнергии в основном определяется электроосвещением квартир и электроприемниками повседневного применения, в частности, телевизорами, холодильниками и электроплитами.

Конфигурация графика нагрузки определяется характером электропотребления каждого конкретного потребителя. Как отмечено максимум нагрузки жилых домов наблюдается в 19–21 ч, в квартирах с газовыми плитами утренний максимум – в 7–8 ч и составляет 40–50 % вечернего, в квартирах с электроплитами утренний максимум нагрузки отмечается в 9–11 ч и составляет 60–65 % вечернего. Максимум нагрузки коммунально-бытовых учреждений, школ, детских учреждений наблюдается в 12–13 ч, поликлиник в 16–17 ч, суточный график водопровода, канализации, метрополитена почти равномерен и т. д.

Нагрузка промышленных предприятий определяется технологией производства, а также сменностью производства. Предприятия с полутора и двухсменным производством имеют два выраженных максимума нагрузки, причем утренний максимум выше вечернего. Предприятия с непрерывным производством имеют почти равномерный график нагрузки.

Конфигурация графика нагрузки элементов системы электроснабжения города определяется совмещением графиков нагрузки различных групп потребителей, питание которых осуществляется от рассматриваемого элемента. В частности, на рис. 7.1 приведен суточный график характерного зимнего дня для крупной подстанции 110/10 кВ, расположенной в жилой зоне новой застройки города.

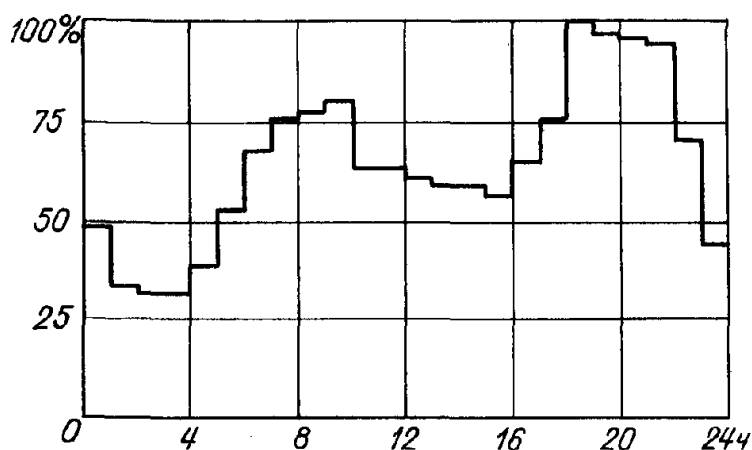


Рис. 7.1. График нагрузки ПС 110/10 кВ, расположенной в микрорайоне жилой застройки

Как видно, график нагрузки подстанции 110/10 кВ подобен графику нагрузки жилых домов и имеет два выраженных максимума.

На рис. 7.2 представлен суточный график зимнего дня для подстанции 110/10 кВ, расположенной в центральной, сложившейся части крупного города.

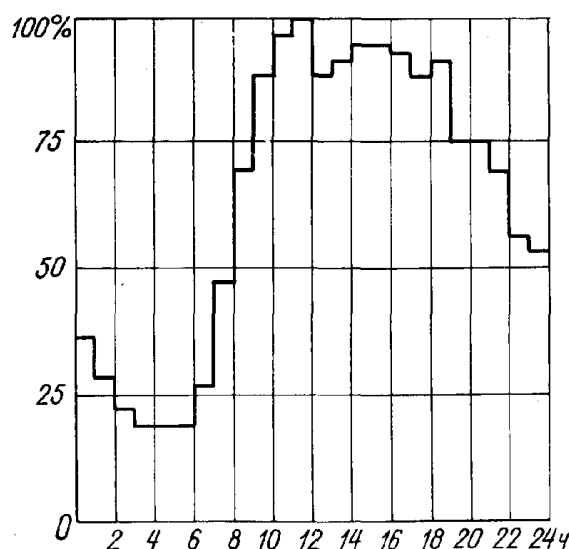


Рис. 7.2. График нагрузки ПС 110/10 кВ, расположенной в центральной части города

Нагрузка подстанций определяется электропотреблением жилых домов, многочисленных общественно-коммунальных учреждений, учебных заведений, мелких промышленных предприятий. Разнородный характер нагрузки указанных групп потребителей определяет меньшую совмещенность ее графиков и большую плотность суммарного графика.

Подобный вывод может быть сделан из анализа рис. 7.3, где представлен суточный график нагрузки подстанции 35/10 кВ, расположенной в промышленном районе города, где жилые дома и потребители общественно-коммунального характера составляют незначительную часть.

Приведенные графики показывают, что характер нагрузки элементов системы электроснабжения города достаточно разнотипный. Необходимость учета этой неоднородности возникает на стадии проектирования при определении ожидаемой расчетной нагрузки рассматриваемого элемента системы. Как правило, учет совмещенности графиков нагрузки потребителей и групп потребителей выполняется в таком случае с использованием расчетных коэффициентов.

Важнейшей предпосылкой рационального выбора системы электроснабжения является правильное определение расчетных нагрузок, в зависимости от которых устанавливаются параметры всех элементов системы.

Расчет нагрузок производят, начиная от низших ступеней к высшим ступеням системы, рассматривая поочередно отдельные узлы электрических сетей. При этом следует различать нагрузки, приведенные к вводу конкретного потребителя, и нагрузки элементов системы.

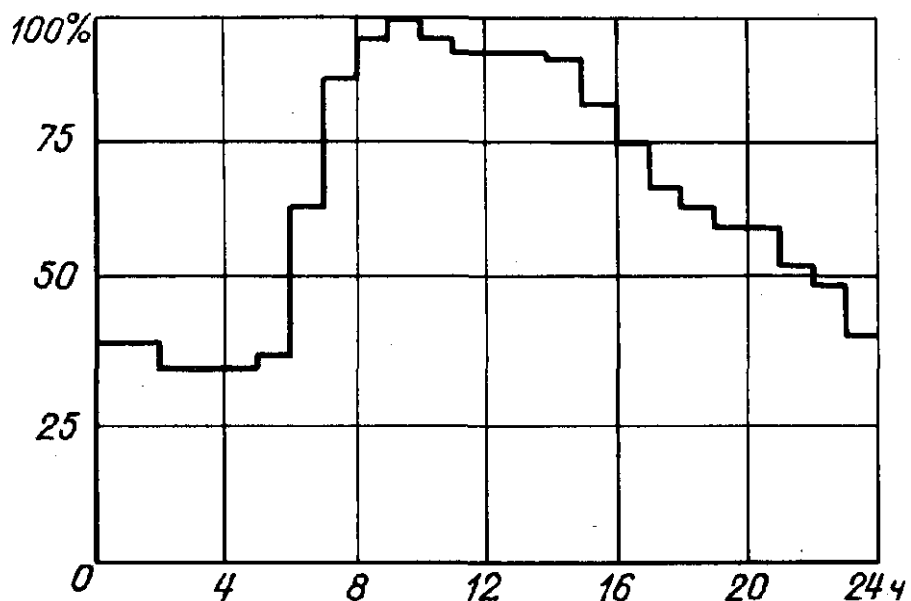


Рис. 7.3. График нагрузки ПС 35/10 кВ, расположенной в промышленном районе города

Точность определения расчетной нагрузки устанавливается характером решаемой задачи, в соответствии с чем разрабатываются и используются те или иные методы расчета. Следует различать нагрузки, определяемые на расчетный срок, т. е. на заданный уровень производства, и ожидаемые нагрузки (на перспективу). В первом случае к точности расчета нагрузки предъявляются большие требования. Во втором случае, а также на стадии предварительных обоснований на расчетный срок определение нагрузок выполняется по ориентировочным показателям.

Наибольшей точностью определения нагрузки на расчетный срок обладают методы определения нагрузки потребителей. Определение нагрузки высших ступеней системы электроснабжения производится с меньшей точностью, что определяется многообразием графиков нагрузки потребителей и сложностью учета их совмещенности. В результате наряду с точными методами при проектировании используются различные приемы расчета нагрузки, имеющие оценочный характер.

Проведенные исследования выявили общие закономерности формирования нагрузки различных групп потребителей и на этой основе позволили разработать соответствующие методы расчета. Эти исследования показали, что нагрузка является величиной вероятностной и зависит от многих случайных факторов, определяемых особенностями технологического процесса производства, организацией трудового и бытового режима населения и т. д. По этой причине способы определения расчетных нагрузок базируются на экспериментальном определении нагрузки действующих электроприемников с последующей обработкой результатов измерений методами математической статистики и теории вероятностей. Как известно, статисти-

ческий подход наиболее формализован и отвлечен от выявления характера влияния каждой из множества причин, формирующих электрическую нагрузку.

Для задач, возникающих при расчете систем электроснабжения, различают максимальные длительные нагрузки и максимальные кратковременные нагрузки. Значения первых используются для выбора элементов системы по их допустимому нагреву и определения всех ее технико-экономических показателей. Кратковременные нагрузки тем или иным способом учитываются при расчете колебаний напряжений, условий самозапуска двигателей и т. д.

Под максимальной расчетной нагрузкой, определяемой по допустимому нагреву, понимается такая длительная неизменная нагрузка, которая эквивалентна реальной изменяющейся нагрузке при наиболее сильном тепловом действии на рассматриваемый элемент системы электроснабжения. Тепловое действие может характеризоваться максимальной температурой перегрева элемента системы или степенью теплового износа его изоляции.

Учитывая неопределенность показателей теплового старения изоляции, в качестве исходной принимают расчетную нагрузку по значению допустимого перегрева проводников, используемых в системах электроснабжения

7.2. Расчётные электрические нагрузки жилых зданий

1. Расчетная электрическая нагрузка квартир $P_{\text{кв}}$, кВт, подключенная к вводу жилого здания, определяется по формуле

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} \cdot n_{\text{кв}}, \quad (7.1)$$

где $P_{\text{кв.уд}}$ – удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир (зданий) по табл. 7.1, кВт/квартира; $n_{\text{кв}}$ – количество квартир.

Удельные электрические нагрузки установлены с учетом того, что расчетная неравномерность нагрузки при распределении ее по фазам трехфазных линий и вводов не превышает 15 %.

Удельные расчетные нагрузки квартир учитывают нагрузку освещения общедомовых помещений (лестничных клеток, подполий, технических этажей, чердаков и т.д.), а также нагрузку слаботочных устройств и мелкого силового оборудования (щитки противопожарных устройств, автоматики, учета тепла, подъемники для инвалидов и т. п.).

Таблица 7.1

Удельная расчетная электрическая нагрузка $P_{\text{кв.уд}}$ электроприемников квартир жилых зданий, кВт/квартира

№ пп.	Потребители электроэнергии	Количество квартир $P_{\text{кв}}$													
		1–3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600	1000
1	Квартиры с плитами*:														
	– на природном газе	4,5	2,8	2,3	2	1,8	1,65	1,4	1,2	1,05	0,85	0,77	0,71	0,69	0,67
	– на сжиженном газе (в том числе при групповых установках) и на твердом топливе	6	3,4	2,9	2,5	2,2	2	1,8	1,4	1,3	1,08	1	0,92	0,84	0,76
	– электрическими мощностью до 8,5 кВт	10	5,9	4,9	4,3	3,9	3,7	3,1	2,6	2,1	1,5	1,36	1,27	1,23	1,19
2	Квартиры повышенной комфортности с электрическими плитами мощностью до 10,5 кВт **	14	8,1	6,7	5,9	5,3	4,9	4,2	3,3	2,8	1,95	1,83	1,72	1,67	1,62
3	Домики на участках садоводческих товариществ	4	2,3	1,7	1,4	1,2	1,1	0,9	0,76	0,69	0,61	0,58	0,54	0,51	0,46

* – в зданиях по типовым проектам

** – рекомендуемые значения

Примечания:

1. Удельные расчетные нагрузки для промежуточного числа квартир определяется интерполяцией.

2. Удельные расчетные нагрузки квартир включают в себя нагрузку освещения общедомовых помещений (лестничных клеток, подполий, технических этажей, чердаков и т. д.)

3. Удельные расчетные нагрузки приведены для квартир средней общей площадью 70 м² (квартиры от 35 до 90 м²) в зданиях по типовым проектам и 150 м² (квартиры от 100 до 300 м²) в зданиях по индивидуальным проектам с квартирами повышенной комфортности.

4. Допускается определять расчетную электрическую нагрузку квартир повышенной комфортности по проекту внутреннего электрооборудования квартиры (здания) в зависимости от набора устанавливаемых приборов и режима их работы, характеризующегося средней вероятностью включения (коэффициентом спроса) и несовпадения хозяйственных работ в квартире.

5. Удельные расчетные нагрузки не учитывают покомнатное расселение семей в квартире.

6. Удельные расчетные нагрузки не учитывают общедомовую силовую нагрузку, осветительную и силовую нагрузку встроенных (пристроенных) помещений общественного назначения, нагрузку рекламы, а также применение в квартирах электрического отопления, электроводонагревателей и бытовых кондиционеров (для элитных квартир нагрузка кондиционеров учитывается).

7. Для определения при необходимости утреннего или дневного максимума нагрузок следует применять коэффициенты: 0,7 – для жилых зданий с электрическими плитами; 0,5 – для жилых зданий с плитами на сжиженном газе и твердом топливе.

8. Электрическую нагрузку жилых зданий в период летнего максимума нагрузок можно определить, умножив приведенные в таблице нагрузки зимнего максимума на коэффициенты: 0,7 – для квартир с плитами на природном газе; 0,6 – для квартир с плитами на сжиженном газе и твердом топливе; 0,8 – для квартир с электрическими плитами.

2. Расчетная электрическая нагрузка квартир и коттеджей с электрическим отоплением и электрическим водонагревом определяется по формуле (7.1) с учётом данных табл. 7.2.

Таблица 7.2

Удельная расчетная электрическая нагрузка
электроприемников коттеджей, кВт/коттедж

№ пп.	Потребители электроэнергии	Количество коттеджей									
		1–3	6	9	12	15	18	24	40	60	100
1	Коттеджи с плитами на природном газе	11,5	6,5	5,4	4,7	4,3	3,9	3,3	2,6	2,1	2,0
2	Коттеджи с плитами на природном газе и электрической сауной мощностью до 12 кВт	22,3	13,3	11,3	10,0	9,3	8,6	7,5	6,3	5,6	5,0
3	Коттеджи с электрическими плитами мощностью до 10,5 кВт	14,5	8,6	7,2	6,5	5,8	5,5	4,7	3,9	3,3	2,6
4	Коттеджи с электрическими плитами мощностью до 10,5 кВт и электрической сауной мощностью до 12 кВт	25,1	15,2	12,9	11,6	10,7	10,0	8,8	7,5	6,7	5,5

Примечания.

1. Удельные расчетные нагрузки приведены для коттеджей общей площадью от 150 до 600 м².

2. Удельные расчетные нагрузки для коттеджей общей площадью до 150 м² без электрической сауны определяются по табл. 2.1.1 как для типовых квартир с плитами на природном или сжиженном газе, или электрическими плитами.

3. Удельные расчетные нагрузки не учитывают применения в коттеджах электрического отопления и электроводонагревателей.

3. Расчетная нагрузка силовых электроприемников P_C , кВт, подключенных к вводу жилого дома, определяется по формуле

$$P_C = P_{P.L} + P_{P.CTY}, \quad (7.2)$$

где $P_{P.L}$ – расчётная нагрузка лифтовых установок; $P_{P.CTY}$ – расчётная нагрузка санитарно-технических устройств (электродвигателей насосов водоснабжения, вентиляторов и др.).

3.1. Расчётная нагрузка лифтовых установок $P_{P.L}$, кВт, определяется по формуле

$$P_{P.L} = K'_C \cdot \sum_{i=1}^{n_L} P_{д.л.ном i}, \quad (7.3)$$

где K'_C – коэффициент спроса по табл. 7.3; n_L – количество лифтовых установок; $P_{д.л.ном i}$ – установленная мощность электродвигателя лифта, кВт.

Таблица 7.3

Коэффициенты спроса K'_C лифтовых установок жилых домов

Количество лифтовых установок	Этажность жилого дома	
	до 12	более 12
2–3	0,8	0,9
4–5	0,7	0,8
6	0,65	0,75
10	0,5	0,6
20	0,4	0,5
25 и выше	0,35	0,4

3.2. Расчётная нагрузка электродвигателей насосов водоснабжения, вентиляторов и других санитарно-технических устройств $P_{P.CTY}$, кВт, определяется по их установленной мощности с учетом коэффициента спроса K''_C по табл. 7.4

$$P_{P.CTY} = K''_C \cdot \sum_{i=1}^n P_{CTY i}, \quad (7.4)$$

Мощность резервных электродвигателей, а также электроприемников противопожарных устройств при расчете электрических нагрузок не учитывается.

Таблица 7.4

Коэффициенты спроса K''_C электродвигателей
санитарно-технических устройств

Количество электродвигателей	K''_C	Количество электродвигателей	K''_C
2	1 (0,8)*	15	0,65
3	0,9 (0,75)	20	0,65
5	0,8 (0,7)	30	0,6
8	0,75	50	0,55
10	0,7		

*В скобках приведены значения для электродвигателей единичной мощности свыше 30 кВт.

4. Расчетная электрическая нагрузка жилого дома (квартир и силовых электроприемников $P_{Р.ЖД}$, кВт, определяется по формуле

$$P_{Р.ЖД} = P_{КВ} + K_y \cdot P_C, \quad (7.5)$$

где $P_{КВ}$ – расчетная электрическая нагрузка квартир, приведенная к вводу жилого дома, кВт; P_C – расчетная нагрузка силовых электроприемников жилого дома, кВт; K_y – коэффициент участия в максимуме нагрузки силовых электроприемников (равен 0,9).

5. Расчетная реактивная нагрузка жилого дома $Q_{Р.ЖД}$ (квар) определяется по формуле

$$Q_{Р.ЖД} = P_{КВ} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{КВ} + k_y \cdot P_C \cdot \operatorname{tg} \varphi_C, \quad (7.6)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{КВ}$ и $\operatorname{tg} \varphi_C$ – расчетные коэффициенты, которые принимаются по табл. 7.5.

Таблица 7.5

Расчетные коэффициенты реактивной мощности жилых домов

Потребитель электроэнергии	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
Квартиры с электрическими плитами	0,98	0,2
Квартиры с плитами на природном, газообразном или твердом топливе	0,96	0,29
Хозяйственные насосы, вентиляционные и другие санитарно-технические устройства	0,8	0,75
Лифты	0,65	1,17

6. Расчетная электрическая нагрузка жилых зданий микрорайона (квартала) $P_{Р.МР}$, кВт, подключенная к шинам 400 В ТП ориентировочно может определяться по формуле

$$P_{Р.МР} = P_{Р.ЖЗ.УД} \cdot S \cdot 10^{-3}, \quad (7.7)$$

где $P_{Р.ЖЗ.УД}$ – удельная расчетная нагрузка жилых зданий, Вт/м² приведена в табл. 7.6; S – общая площадь жилых зданий микрорайона (квартала), м².

Таблица 7.6

Удельные расчетные электрические нагрузки, Вт/м²,
жилых зданий на шинах 0,4 кВ ТП

№ п.п.	Этажность застройки	Здание с плитами		
		на природ- ном газе	на сжиженном газе или твер- дом топливе	электриче- скими
1	1–2 этажа	15,0/0,96	18,4/0,96	20,7/0,98
2	3–5 этажей	15,8/0,96	19,3/0,96	20,8/0,98
3	Более 5 этажей с долей квартир выше 6 этажей			
	– 20%	15,6/0,94	17,2/0,94	20,2/0,97
	– 50%	16,3/0,93	17,9/0,93	20,9/0,97
	– 100%	17,4/0,92	19,0/0,92	21,8/0,96
4	Более 5 этажей с квартира- ми повышенной комфорт- ности (элитными)	–	–	17,8/0,96
Примечания: 1. В таблице учтены нагрузки насосов систем отопления, горячего снабжения и подкачки воды, установленных в ЦТП, или индивидуальных в каждом здании, лифтов и наружного освещения территории микрорайонов и не учтены нагрузки электроотопления, электроводонагрева и бытовых кондиционеров воздуха. 2. Удельные нагрузки определены исходя из средней общей площади квартир 70 м² в зданиях по типовым проектам и 150 м² – для квартир повышенной комфортности (элитных) в зданиях по индивидуальным проектам и относятся к расчетному сроку концепции (схемы) развития. 3. В знаменателе приведены значения коэффициента мощности. 4. При определении электрических нагрузок в существующих или проектируемых районах со средней площадью квартир 55 м² величины удельных нагрузок, приведенных в табл. 7.6, умножаются на коэффициент 1,3.				

7.3. Электрические нагрузки общественных зданий

Расчетные электрические нагрузки общественных зданий (помещений) следует принимать по проектам электрооборудования этих зданий. Укрупненные удельные нагрузки и коэффициенты мощности общественных зданий массового строительства для ориентировочных расчетов рекомендуются принимать по табл. 7.7.

Расчёт электрических нагрузок общественных зданий производим аналогично расчёту нагрузок жилых домов. Удельная мощность обществен-

ных зданий зависит от типа здания (магазины, организации, гостиницы и т. д.).

Расчетная нагрузка магазинов, учреждений управления, проектных и конструкторских организаций, кредитно-финансовых учреждений, предприятий связи определяется по формуле

$$P_{P.O3} = P_{уд} \cdot S_{Общ} \quad (7.8)$$

где $P_{уд}$ – удельная нагрузка, кВт/м², табл. 7.7; $S_{Общ}$ – площадь общественной организации.

Расчетные нагрузки школ, детских садов, гостиниц, предприятий общественного питания, парикмахерских определяются по формуле

$$P_{P.O3} = P_{уд} \cdot n_{МЕСТ} \quad (7.9)$$

где $P_{уд}$ – удельная нагрузка, кВт/место, табл. 7.7; $n_{МЕСТ}$ – количество мест в помещениях общественного здания, на которое оно рассчитано.

Расчетная реактивная нагрузка общественных зданий, квар, определяется по формуле

$$Q_{P.O3} = P_{P.O3} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{O3} \quad (7.10)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{O3}$ – расчетный коэффициент для общественных зданий, принимается по табл. 7.7.

Таблица 7.7

Удельные расчетные электрические нагрузки общественных зданий

№ пп.	Общественные здания	Единица измерения	Удельная нагрузка	Расчетные коэффициенты	
				cosφ	tgφ
I. УЧРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ					
	Общеобразовательные школы:				
1	– с электрифицированными столовыми и спортзалами	кВт/учащийся	0,25	0,95	0,38
2	– без электрифицированных столовых и спортзалами	То же	0,17	0,92	0,43
3	– с буфетами без спортзалов	-"	0,17	0,92	0,43
4	– без буфетов и спортзалов	-"	0,15	0,92	0,43
5	Профессионально-технические училища со столовыми	-"	0,46	0,8-0,92	0,75-0,43
6	Детские дошкольные учреждения	кВт/ место	0,46	0,97	0,25
II. ПРЕДПРИЯТИЯ ТОРГОВЛИ					
	Продовольственные магазины:				
7	– без кондиционирования воздуха	кВт/м ² торгового зала	0,23	0,82	0,7
8	– с кондиционированием воздуха	То же	0,25	0,8	0,75
	Непродовольственные магазины				
9	– без кондиционирования воздуха	-"	0,14	0,92	0,43
10	– с кондиционированием воздуха	-"	0,16	0,9	0,48

III. ПРЕДПРИЯТИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ					
	Полностью электрифицированные с количеством посадочных мест:				
11	– до 400 к	кВт/мест	1,04	0,98	0,2
12	– свыше 500 до 1000	кВт/ место	0,86	0,98	0,2
13	– свыше 1100	То же	0,75	0,98	0,2
	Частично электрифицированные (с плитами на газообразном топливе) с количеством посадочных мест:				
14	– до 100	-"-	0,9	0,95	0,33
15	– свыше 100 до 400	-"-	0,81	0,95	0,33
16	– свыше 500 до 1000	-"-	0,69	0,95	0,33
17	– свыше 1100	-"-	0,56	0,95	0,33
IV. ПРЕДПРИЯТИЯ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ					
18	Фабрики химчистки и прачечные самообслуживания	кВт/кг вещей	0,075	0,8	0,75
19	Парикмахерские	кВт/рабочее место	1,5	0,97	0,25
V. УЧРЕЖДЕНИЯ КУЛЬТУРЫ И ИСКУССТВА					
	Кинотеатры и киноконцертные залы:				
20	– без кондиционирования воздуха	кВт/место	0,12	0,95	0,33
21	– с кондиционированием воздуха	То же	0,14	0,92	0,43
22	Клубы	кВт/место	0,46	0,92	0,43
VI. ЗДАНИЯ ИЛИ ПОМЕЩЕНИЯ УЧРЕЖДЕНИЙ УПРАВЛЕНИЯ, ПРОЕКТНЫХ И КОНСТРУКТОРСКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ, КРЕДИТНО-ФИНАНСОВЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ И ПРЕДПРИЯТИЙ СВЯЗИ:					
23	– без кондиционирования воздуха	кВт/м ² общей площади	0,043	0,9	0,48
24	– с кондиционированием воздуха	То же	0,054	0,87	0,57
VII. УЧРЕЖДЕНИЯ ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫЕ И ОТДЫХА					
25	Дома отдыха и пансионаты без кондиционирования воздуха	кВт/место	0,36	0,92	0,43
26	Детские лагеря	кВт/м ² жилых помещений	0,023	0,92	0,43
VIII. УЧРЕЖДЕНИЯ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА					
	Гостиницы:				
27	– без кондиционирования воздуха (без ресторанов)	кВт/место	0,34	0,9	0,48
28	– с кондиционированием воздуха	То же	0,46	0,85	0,62

Примечания:

1. В удельной нагрузке пп. 5, 6 нагрузка бассейнов и спортзалов не учтена.
2. Удельная нагрузка пп. 11–17 не зависит от наличия кондиционеров.
3. В удельной нагрузке пп. 23–26 нагрузка пищеблоков не учтена. Удельную нагрузку пищеблоков следует принимать, как для предприятий общественного питания с учетом количества посадочных мест, рекомендованного СНиП для соответствующих зданий.
4. Удельную нагрузку ресторанов при гостиницах пп. 27, 28 следует принимать, как для предприятий общественного питания открытого типа.
5. Для предприятий общественного питания при промежуточном числе мест, удельные нагрузки определяются интерполяцией.

7.4. Электрические нагрузки распределительных линий до 1 кВ

При определении расчетной электрической нагрузки линии или на шинах 400 В ТП должны учитываться: суммарное количество квартир (коттеджей), лифтовых установок и другого силового электрооборудования, питающегося от ТП и потери мощности в питающих линиях 380 В.

1. Расчетная электрическая нагрузка линии до 1 кВ при смешанном питании потребителей жилых домов и общественных зданий (помещений), $P_{р.л}$, кВт, определяется по формуле

$$P_{р.л} = P_{зд.макс} + \sum_{i=1}^n K_{yi} \cdot P_{зди}, \quad (7.11)$$

где $P_{зд.макс}$ – наибольшая нагрузка здания из числа зданий, питаемых по линии, кВт; $P_{зди}$, – расчетные нагрузки других зданий, питаемых по линии, кВт; K_{yi} – коэффициент участия в максимуме электрических нагрузок общественных зданий (помещений) или жилых домов (квартир и силовых электроприемников) по табл. 7.8.

Расчетная реактивная нагрузка линии до 1 кВ при смешанном питании потребителей жилых домов и общественных зданий определяется по формуле:

$$Q_{р.л} = Q_{зд.макс} + \sum_{i=1}^n K_{yi} \cdot Q_{зд}, \quad (7.12)$$

где $Q_{зд.макс}$ – наибольшая нагрузка помещения здания, квар; K_y – коэффициент участия в максимуме нагрузок; Q_p – расчетная нагрузка помещений здания.

Полная расчетная нагрузка на вводе в здание $S_{р.зд}$, кВт·А, определяется по формуле

$$S_{р.зд} = \sqrt{P_{р.зд}^2 + Q_{р.зд}^2}. \quad (7.13)$$

Таблица 7.8

Коэффициенты участия K_y в максимуме нагрузки

Наименование зданий (помещений)	Жилые дома		Предприя- тия обще- ственного питания		Сред- ние учеб- ные за- веде- ния, библио- теки	Обще- образо- ватель- ные школы,	Органи- зации и учрежде- ния	Предприя- тия торгов- ли		Гос- ти- ни- цы	Па- рик- ма- хер- ские	Дет- ские яс- ли- са- ды	По- ли- кли- ники	Ате- лье и ком- би- наты	Пред- прия- тия ком- му- наль- ного	Ки- ноте- атры
с наибольшей рас- четной нагрузкой	с элек- три- че- ски- ми пли- тами	с пли- тами на твер- дом или газо- об- раз- ном топ- лив	сто- ло- вые	ре- сто- ра- ны, ка- фе		профес- сио- нально- техни- ческие учили- ща	управле- ния, про- ектные и кон- струк- торские органи- зации, учрежде- ния фи- нансиро- вания и кредито- вания	од- нос- мен- ные	по- лу- то- расм ен- ные, двух смен ные						об- слу- жи- вания	
Жилые дома:																
с электрическими плитами	-	0,9	0,6	0,7	0,6	0,4	0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,4	0,7	0,6	0,7	0,9
с плитами на твер- дом или газообраз- ном топливе	0,9	-	0,6	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	0,8	0,7	0,7	0,4	0,6	0,5	0,5	0,9
Предприятия обще- ственного питания	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5

(столовые, кафе и рестораны)																
Общеобразовательные школы, средние учебные заведения, профессионально-технические училища, библиотеки	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Предприятия торговли (односменные и полуторговых)	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования и кредитования	0,5	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,5
Гостиницы	0,8	0,8	0,6	0,8	0,4	0,3	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,4	0,7	0,5	0,7	0,9
Поликлиники	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Ателье и комбинаты бытового обслуживания, предприятия коммунального обслуживания	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Кинотеатры	0,9	0,9	0,4	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,8	0,7	0,8	0,2	0,4	0,4	0,5	-

2. Укрупненная расчетная электрическая нагрузка микрорайона (квартала) $P_{Р.МР}$, кВт, приведенная к шинам 0,4 кВ ТП, определяется по формуле

$$P_{Р.МР} = (P_{Р.ЖЗ.УД} + P_{Общ.зд.уд.}) \cdot S \cdot 10^{-3}, \quad (7.14)$$

где $P_{Общ.зд.уд.}$ – удельная нагрузка общественных зданий микрорайонного значения, принимаемая 6 Вт/м²; S – общая площадь жилых зданий микрорайона (квартала), м².

В укрупненных нагрузках общественных зданий микрорайонного значения учтены предприятия торговли и общественного питания, детские ясли-сады, школы, аптеки, раздаточные пункты молочных кухонь, приемные и ремонтные пункты, жилищно-эксплуатационные конторы (управления) и другие учреждения согласно СНиП по планировке и застройке городских и сельских поселений, а также объекты транспортного обслуживания (гаражи и открытые площадки для хранения автомашин).

Электрические нагрузки общественных зданий районного и городского значения, включая лечебные учреждения и зрелищные предприятия, определяются дополнительно согласно раздела 7.3.

3. Электрические нагрузки взаиморезервируемых линий (трансформаторов) при ориентировочных расчетах допускается определять умножением суммы расчетных нагрузок линий (трансформаторов) на коэффициент 0,9.

7.5. Электрические нагрузки сетей 6–10 кВ и ЦП

Расчетные электрические нагрузки городских сетей 6–10 кВ определяются умножением суммы расчетных нагрузок трансформаторов отдельных ТП, присоединенных к данному элементу сети (ЦП, РП, линии и др.), на коэффициент, учитывающий совмещение максимумов их нагрузок (коэффициент участия в максимуме нагрузок), принимаемый по табл. 7.1 и 7.2. Коэффициент мощности для линий 6–10 кВ в период максимума нагрузки принимается равным $\cos\varphi = 0,92$ (коэффициент реактивной мощности $\tan\varphi = 0,43$).

Расчетные нагрузки на шинах 6–10 кВ ЦП определяются с учетом несовпадения максимумов нагрузок потребителей городских распределительных сетей и сетей промышленных предприятий (питающихся от ЦП по самостоятельным линиям) путем умножения суммы их расчетных нагрузок на коэффициент совмещения максимумов, принимаемый по табл. 7.9 и 7.10.

Таблица 7.9

Коэффициенты совмещения максимумов нагрузок трансформаторов (k_y)

Характеристика нагрузки	Количество трансформаторов				
	2	3–5	6–10	11–20	более 20
Жилая застройка (70% и более нагрузки жилых домов и до 30% нагрузки общественных зданий)	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
Общественная застройка (70% и более нагрузки общественных зданий и до 30% нагрузки жилых домов)	0,9	0,75	0,7	0,65	0,6
Коммунально-промышленные зоны (65% и более нагрузки промышленных и общественных зданий и до 35% нагрузки жилых домов)	0,9	0,7	0,65	0,6	0,55
Примечания: 1. Если нагрузка промышленных предприятий составляет менее 30 % нагрузки общественных зданий, коэффициент совмещения максимумов нагрузок трансформаторов следует принимать как для общественных зданий. 2. Коэффициенты совмещения максимумов нагрузок трансформаторов для промежуточных значений состава потребителей определяется интерполяцией.					

Таблица 7.10

Коэффициенты совмещения максимумов нагрузок городских сетей и промышленных предприятий

Максимум нагрузок	Отношение расчетной нагрузки предприятий к нагрузке городской сети						
	0,2	0,6	1	1,5	2	3	4
Утренний	<u>0,75</u> 0,6	<u>0,8</u> 0,7	<u>0,85</u> 0,75	<u>0,88</u> 0,8	<u>0,9</u> 0,85	<u>0,92</u> 0,87	<u>0,95</u> 0,9
Вечерний	0,85–0,9	0,65–0,85	0,55–0,8	0,45–0,76	0,4–0,75	0,3–0,7	0,3–0,7
Примечания: 1. В числителе приведены коэффициенты для жилых домов с электроплитами, в знаменателе – с плитами на газовом или твердом топливе. 2. Меньшие значения коэффициентов в период вечернего максимума нагрузок следует принимать при наличии промышленных предприятий с односменным режимом работы, большие – когда все предприятия имеют двух-, трехсменный режим работы. Если режим работы предприятий смешанный, то коэффициент совмещения определяется интерполяцией пропорционально их соотношению. 3. При отношении расчетной нагрузки промпредприятий к суммарной нагрузке городской сети менее 0,2 коэффициент совмещения для утреннего и вечернего максимумов следует принимать равным 1. Если это отношение более 4, коэффициент совмещения для утреннего максимума следует принимать равным 1; для вечернего максимума, если все предприятия односменные – 0,25, если двух-, трехсменные – 0,65.							

Для ориентировочных расчетов электрических нагрузок города (района) на расчетный срок концепция развития города рекомендуется применять укрупненные удельные показатели, приведенные в табл. 7.11.

Таблица 7.11

Укрупненные показатели удельной расчетной коммунально-бытовой нагрузки

№ пп.	Категория (группа) города	Расчетная удельная обеспеченность общей площадью, м ² /чел.	Город			Район		
			с плитами на природном газе, кВт/чел.			со стационарными электрическими плитами, кВт/чел.		
			в целом	в том числе		в целом	в том числе	
			по городу (району)	центр	микрорайон (кварталы) застройки	по городу (району)	центр	микрорайон (кварталы) застройки
1	Крупнейший	26,7	0,51	0,77	0,43	0,6	0,85	0,53
2	Крупный	27,4	0,48	0,7	0,42	0,57	0,79	0,52
3	Большой	27,8	0,46	0,62	0,41	0,55	0,72	0,51
4	Средний	29	0,43	0,55	0,4	0,52	0,65	0,5
5	Малый	30,1	0,41	0,51	0,39	0,5	0,62	0,49

Примечания:

1. Значения удельных электрических нагрузок приведены к шинам 6–10 кВ ЦП.

2. При наличии в жилом фонде города (района) газовых и электрических плит удельные нагрузки определяются интерполяцией пропорционально их соотношению.

3. В тех случаях, когда фактическая обеспеченность общей площадью в городе (районе) отличается от расчетной, приведенные в таблице значения следует умножить на отношение фактической обеспеченности и расчетной.

4. Приведенные в таблице показатели учитывают нагрузки: жилых и общественных зданий (административных, учебных, научных, лечебных, торговых, зрелищных, спортивных), коммунальных предприятий, объектов транспортного обслуживания (гаражей и открытых площадок для хранения автомобилей), наружного освещения.

5. В таблице не учтены различные мелкопромышленные потребители (кроме перечисленных в п.4 примечания) питающиеся, как правило, по городским распределительным сетям.

Для учета этих потребителей по экспертным оценкам к показателям

таблицы следует вводить следующие коэффициенты:

- для районов города с газовыми плитами 1,2–1,6;
- для районов города с электроплитами 1,1–1,5.

Большие значения коэффициентов относятся к центральным районам города, меньшие к микрорайонам (кварталам) жилой застройки.

6. К центральным районам города относятся сложившиеся районы со значительным сосредоточением различных административных учреждений, учебных, научных, проектных организаций, банков, фирм, предприятий торговли и сервиса, общественного питания, зрелищных предприятий и пр.

В табл. 7.12 приведены укрупненные показатели расхода электроэнергии коммунально-бытовых потребителей и годового числа часов использования максимума электрической нагрузки

Таблица 7.12

Укрупненные показатели расхода электроэнергии коммунально-бытовых потребителей и годового числа часов использования максимума электрической нагрузки

№ пп.	Категория (группа) города	Города			
		без стационарных электроплит		со стационарными электроплитами	
		удельный расход электро- энергии, кВт·ч/чел. в год	годовое число часов ис- пользования максимума электриче- ской нагруз- ки T_M	удельный расход элек- троэнергии, кВт·ч/чел. в год	годовое число часов ис- пользования максимума электриче- ской нагруз- ки T_M
1	Крупнейший	2880	5650	3460	5750
2	Крупный	2620	5450	3200	5650
3	Большой	2480	5400	3060	5600
4	Средний	2300	5350	2880	5550
5	Малый	2170	5300	2750	5500

Примечания:

1. Приведенные укрупненные показатели предусматривают электропотребление жилыми и общественными зданиями, предприятиями коммунально-бытового обслуживания, объектами транспортного обслуживания, наружным освещением.

2. Годовое число часов использования максимума электрической нагрузки приведено к шинам 6–10 кВ ЦП.

8. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

8.1. Общие расчёты

При проведении расчетов городских сетей исходят из следующих положений. Сечения проводов и кабелей в городских электрических сетях выбирают по длительно допустимому току в нормальном, аварийном и послеаварийном режимах и допустимым отклонениям напряжения. Линии напряжением выше 1 кВ также проверяются по экономической плотности тока и токам короткого замыкания. Кабельные линии с пластмассовой изоляцией напряжением до 1 кВ проверяют по токам короткого замыкания.

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

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 $\pm 5\%$;
- 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 $+10\%$.

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 $6-10-20$ кВ не более 6% , в сетях 380 В (от ТП до вводов в здания) не более $4-6\%$.

8.2. Выбор мощности трансформаторов ТП и ПС

8.3. Компенсация реактивной мощности

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

Для жилых и общественных зданий компенсация реактивной нагрузки не предусматривается. Условия компенсации реактивной нагрузки местных и центральных тепловых пунктов, насосных, котельных и других потребителей, предназначенных для обслуживания жилых и общественных зданий, расположенных в микрорайонах, определяются Нормами проектирования электрооборудования жилых и общественных зданий [РД-94].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Биллингтон, Р. Оценка надежности электроэнергетических систем: [пер. с англ.] / Р. Биллингтон, Р. Аллан. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.

Воробьев, А.Ю. Электроснабжение компьютерных и телекоммуникационных систем. – М.: ЭкоТрендз, 2002. – 280 с.

ВСН 59-88. Электрооборудование жилых и общественных зданий. Нормы проектирования / Госкомархитектуры. – М.: Стройиздат, 1990. – 87 с.

ГОСТ 12.1.038-82 (2001). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений и токов. – Введ. 1983-07-01. М.: Изд-во стандартов, 2001. – 5 с.

ГОСТ Р 50571.8-94. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности / Госкомархитектуры. – М.: Стройиздат, 1990. – 87 с.

ГОСТ Р 51732-2001. Устройства вводно-распределительные для жилых и общественных зданий, 2001.

Ершов, А.М. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения. Часть 2: Защита электрических сетей напряжением до 1 кВ: учебное пособие / А.М. Ершов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – 168 с.

Киреева, Э.А. Электроснабжение жилых и общественных зданий / Э.А. Киреева, С.А. Цырук. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2005. – 96 с.

Козлов, В.А. Городские распределительные электрические сети. – Л.: Энергия, 1971. – с.

Козлов, В.А. Электроснабжение городов / В.А. Козлов. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 264 с.

Коннов, А.А. Электрооборудование жилых зданий / А.А. Коннов; под ред. М.В. Геворкяна. – М.: Додэка-21, 2003, 2006, 2010. – 255 с.

Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов: Учебное пособие / Е.А. Конюхова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 320 с.

Коробов, Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование: учеб. пособие / Г. В. Коробов, В. В. Картавцев, Н. А. Черемисинова. – 2-е изд., испр. – СПб: Лань, 2011. – 192 с.

Кужеков, С.Л. Городские электрические сети: Учеб. пособие / С.Л. Кужеков, С.В. Гончаров. – Ростов на Дону: Март, 2001. – 254 с.

Лоскутов, А.А. Разработка и исследование топологии интеллектуальных городских распределительных сетей среднего напряжения: Дисс. на соиск. ... канд. техн. наук. – Нижний Новгород: НГТУ, 2015. – 221 с.

Лыкин, А.В. Электрические системы и сети. Учеб. пособие по направлению 140200 «Электроэнергетика» / А.В. Лыкин. – М.: Университетская книга: Логос, 2006, 2008. – 253 с.

Макаров Е. Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4–35 кВ и 110–1150 Кв. – М.: Папирус Про, 2005.

Миловидов, С.С. Надежность городских кабельных сетей. Выбор рациональных схемных решений / С.С. Миловидов, Д.Е. Павликов [Электронный ресурс] // Новости электротехники: информационно-справочное издание. – 2011. – №2(68). - URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2011/68/07.php>.

Мясоедов, Ю.В. Электроснабжение городов: учебное пособие / Ю.В. Мясоедов, Л.А. Мясоедова, И.Г. Подгурская. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014. – 106 с.

Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше. ОНТП ВЛ-78 / Минэнерго СССР. М.: Энергосетьпроект, 1978.

Ополева, Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: учеб. пособие / Г.Н. Ополева. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. – 480 с.

Политика инновационного развития энергосбережения и повышения энергетической эффективности ОАО «Россети» (Утверждено Советом директоров ОАО «Россети», протокол № 150 от 23.04.2014). – М., 2014. – 39 с.

Положение ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе. – М.: ОАО «Россети», 2013. – 196 с.

Пособие по проектированию городских и поселковых электрических сетей (к ВСН 97-83) / Гипрокоммунэнерго, МНИИТЭП. – М.: Стройиздат, 1987, – 208 с.

РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 48 с.

Рекомендации по составлению раздела «Охрана окружающей среды» в проектах электросетевых объектов напряжением в 35 кВ и выше. – М.: Энергосетьпроект, 1990. – 57 с.

Руководство по выбору и согласованию площадок понижающих подстанций 35 кВ и выше. – М.: Энергосетьпроект, 1988. – 50 с.

Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий / Ю.Д. Сибикин. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.

СН 541-82. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, посёлков и сельских населённых пунктов. – М.: Стройиздат, 1982.

СНиП 2.07.01-89. Планировка и застройка городских и сельских поселений. – М.: Стройиздат, 1991.

СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: Госстрой России, 2004. – 29 с.

СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. – М.: Госстрой России, 2004. – 52 с.

Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию предприятий и общественных зданий / ред. С. И. Гамазин, Б. И. Кудрин, С. А. Цырук. – М.: Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2010.

СНиП 2.07.01-89. Планировка и застройка городских и сельских поселений. М.: Стройиздат. 1991.

Справочник по проектированию электроснабжения. Электроустановки промышленных предприятий / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 454 с.

Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во ИЦ ЭНАС, 2006. – 352 с.

Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий / под общ. ред. профессоров МЭИ (ТУ) С.И. Гамазина, Б.И. Кудрина, С.А. Цырука. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 745 с.

Титов, Е.Г. Проектирование электроустановок жилых и общественных зданий и сооружений / Е.Г. Титов. – СПб: ООО «ЦКС», 2006. – 128 с.

Тульчин, И.К. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий / И.К. Тульчин, Г.И. Нудлер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 480 с.

Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации – М.: Энергосервис, 2003. – 367 с.

Правила устройства электроустановок / М-во энергетики Российской Федерации. – 7-е изд. – М.: Изд-во ИЦ ЭНАС, 2003. – 750 с.

РД 34.20.185-94 Инструкция по проектированию городских электрических сетей.

Харченко, В.Н. Рекомендации по электроснабжению индивидуальных жилых домов, коттеджей, дачных(садовых) домов и других частных сооружений / В.Н. Харченко. – М.: ЗАО «Энергосервис», 1999. – 104 с.

Цигельман, И. Е. Электроснабжение гражданских зданий и коммунальных предприятий / И.Е. Цигельман. – М.: Высш. шк. 1988. – 319 с.

Электробезопасность. Теория и практика: учебное пособие для вузов / П.А. Долин, В.Т. Медведев, В.В. Корочков, А.Ф. Монахов; под ред. В.Т. Медведева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 280 с.

Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 964 с.