

**В.С. Холянов, О.М. Холянова**

# **ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ НЕПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

Учебное пособие



published in russia@ed.ac.uk

2007

УДК.628.921.95  
Х31

**Холянов В.С., Холянова О.М.**

Электроснабжение непромышленных объектов: Учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. –

Первая часть пособия посвящена расчёту электрических нагрузок жилых и общественных зданий в микрорайонах городов, расчёту сетей наружного освещения, выбору схем внешнего электроснабжения.

Вторая часть пособия посвящена вопросам электроснабжения объектов сельского хозяйства и включает расчёт электрических нагрузок, выбор числа и мощности трансформаторов на подстанции.

Приведены справочные данные для расчёта распределительных сетей напряжением 0,38-20 кВ. Пособие предназначено для проектирования электроснабжения непромышленных объектов. Ответственный редактор – В.И.Пупкин.

Рецензенты: канд. техн. наук, В.С. Пастухов.

Печатается с оригинал-макета, составленного авторами.

© Изд-во ДВГТУ, 2007

# Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
1.ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДОВ.....	5
1.1. Расчёт электрических нагрузок.....	5
1.1.1. Определение расчётных нагрузок жилых зданий.....	5
1.1.2. Определение расчётных нагрузок общественных зданий.....	7
1.1.3. Графики электрических нагрузок микрорайона.....	8
1.1.4. Расчёт сетей наружного освещения.....	9
1.1.5. Выбор расположения подстанций напряжением 10/0,4 кВ.....	12
1.1.6. Определение электрических нагрузок распределительных сетей напряжением до 1 кВ.....	13
1.1.7. Определение электрических нагрузок сетей 10 (6) кВ и центра питания.....	14
1.2. Выбор и расчёт схем сетей внешнего электроснабжения.....	15
1.2.1. Напряжение сетей.....	15
1.2.2. Выбор схем построения электрических сетей напряжением 35 кВ и выше.....	15
1.2.3. Выбор схем построения электрических сетей напряжением 0,38 – 20 кВ.....	17
1.2.4. Выбор числа и мощности трансформаторов 10/0,4 кВ.....	20
1.3. Расчёт электрических сетей.....	24
1.3.1. Выбор сечения кабелей электрических сетей напряжением до 1 кВ.....	25
1.3.2. Выбор сечения кабелей электрических сетей напряжением 10 (6) кВ.....	27
1.3.3. Проверка кабелей на термическую стойкость.....	28
1.4. Выбор схем сетей внутреннего электроснабжения.....	29
1.4.1. Общие положения.....	29
1.4.2. Электрические сети жилых зданий.....	31
1.4.3. Электрические сети общественных зданий.....	34
1.5. Защита в системах электроснабжения жилых и общественных зданий.....	37
1.5.1. Общие положения.....	37
1.5.2. Виды и схемы защиты.....	38
1.5.3. Устройства защитного отключения.....	42
1.5.4. Обеспечение селективности при применении УЗО.....	45
2.ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА.....	49
2.1. Расчёт электрических нагрузок.....	50
2.1.1. Общие положения.....	50
2.1.2. Расчёт электрических нагрузок в сетях 0,38-110 кВ.....	51
2.1.3. Графики электрических нагрузок сельских потребителей.....	52
2.1.4. Расчёт сетей наружного освещения.....	53
2.1.5. Выбор расположения подстанций напряжением 10/0,4 кВ.....	54
2.2. Выбор и расчёт схем внешнего электроснабжения.....	54

2.2.1. Напряжение сетей.....	54
2.2.2. Нормы надёжности.....	55
2.2.3. Требования к схемам электрических сетей.....	57
2.2.4. Выбор числа и мощности трансформаторов 10/0,4 кВ.....	58
2.2.5. Выбор числа и мощности трансформаторов 35-110/10 кВ.....	61
2.2.6. Выбор типовой трансформаторной подстанции с высшим напряжением 10 кВ.....	62
2.3. Расчёт электрических сетей.....	66
2.3.1. Общие требования.....	66
2.3.2. Выбор сечения проводов ВЛ напряжением 0,38 и 10 кВ.....	67
2.3.3. Выбор сечения проводов ВЛ напряжением 35, 110 кВ.....	69
2.3.4. Расчёт потерь мощности и энергии в электрических сетях.....	69
Приложения.....	71
Библиографический список.....	119

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Настоящее учебное пособие даёт познания в области электроснабжения непромышленных объектов, к которым относятся два вида систем электроснабжения, имеющих важное значение для функционирования коммунального хозяйства городов с одной стороны и обеспечение нормальной жизнедеятельности жителей и объектов сельскохозяйственного назначения с другой стороны. В учебном пособии приводятся основные методики расчёта электрических сетей коммунального и сельскохозяйственного назначения.

В пособии даны методики расчёта электрических нагрузок жилых и общественных зданий, расчёта сетей наружного освещения, рекомендации по выбору схем внешнего электроснабжения сетей 35 кВ и выше. Приведены основные справочные данные для расчёта распределительных сетей напряжением 0,38-20 кВ, даётся порядок выбора числа, мощности и местонахождения сетевых трансформаторов 10/0,4 кВ коммунального назначения.

Вторая часть пособия посвящена проблемам электроснабжения сельского хозяйства, включает расчёт электрических нагрузок, расчёт сетей наружного освещения, выбор числа и мощности трансформаторов на подстанции, расчёт электрических сетей сельскохозяйственного назначения напряжением 0,38; 10; 35 и 110 кВ.

## **1. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ГОРОДОВ**

Современные жилые здания насыщены большим количеством различных электроприёмников. К ним относятся осветительные и бытовые приборы и силовое электрооборудование. Идёт постоянный процесс повышения комфортности жилья, а это в свою очередь увеличивает количество бытовых электроприёмников и увеличивает бытовое электропотребление. Повышение этажности домов ужесточает требования к надёжности и бесперебойности питающих их электрических сетей.

В этой связи постоянно ведётся корректировка нормативной литературы по расчёту как внутридомовых, так и наружных электрических сетей. Настоящее пособие включает в себя самые современные нормативы для определения расчётных электрических нагрузок зданий (квартир), коттеджей, микрорайонов застройки и элементов городской распределительной сети.

### **1.1. Расчет электрических нагрузок**

В качестве расчётной нагрузки принимается получасовой (30-минутный) максимум нагрузки. Получасовой максимум принят для выбора всех элементов системы электроснабжения (проводников, трансформаторов, аппаратуры). В основе расчёта нагрузок коммунально-бытовых потребителей используется нагрузка одного потребителя, в качестве которого выступает семья или квартира при посемейном заселении домов.

Теоретические предпосылки рассматриваемого метода базируются на вероятностном подходе к величине расчётного максимума нагрузки. Разработке нормативных значений нагрузок предшествовали необходимые измерения в различных точках системы питания жилых домов: на вводах в квартиры, на лестничных стояках, вводах в дома, сетях низкого напряжения (питающих дома) и сетевых трансформаторах. Результаты измерений обрабатывались методами математической статистики и теории вероятностей.

Величина расчётной нагрузки в значительной степени зависит от уровня электрификации быта, то есть от электровооружённости или наличия различных бытовых электроприёмников в квартирах жильцов. В коммунальных электрических сетях наблюдается тенденция повышения уровня электрификации быта, увеличения числа различных электроприборов и их единичной мощности с одной стороны. С другой стороны в быту появляются современные энергоэкономичные бытовые электроприёмники с системами технологической, сетевой и защитной автоматики.

#### **1.1.1. Определение расчетных нагрузок жилых зданий**

Электроприёмники жилых зданий можно подразделить на две группы:

- электроприёмники квартир;
- электроприёмники общедомового назначения.

К первым относятся осветительные и бытовые электроприборы; ко вторым – светильники лестничных клеток, технических подполий, чердаков, вестибюлей,

холлов, служебных и других помещений, лифтовые установки, вентиляционные системы, различные противопожарные устройства, домофоны и т.п.[1].

Электрическое освещение квартир осуществляется с помощью светильников с лампами накаливания и люминесцентными. К бытовым относятся следующие электроприборы: нагревательные, хозяйственные, культурнобытовые, санитарно-гигиенические, бытовые кондиционеры воздуха, водонагреватели, приборы для отопления помещений.

Для освещения лестниц, вестибюлей, холлов, коридоров применяют лампы накаливания и люминесцентные. Последние имеют большой срок службы и менее чувствительны к колебаниям напряжения.

К силовым электроприёмникам относятся асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором и другие электроприёмники лифтовых установок.

Для высотных зданий применяют лифты со специальным электроприводом, куда входит электромагнитный тормоз и аппаратура управления.

Кроме того, к силовым электроприёмникам относят электродвигатели вентиляторов и насосов, различные электромагниты для открывания клапанов и люков систем дымоудаления зданий высотой более девяти этажей, а также аппаратуру связи и сигнализации.

Расчетная электрическая нагрузка квартир  $P_{кв}$ , кВт, приведенная к вводу жилого здания, определяется по формуле:

$$P_{кв} = P_{кв.уд} \cdot n, \quad (1.1)$$

где  $P_{кв.уд}$  – удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников (зданий), кВт/квартира, (табл. 1.1.) [2],  $n$  – число квартир.

При определении электрической нагрузки линии или на шинах 0,4 кВ ТП должны учитываться: суммарное количество квартир (коттеджей), лифтовых установок и другого силового электрооборудования, питающегося от ТП, и потери мощности в питающих линиях 0,38 кВ.

Расчетная нагрузка силовых электроприемников  $P_c$ , кВт, приведенная к вводу жилого дома, определяется по формуле:

$$P_c = P_{р.л} + P_{ст.у} \quad (1.2)$$

Мощность лифтовых установок  $P_{р.л}$ , кВт, определяется по формуле:

$$P_{р.л} = K_C' \sum P_{Ni}, \quad (1.3)$$

где  $K_C'$  коэффициент спроса, табл.1.2 [2];  $N$  - количество лифтовых установок;

$P_{Ni}$  - установленная мощность электродвигателя лифта, кВт.

Мощность электродвигателей насосов водоснабжения, вентиляторов и других санитарно-технических устройств  $P_{ст.у}$ , кВт, определяется по их установленной мощности с учетом коэффициента спроса  $K_C$  по табл.1.3 [2]

$$P_{ст.у} = K_C \sum P_{ст.у}. \quad (1.4)$$

Мощность резервных электродвигателей, а также электроприемников противопожарных устройств не учитывается.

Расчетная электрическая нагрузка жилого дома (квартир и силовых электроприемников)  $P_{р.ж.д}$ , кВт, определяется по формуле:

$$P_{р.ж.д} = P_{кв} + K_y \cdot P_c, \quad (1.5)$$

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

Расчетная реактивная нагрузка жилого дома, квар, определяется по формуле:

$$Q_{Р.Ж.Д} = P_{Р.КВ} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{КВ} + K_y \cdot P_C \cdot \operatorname{tg}\varphi_C, \quad (1.6)$$

где  $\operatorname{cos}\varphi_{КВ}$  – расчетный коэффициент мощности для квартир с электрическими плитами, принимаемый равным 0,9;  $\operatorname{cos}\varphi_C$  – расчетный коэффициент мощности лифтовых установок, принимаемый по табл.1.4.[2].

Полная нагрузка жилого дома, кВт·А, равна:

$$S_{Р.Ж.Д} = \sqrt{P_{Р.Ж.Д}^2 + Q_{Р.Ж.Д}^2}. \quad (1.7)$$

Расчётная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах 0,4 кВ ТП от электроприёмников квартир повышенной комфортности  $P_{Р\ КВ}$  определяется по формуле, кВт,

$$P_{Р\ КВ} = P_{КВ} \cdot n \cdot K_o, \quad (1.8)$$

где  $P_{КВ}$  – нагрузка электроприёмников квартир повышенной комфортности, определяется из табл. 1.5. перемножением заявленной мощности и соответствующего коэффициента спроса;  $n$  – количество квартир;  $K_o$  – коэффициент одновременности для квартир повышенной комфортности, табл. 1.6.

Удельные расчетные электрические нагрузки электроприемников коттеджей принимаются по табл. 1.7, кВт/коттедж [3].

Расчетная электрическая нагрузка квартир и коттеджей с электрическим отоплением и электрическим водонагревом должна определяться по проекту внутреннего электрооборудования квартиры (здания), коттеджа в зависимости от параметров установленных приборов и режима их работы (определяется теплотехнической частью проекта).

### 1.1.2 Определение расчетных нагрузок общественных зданий

Общественными являются следующие здания: различные учреждения и организации управления, финансирования, кредитования, госстраха, просвещения, дошкольные; библиотеки, архивы, предприятия торговли, общепита, бытового обслуживания населения; гостиницы, лечебные учреждения, музеи, зрелищные предприятия и спортивные сооружения.

Все электроприёмники общественных зданий условно можно разделить на две группы: осветительные и силовые. В основных помещениях общественных зданий используются светильники с люминесцентными лампами в исполнении, соответствующем условиям среды и выполняемой работы. Используются также металлогалогенные, натриевые, ксеноновые лампы для внутреннего и наружного освещения. Во вспомогательных помещениях (скла-ды, кладовые) применяют лампы накаливания [1].

К силовым электроприёмникам относятся электроприёмники механического оборудования; электротеплового оборудования; холодильных машин, подъёмно-транспортного оборудования, санитарно-технических установок, связи, сигнализации, противопожарных устройств и др.

Общественные здания имеют также приточно-вытяжные вентиляционные установки, широко применяются системы кондиционирования воздуха, насосы систем горячего и холодного водоснабжения. Большинство механизмов оборудовано асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором.

Электрические нагрузки любого общественного здания состоят из нагрузок электрического освещения и силового электрооборудования. Установленная мощность ламп электрического освещения определяется на основании светотехнических расчетов [1].

Расчетная силовая электрическая нагрузка на вводах в общественное здание определяется по проектам оборудования зданий.

Для ориентировочных расчетов усредненные удельные нагрузки и коэффициенты мощности допускается принимать по табл. 1.8 [2] удельных показателей нагрузок, приведенных с учетом внутреннего освещения.

### 1.1.3. Графики электрических нагрузок микрорайона

Графики нагрузок дают представление о характере изменения во времени электрических нагрузок. По продолжительности они бывают суточными и годовыми.

Графики нагрузок микрорайона в целом дают возможность определить потребление активной энергии потребителями микрорайона, правильно выбрать силовые трансформаторы и питающие линии.

По графикам планируется текущий и капитальный ремонт элементов системы электроснабжения, определяют потребность в топливе для станций на какой-либо период, определяют необходимое количество и суммарную мощность рабочих агрегатов станции в различные часы суток.

В справочнике [4] и в табл. 1.9 приведены ориентировочные суточные (зимний и летний) графики электрических нагрузок некоторых характерных городских потребителей. Для потребителей микрорайона летний максимум составляет для жилых домов с электроплитами 80%, а для остальных объектов – 70%.

Для реального проектирования могут быть использованы замеры режимных дней конкретных объектов.

Суточные графики используют для построения годового графика по продолжительности. Можно условно принять продолжительность зимнего периода 200 дней, летнего – 165. По оси ординат годового графика по продолжительности в соответствующем масштабе откладывают нагрузки в кВт от  $P_{\text{МАКС}}$  до  $P_{\text{МИН}}$ , а по оси абсцисс – часы года от 0 до 8760 ( $24 \cdot 365 = 8760$ ).

Площадь годового графика выражает количество потребленной электроэнергии за год в кВт·ч.

По данным графика определяют число часов использования максимальной нагрузки, ч.,

$$T_M = \frac{200 \sum P_{3i} + 165 \sum P_{Лi}}{P_{\text{МАКС.3}}}, \quad (1.9)$$

где  $P_{3i}$  – нагрузка  $i$  –го часа в декабре, кВт;  $P_{ли}$  – нагрузка  $i$  –го часа в июне, кВт;  $P_{МАКС.З}$  – максимальная нагрузка в зимний период, кВт.

Время максимальных потерь, ч.

$$\tau_M = (0,124 + T_M \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760. \quad (1.10)$$

#### 1.1.4. Расчет сетей наружного освещения

Основной задачей наружного освещения улиц и внутрирайонных проездов является обеспечение безопасности движения в темное время суток. Уличное освещение должно обеспечивать нормированную величину освещенности или величину средней яркости дорожного покрытия. Освещенность должна быть по возможности равномерной.

В сетях наружного освещения следует применять напряжение 380/220 В переменного тока при заземленной нейтрали.

Сети наружного освещения рекомендуется выполнять кабельными или воздушными с использованием самонесущих изолированных проводов. В обоснованных случаях для воздушных распределительных сетей освещения улиц, дорог, площадей, территорий микрорайонов и населённых пунктов допускается использовать неизолированные провода.

Электропроводки внутри опор наружного освещения должны выполняться изолированными проводами в защитной оболочке или кабелями.

Линии, питающие светильники, подвешенные на тросах, должны выполняться кабелями, проложенным по тросу, самонесущими изолированными проводами [5].

Линии электропередачи до 20 кВ на селитебной территории городов, в районах застройки зданиями высотой 4 этажа и выше должны выполняться, как правило, кабельными. В районах застройки зданиями высотой до 3 этажей линии электропередачи следует выполнять воздушными [1].

Кабельными должны выполняться распределительные сети освещения территорий детских яслей-садов, общеобразовательных школ, школ-интернатов, участков улиц с троллейбусным движением в местах наибольшей вероятности схода штанг, а также линии, питающие осветительные приборы подсвета зелени, цветов, фасадов зданий, скульптур, монументов.

Кабельные распределительные сети в пределах одной линии следует выполнять одним сечением.

Линии сети наружного освещения должны подключаться к пунктам питания с учетом равномерной нагрузки фаз трансформаторов, для чего отдельные линии следует присоединять к разным фазам или с соответствующим чередованием фаз [6].

В установках наружного освещения рекомендуется применять преимущественно высокоэкономичные газоразрядные источники света высокого давления:

- натриевые лампы высокого давления (НЛВД) – на улицах и дорогах при норме средней освещенности 4 лк и выше; лампы ДРИ (метал-логалогенные)– на улицах и

площадях всех категорий со значительным пешеходным движением при средней освещённости 10 лк и выше;

- лампы ДРЛ (дуговые ртутные) различной мощности – на улицах и дорогах всех категорий, а также в транспортных и пешеходных тоннелях.

Светильники с газоразрядными источниками света должны иметь индивидуальную компенсацию реактивной мощности. Коэффициент мощности светильника должен быть не ниже 0,85.

Сечения нулевых жил кабелей в осветительных установках с газоразрядными источниками света следует, как правило, принимать равными сечению фазных проводов.

Опоры с венчающими их светильниками рекомендуется размещать по односторонней схеме при ширине пешеходной части до 12 м, а при большей ширине – по двухрядной прямоугольной или шахматной схеме. Отношение шага светильников к высоте их подвеса на улицах и дорогах всех категорий должно быть не более 5 : 1 при одностороннем, осевом или прямоугольном размещении и не более 7 : 1 при шахматной схеме размещения.

По совокупности всех условий (экономическая оптимальность, эстетика, безопасность, ограничение ослеплённости) высота установки светильников выбирается в пределах 6-10 м, за исключением декоративных светильников в парках, у входов в здания и др.

При воздушных сетях расстояние между светильниками ограничивается стрелой провеса проводов и обычно не превышает 40 м.

Освещение улиц, дорог и площадей с регулярным транспортным движением в городских поселениях следует проектировать исходя из нормы средней яркости усовершенствованных покрытий согласно табл.1.10 [7].

Среднюю горизонтальную освещённость на уровне покрытия непроезжих частей улиц, дорог и площадей, бульваров и скверов, пешеходных улиц и территорий микрорайонов в городских поселениях следует принимать по строительным нормам [7], как приведено ниже.

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещённость, лк
Главные пешеходные улицы, непроезжие части площадей категорий А и Б	10
Пешеходные улицы в пределах общественных центров	6
Тротуары, отделенные от проезжей части на улицах категорий:	
А и Б	4
В	2

Среднюю горизонтальную освещённость территорий общественных зданий следует принимать по строительным нормам [7], как приведено ниже.

Средняя горизонтальная  
освещенность, лк

Детские ясли-сады, общеобразовательные школы и школы-интернаты, учебные заведения	10
Групповые и физкультурные площадки	10
Площадки для подвижных игр	10
Проезды и подходы к корпусам и площадкам	4

В ночное время допускается предусматривать снижение уровня наружного освещения городских улиц, дорог и площадей при нормируемой средней освещенности 4 лк и выше путем включения не более половины светильников

В табл. 1.11 приведены параметры типовых решений [8] наружного освещения характерных объектов современного микрорайона со смешанной застройкой.

Каждый участок осветительной сети характеризуется определенным значением передаваемой по нему мощности и, соответственно, определенным значением тока нагрузки.

При определении нагрузок в сетях с газоразрядными источниками света высокого давления (лампы ДРЛ и ДРИ), следует учитывать потери мощности в пускорегулирующих аппаратах (ПРА), которые при отсутствии точных данных рекомендуется принимать равными 10% мощности ламп.

Выбранные сечения проводников осветительной сети должны обеспечивать: достаточную механическую прочность, прохождение тока нагрузки без перегрева сверх допустимых температур, срабатывание защитных аппаратов при токах К.З. (короткого замыкания). При этом расчетное отклонение напряжения у наиболее удаленных светильников не должно превышать 5% номинального напряжения сети.

Расчетная нагрузка  $P_{P.O.}$ , Вт, питающей осветительной сети определяется как

$$P_{P.O.} = P_{уст.} \cdot K_C \cdot K_{ПРА}, \quad (1.11)$$

где  $P_{уст.}$  – установленная мощность ламп, Вт;  $K_C$  – коэффициент спроса (одновременности),  $K_C = 1$  – для наружного освещения;  $K_{ПРА}$  – коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующем аппарате,  $K_{ПРА} = 1,1$ .

Расчетный ток осветительной сети  $I_{P.O.}$ , А, для трехфазной сети (с нулевым проводом и без него) при равномерной нагрузке фаз определяется по формуле:

$$I_{P.O.} = \frac{P_{P.O.}}{\sqrt{3} U_H \cos \varphi}, \quad (1.12)$$

где  $U_H$  – номинальное напряжение сети,  $U_H = 380$  В;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности нагрузки. Для ламп ДРЛ  $\cos \varphi = 0,9$ .

По табл.1.12 согласно расчетному току выбираем сечение головного участка линии  $S$ , мм<sup>2</sup> [9].

Далее необходимо рассчитать потери напряжения на участках  $\Delta U_{уч}$  осветительной сети от источника до самого удаленного потребителя  $\Delta U_{л}$ , %.

В результате должно выполняться условие

$$\Delta U_{л} < \Delta U_{р}, \quad (1.13)$$

где  $\Delta U_p$  – располагаемые потери напряжения. Определяются по табл.1.13 [9] согласно данным той трансформаторной подстанции, от которой питается осветительная сеть.

Потери напряжения на участках линии определяются по формуле, %,

$$\Delta U_{уч} = \frac{(P_{р.о} \cdot L_{уч}) \cdot 10^{-3}}{C \cdot S}, \quad (1.14)$$

где  $C$  – коэффициент, равный 46 для схем трехфазной сети с нулевым проводом и алюминиевыми жилами;  $S$  - сечение данного участка осветительной сети, мм<sup>2</sup>;  $L_{уч}$  – длина участка линии, м.

Потери напряжения всей линии определяются суммированием потерь напряжения на всех участках,

$$\Delta U_{л} = \sum \Delta U_{уч}. \quad (1.15)$$

На линиях наружного освещения, имеющих более 20 светильников на фазу, ответвления к каждому светильнику должны защищаться индивидуальными предохранителями или автоматическими выключателями.

### 1.1.5. Выбор расположения подстанций напряжением 10/0,4 кВ

Правильное размещение трансформаторных подстанций (ТП) в микрорайоне или поселке городского типа существенно влияет на экономические показатели и надежность системы электроснабжения потребителей.

Для определения оптимального местоположения трансформаторных подстанций на генеральном плане строится картограмма электрических нагрузок. Силовые нагрузки представляют в виде кругов, а осветительные нагрузки – в виде секторов. Площадь кругов и секторов в выбранном масштабе соответствует полной нагрузке потребителей.

Координаты центра электрической нагрузки определяются по формулам

$$X_0 = \frac{\sum P_i \cdot X_i}{\sum P_i}, \quad (1.16)$$

$$Y_0 = \frac{\sum P_i \cdot Y_i}{\sum P_i}, \quad (1.17)$$

где  $P_i$  – активная мощность  $i$  – го объекта, подключенного к шинам ТП, кВт;  $X_i$ ,  $Y_i$  – координаты центра нагрузок отдельных потребителей, см.

Трансформаторные подстанции располагают как можно ближе к центру нагрузок, что позволяет приблизить высокое напряжение к центру потребления электрической энергии и сократить протяженность распределительных сетей низкого напряжения, уменьшить расход цветного материала и снизить потери электрической энергии.

Однако архитектурно-планировочные решения застройки микрорайона не всегда допускают такое размещение ТП. В этом случае рекомендуется смещать подстанцию в сторону питающего центра.

### 1.1.6. Определение электрических нагрузок распределительных сетей напряжением до 1 кВ

Характер электропотребления, который определяет величину расчётного максимума нагрузки и время его наступления в течение суток, жилых и общественно-коммунальных зданий является различным. Последнее при определении расчётных нагрузок учитывается с помощью так называемого коэффициента участия в максимуме.

Активная расчетная нагрузка линии на шинах 0,4 кВ ТП при смешанном питании потребителей различного назначения (жилые дома и общественные здания),  $P_{р.л.}$ , кВт, определяется по формуле:

$$P_{р.л.} = P_{зд.макс} + \sum K_{yi} \cdot P_{зд.i}, \quad (1.18)$$

где  $P_{зд.макс}$  – наибольшая нагрузка здания из числа зданий, питаемых по линии, кВт;  $P_{зд.i}$  – 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. 1.14 [2].

#### Примечания:

1. При расчете активной нагрузки жилых домов, питающихся по одной кабельной линии, количество их квартир суммируется (табл. 1.1).
2. При расчете активной нагрузки только общественных зданий массового строительства, питающихся по одной кабельной линии, следует пользоваться табл. 1.8.

Расчетная реактивная нагрузка линии при смешанном питании потребителей различного назначения ( $Q_p$ ), квар, определяется по формуле:

$$Q_{р.тп} = Q_{макс} + \sum K_{yi} \cdot Q_{р.i}, \quad (1.19)$$

где  $Q_{макс}$  – наибольшая реактивная нагрузка зданий, питаемых от шин ТП, квар;  $Q_{р.i}$  – расчетная реактивная нагрузка всех остальных зданий, квар.

$$Q_{р.i} = P_{р.i} \cdot \operatorname{tg}(\arccos \varphi), \quad (1.20)$$

где  $\cos \varphi$  – расчетный коэффициент мощности, табл. 1.4, 1.8.

Полная нагрузка подстанции, кВт·А, определяется по формуле:

$$S_{р.тп} = \sqrt{P_{р.тп}^2 + Q_{р.тп}^2}, \quad (1.21)$$

Коэффициент мощности ТП определяется по формуле:

$$\cos \varphi = \frac{P_{р.тп}}{S_{р.тп}}. \quad (1.22)$$

Коэффициент загрузки трансформаторов

$$K_3 = \frac{S_{P.ТП}}{\sum S_{H.ТP}}, \quad (1.23)$$

где  $\sum S_{H.ТP}$  - суммарная номинальная мощность трансформаторов, установленных на ТП, кВ·А [10].

Укрупненная расчетная электрическая нагрузка микрорайона (квартала),  $P_{P.MP}$ , кВт, приведенная к шинам 0,4 кВ ТП, определяется по формуле:

$$P_{P.MP} = (P_{P.Ж.ЗД.УД} + P_{OБЩ.ЗД.УД}) \cdot S \cdot 10^{-3}, \quad (1.24)$$

где  $P_{OБЩ.ЗД.УД}$  - удельная нагрузка общественных зданий микрорайонного значения, принимаемая 6 Вт/м<sup>2</sup>;  $S$  - общая площадь жилых зданий микрорайона (квартала), м<sup>2</sup>.

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 табл.1.8.

### 1.1.7. Определение электрических нагрузок сетей 10(6) кВ и центра питания

Расчетная активная нагрузка городских сетей 10(6) кВ определяется умножением суммы расчетных нагрузок трансформаторов отдельных ТП, присоединенных к данному элементу сети (ЦП, РП, линии и др.), на коэффициент, учитывающий совмещение максимумов их нагрузок ( $K_{\gamma}$ ), принимаемый по табл. 1.15 [11] в зависимости от количества трансформаторов и характеристики нагрузки.

Активная расчетная нагрузка, кВт, составит:

$$P_{P.Л.} = \sum K_{\gamma i} \cdot P_{P.ТП.i}, \quad (1.25)$$

где  $P_{P.ТП}$  - расчетная активная нагрузка шин  $i$ -ой ТП 10/0,4 кВ.

Коэффициент мощности ( $\cos\phi$ ) для кабельной линии в период максимума нагрузки принят 0,92 (коэффициент реактивной мощности  $\tan\phi = 0,43$ ).

Для реконструируемых электрических сетей в районах сохраняемой жилой застройки при отсутствии существенных изменений в степени ее электрификации (например, не предусматривается централизованный переход на электропищеприготовление) расчетные электрические нагрузки допускается принимать по фактическим данным.

Расчетные нагрузки на шинах 10(6) 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.1.16 [11].

Для ориентировочных расчетов электрических нагрузок города (района) на расчетный срок концепции развития города рекомендуется применять укрупненные удельные показатели, приведенные в табл.1.17 [11].

Значения удельного расхода электроэнергии коммунально-бытовых потребителей на расчетный срок концепции развития города применяются по табл. 1.18 [11].

## **1.2. Выбор и расчет схем сетей внешнего электроснабжения**

### **1.2.1. Напряжение сетей**

Согласно [4] для районов городской застройки наиболее целесообразной является система напряжений 35-110/10 кВ.

При расширении и реконструкции существующих сетей 6 кВ рекомендуется переводить их на напряжение 10 кВ с использованием установленного оборудования на ТП и кабелей при соответствии их характеристик переводимому напряжению.

При проектировании новых микрорайонов напряжение распределительных сетей выше 1 кВ должно приниматься не ниже 10 кВ независимо от напряжения сети в существующей части города.

Существующие сети 6 кВ при темпах ежегодного роста нагрузок, равного 5% и более в течение 10-15 лет, рекомендуется переводить на напряжение 10 кВ в ближайшие 5-10 лет.

При использовании кабельных линий 6 кВ на напряжении 10 кВ рекомендуется предусматривать замену кабелей на кабели 10 кВ на вертикальных участках, например, вводы на подстанции, крутонаклоненные участки трассы и на участках линий с выраженными дефектами.

Городские электрические сети выше 1 кВ до 35 кВ должны выполняться трехфазными.

Сети до 1 кВ должны выполняться с глухим заземлением нейтрали напряжением 380/220 В [11].

### **1.2.2. Выбор схем построения электрических сетей напряжением 35 кВ и выше**

Выбор оптимальной схемы электроснабжающих сетей должен производиться на основании технико-экономических расчетов с учетом размеров города, перспективы его развития, существующих электрических сетей, источников питания и других местных условий.

При разработке схемы электроснабжающих сетей крупных городов (население до 1 млн человек), как правило, следует предусматривать:

- создание вокруг города кольцевой магистральной сети напряжением 110 кВ и выше с двухсторонним питанием;

- сооружение глубоких вводов 110 кВ и выше для питания отдельных (центральных) районов города, не охватываемых кольцевой сетью указанного напряжения. Питание подстанций глубокого ввода может предусматриваться от разных секций одной или разных опорных подстанций.

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.

В сетях 110-220 кВ рекомендуется присоединение к одной линии электропередачи с двухсторонним питанием, как правило, не более трех подстанций при условии сохранения питания потребителей при аварийном отключении любого участка линии.

Место сооружения подстанций 35 кВ и выше, схема электрических сооружений и мощность должны определяться на основе технико-экономических расчетов с учетом нагрузки и расположения основных потребителей, развития сетей 35 кВ и выше энергосистемы и распределительных сетей 10(6) кВ города.

Подстанции глубокого ввода 110-220 кВ, как правило, необходимо выполнять двухтрансформаторными по схеме блоков «линия - трансформатор». Распределительное устройство 10(6) кВ должно выполняться, как правило, с одной секционированной системой сборных шин с устройством АВР на секционном выключателе. Допускается применение одностранформаторных подстанций, если при этом может быть обеспечена требуемая надежность электроснабжения потребителей.

Мощность трансформаторов подстанций глубокого ввода 110-220 кВ при установке двух трансформаторов и отсутствии резервирования по сети 10(6) кВ выбирается с учетом их загрузки в нормальном режиме на расчетный срок согласно методике, приведенной в ГОСТ 14209-85 [11] не более 80% номинальной мощности.

Мощность трансформаторов подстанций в крупных городах, в зависимости от территории района электроснабжения, плотности нагрузки, состава потребителей и других местных условий, рекомендуется принимать:

-при питании по воздушным линиям электропередачи 110 кВ – не менее 25 МВ·А, по линии 220 кВ – не менее 40 МВ·А;

-при питании по кабельным линиям 110-220 кВ – не менее 40 МВ·А.

На подстанциях 110-220 кВ допускается установка трансформаторов меньшей мощности или одного трансформатора при обеспечении требований надежности электроснабжения потребителей.

При построении распределительных сетей 10(6) кВ следует предусматривать возможность их использования для ограниченного взаимного резервирования нагрузки ближайших ЦП (не менее 15% нагрузки).

В связи с внедрением глубоких вводов встает вопрос ограничения мощности короткого замыкания. С ростом мощности подстанции увеличивается мощность короткого замыкания в сетях вторичного напряжения, что приводит к удорожанию распределительных устройств этих сетей.

Мощность короткого замыкания на сборных шинах ЦП (центра питания) при напряжении 10(6) кВ не должна превышать 350(200) МВ·А.

Мероприятия по ограничению мощности короткого замыкания должны определяться на основе технико-экономических расчетов, в которых сопоставляются затраты на ограничение мощности короткого замыкания с затратами на увеличенные сечения проектируемых и замену существующих кабелей.

При необходимости ограничения мощности короткого замыкания на шинах 10(6) кВ ЦП следует рассматривать применение трансформаторов с расщепленными обмотками или установку токоограничивающих реакторов.

### **1.2.3. Выбор схем построения электрических сетей напряжением 0,38-20 кВ**

Распределительная и питающая сеть 10(6) кВ должна использоваться для совместного питания городских потребителей коммунально-бытового и промышленного характера. При технико-экономических обоснованиях допускается сооружение питающих сетей 10(6) кВ для самостоятельного электроснабжения отдельных крупных потребителей.

Принцип построения городских сетей выбирается применительно к основной массе электроприемников для обеспечения требуемого уровня надежности электроснабжения. Примерная схема системы электроснабжения города приведена на рис.1.1 [12].

Целесообразность сооружения РП (распределительный пункт) 10(6) кВ, (на рис 1.1 – РП1), должна обосновываться технико-экономическим расчетом. Нагрузка РП на расчетный срок должна составлять на шинах 10 кВ не менее 7 МВт, на шинах 6 кВ – не менее 4 МВт.

Распределительные пункты 10(6) кВ, как правило, следует выполнять с одной секционированной системой сборных шин с питанием по взаиморезервируемым линиям, подключенным к разным секциям. На секционном выключателе должно предусматриваться устройство АВР (автоматический ввод резерва).

При петлевой, замкнутой и радиальной схемах распределительных сетей 10(6) кВ должны применяться ТП, как правило, с одним трансформатором (ТП1 – ТП5 и ТП15 – ТП18 на рис. 1.1).

Основным принципом построения распределительной сети 10(6) кВ для электроснабжения электроприемников первой категории является двухлучевая схема с двухсторонним питанием при условии подключения взаимно резервирующих линий 10(6) кВ к разным независимым источникам питания. На рис. 1.1 – это питание ТП12 – ТП14 от РП1 и РП2. При этом на шинах 0,38 кВ двухтрансформаторных ТП и непосредственно у потребителя (при наличии электроприемников 1 категории) должно быть предусмотрено АВР.

Основным принципом построения распределительной сети 10(6) кВ для электроснабжения электроприемников первой категории является двухлучевая схема с двухсторонним питанием при условии подключения взаимно резер-

вирующих линий 10(6) кВ к разным независимым источникам питания. На рис. 1.1 – это питание ТП12 – ТП14 от РП1 и РП2. При этом на шинах 0,38 кВ двух-трансформаторных ТП и непосредственно у потребителя (при наличии электроприёмников 1 категории) должно быть предусмотрено АВР.

Следует также рассматривать питание электроприемников первой категории по сети 0,38 кВ от разных ТП, присоединенных к разным независимым источникам. При этом необходимо предусматривать необходимые резервы в пропускной способности элементов системы в зависимости от нагрузки электроприемников первой категории.

Основным принципом построения распределительной сети 10(6) кВ для электроприемников второй категории является сочетание петлевых схем 10(6) кВ, обеспечивающих двухстороннее питание каждой ТП, и петлевых схем 0,38 кВ для питания потребителей, см. рис.1.1. При этом линии 0,38 кВ в петлевых схемах могут присоединяться к одной или разным ТП.

Рекомендуется параллельная работа трансформаторов на напряжении 0,38 кВ по схеме со “слабыми” связями или по полузамкнутой схеме при условии обслуживания указанных сетей 0,38 кВ электроснабжающей организацией. Имеется ввиду размыкание петлевой схемы в нормальном режиме в точке поточораздела. На рис.1.1 это показано пунктирной линией между ТП3 и ТП4, ТП16 и ТП17.

Допускается применение автоматизированных схем (двухлучевых) для питания электроприемников второй категории, если их применение приводит к увеличению приведенных затрат на сооружение сети не более, чем на 5%. На рис. 1.1 – это линии, соединяющие ТП6 и ТП7 и т.д.

Основным принципом построения распределительной сети 10(6) кВ для электроприемников третьей категории является сочетание петлевых линий 10(6) кВ и радиальных линий 0,38 кВ к потребителям. При применении воздушных линий электропередачи для питания электроприемников III категории резервирование линий в сети 0,38 кВ кабельных линий должна учитываться возможность использования временных шланговых кабелей.

Для электроснабжения районов с электроприёмниками первой и второй категорий рекомендуется применение на напряжении 10(6) кВ комбинированной петлевой двухлучевой схемы с двухсторонним питанием.

Для жилых и общественных зданий с электрическими плитами, а также всех зданий высотой 9 этажей и более при питании от однострансформаторных ТП следует предусматривать резервирование сети 0,38 кВ от других ТП.

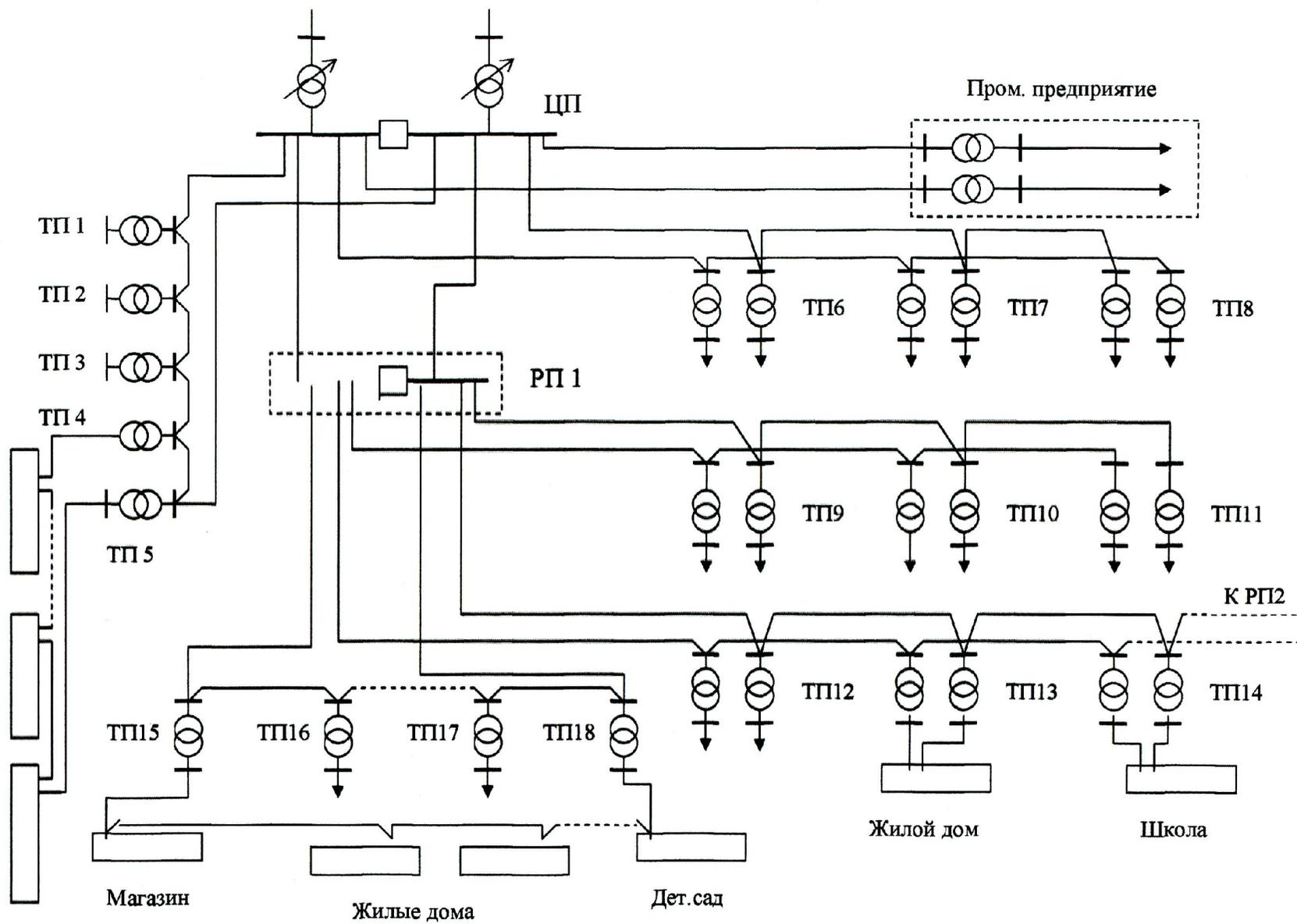


Рис.1.1. Схема электроснабжения города

#### 1.2.4. Выбор числа и мощности трансформаторов 10/0,4 кВ

В распределительных сетях 6-20 кВ выбор числа и мощности трансформаторов определяется характером нагрузки и схемой сети.

Согласно СП-31-110-2003 [2] по степени обеспечения надежности электропитания электроприемники жилых и общественных зданий относятся к соответствующим категориям.

**К электроприемникам первой категории относятся:**

а) электроприёмники 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;

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

в) электродвигатели сетевых и подпиточных насосов котельных второй категории с водогрейными котлами единичной производительностью более 10 Гкал/ч.;

г) электродвигатели подкачивающих и смесительных насосов насосных, дренажных насосов дюкеров тепловых сетей;

д) объединенные хозяйственно-питьевые и производственные водопроводы в городах с числом жителей более 50 тыс. чел.; насосные станции, подающие воду непосредственно в сеть противопожарного водопровода; канализационные насосные станции, не допускающие перерыва или снижения подачи сточных вод, очистные сооружения канализации, не допускающие перерыва в работе;

е) электроприемники противопожарных устройств (пожарные насосы, системы подпора воздуха, дымоудаления, пожарной сигнализации и оповещения о пожаре), лифты, эвакуационное и аварийное освещение, огни сетевого ограждения в жилых зданиях и общежитиях высотой 17 этажей и более;

ж) электроприёмники противопожарных устройств, лифты, охранная сигнализация общественных зданий и гостиниц высотой 17 этажей и более, гостиниц, домов отдыха, пансионатов и турбаз более чем на 1000 мест, учреждений с количеством работающих более 2000 человек независимо от этажности, учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования федерального подчинения, библиотек, книжных палат и архивов на 1000 тыс. хранения и более;

з) музеи и выставки федерального значения;

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

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

л) электроприёмники противопожарных устройств, эвакуационное и аварийное освещение крытых зрелищных и спортивных предприятий общей вместимостью 800 мест и более, детских театров, дворцов и домов пионеров со зрительными залами любой вместимости;

м) электроприёмники противопожарных устройств и охранной сигнализации универсамов, торговых центров и магазинов с торговой площадью более 2000 м<sup>2</sup>, а также столовых, кафе и ресторанов с числом посадочных мест свыше 500;

н) тяговые подстанции городского электротранспорта;

о) ЭВМ вычислительных центров, решающих комплекс народно-хозяйственных проблем и задачи управления отдельными отраслями, а также обслуживающие технологические процессы, основные электроприёмники которых относятся к первой категории;

п) центральный диспетчерский пункт городских электрических сетей, тепловых сетей, сетей газоснабжения, водопроводно-канализационного хозяйства и сетей наружного освещения;

р) пункты централизованной охраны;

с) центральные тепловые пункты (ЦТП), обслуживающие здания высотой 17 этажей и более, все ЦТП в зонах с зимней расчетной температурой  $-40^{\circ}\text{C}$  и ниже;

т) городской ЦТ (РП) с суммарной нагрузкой более 10000 кВ·А.

Все прочие электроприёмники потребителей, перечисленных в подпунктах а, в, г, ж, и, к, л, м, относятся ко второй категории.

#### **К электроприемникам второй категории относятся:**

а) жилые дома с электроплитами за исключением одно-восьмиквартирных домов;

б) жилые дома высотой 6 этажей и выше с газовыми плитами или плитами на твердом топливе;

в) общежития вместимостью 50 человек и более;

г) здания учреждений высотой до 16 этажей с количеством работающих от 50 до 2000 человек;

д) детские учреждения;

е) медицинские учреждения, аптеки;

ж) крытые зрелищные и спортивные предприятия с количеством мест в зале от 300 до 800;

з) открытые спортивные сооружения с искусственным освещением с количеством мест 5000 и более или при наличии 20 рядов и более;

и) предприятия общественного питания с количеством посадочных мест от 100 до 500;

к) магазины с торговой площадью от 250 до 2000 м<sup>2</sup>;

л) предприятия по обслуживанию городского транспорта;

м) бани с числом мест свыше 100;

н) комбинаты бытового обслуживания, хозяйственные блоки и ателье с количеством рабочих мест более 50, салоны-парикмахерские с количеством рабочих мест свыше 15;

о) химчистки и прачечные (производительностью 500 кг и более белья в смену);

п) объединенные хозяйственно-питьевые и производственные водопроводы городов и поселков с числом жителей от 5 до 50 тыс. чел. включительно; канализационные насосные станции и очистные сооружения канализации, допускающие перерывы в работе, вызванные нарушениями электроснабжения, которые могут устраняться путем оперативных переключений в электрической сети;

р) учебные заведения с количеством учащихся от 200 до 1000 чел.;

с) музеи и выставки местного значения;

т) гостиницы высотой до 16 этажей с количеством мест от 200 до 1000;

у) библиотеки, книжные палаты и архивы с фондом от 100 тыс. до 1000 тыс. единиц хранения;

ф) ЭВМ вычислительных центров, отделов и лабораторий, кроме указанных в п.1 о) настоящего приложения;

х) электроприёмники установок тепловых сетей – запорной арматуры при телеуправлении, подкачивающих смесителей, циркуляционных насосных систем отопления и вентиляции, насосов для зарядки баков аккумуляторов, баков аккумуляторов для подпитки тепловых сетей в открытых системах теплоснабжения;

ц) диспетчерские пункты жилых районов и микрорайонов, районов электрических сетей;

ч) осветительные установки городских транспортных и пешеходных тоннелей, осветительные установки улиц, дорог и площадей категории “А” в столицах республик, городах-героях, портовых и крупнейших городах;

ш) городские ЦП (РП) и ТП с суммарной нагрузкой от 400 до 10000 кВ·А при отсутствии электроприемников, перечисленных в п.1 настоящего приложения.

Потребители первой и второй категорий должны получать электроэнергию от двух независимых, резервирующих друг друга источников питания. При этом для потребителей первой категории перерыв в электроснабжении при потере одного из источников питания допускается на время автоматического восстановления питания, а для потребителей второй категории – на время подключения резервного питания дежурным персоналом [15].

При невозможности питания электроприемников первой категории от двух независимых источников допускается питание от двух близлежащих однотрансформаторных или разных трансформаторов двухтрансформаторных ТП, подключенных к разным линиям 10(6) кВ с устройством автоматического включения резервного питания (АВР).

В городских распределительных сетях рекомендуется использовать трансформаторы со схемой соединения обмоток звезда-зигзаг или треугольник-звезда. Трансформаторы 10/0,4 кВ со схемой соединения обмоток звезда-

звезда допускается применять в сетях с преобладанием трехфазных электроприёмников и в сетях 6 кВ, переводимых на напряжение 10 кВ.

Для выбора числа и мощности трансформаторов ТП на основании технико-экономического сравнения вариантов выполнения сети на плане района города выбирается характерный участок с суммарной нагрузкой 2000...3000 кВт и намечается ряд вариантов схемы в зависимости от плотности нагрузки и характера потребителей. Сравнимые варианты должны быть равнонадёжны. Учитываются экономические показатели сети 0,38 кВ, ТП и потери электрической энергии в этих элементах.

При выборе конкурентоспособных вариантов мощности ТП можно пользоваться рекомендациями, полученными из проектной практики. При пятиэтажной застройке и пищеприготовлении на газовых плитах предположительная мощность ТП – 1×400 кВ·А (один трансформатор мощностью 400 кВ·А), при электроплитах – 2×400 кВ·А. При жилых зданиях 9-16 этажей с газовыми плитами – 2×400 кВ·А или 2×630 кВ·А, а при электроплитах – 2×630 кВ·А.

В соответствии с [11] в районах малоэтажной застройки (до 6 этажей) мощность трансформаторов ТП в зависимости от плотности нагрузки на шинах 0,4 кВ рекомендуется принимать:

плотность нагрузки МВт/км <sup>2</sup>	мощность трансформаторов ТП, кВ·А
от 0,8 до 1,0	1·160
свыше 1,0 до 2,0	1·250
свыше 2,0 до 5,0	1·400
свыше 5,0 до 8,0	1·630

В районах многоэтажной застройки (9 этажей и выше) при плотности нагрузки 8 МВт/км<sup>2</sup> и более оптимальная нагрузка районной подстанции (РП) должна составлять: при напряжении 10 кВ – 12 МВт; при напряжении 6 кВ – 8 МВт. Рекомендуемая мощность двухтрансформаторных ТП – 2×630 кВ·А.

На основании технико-экономических расчетов необходимо выполнить выбор оптимального варианта сетей. При этом приходится рассматривать варианты с двухтрансформаторными подстанциями – 2×400 кВ·А и даже 2×250 кВ·А.

В табл. 1.19 приведены технические данные трансформаторов, взятые из справочника [10].

Согласно методике, приведенной в ГОСТ 14209-85 [12], допускается перегрузка трансформаторов для резервируемых распределительных сетей 0,38 кВ в аварийном режиме на 70-80% выше номинальной мощности. Общая суточная продолжительность перегрузки не должна превышать 6 ч. в течение не более 5 суток. Таким образом коэффициент загрузки трансформатора в аварийном режиме составляет  $K_{з.ав} = 1,7-1,8$ , а коэффициент загрузки в нормальном режиме  $K_{з.норм} = 0,85-0,9$ .

Трансформаторы могут быть без ущерба для нормального срока службы загружены в течение суток сверх номинальной мощности, если другую часть

рассматриваемого периода их загрузка была ниже номинальной. Кроме того, перегрузка трансформаторов допускается и за счет неравномерности нагрузки в течение года.

Мощность трансформаторов, принимаемая к установке на ТП, должна удовлетворять условию

$$\Sigma S_{н.тр} > S_{р.тп}. \quad (1.26)$$

Нашей промышленностью выпускаются сухие трёхфазные трансформаторы типов ТСЗ, ТСЗУ, предназначенные для установки в системах электроснабжения промышленных предприятий, жилых и общественных зданий и рассчитаны на длительный режим работы. Трансформаторы выполнены на основе шихтованного магнитопровода стержневого типа с косыми стыками и имеют уменьшенные потери. Надёжность им срок службы трансформаторов увеличены за счёт уменьшения на 20 % нагрева узлов трансформатора.

Кроме того, промышленность выпускает трансформаторы силовые сухие с литой изоляцией типа GDNN. Эти трансформаторы имеют высокую пожаробезопасность и эксплуатационную надёжность, а также обладают пониженным уровнем шума и компактностью. Применяют в местах с повышенной опасностью: при электроснабжении общественных зданий, больниц и т.д. Изоляция обмоток высокого и низкого напряжения выполнена из эпоксидной смолы с наполнителем. Обмотки с изоляцией изготавливают в вакууме путём литья под давлением, поэтому они выдерживают большие механические нагрузки.

Магнитный сердечник трансформаторов имеет низкие потери холостого хода; материал обмоток – медь. Допустимая температура окружающего воздуха находится в интервале от +40 °С до -40 °С. Трансформаторы охлаждаются естественной циркуляцией воздуха и принудительной циркуляцией вентилятором радиального потока.

Технические параметры трансформаторов типа ТСЗУ приведены в табл. 1.20, а GDNN – в табл. 1.21 [14].

### 1.3. Расчёт электрических сетей

Линии электропередачи до 20 кВ на селитебной (застроенной преимущественно жилыми домами) территории городов, в районах застройки зданиями высотой 4 этажа и выше должны выполняться, как правило, кабельными, с алюминиевыми жилами. Кабельные линии прокладываются в земляных траншеях под тротуарами или под пешеходными дорожками внутри квартала.

Здания, которые находятся в непосредственной близости от ТП, следует питать по отдельным линиям. Для домов высотой до 16 этажей при числе секций до семи рекомендуется предусматривать один ввод в здание.

Целесообразно делать ввод в секциях дома, ближайших к ТП. На рис.1.2 представлена возможная разводка кабельных линий в жилом районе [13].

В районах застройки зданиями высотой до 3 этажей включительно линии электропередачи следует, как правило, выполнять воздушными.

Для воздушных линий (ВЛ) электропередачи до 1 кВ рекомендуется применять самонесущие изолированные провода (СИП). Выбор и проверку сечений СИП на 0,38 и 10 кВ см. в разделе 2.3.2.

Линии наружного освещения рекомендуется располагать на общих опорах с воздушными линиями электропередачи до 1 кВ.

### 1.3.1. Выбор сечения кабелей электрических сетей напряжением до 1 кВ

Сечения кабелей напряжением до 1 кВ выбираются в соответствии с главой 2.3 ПУЭ [5] по условию нагрева длительным расчетным током в нормальном и послеаварийном режимах и проверяются по потере напряжения.

На время ликвидации послеаварийного режима допускается перегрузка кабелей с бумажной изоляцией до 130%, если в нормальном режиме их нагрузка не превышала 80% допустимой. Следовательно, в послеаварийном режиме сечение кабеля должно удовлетворять соотношению

$$1,3 I_{\text{ДОП}} \cdot K \geq I_{\text{П.АВ.}} \quad (1.27)$$

где  $I_{\text{ДОП}}$  – допустимый продолжительный ток, А;  $K$  – поправочный коэффициент, учитывающий число кабелей, проложенных в одной траншее, табл. 1.22 [5, 15];  $I_{\text{П.АВ.}}$  – расчетная токовая нагрузка линий в послеаварийном режиме. При этом должно учитываться число оставшихся в работе кабелей, проложенных в одной траншее в послеаварийном режиме.

Допустимые потери напряжения в сетях 0,38 кВ (от ТП до вводов в здание) составляют не более 4-6%. Большие значения относятся к линиям, питающим малоэтажные и односекционные здания, меньшие значения – к линиям, питающим многоэтажные многосекционные жилые здания, крупные общественные здания и учреждения [11].

Расчетная электрическая нагрузка линии ( $P_{\text{Р.Л}}$ ) напряжением до 1 кВ при смешанном питании потребителей, кВт, определяется по формуле (1.18) из раздела 1.1.6.

Рабочий ток, А, в линии определяется по формуле:

$$I_{\text{Р.Л}} = \frac{P_{\text{Р.Л}}}{\sqrt{3} U_{\text{Н}} \cos \varphi n}, \quad (1.28)$$

где  $n$  – количество кабелей, проложенных в траншее к объекту. Для потребителей второй категории, согласно ПУЭ, принимают к прокладке начальное количество кабелей равное 2. Для потребителей третьей категории, например, склады,  $n = 1$ ;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности по ранее сделанным расчетам, табл. 1.4, 1.8;  $U_{\text{Н}}$  – номинальное напряжение сети, равное 380 В.

Ток послеаварийного режима, А, равен

$$I_{\text{П.АВ.}} = 2 \cdot I_{\text{Р.Л.}} \quad (1.29)$$

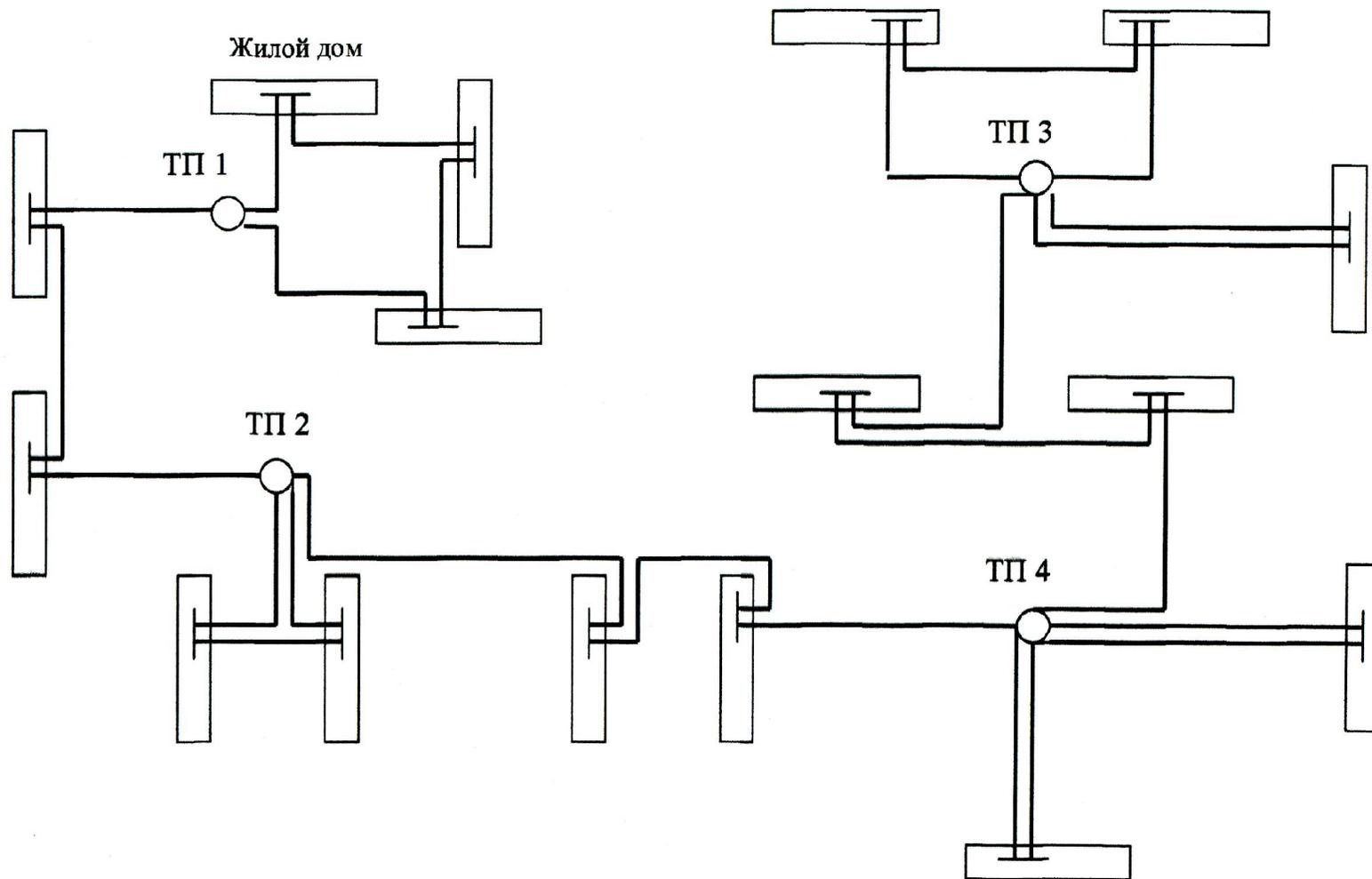


Рис.1.2. Разводка кабельных линий в жилом районе

Сечение кабеля должно удовлетворять допустимому длительному току,  $A$ , определенному по формуле

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{п.ав}}}{1,3 \cdot K}. \quad (1.30)$$

По табл. 1.23 подбирается стандартное сечение, удовлетворяющее рассчитанному  $I_{\text{доп}}$ . [5].

Выбранное сечение кабеля необходимо проверить по потере напряжения.

Потери напряжения на  $i$ -том участке  $L_{\text{уч},i}$  кабельной линии, %, определяются по формуле

$$\Delta U_{P,i} = \frac{A \cdot P_{P,i} \cdot L_{\text{уч},i}}{n \cdot S}, \quad (1.31)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от принятых единиц измерения, определяется по справочнику [16],  $A = 21,9$  – для сети 0,4 кВ;  $A = 0,0875$  – для сети 6 кВ и  $A = 0,0316$  – для сети 10 кВ;  $P_{P,i}$  – активная мощность участка линии, кВт;  $n$  – число кабелей;  $S$  – сечение кабеля,  $\text{мм}^2$ ,  $L_{\text{уч},i}$  – длина  $i$ -го участка линии, км.

Далее потери напряжения на участках линии суммируются и результат сравнивается с располагаемыми потерями напряжения от шин ТП до наиболее удаленного потребителя.

В результате должно выполняться условие:

$$\Delta U_{\text{доп}} > \Delta U_P.$$

Кабели на стороне 0,4 кВ, защищаемые плавкими предохранителями, на термическую стойкость не проверяются, т.к. время срабатывания предохранителя мало и выделившееся тепло не в состоянии нагреть кабель до опасной температуры.

Потери мощности в линии, кВт, определяются:

$$\Delta P_L = 3 \cdot I_{P,L}^2 \cdot R_0 \cdot L_{\text{уч}} \cdot n, \quad (1.32)$$

где  $R_0$  – активное сопротивление 1 км кабеля при  $20^\circ\text{C}$ , Ом, табл. 1.24 из справочника [16].

Достаточно часто используется расчет потерь напряжения и потерь мощности без учета индуктивного сопротивления линий.

### 1.3.2. Выбор сечения кабелей электрических сетей напряжением 10 (6) кВ

Сечения проводов ВЛ и жил кабелей должны выбираться по экономической плотности тока в нормальном режиме и проверяться по допустимому току в аварийном и послеаварийном режимах, а также по допустимому отклонению напряжения.

При проверке кабельных линий по допустимому длительному току должны быть учтены поправочные коэффициенты: на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле, на допустимую перегрузку в послеаварийном режиме, фактическую температуру среды, тепловое сопротивление грунта и на отличие номинального напряжения кабеля от номинального напряжения сети.

Предварительный выбор сечений проводов и кабелей допускается производить исходя из средних значений предельных потерь напряжения в нормальном режиме – в сетях 10(6) кВ не более 6%.

Расчетная активная нагрузка городских электрических сетей 10(6) кВ ( $P_{р.л.}$ ), кВт, определяется по формуле (1.25) в разделе 1.1.7.

Рабочий ток в линии, А, определяется по формуле

$$I_{р.л.} = \frac{P_{р.л.}}{\sqrt{3}U_H \cos \varphi n}, \quad (1.33)$$

где  $U_H$  – номинальное напряжение сети, равное 10(6) кВ;  $n$  – количество кабелей, проложенных в траншее к объекту;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности, принят равным 0,92.

Экономически целесообразное сечение  $S_{э}$ , мм<sup>2</sup>, определяется согласно ПУЭ, из соотношения

$$S_{э} = I_{р.л.} / j_{ЭК}, \quad (1.34)$$

где  $j_{ЭК}$  – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>, для заданных условий работы, выбираемое по табл. 1.25 [15].

По табл. 1.23 подбирается стандартное сечение токопроводящей жилы.

В распределительных сетях 10(6) кВ кабели с алюминиевыми жилами при прокладке их в траншеях рекомендуется принимать сечением не менее 70 мм<sup>2</sup>, но не более 240 мм<sup>2</sup>.

Сечение кабелей по участкам линии следует принимать с учетом изменения нагрузки участков по длине. При этом на одной линии допускается применение кабелей не более трех типоразмеров.

Потери напряжения определяются по формуле (1.31) раздела 1.3.1.

Дальнейший ход расчета аналогичен расчету сети напряжением до 1 кВ.

Полученное экономическое сечение для условий нормального режима проверяется по допустимому току нагрева в послеаварийном режиме. Кроме того, кабели должны быть подвергнуты проверке на термическую стойкость токам К.З.

### 1.3.3. Проверка кабелей на термическую стойкость

Выбранные в нормальном режиме и проверенные по допустимой перегрузке в послеаварийном режиме кабели проверяются по условию

$$S_{мин.} \leq S_{э}, \quad (1.35)$$

где  $S_{мин.}$  – минимальное сечение по термической стойкости, мм<sup>2</sup>;  $S_{э}$  – экономическое сечение, мм<sup>2</sup>, определенное по формуле (1.34).

При этом кабели небольшой длины проверяются по току при коротком замыкании в начале кабеля; одиночные кабели со ступенчатым сечением по длине проверяют по току К.З. в начале каждого участка. Два параллельных

кабеля и более проверяют по токам К.З. непосредственно за пучком кабелей, т.е. с учетом разветвления тока К.З.

$$S_{\text{мин}} = \sqrt{\frac{B_K}{C}}, \quad (1.36)$$

где  $B_K$  – импульс квадратичного тока К.З. (тепловой импульс тока К.З.),  $A^2 \cdot c$ ;  $C$  – функция, значения которой приведены в табл.1.26 [17],  $A \cdot c^{1/2}/\text{мм}^2$ .

Тепловой импульс тока определяется

$$B_K = I_{\text{п.о.}}^2 \cdot (t_{\text{р.з.}} + t_B + T_A), \quad (1.37)$$

где  $I_{\text{п.о.}}$  – начальное значение периодической составляющей тока К.З., А;  $t_{\text{р.з.}}$  – время действия релейной защиты, с. Принимается  $t_{\text{р.з.}} = 2$  с. – для питающих сетей;  $t_{\text{р.з.}} = 0,5$  с. – для распределительных сетей [16];  $t_B$  – полное время отключения выключателя, с. В зависимости от типа выключателя  $t_B = 0,04-0,2$  с.;  $T_A$  – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания, с. Для распределительных сетей напряжением 6-10 кВ  $T_A = 0,01$  с. [17].

## 1.4. Выбор схем сетей внутреннего электроснабжения

### 1.4.1. Общие положения

В соответствии с ПУЭ [5] потребители I категории должны иметь не менее двух независимых источников питания, допускается питание также от двух близлежащих однострансформаторных или разных двухтрансформаторных подстанций, подключённых к разным линиям 6-20 кВ с устройством АВР (автоматическое повторное включение).

Питание силовых электроприёмников и освещения осуществляется от общих трансформаторов, если частота размахов изменений напряжения в сети освещения не превышает значений, регламентируемых ГОСТ 13109-98.

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

Главные распределительные щиты (ГРЩ) при применении встроенных ТП размещают в смежном с ТП помещении. КТП (комплектная трансформаторная подстанция) размещают в одном помещении с ГРЩ.

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

В ТП, как правило, устанавливают силовые трансформаторы с глухозаземлённой нейтралью со схемой соединения обмоток «звезда-зигзаг» при мощности до 250 кВ·А и «треугольник-звезда» при мощности 400 кВ·А и более

В здании устанавливают одно общее ВРУ (вводно-распределительное устройство) или ГРЩ, предназначенные для приёма электроэнергии от

городской сети и распределения её по потребителям здания. Увеличение количества ВРУ (ГРЩ) допускается при питании от отдельно стоящей ТП и нагрузке на каждом вводов в нормальном и аварийном режимах свыше 400-630 А.

Электрические сети напряжением 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 электроприёмников.

Групповой сетью являются:

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

Сети выполняют по радиальной, магистральной и смешанной схемам. В качестве примера на рис. 1.3 приведена питающая радиальная схема силовой сети здания, а на рис. 1.4 – магистральная схема силовой сети здания.

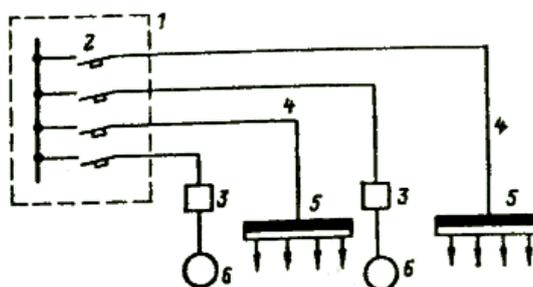


Рис. 1.3. Радиальная схема силовой сети:

- 1 – распределительный щит; 2 – автоматический выключатель; 3 – пусковой аппарат; 4 – линия; 5 – распределительный пункт; 6 - электроприёмник

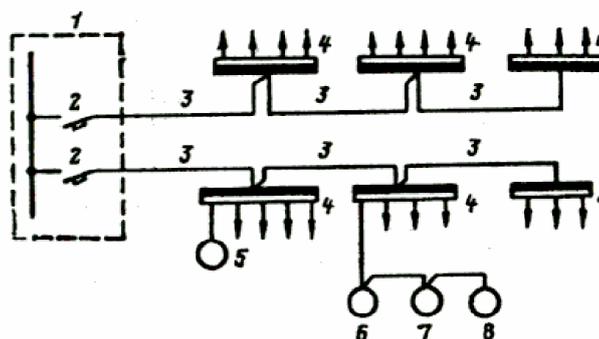


Рис. 1.4. Магистральная схема силовой сети:

- 1 – распределительный щит; 2 – автоматический выключатель; 3 – питающая линия;  
4 – силовой распределительный пункт; 5 – электроприёмник;  
6, 7, 8 – электроприёмники, включённые в цепочку

В жилых и общественных зданиях линии групповой сети, прокладываемые до штепсельных розеток, выполняют трёхпроводными (фазный, нулевой рабочий и нулевой защитный проводники). Питание стационарных однофазных электроприёмников выполняют трёхпроводными линиями. При этом нулевой рабочий и нулевой защитный проводники не следует подключать на щитке под один контактный зажим.

#### **1.4.2. Электрические сети жилых зданий**

Схемы электрических сетей жилых домов выполняют, исходя из следующего [2]:

- питание квартир и силовых электроприёмников, в том числе лифтов, должно, как правило, осуществляться от общих секций ВРУ. Раздельное их питание выполняют только в случаях, когда величины размахов изменения напряжения на зажимах ламп в квартирах при включении лифтов выше регламентируемых 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.

Освещение лестниц, поэтажных коридоров, вестибюлей, входов в здание, номерных знаков и указателей пожарных гидрантов, огней светового ограждения и домофонов питается 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.

Для питания электроприёмников жилых домов высотой 9-16 этажей применяют как радиальные, так и магистральные схемы. На рис. 1.5. дана магистральная схема с двумя переключателями на вводах. При этом одна из питающих линий используется для присоединения электроприёмников квартир и общего освещения общедомовых помещений; другая – для подключения лифтов, противопожарных устройств, эвакуационного и аварийного освещения и т.д. Каждая линия рассчитана с учётом допустимых перегрузок при аварийном режиме. Перерыв в питании по этой схеме не превышает 1 часа, что достаточно электромонтёру для нужных переключений на ВРУ.

Учёт электроэнергии, расходуемый общедомовыми потребителями, осуществляется с помощью трёхфазных счетчиков, которые устанавливают на ответвлениях и присоединяют к соответствующим секциям шин.

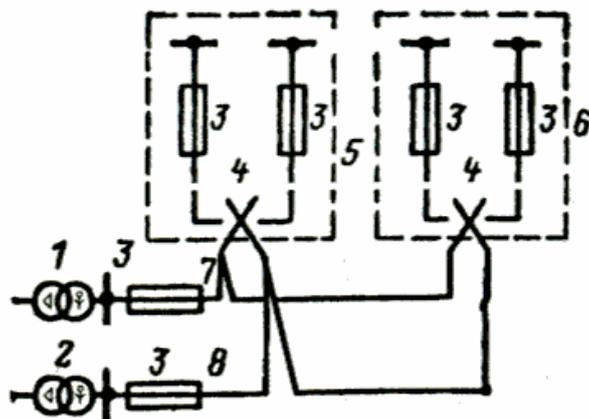


Рис. 1.5. Принципиальная схема электроснабжения жилых домов высотой 9-16 этажей с двумя переключателями на вводах:  
1, 2 – трансформаторы; 3 – предохранители; 4 – переключатели;  
5, 6 – ВРУ; 7, 8 – питающие линии

В жилых зданиях квартирного типа устанавливают один однофазный счётчик на каждую квартиру. Допускается установка одного трёхфазного счётчика. Расчётные квартирные счётчики рекомендуется размещать совместно с аппаратами защиты (предохранителями, автоматическими выключателями) и выключателями (для счётчиков) на общих квартирных щитках. Для безопасной замены счётчика перед ним должен быть установлен рубильник или двухполюсный выключатель, располагаемый на квартирном щитке [2].

Рекомендуемые схемы стояков приведены на рис. 1.6.

Групповая квартирная сеть предназначена для питания осветительных и бытовых электроприёмников.

Групповые линии выполняют однофазными и при значительных нагрузках – трёхфазными четырёхпроводными, но при этом должна быть надёжная изоляция проводников и приборов, а также устройство автоматического защитного отключения.

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

Рекомендуется общее освещение выделять на отдельную групповую линию.

Нормами регламентируется число штепсельных розеток, устанавливаемых в квартирах. В жилых комнатах квартир и общежитий должно быть установлено не менее одной розетки на ток 10 (16) А на каждые полные и неполные 4 м периметра комнаты, в коридорах квартир – не менее одной розетки на каждые полные и неполные  $10 \text{ м}^2$  площади коридоров [2].

В кухнях квартир следует предусматривать не менее четырёх розеток на ток 10 (16) А.

Сдвоенная розетка, установленная в жилой комнате, считается одной розеткой. Сдвоенная розетка, установленная в кухне, считается двумя розетками.

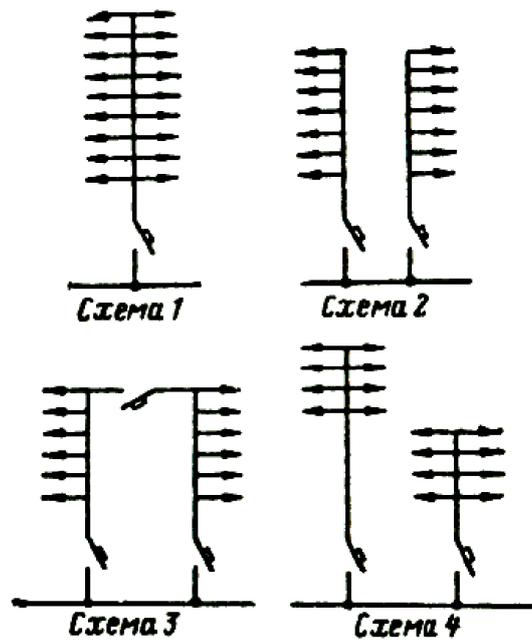


Рис. 1.6. Принципиальные схемы стояков, рекомендуемые по экономическим соображениям

При наличии розетки в ванной комнате должна предусматриваться установка УЗО на ток до 30 мА [2].

На рис. 1.7 приведена схема групповой квартирной сети с электроплитой. В целях безопасности корпус стационарной электроплиты и бытовых приборов зануляют, для чего от этажного щитка прокладывают отдельный проводник. Сечение последнего равно сечению фазного проводника [2].

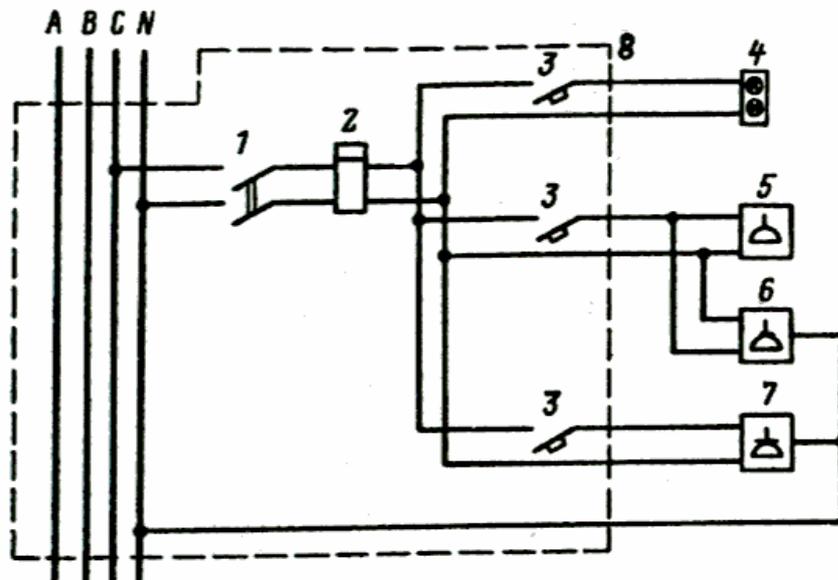


Рис. 1.7. Принципиальная схема групповой квартирной сети:  
 1 – выключатель; 2 – счётчик электроэнергии; 3 – автоматический выключатель; 4 – общее освещение; 5 – розетка на 6 А;  
 6 – розетка на 10 А; 7 – электроплита; 8 – этажный щиток

### 1.4.3. Электрические сети общественных зданий

Схемы электроснабжения и электрооборудование общественных зданий имеют ряд особенностей:

- значительный удельный вес силовых электроприёмников;
- специфические режимы работы этих электроприёмников;
- другие требования к освещению ряда помещений;
- возможность встраивания ТП в некоторые из общественных зданий.

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

Расчёты и опыт эксплуатации показали, что при потребляемой мощности более 400 кВт·А целесообразно применять встроенные подстанции, в том числе комплектные (КТП) [2]. Это имеет следующие преимущества:

- экономия цветных металлов;
- исключение прокладки внешних кабельных линий до 1 кВ;
- отсутствие необходимости в устройстве отдельных ВРУ в здании, так как ВРУ можно совместить с РУ (распределительное устройство) 0,4 кВ подстанции.

Подстанции обычно располагают на первых или технических этажах. Допускается располагать ТП с сухими трансформаторами в подвалах, а также на средних и верхних этажах зданий, если предусмотрены грузовые лифты для их транспортировки.

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 кВА. Количество и мощность сухих трансформаторов и трансформаторов с негорючим наполнением не ограничиваются. В места размещения ТП не должна попадать вода.

Для потребителей I-ой категории надёжности применяют, как правило, двухтрансформаторные ТП, но возможно использование и однострансформаторных ТП при условии резервирования (перемычки и АВР по низкому напряжению).

Для потребителей II-ой и III-ей категории по надёжности электроснабжения устанавливают однострансформаторные ТП.

Распределение электроэнергии в общественных зданиях производится по радиальным или магистральным схемам.

Для питания электроприёмников большой мощности (крупные холодильные машины, электродвигатели насосов, крупные вентиляционные камеры и др.) применяют радиальные схемы. При равномерном размещении электроприёмников небольшой мощности по зданию применяют магистральные схемы.

В общественных зданиях рекомендуется питающие линии силовых и осветительных сетей выполнять раздельно. Как и в жилых зданиях, на вводах питающих сетей в здание устанавливают ВРУ с аппаратами защиты, управления, учёта электроэнергии, а в крупных зданиях и с измерительными

приборами. На вводах обособленных потребителей (торговые предприятия, отделения связи и пр.) устанавливают дополнительно отдельные аппараты управления. Там, где целесообразно по условиям эксплуатации, применяют автоматические выключатели, которые совмещают в себе функции защиты и управления [18].

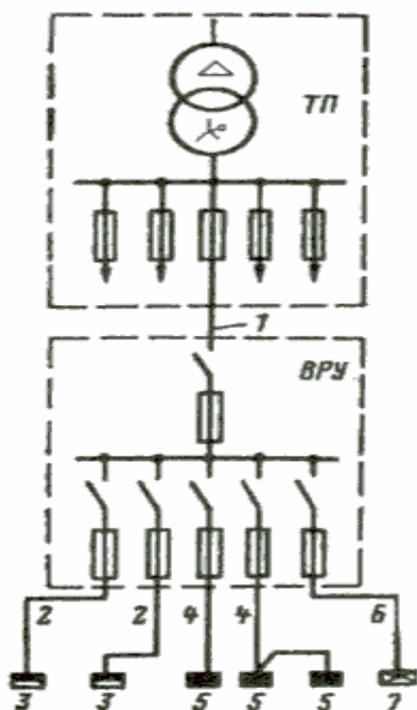
Светильники эвакуационного и аварийного освещения присоединяют к сети, независимой от сети рабочего освещения, начиная от щита ТП или от ВРУ. При двухтрансформаторной ТП рабочее и эвакуационное освещение присоединяют к разным трансформаторам [2].

Электроприёмники небольшой, но равной или близкой по значению установленной мощности соединяют в «цепочку», что обеспечивает экономию проводов и кабелей, а также уменьшению количества аппаратов защиты на распределительных пунктах [19].

Групповые распределительные щитки осветительной сети по архитектурным условиям располагают на лестничных клетках, в коридорах. Отходящие от щитков групповые линии могут быть:

- однофазными (фаза + нуль);
- двухфазными (две фазы + нуль);
- трёхфазными (три фазы + нуль).

Предпочтение следует отдавать трёхфазным четырёхпроводным групповым линиям, обеспечивающим втрое большую нагрузку и в шесть раз меньшую потерю напряжения по сравнению с однофазными групповыми линиями [2].



1 – питающая линия к ВРУ; 2 – питающие линии к РП; 3 – РП силовых электроприёмников; 4, 6 – линии; 5 – групповые щитки рабочего освещения; 7 – щиток эвакуационного освещения

Существуют нормы по устройству групповых осветительных сетей. Как и в жилых зданиях, допускается присоединять до 60 люминесцентных ламп или ламп накаливания мощностью до 65 Вт включительно на фазу. Это относится к групповым линиям освещения лестниц, этажных коридоров, холлов, технических подполий, подвалов и чердаков. Распределение нагрузок между фазами сети освещения должно быть по возможности равномерным.

На рис. 1.8. приведена упрощенная схема электроснабжения общественного здания для электроприёмников III-ей категории по надёжности.

Рис. 1.8. Принципиальная схема электроснабжения общественного здания от одно-трансформаторной подстанции:

Здание питается от однострансформаторной ТП, от щита 0,4 кВ которой отходит питающая линия 1 к ВРУ здания. От ВРУ отходят питающие линии 2 к распределительным пунктам силовых электроприёмников 3, линии 4 – к групповым щиткам рабочего освещения 5 и линии 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. 1.9 (с АВР на контакторах) и на рис. 1.10 (с АВР на автоматическом выключателе).

Распределение электроэнергии к силовым распределительным щитам, пунктам и групповым щиткам сети электрического освещения осуществляют по магистральным схемам.

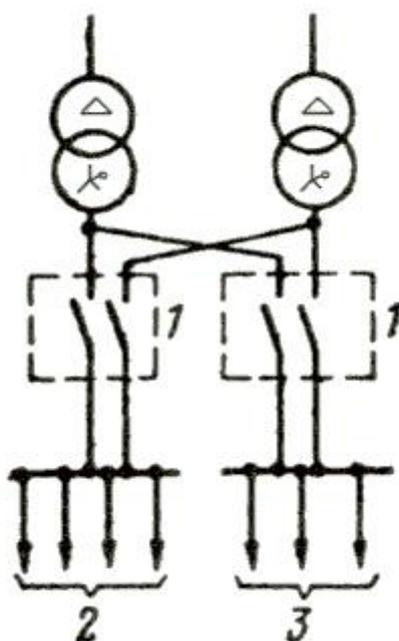


Рис.1.9. Принципиальная схема электроснабжения общественного здания от двухтрансформаторной подстанции с АВР на контакторах:

1 – контакторные станции; 2, 3 – отходящие линии к вводам в здания

Радиальные схемы выполняют для присоединения мощных электродвигателей, групп электроприёмников общего технологического назначения (встроенных пищеблоков, помещений вычислительных центров и т.п.), электроприёмников I-ой категории надёжности электроснабжения.

Питание рабочего освещения помещений, в которых длительно может находиться 600 и более человек (конференц-залы, актовые залы и т.п.), рекомендуется осуществлять от разных вводов. При этом к каждому вводу должно быть присоединено 50 % светильников [2].

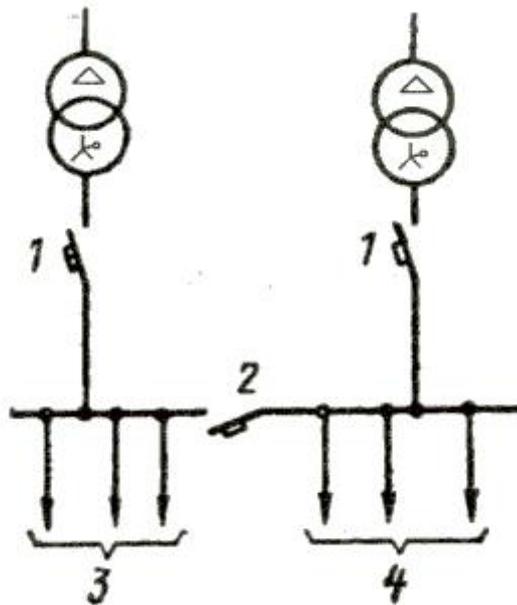


Рис. 1.10. Принципиальная схема электроснабжения общественного здания с встроенной ТП и абонентским щитом с АВР на секционном автоматическом выключателе:

1 – автоматический выключатель; 2 – секционный автоматический выключатель; 3 – линия к РП силовой сети, щиткам эвакуационного и аварийного освещения; 4 – линия к групповым щиткам рабочего освещения

## 1.5. Защита в системах электроснабжения жилых и общественных зданий

### 1.5.1. Общие положения

Короткое замыкание (КЗ) относится к аварийным режимам и бывает одно-, двух- и трёхфазным. Самым тяжёлым является трёхфазное КЗ, но оно возникает значительно реже, чем однофазное или двухфазное КЗ. Причинами КЗ являются:

- пробой изоляции;
- перекрытие изоляции;
- неправильная сборка схемы;
- ошибки обслуживающего персонала.

Токи КЗ, во много раз превышающие номинальные токи присоединённых электроприёмников и допустимые токи проводников, оказывают динамическое и термическое действие на токоведущие части, вызывая выход их из строя. Поэтому КЗ надо локализовать и быстро отключить повреждённый участок сети.

Если КЗ является аварийным режимом, то перегрузки относятся к ненормальным режимам, так как сопровождаются прохождением по электрооборудованию и токоведущим проводникам повышенных токов, вызывая ускоренное старение изоляции, что может привести к КЗ.

В качестве аппаратов защиты электросетей и электроустановок жилых и общественных зданий применяют автоматические выключатели и предохранители. Допускается при необходимости использование реле косвенного действия с целью обеспечения требований чувствительности, быстродействия или избирательности (селективности).

Если используется защита с помощью реле косвенного действия, то в зависимости от режима работы и условий эксплуатации электроустановки релейную защиту выполняют с действием на сигнал или на отключение [20].

С целью удешевления электроустановок вместо автоматических выключателей и релейной защиты применяют плавкие предохранители.

### **1.5.2. Виды и схемы защиты**

Электрические сети жилых и общественных зданий должны иметь защиту от токов КЗ, обеспечивающую наименьшее время отключения и требования избирательности действия. Защита должна отключать повреждённый участок при КЗ в конце защищаемой линии:

- одно-, двух-, трёхфазных – в сетях с глухозаземлённой нейтралью;
- двух- и трёхфазных – в сетях с изолированной нейтралью.

Аппараты защиты выбирают и размещают таким образом, чтобы их срабатывание происходило с выдержкой времени, увеличивающейся по мере их удаления в сторону источника питания. Этим обеспечивается избирательность действия защиты, которая не всегда может быть достигнута в сетях напряжением до 1 кВ при применении автоматических выключателей и предохранителей. Последнее объясняется разбросом характеристик аппаратов защиты, особенно предохранителей.

Достоинствами плавких предохранителей являются простота устройства, относительно малая стоимость, быстрое отключение цепи при КЗ (меньше одного периода), способность предохранителей типа ПК ограничивать ток в цепи при КЗ.

К недостаткам плавких предохранителей относятся следующие: предохранители срабатывают при токе, значительно превышающем номинальный ток плавкой вставки, и поэтому избирательность отключения не обеспечивает безопасность отдельных участков сети; отключение сети плавкими предохранителями связано обычно с перенапряжением; возможно однофазное отключение и последующая ненормальная работа установок; одноразовость срабатывания предохранителя и, как следствие, значительное время на замену предохранителя [18].

Наиболее распространёнными предохранителями, применяемыми для защиты установок напряжением до 1 кВ, являются:

ПР – предохранитель разборный;

НПН – предохранитель насыпной неразборный;

ПП – предохранитель плавкий разборный.

Шкала номинальных токов предохранителей от 15 до 1000 А.

Автоматические выключатели являются более совершенными аппаратами защиты по сравнению с предохранителями.

Автоматические воздушные выключатели могут снабжаться следующими встроенными в них расцепителями [20]:

- электромагнитным или электронным максимального тока мгновенного или замедленного действия с практически не зависящей от тока скоростью срабатывания (защита от токов КЗ);

- электротермическим или тепловым (обычно биметаллическим) или электронным инерционным максимального тока с зависимой от тока выдержкой времени (защита от токов перегрузки);

- минимального напряжения.

Тепловой расцепитель автоматического выключателя не защищает питающую линию или асинхронный двигатель от токов КЗ, так как тепловой расцепитель, обладая большой тепловой инерцией, не успевает нагреться за малое время существования КЗ.

В зависимости от наличия механизмов, регулирующих время срабатывания расцепителей, автоматические выключатели разделяют на неселективные с временем срабатывания от 0,02 до 0,1 с; селективные с регулируемой выдержкой времени; токоограничивающие с временем срабатывания не более 0,005 с.

Расцепители максимального тока устанавливают во всех фазах, остальные – по одному на выключатель. В одном выключателе обычно применяют токовые расцепители и расцепитель минимального напряжения, Выбор номинального тока или уставки расцепителей максимального тока аналогичен выбору номинального тока плавких вставок предохранителей.

Основные преимущества автоматических выключателей заключается в следующем [19]:

- отключают все три фазы при токах КЗ или перегрузках, тем самым исключается работа электроустановок в неполнофазных режимах;

- готовы к работе вскоре после срабатывания;

- имеют более точные времятоковые характеристики;

- совмещают функции защиты и коммутации.

Для жилых и общественных зданий основной характеристикой защиты является быстрота действия.

Электрические сети внутри зданий, выполненные открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией, защищают от перегрузки. Кроме того, от перегрузки защищают сети внутри зданий, а именно:

- осветительные сети жилых и общественных зданий, торговых помещений, включая сети для бытовых переносных электроприёмников (утюгов, чайников, комнатных холодильников, стиральных машин и т.п.);

- силовые сети жилых и общественных зданий, торговых помещений только в случаях, когда по режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводников [20].

Обычно в жилых и общественных зданиях в силовых сетях таких режимов практически не существует, поэтому они защищаются только от КЗ. Исключение составляют электрические сети лифтов, противопожарных устройств и т.п., относящихся к I-ой категории по надёжности питания, при установке устройств АВР (например, на ВРУ). Такие сети защищают и от перегрузки.

В электрических сетях, защищаемых от перегрузки, проводники выбирают по расчетному току. В этом случае аппараты защиты должны иметь по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам кратность не более [5]:

- 80 % для номинального тока плавкой вставки или тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку), - для проводников с поливинилхлоридной, резиновой или аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией;

- 100 % для номинального тока плавкой вставки или тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку), - для кабелей с бумажной изоляцией;

- 100 % для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки) – для проводников всех марок;

- 100 % для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависящей от тока характеристикой – для проводников с поливинилхлоридной, резиновой или аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией;

- 125 % для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависящей от тока характеристикой – для кабелей с бумажной изоляцией и изоляцией из вулканизированного полиэтилена.

Силовые электроприёмники (электродвигатели переменного тока) защищают от многофазных КЗ, в сетях с глухозаземлённой нейтралью – также от однофазных КЗ. Кроме того, электродвигатели защищают от токов перегрузки (максимальная токовая защита), если она имеет место, и от понижения напряжения (минимальная защита).

Для защиты электродвигателей от КЗ применяют предохранители или автоматические воздушные выключатели. Для надёжного отключения КЗ на зажимах электродвигателя с лёгкими условиями пуска отношение пускового тока электродвигателя к номинальному току плавкой вставки должно быть не более 2,5, а для электродвигателей с тяжёлыми условиями пуска (частые пуски и т.п.) это отношение должно быть в пределах от 2,0 до 1,6.

В качестве примера на рис. 1.11 приведена однолинейная схема панели ВРУ для ввода питания в жилые и общественные здания [14].

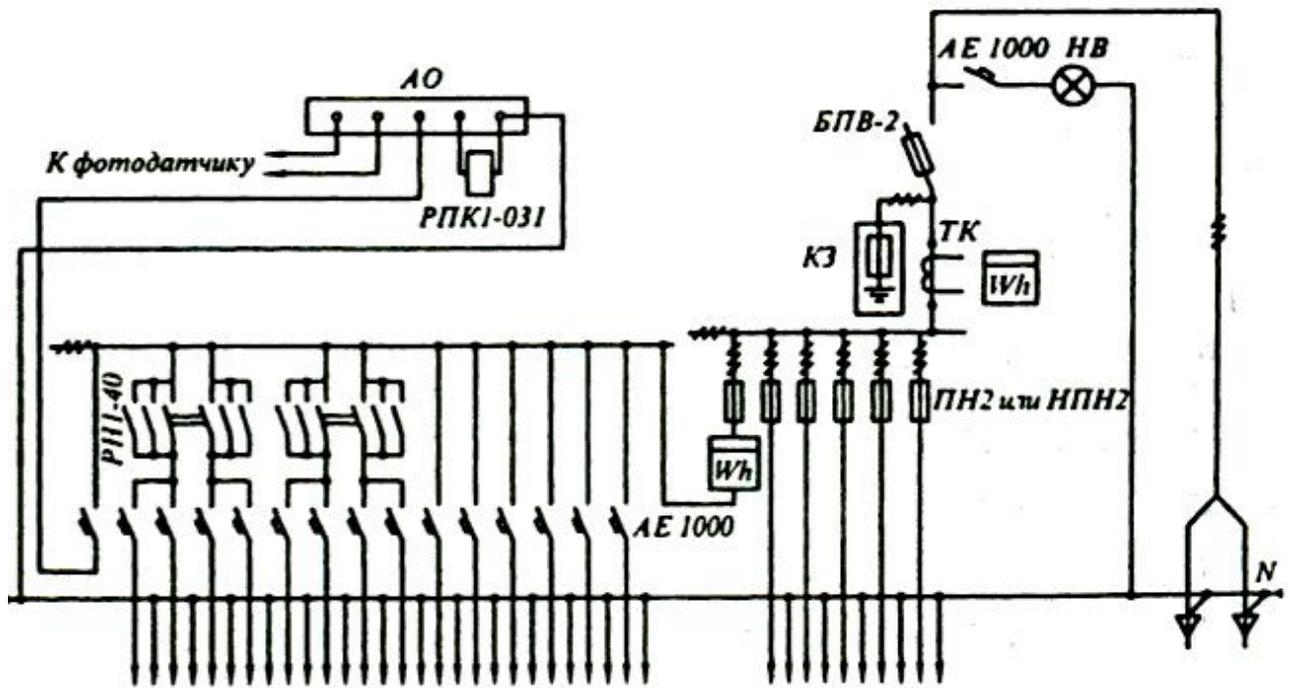


Рис. 1.11. Схема панели ВРУ на напряжение 0,4 кВ

При выполнении распределительной подстанции (распределительного пункта, силового пункта, распределительного щита, шкафа и т.д.) на напряжение до 1 кВ используют стандартные панели, на которых устанавливают комплекты с автоматическими выключателями, иногда с контакторами. Схема распределительного щита с рубильниками и предохранителями РПС-2 и трансформаторами тока ТК-20 приведена в трёхфазном исполнении на рис. 1.12.

При составлении схемы распределительного пункта нагрузки и отходящие линии подбирают таким образом, чтобы РП не получился громоздким и дорогостоящим, но в то же время было устойчиво к токам КЗ. При линиях небольших сечений нагрузки группируют по мелким магистралям. В случае применения рубильников с предохранителями пропускную способность отходящих линий для силовой нагрузки рекомендуется принимать равной 250 и 400 А. Сечения проводников и кабелей выше 150 мм<sup>2</sup> применять не рекомендуется [5].

В схемах РП для силовых и осветительных сетей должно быть обеспечено отключение всей РП без нарушения работы остальных РП, питающихся от одной магистрали. Для силовых РП это достигается применением общих рубильников на вводе, причём при питании группы РП «цепочкой» каждая РП может быть отключена без нарушения работы самой цепочки.

Для потребителей, требующих более надёжного электроснабжения, применяют РП с двумя рубильниками или контакторами. Ответвления от РП защищают предохранителями или автоматическими выключателями [14].

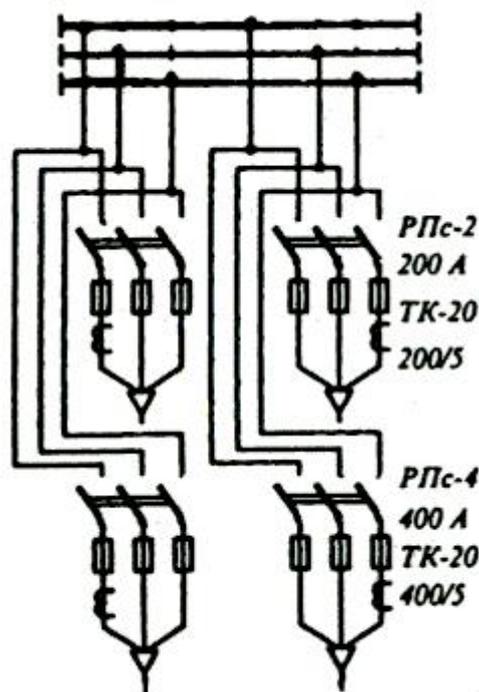


Рис. 1.12. Схема панели распределительного щита на четыре линии с рубильниками и предохранителями на напряжение 0,4 кВ

### 1.5.3. Устройства защитного отключения

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

Одним из действенных способов повышения электробезопасности при эксплуатации электроустановок и приборов в жилых и общественных зданиях является применение устройств защитного отключения, управляемых дифференциальным током (УЗО-Д). Это устройство представляет собой коммутационный аппарат, который при достижении (превышении) дифференциальным током заданного значения при определённых условиях эксплуатации должен вызвать размыкание контактов. УЗО-Д нашли широкое применение в европейских странах, где в эксплуатации находятся около шестисот миллионов УЗО, установленных в жилых и общественных зданиях. Опыт эксплуатации УЗО доказал их высокую эффективность как средство защиты от токов повреждений [14].

Из всех известных электротехнических средств УЗО является:

- единственным, обеспечивающим защиту человека от повреждения электрическим током в случае прямого прикосновения к токоведущим частям;

- способным осуществлять защиту от возгораний и пожаров, возникающих вследствие неисправности электрооборудования, электропроводки.

При малых токах замыкания, снижении уровня изоляции, а также обрыве нулевого защитного проводника зануление недостаточно эффективно, поэтому в этих случаях УЗО является единственным средством защиты человека от поражения электрическим током [21].

Кроме того, УЗО заблаговременно, до развития в КЗ, отключает электроустановку от источника питания (это УЗО противопожарного назначения с уставкой 300 мА).

В рекламных проспектах некоторых российских фирм, а также зарубежных фирм УЗО со встроенной защитой от сверхтоков часто называют «дифференциальный автомат», «дифференциальный выключатель». Это название – ошибочное, не соответствует российским стандартам. Оно появилось в результате неправильного перевода иностранного термина [14].

По данным Минтопэнерго России за последнее десятилетие электротравматизм в быту удвоился. В настоящее время в России частота смертельного электротравматизма в жилых зданиях примерно в 30-100 раз превышает её среднее значение в 20 странах, правила, нормы и стандарты которых соответствуют комплексу стандартов МЭК «Электроустановки зданий».

В настоящее время идёт увеличение нагрузок в электроустановках зданий в связи с широким применением электробытовой техники, а электроустановки зданий стареют вместе с жилым фондом.

Кроме своего основного назначения, указанного выше, УЗО может использоваться для защиты от скачков напряжения в сети, рис.1.13. принцип действия состоит в том, что при увеличении напряжения свыше 270 В возникает дифференциальный ток, протекающий через нелинейное сопротивление СН, что приводит к отключению УЗО.

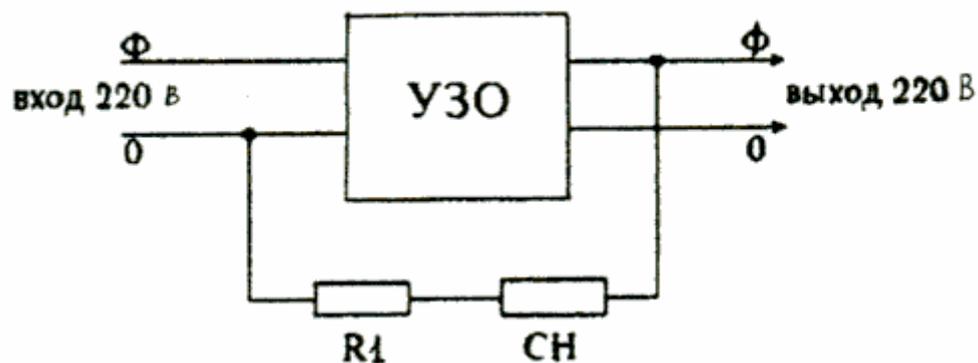


Рис.1.13. Принципиальная схема включения УЗО для защиты от скачков напряжения в сети:

СН – сопротивление нелинейное; R1 – омическое сопротивление; УЗО с отключающим дифференциальным током 30 мА

Ниже приведены различные схемы электроустановок зданий с применением УЗО, рис.1.14, 1.15, 1.16 [14].

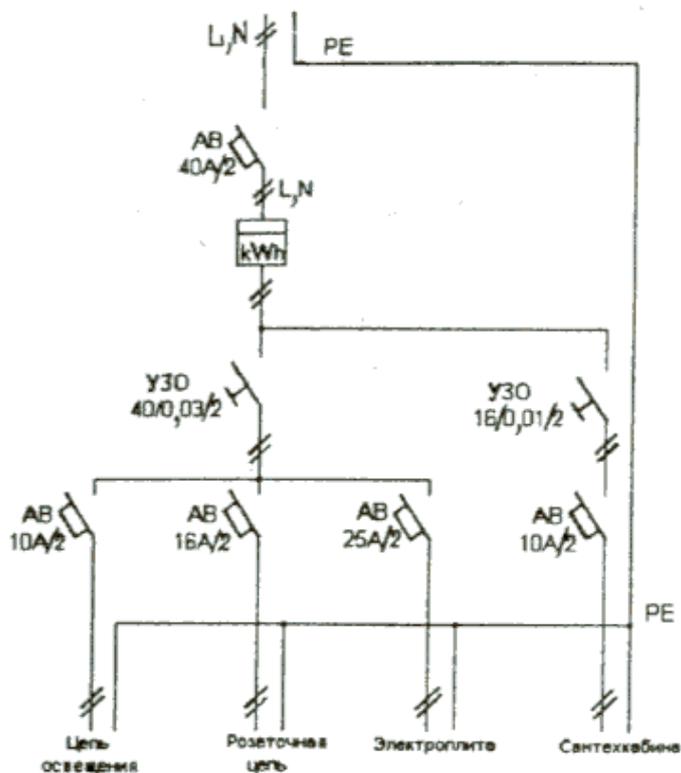


Рис.1.14. Принципиальная схема электроснабжения квартиры с системой TN-S

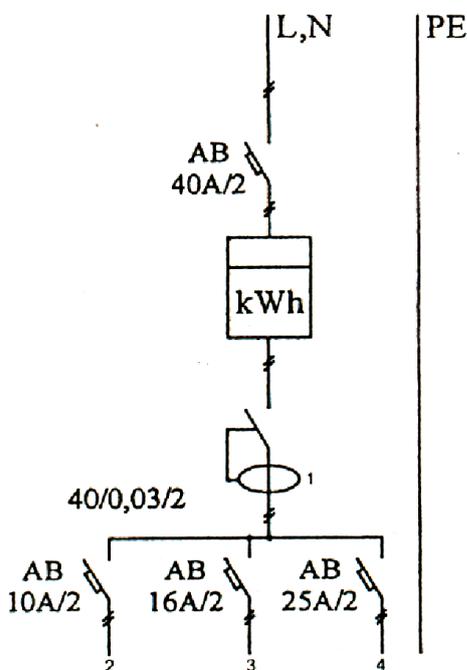


Рис. 1.15. Схема электроснабжения квартиры при отсутствии защитного проводника PE в розеточной цепи и цепи освещения (Рекомендуемое временное решение для старого жилого фонда):  
1 – УЗО; 2 – цепь освещения; 3 – розеточная цепь; 4 – электроплита

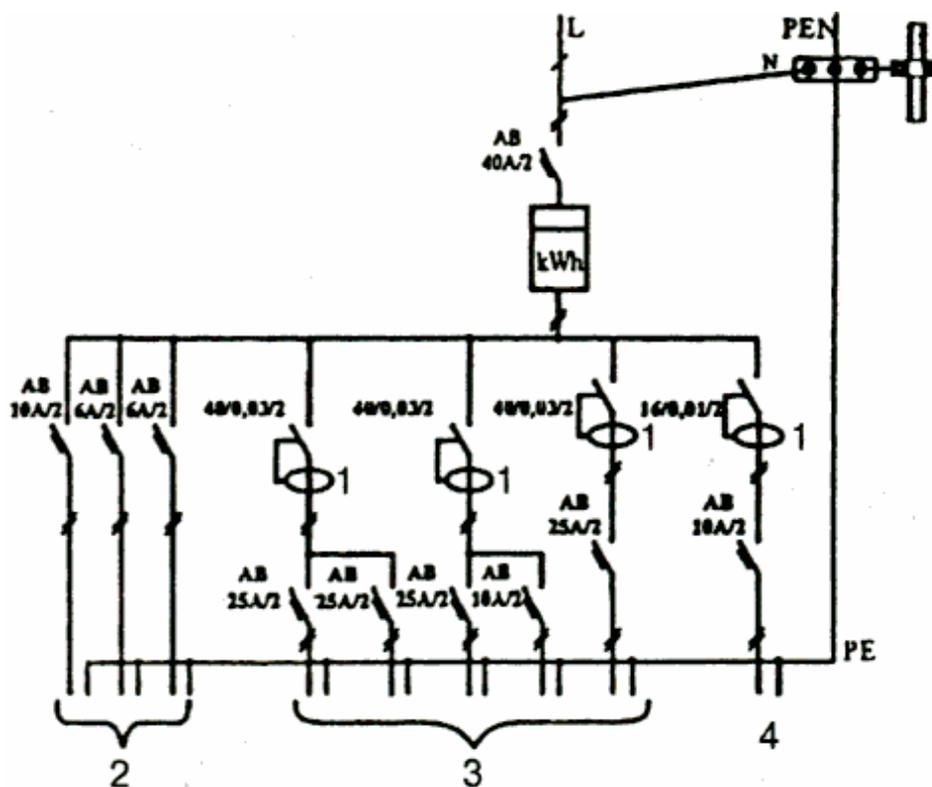


Рис.1.16. пример электроснабжения двухкомнатной квартиры повышенной комфортности (TN-C-S):  
1 – УЗО; 2 – освещение; 3 – розеточные цепи; 4 – ванная комната

#### 1.5.4. Обеспечение селективности при применении УЗО

По условиям функционирования УЗО подразделяют на следующие типы:

- AC – устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток, возникающий внезапно, либо медленно возрастающий;
- A – устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток и пульсирующий постоянный дифференциальный ток, возникающие внезапно, либо медленно возрастающие;
- B – устройство защитного отключения, реагирующее на переменный, постоянный и выпрямленный дифференциальные токи;
- S – устройство защитного отключения, селективное (с выдержкой времени отключения);
- G – то же, что и тип S, но с меньшей выдержкой времени.

Источником пульсирующего тока являются, например, стиральные машины с регуляторами скорости, регулируемые источники света, телевизоры, видеоманитофоны, персональные компьютеры и др.

В жилых зданиях, как правило, должны применяться УЗО типа A, реагирующие не только на переменные, но и на пульсирующие токи повреждений.

Практически все персональные компьютеры, телевизоры, видеоманитофоны имеют импульсные блоки питания; все последние модели электро-

инструмента, стиральных машин, швейных машин, бытовых кухонных электроприборов снабжены тиристорными регуляторами без разделительного трансформатора. Широко применяются различные светильники – торшеры, бра с тиристорными светорегуляторами.

Следовательно, вероятность возникновения утечки пульсирующего постоянного тока, а значит и поражения человека значительно возросла, что явилось причиной для внедрения УЗО типа А.

УЗО устанавливаются [21]:

- во ВРУ, расположенных в помещениях без повышенной опасности поражения током, в местах, доступных для обслуживания;

- в групповых цепях электроустановки 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, ванны, душевые комнаты, стиральные машины и др.);

- УЗО, предназначенные для осуществления противопожарной защиты, должны устанавливаться на главном вводе объекта;

- в многоквартирных жилых домах УЗО рекомендуется устанавливать в групповых, в том числе в квартирных щитках, допускается их установка в этажных распределительных щитках; в индивидуальных домах – во ВРУ и этажных распределительных щитках;

- в схемах электроснабжения радиального типа со значительным количеством отходящих групп рекомендуется установка общего на вводе и отдельного УЗО на каждую группу при условии соответствующего выбора параметров УЗО, обеспечивающих селективность их действия.

Для обеспечения селективной работы нескольких УЗО в радиальных схемах электроснабжения необходимо учитывать следующие факторы [22]:

- в силу очень высокого быстродействия УЗО практически невозможно обеспечить селективность действия УЗО по току утечки при значениях уставок на соседних ступенях защиты, например, 10 и 30 мА; или 30 и 300 мА;

- на практике утечка тока в электроустановке вовсе не обязательно плавно увеличивается по мере старения изоляции, появления мелких дефектов и т.д.

Возможны пробой изоляции или её серьёзное повреждение, когда ток утечки мгновенно достигает значения, превышающего уставки на обеих ступенях защиты. При этом возможно срабатывание любого из УЗО, установленных последовательно в цепи;

- селективность работы УЗО может быть обеспечена применением модификации УЗО с задержкой срабатывания (УЗО с индексом «S» и «G»).

Важно учесть, что УЗО, работающие с выдержкой времени, находятся более долгое время под воздействием экстремальных токов, поэтому к ним предъявляются повышенные требования по условному току короткого замыкания, термической и динамической стойкости, коммутационной способности и т.д.

Во Франции широко практикуется применение селективных УЗО как весьма эффективное противопожарное мероприятие. На главном вводе в

распределительном щите электроустановки, как правило, устанавливают УЗО противопожарного назначения типа «S» с номинальным отключающим дифференциальным током 300 или 500 мА.

На рис. 1.17 приведены примеры схем с двумя и тремя уровнями селективности.

Как правило, УЗО применяются вместе с автоматическими воздушными выключателями или плавкими предохранителями, селективность действия которых также надо обеспечивать в системах электроснабжения.

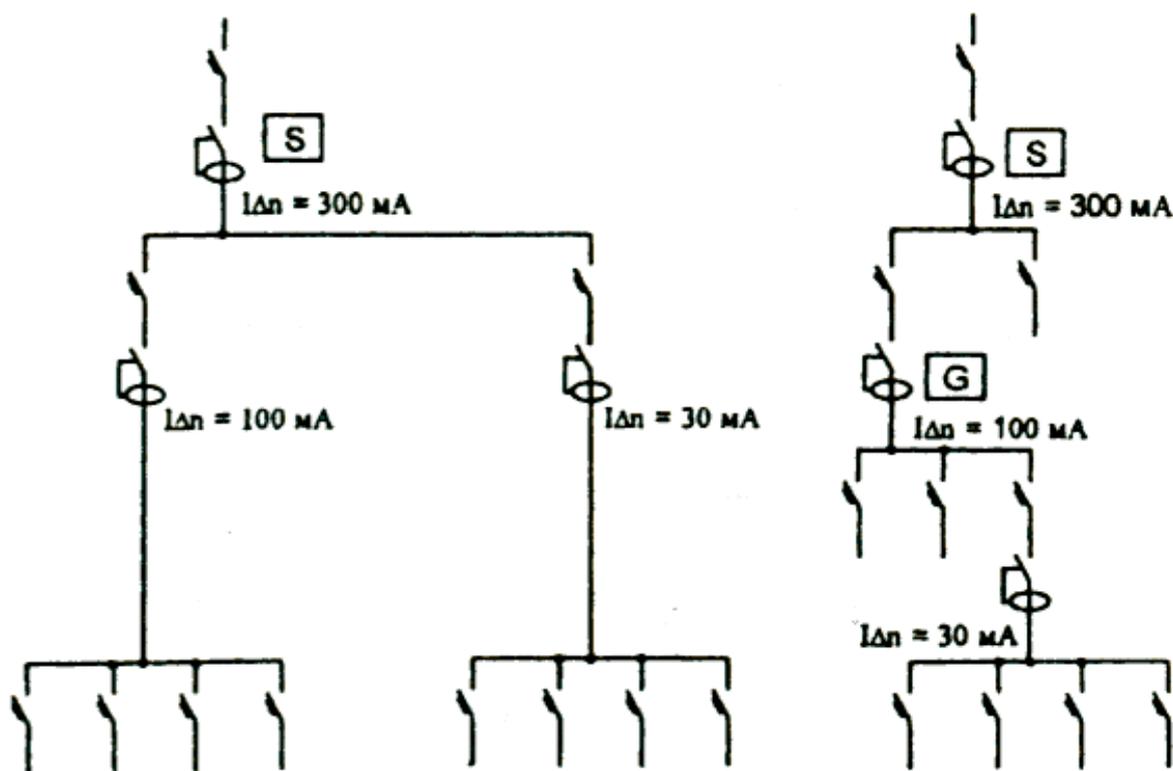


Рис. 1.17. Примеры схем с двумя и тремя уровнями селективности

Как правило, УЗО применяются вместе с автоматическими воздушными выключателями или плавкими предохранителями, селективность действия которых также надо обеспечивать в системах электроснабжения.

Если в сети установлено несколько последовательно включённых предохранителей, рис. 1.18, то при КЗ, например, в точке  $K_2$  плавкая вставка предохранителя  $F_2$  должна разорвать дугу раньше, чем плавкая вставка предохранителя  $F_1$ . Это возможно в том случае, если защитная характеристика 1 плавкой вставки предохранителя  $F_1$  расположена выше защитной характеристики 2 плавкой вставки предохранителя  $F_2$  во всём диапазоне токов, проходящих по защищаемой цепи при перегрузках и при КЗ.

Для получения селективного действия большинства типов предохранителей необходимо исходить из следующего:

- для последовательно установленных однотипных низковольтных предохранителей следует выбирать плавкие вставки с номинальными токами, отличающимися на две ступени шкалы;

- для разнотипных предохранителей плавкие вставки выбирают с номинальными токами, отличающимися больше, чем на две ступени шкалы, сохраняя требуемую чувствительность.

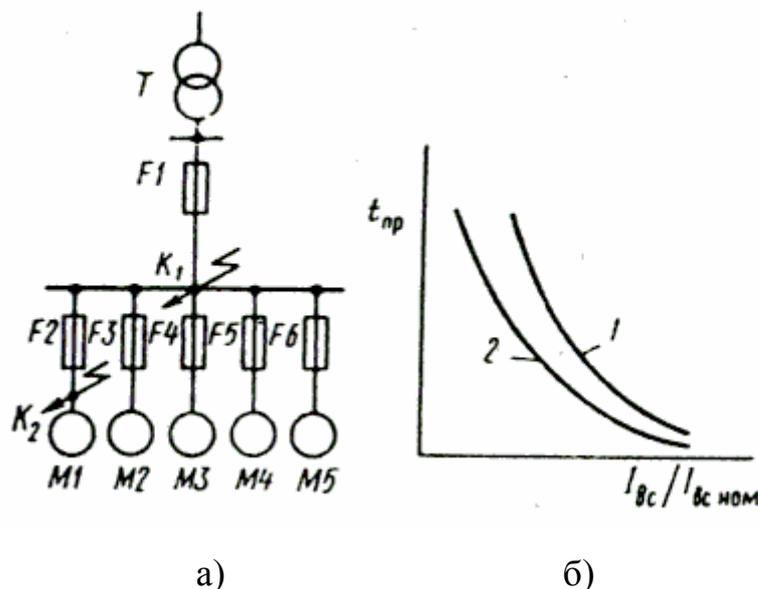


Рис. 1.18. Защита предохранителями радиальной сети с односторонним питанием:

а) схема электроснабжения; б) защитные характеристики предохранителей 1 и 2

Однако, как показал опыт эксплуатации, такое согласование низковольтных предохранителей не всегда обеспечивает их селективную работу. Это связано с тем, что фактическое время отключения предохранителя может отличаться от полученного по его защитной характеристике.

Для обеспечения селективного отключения последовательно установленных автоматов защитные характеристики их расцепителей не должны пересекаться, причём уставка тока у расцепителя выключателя SF1, расположенного ближе к источнику питания, должна быть больше, чем у расцепителя автомата SF2, рис. 1.19. При согласовании защитных характеристик среднюю погрешность действия расцепителей принимают равной  $\pm 20\%$  независимо от типа автомата [21].

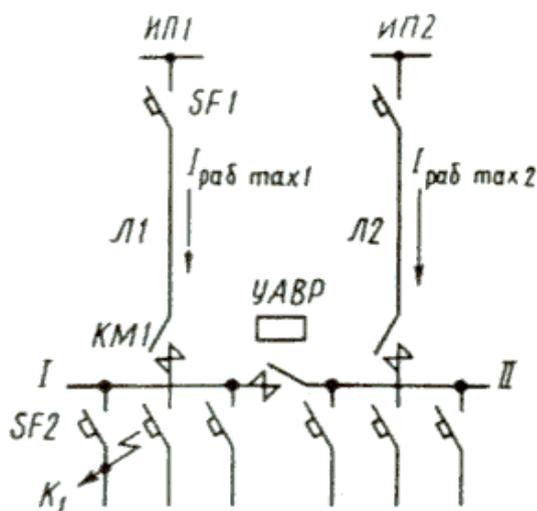


Рис. 1.19. Защита сети автоматическими выключателями

Селективность обеспечивается также, если согласовывать номинальные токи плавких вставок по следующему выражению

$$I_{\text{вс.ном.1}} \geq 1,26 I_{\text{вс.ном.2}}$$

В сетях напряжением до 1 кВ необходима селективность при совместной работе автоматических выключателей и предохранителей. В случае, когда ближе к источнику питания находится автоматический выключатель, селективности достичь просто, используя селективный автоматический выключатель. В случае, когда ближе к источнику находится предохранитель, требования к селективности такие же, как при согласовании между собой защитных характеристик предохранителей.

Как говорилось ранее, автоматические выключатели имеют преимущества по сравнению с предохранителями: в нормальном режиме и при любых видах КЗ они производят отключение всех трёх фаз, тем самым исключаются неполнофазные режимы. Это позволяет с их помощью выполнить схемы сетевой автоматики (УАПВ, УАВР); расцепители автоматических выключателей являются более совершенным устройством, чем плавкая вставка предохранителя.

## 2. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Электроснабжение производственных предприятий и населённых пунктов в сельской местности имеет свои особенности по сравнению с электроснабжением городов. Главная из них – необходимость подводить электроэнергию к огромному числу сравнительно маломощных объектов, рассредоточенных на большой площади. В результате протяжённость сетей (в расчёте на единицу мощности потребителей) во много раз больше, чем в других отраслях.

Все это говорит о сложности проблемы электроснабжения сельского хозяйства, от решения которой зависит экономическая эффективность применения электроэнергии в сельскохозяйственном производстве и быту.

Наряду с развитием систем электроснабжения сельского хозяйства происходит их реконструкция. Часть воздушных линий 0,38 и 10 кВ с неизолированными проводами заменяют самонесущими изолированными проводами (СИП).

Важный показатель системы электроснабжения - надёжность подачи электроэнергии. Для крупных сельскохозяйственных предприятий (животноводческих ферм, птицефабрик, тепличных комбинатов и др.) любое отключение – плановое (для ревизии и ремонта) и особенно аварийное – наносит огромный ущерб потребителям. Поэтому необходимо применять эффективные меры по обеспечению требуемого уровня надёжности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.

## **2.1. Расчёт электрических нагрузок**

### **2.1.1. Общие положения**

Расчетной нагрузкой считается наибольшее значение полной мощности за промежуток 30 минут (получасовой максимум), которое может возникнуть на вводе к потребителю или в питающей сети в расчетном году с вероятностью не ниже 0,95.

Расчетным периодом является время с момента ввода установки в эксплуатацию до достижения нагрузкой расчетного значения.

Расчетным годом считается последний год расчетного периода, на который определяется уровень нагрузок и другие параметры электроустановок.

Различают дневные и вечерние расчетные активные (реактивные) нагрузки.

За расчетную нагрузку для выбора сечений проводов или мощности трансформаторных подстанций принимается большая из величин дневной или вечерней расчетных нагрузок.

Потери или отклонения напряжения в сетях рассчитываются отдельно для режима дневных и вечерних нагрузок.

Сельским жилым домом при расчете электрических нагрузок считается многоквартирный дом или квартира в многоквартирном доме, имеющие отдельный счетчик электроэнергии.

При проектировании внешних сетей 0,38 кВ расчетные нагрузки на вводе сельских жилых домов с электроплитами принимаются равными 6 кВт, а с электроплитами и электроводонагревателями – 7,5 кВт [22].

Нагрузки бытовых кондиционеров учитываются путем увеличения расчетных нагрузок на вводе жилых домов на 1 кВт.

### 2.1.2. Расчет электрических нагрузок в сетях 0,38 – 110 кВ

Расчет электрических нагрузок в сетях 0,38 кВ производится исходя из расчетных нагрузок на вводе потребителей и соответствующих коэффициентов одновременности отдельно для дневного и вечернего максимумов:

$$P_{д} = K_{O} \cdot \sum P_{дi} \quad (2.1)$$

$$P_{в} = K_{O} \cdot \sum P_{вi}, \quad (2.2)$$

где  $P_{д}$ ,  $P_{в}$  – расчетная дневная, вечерняя нагрузки на участке линии или шинах трансформаторной подстанции кВТ;  $K_{O}$  – коэффициент одновременности, табл. 2.1;  $P_{дi}$ ,  $P_{вi}$  – дневная, вечерняя нагрузки на вводе  $i$ -го потребителя, кВТ, табл. 2.2.

Если нагрузки потребителей отличаются по величине более чем в 4 раза, их суммирование рекомендуется проводить по табл.2.3. При суммировании нагрузок по таблице к большей нагрузке прибавляется добавка  $\Delta P$  от меньшей нагрузки.

Допускается определение расчетных нагрузок по одному режиму – дневному, если суммируются только производственные потребители, или вечернему, если суммируются только бытовые потребители. Коэффициенты дневного или вечернего максимума принимаются: для производственных потребителей  $K_{д} = 1$ ,  $K_{в} = 0,6$ ; для бытовых потребителей: дома без электроплит –  $K_{д} = 0,3-0,4$ ,  $K_{в} = 1$ ; дома с электроплитами –  $K_{д} = 0,6$ ,  $K_{в} = 1$ ; для смешанной нагрузки –  $K_{д} = K_{в} = 1$ .

При смешанной нагрузке отдельно определяются нагрузки на участках сети с жилыми домами, с производственными, общественными помещениями и коммунальными предприятиями с использованием соответствующих коэффициентов одновременности. Суммирование нагрузок участков сети производится по табл.2.3.

Полная мощность на участках сети 0,38 кВ определяется из расчетных активных нагрузок  $P_{р}$  этих участков и соответствующих коэффициентов мощности ( $\cos\varphi$ ), приведенных в табл.2.4,

$$S = \frac{P_{р}}{\cos \varphi} \quad (2.3)$$

При наличии в зоне электроснабжения сезонных потребителей (например, теплицы, орошение и т.п.) расчетные нагрузки сети определяются с учетом коэффициентов сезонности  $K_{сез}$ , согласно табл. 2.5.

Годовое потребление электроэнергии на шинах ТП (трансформаторной подстанции) 10/0,4 кВ определяется приближенно по величине расчетной нагрузки и годовому числу часов ее использования  $T_{макс}$  (кроме сезонных потребителей) в соответствии с табл. 2.6

$$W_{год} = P_{р} \cdot T_{макс}. \quad (2.4)$$

Определив полную суммарную нагрузку на шинах ТП 0,4 кВ, можно выбрать трансформаторы на подстанции (см. раздел 2.2.4).

Определив полную мощность на участках сети 0,38 кВ, можно выбрать сечения проводов (см. раздел 2.3.2). Расчет электрических нагрузок в сетях напряжением 6-20 кВ производится исходя из ранее определенных расчетных нагрузок на шинах ТП – 6(10) кВ по формулам (2.1) и (2.2) и соответствующих коэффициентов одновременности, табл.2.7.

Если нагрузки подстанций 6(10)/0,4 кВ отличаются по величине более чем в 4 раза, их суммируют по табл. 2.8. При суммировании нагрузок по таблице к большей нагрузке прибавляется добавка  $\Delta P$  от меньшей нагрузки.

Расчет электрических нагрузок в сетях напряжением 35-110 кВ производится исходя из ранее определенных расчетных нагрузок на шинах ТП 35-110 кВ по известным формулам (2.1) и (2.2) и соответствующих коэффициентов одновременности, табл.2.9.

При определении электрических нагрузок должны быть учтены все приемники электроэнергии, в том числе промышленных, коммунально-бытовых и других предприятий, находящихся в зоне проектируемого объекта.

Электрические нагрузки следует принимать на перспективу 10 лет для выбора сечений проводов и жил кабелей и 5 лет для выбора трансформаторов, считая от года ввода в эксплуатацию линий электропередачи и трансформаторных подстанций.

Коэффициент роста нагрузок для существующих ТП принимается в зависимости от вида потребителей по табл.2.10 [22].

### **2.1.3. Графики электрических нагрузок сельских потребителей**

Исходными данными для всех технических и экономических расчетов систем электроснабжения сельских районов служат сведения об электрических нагрузках потребителей. По своей природе электрические нагрузки представляют собой случайные величины и поэтому для их исследований и расчета широко применяют аппарат теории вероятностей и математической статистики.

Информацию о нагрузках обычно выражают в виде графиков - зависимостей от времени активной, реактивной, полной мощностей (или токов). Графики нагрузок могут быть построены за любые периоды времени – сутки, недели, месяцы, годы.

Под графиком нагрузки понимается изменение в течение суток средней активной и реактивной мощностей и их дисперсий.

Графики нагрузок используют для определения максимальной мощности (или тока), необходимой для определения потерь электроэнергии и разработке мероприятий по их снижению, при выборе мощности конденсаторных установок для компенсации реактивных нагрузок, при расчетах и выборе релейной защиты и средств автоматики и т.п.

Наиболее полную информацию о нагрузках сельских потребителей содержат разработанные институтом «Сельэнергопроект» типовые графики [23]. Типовые графики разделены на три группы, две из которых

предназначены для плановых и схемных расчетов по энергосистеме, республике, области для расчета сетей 110 и 35 кВ.

Третью группу составляют графики нагрузок для расчета сетей 6-10 кВ.

**Типовой график электрических нагрузок** – это усредненный по времени и набору токоприемников график нагрузки аналогичных по режиму работы потребителей или элементов сети.

В альбоме [23] представлены суточные почасовые графики электрических нагрузок по четырем сезонам года.

В табл.2.11 приведены коэффициенты сезонности  $K_p$  активных нагрузок, а в табл. 2.12 - типовые графики активных мощностей характерных групп сельскохозяйственных потребителей для расчета сетей 6-10 кВ в режиме максимальных (зима) и минимальных (лето) нагрузок.

В практике удобен годовой график по продолжительности, для построения которого используют суточные графики электрических нагрузок. Можно условно принять продолжительность зимнего периода 200 дней, летнего – 165. По оси ординат годового графика по продолжительности в соответствующем масштабе откладывают нагрузки в кВт от  $P_{\text{МАКС}}$  до  $P_{\text{МИН}}$ , а по оси абсцисс – часы года от 0 до 8760 ( $24 \cdot 365 = 8760$ ).

Площадь годового графика выражает количество потребленной электроэнергии за год в кВт·ч.

По данным графика определяют число часов использования максимальной нагрузки, ч.,

$$T_M = \frac{(200 \sum P_{31} + 165 \sum P_{Л1})}{P_{\text{МАКС.З}}}, \quad (2.5)$$

где  $P_{31}$  – нагрузка I-го часа в декабре, кВт;  $P_{Л1}$  – нагрузка I-го часа в июне, кВт;  $P_{\text{МАКС.З}}$  – максимальная нагрузка в зимний период, кВт.

Время максимальных потерь, ч.,

$$\tau_M = (0,124 + T_M \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760. \quad (2.6)$$

#### 2.1.4. Расчет сетей наружного освещения

Основной задачей освещения улиц и внутрирайонных проездов является обеспечение безопасности движения в темное время суток. Уличное освещение должно обеспечивать нормированную величину освещенности или средней яркости дорожного покрытия. Освещенность должна быть по возможности равномерной.

Сети наружного освещения рекомендуется выполнять кабельными или воздушными с использованием самонесущих изолированных проводов. В обоснованных случаях для воздушных распределительных сетей освещения улиц, площадей, территорий микрорайонов и населённых пунктов допускается использовать неизолированные провода [5].

В сетях наружного освещения следует применять напряжение 380/220 В переменного тока при заземленной нейтрали.

Кабельными должны выполняться распределительные сети освещения территорий детских яслей-садов, общеобразовательных школ, школ-интернатов (раздел 1.1.4).

Сечения нулевых жил кабелей в осветительных установках с газоразрядными источниками света следует, как правило, принимать равными сечению фазных проводов.

Электрическая нагрузка наружного освещения улиц определяется типом светильника, шириной улиц и их покрытием. Значения электрической нагрузки уличного освещения в сельских населённых пунктах приведены в табл. 2.13 [24].

Мощность светильников хозяйственных дворов принимают из расчёта 250 Вт на помещение и 3 Вт на 1 м погонной длины периметра хоздвора.

Расчётная нагрузка наружного освещения площадей общественных и торговых центров принимается по норме  $0,5 \text{ Вт/м}^2$  площади.

Методика определения расчётной нагрузки осветительной сети приведена в разделе 1.1.4.

### **2.1.5. Выбор расположения подстанций напряжением 10/0,4 кВ**

Правильное размещение трансформаторных подстанций (ТП) в поселке городского типа существенно влияет на экономические показатели и надёжность системы электроснабжения потребителей.

Методика выбора центра электрических нагрузок приведена в разделе 1.1.5.

## **2.2. Выбор и расчет схем электрических сетей внешнего электроснабжения**

### **2.2.1. Напряжение сетей**

К электрическим сетям сельскохозяйственного назначения относятся сети напряжением 0,38-110 кВ, от которых снабжаются электроэнергией преимущественно (более 50% по расчётной нагрузке) сельскохозяйственные потребители, включая коммунально-бытовые, объекты мелиорации и водного хозяйства, а также предприятия и организации, предназначенные для бытового и культурного обслуживания сельского населения.

Основной системой напряжений в электрических сетях сельскохозяйственного назначения является 110/35/10/0,38 кВ с подсистемами напряжений 110/10/0,38; 35/10/0,38 кВ.

## 2.2.2. Нормы надежности

Сельскохозяйственные потребители и их электроприемники в отношении требований к надежности электроснабжения разделяются на три категории.

К потребителям первой категории относятся:

1. Животноводческие комплексы и фермы:

- по производству молока на 400 и более коров;

- по выращиванию и откорму молодняка крупного рогатого скота (КРС) на 5 тыс. и более голов в год;

- по выращиванию нетелей на 3 тыс. и более скотомест;

- площадки по откорму КРС на 5 тыс. и более голов в год;

- комплексы по выращиванию и откорму 12 тыс. и более свиней в год;

2. Птицефабрики:

- по производству яиц с содержанием 100 тыс. и более кур-несушек;

- мясного направления по выращиванию 1 млн и более бройлеров в год;

- хозяйства по выращиванию племенного стада кур на 25 тыс. и более голов, а также гусей, уток и индеек 10 тыс. и более голов.

К потребителям второй категории относятся:

- животноводческие и птицеводческие фермы с меньшей производственной мощностью, чем указано ранее для потребителей первой категории;

- тепличные комбинаты;

- кормоприготовительные заводы и отдельные цехи при механизированном приготовлении и раздаче кормов;

- картофелехранилища емкостью более 500 т с холодоснабжением и активной вентиляцией;

- холодильники для хранения фруктов емкостью более 600 т;

- инкубационные цехи рыбоводческих хозяйств и ферм [26].

Все остальные сельскохозяйственные потребители и электроприемники относятся к третьей категории.

Электроприемники и потребители **первой категории** должны обеспечиваться электроэнергией не менее чем от двух независимых источников питания и перерыв в электроснабжении допускается лишь на время автоматического переключения с одного источника на резервный (АВР).

Электроприемники и потребители **второй категории** рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых источников питания.

В зоне централизованного электроснабжения вторым источником питания, как правило, является другая секция шин 10 кВ двухтрансформаторной подстанции 35-110/10 кВ с двусторонним питанием по сети 35-110 кВ, от которой осуществляется основное питание.

**Особую группу потребителей II категории** составляют потребители, перерыв в электроснабжении которых не должен превышать 0,5 ч. К ним отнесены:

- на комплексах и фермах молочного направления – системы поения коров в стойлах, в доильных залах, рабочее освещение в доильных залах,

системы промывки молокопроводов и подогрева воды, локального обогрева и облучения телят, дежурного освещения в родильных отделениях;

- на свиноводческих комплексах и фермах – отопительно-вентиляционные системы в свинарниках-откормочниках и свинарниках для поросят;

- на птицефабриках и птицефермах – системы поения птицы, локального обогрева цыплят в первые 20 дней, вентиляции в птичниках с напольным и клеточным содержанием, инкубации яиц и вывода цыплят, сортировки яиц и цыплят, транспортировки, санитарно-убойного пункта, котельных, мазутного хозяйства, градирни, хлораторной станции обезжелезивания, канализационной насосной станции;

- для всех сельскохозяйственных предприятий установки пожаротушения и котельные с котлами высокого и среднего давления.

Для резервного питания электроприемников первой и второй категорий надежности, не допускающих перерывов в электроснабжении длительностью более 0,5 часа, должна предусматриваться установка автономных источников резервного питания дополнительно к резервному питанию по электрическим сетям.

В качестве автономных источников резервного питания могут быть использованы стационарные или передвижные электростанции (ДЭС) и стационарные или передвижные источники питания с приводом от трактора.

Мощности резервируемых электроприёмников взяты из материалов по проектированию [25] и приведены ниже:

Тип и производственная характеристика предприятия	Расчетная мощность резервируемых приемников, кВт
Ферма молочного направления	
на 200 коров	15-25
на 300 коров	20-25
на 400 коров	30
Ферма по выращиванию нетелей до шести-восьмимесячного возраста:	
на 3 тыс. ското-мест	60
на 6 тыс. ското-мест	100
Ферма по выращиванию и откорму молодняка КРС:	
производительностью 5 тыс. голов в год:	100
производительностью 10 тыс. голов в год	200
Ферма мясного направления:	
производительностью 0,6-1,2 коров в год	30
производительностью 2-3 тыс. коров в год	60
Ферма по выращиванию и откорму свиней:	
производительностью 3 тыс. свиней в год	60
производительностью 6 тыс. свиней в год	100

Птицефабрики и птицефермы:	
на 20 тыс. кур	60
на 100 тыс. кур	200
Фабрики по производству бройлеров:	
производительностью 0,2 млн	300
производительностью 0,5 млн	400

### 2.2.3. Требования к схемам электрических сетей

Основным направлением развития электрических сетей сельскохозяйственного назначения должно быть преимущественное развитие сетей напряжением 35-110 кВ [26].

Основу электрической сети 35-110 кВ сельскохозяйственного назначения должны составлять воздушные одноцепные взаимно резервирующие секционированные магистральные линии электропередачи с комплектными трансформаторными подстанциями 110-35/10 кВ.

Взаимно резервирующие линии 35-110 кВ должны питаться от шин разных трансформаторных подстанций или разных систем (секций) шин одной трансформаторной подстанции.

Ввод резервного питания осуществляется автоматически. Автоматический ввод резерва выполняется, как правило, двусторонним.

Опорные трансформаторные подстанции (ОТП) напряжением 35-110 кВ должны размещаться в узлах сети 35-110 кВ с учетом развития открытого распределительного устройства (ОРУ) в перспективе.

Вновь сооружаемые трансформаторные подстанции 35-110 кВ должны, как правило, присоединяться к ОРУ 35-110 кВ действующих подстанций, в расщелку линий электропередачи 35-110 кВ, а также по схеме ответвления от существующей ВЛ 35-110 кВ с учетом ее пропускной способности.

В случае параллельного следования действующей ВЛ 35 кВ и намечаемой к строительству ВЛ 110 кВ необходимо рассматривать целесообразность перевода действующей подстанции 35/10 кВ на напряжение 110/10 кВ.

Если в направлении ВЛ, намечаемой к строительству, в перспективе потребуется сооружение линии более высокого напряжения, то эта линия должна проектироваться на более высокое напряжение с временным использованием сроком до 5 лет на более низком напряжении.

Основу электрической сети 10 кВ должны составлять воздушные взаимно резервирующие секционированные магистральные линии электропередачи, опорные трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ и распределительные пункты 10 кВ (РП).

ОТП 10/0,4 кВ представляют собой подстанции 10/0,4 кВ с развитым распределительным устройством 10 кВ (РУ 10 кВ), предназначенным для присоединения радиальных линий электропередачи 10 кВ, автоматического секционирования и резервирования магистрали, размещения устройств автоматики и телемеханики.

ОТП следует устанавливать у потребителей первой категории, на хозяйственных дворах центральных усадеб колхозов, совхозов. ОТП присоединяются в расщепки магистрали линий электроснабжения.

РП должны оборудоваться устройствами АВР (автоматическое повторное включение) на секционном выключателе 10 кВ.

Магистральная линия 10 кВ должна иметь сетевой резерв от независимого источника питания.

#### **2.2.4. Выбор числа и мощности трансформаторов 10/0,4 кВ**

На трансформаторных подстанциях напряжением 10/0,4 кВ должны проектироваться по два трансформатора при электроснабжении потребителей первой и второй категорий надежности, не допускающих перерыва в электроснабжении более 0,5 часа, также потребители второй категории при расчетной нагрузке на подстанции 250 кВт и более. При меньшей нагрузке потребителя применяют, как правило, однострансформаторные подстанции 10/0,4 кВ [25, 26].

Выбор установленной мощности трансформаторов одно- и двухтрансформаторных подстанций производится по условиям их работы в нормальном режиме по экономическим интервалам нагрузки, исходя из условия:

$$S_{\text{ЭК.МИН}} \leq \frac{S_p}{n} \leq S_{\text{ЭК.МАКС}}, \quad (2.7)$$

где  $S_p$  – расчетная нагрузка подстанции, кВт·А;  $n$  – количество трансформаторов в зависимости от надежности потребителей;  $S_{\text{ЭК.МИН}}$ ,  $S_{\text{ЭК.МАКС}}$  – соответственно, минимальная и максимальная границы экономического интервала нагрузки трансформатора принятой номинальной мощности; определяется по табл.2.15 в зависимости от зоны сооружения подстанции и вида нагрузки потребителей, табл.2.14 [27].

Принятые номинальные мощности трансформаторов проверяются по условиям их работы в нормальном режиме по допустимым систематическим нагрузкам и в послеаварийном – по допустимым аварийным перегрузкам.

Допустимая систематическая нагрузка трансформатора – нагрузка, при которой износ изоляции в течение расчетного периода эксплуатации равен или меньше износа за тот же период при номинальном режиме работы трансформатора.

Номинальный режим работы трансформатора – режим работы при постоянной номинальной нагрузке и неизменной температуре охлаждающего воздуха, равной 20°C.

Допустимая аварийная перегрузка трансформатора – нагрузка, определяемая исходя из условия, при котором не превышает предельно допустимая температура наиболее нагретой точки обмотки, равной 160°C.

Коэффициенты допустимых систематических нагрузок и аварийных перегрузок – кратность допустимых нагрузок и перегрузок по отношению к номинальной мощности трансформатора.

Для нормального режима эксплуатации номинальные мощности трансформаторов  $S_H$  проверяются, исходя из условия:

$$\frac{S_P}{n \square S_H} \leq K_C, \quad (2.8)$$

где  $K_C$  – коэффициент допустимой систематической нагрузки трансформатора, определяется по табл. 2.16 в зависимости от вида нагрузки подстанции и номинальной мощности трансформатора для приведенных в таблице значений среднесуточных температур расчетного сезона и номинальных мощностей трансформаторов.

Расчетный сезон – сезон наибольшей расчетной нагрузки подстанции.

Среднесуточная температура воздуха расчетного сезона нагрузки подстанции  $t_B$  определяется для района установки трансформаторов по данным службы метеорологии.

Для значений среднесуточной температуры воздуха расчетного сезона, отличных от  $t_{BT}$ , принятых в табл.2.16, коэффициенты допустимых систематических нагрузок трансформаторов, заданные в таблице, пересчитываются по формуле

$$K_C = K_{CT} - \alpha (t_B - t_{BT}), \quad (2.9)$$

где  $\alpha$  – расчетный температурный градиент, 1/°C; приведен в табл.2.16;  $K_{CT}$  – табличное значение коэффициента допустимой систематической нагрузки, соответствующее среднесуточной температуре расчетного сезона.

При установке проектируемой подстанции в климатической зоне со среднесуточной температурой зимнего сезона меньше минус 15°C и зимнем расчетном максимуме нагрузки коэффициенты допустимой нагрузки трансформаторов определяются для среднесуточной температуры, равной минус 15°C.

При отсутствии возможности резервирования или отключения в послеаварийном режиме части нагрузки подстанции, выбор установленной

мощности трансформаторов двухтрансформаторных подстанций производится по послеаварийному режиму из условия отключения одного из трансформаторов и обеспечения другим всей нагрузки подстанции:

$$\frac{S_P}{S_H} \leq K_{AB}, \quad (2.10)$$

где  $K_{AB}$  – коэффициент допустимой аварийной перегрузки трансформатора; определяется по аналогии с коэффициентом допустимой систематической нагрузки по табл. 2.16.

При наличии возможности резервирования части нагрузки подстанции в послеаварийном режиме принятые номинальные мощности трансформаторов одно- и двухтрансформаторных подстанций проверяются по условиям их работы в двух послеаварийных режимах эксплуатации: первый режим – отключение одного из трансформаторов на проектируемой двухтрансформаторной подстанции; второй – отключение на одной из соседних подстанций, связанной с проектируемой резервными переключателями.

$$S_{ABP1} / S_H \leq K_{AB}; \quad (2.11)$$

$$S_{ABP1} = S_P - S_{PE31}; \quad (2.12)$$

$$\frac{S_{ABP2}}{n \cdot S_H} \leq K_{AB}; \quad (2.13)$$

$$S_{ABP2} = S_P + S_{PE32}; \quad (2.14)$$

где  $S_{ABP1}$ ,  $S_{ABP2}$  – аварийные расчетные нагрузки, соответственно для первого и второго рассматриваемых послеаварийных режимов;  $S_{PE31}$  – резервируемая в расчетном году нагрузка проектируемой двухтрансформаторной подстанции при отключении одного из трансформаторов, кВ·А;  $S_{PE32}$  – нагрузка, резервируемая в расчетном году трансформаторами проектируемой подстанции при отключениях на одной из соседних подстанций, кВ·А.

Исходя из условий (2.8), (2.10), (2.11), (2.13), выбирают трансформаторы большей мощности.

Основные технические данные силовых трансформаторов приведены в табл.2.17 [27]. Трансформаторы напряжением 10/0,4 кВ, как правило, выпускаются с переключением ответвлений без возбуждения (ПБВ).

## 2.2.5. Выбор числа и мощности трансформаторов 35-110/10 кВ

Из-за рассредоточения небольших по величине мощностей на большой площади в сельском населённом пункте сети, соединяющие трансформаторные подстанции напряжением 10/0,4 кВ, получаются излишне протяжёнными.

Необходимо сокращение радиуса действия электрических сетей. Воздушные электрические линии – наиболее повреждаемые элементы системы сельского электроснабжения. Число повреждений растёт примерно пропорционально длине линии.

В последние годы проведена значительная работа в системе сельского электроснабжения по разукрупнению трансформаторных подстанций и сокращению радиуса действия сетей, который для линий напряжением 10 кВ в ближайшее время повсеместно должен быть снижен до 15 км, а в дальнейшем – примерно до 7 км, как это принято во многих зарубежных странах [25].

Для обеспечения нормативных уровней надежности электроснабжения потребителей схемы электрических сетей напряжением 35-110 кВ должны строиться таким образом, чтобы шины (секции шин) 10 кВ подстанций 35-10 кВ, от которых осуществляется питание взаимно резервирующих линий 10 кВ, являлись независимыми источниками питания.

Две секции шин 10 кВ двухтрансформаторной подстанции 35-110 кВ считаются независимыми источниками питания, если питание этой подстанции осуществляется не менее чем по двум линиям 35-110 кВ.

При выборе вариантов электроснабжения в первую очередь рассматривается возможность применения однострансформаторных подстанций. Нормативные уровни надежности электроснабжения при сооружении однострансформаторных подстанций 35-110 кВ обеспечиваются, если отходящие от подстанции линии 10 кВ резервируются от независимых источников питания.

Двухтрансформаторная подстанция сооружается, когда:

- хотя бы одна из линий 10 кВ, отходящих от рассматриваемой подстанции, питающая потребителей первой и второй категорий по надежности, не может быть зарезервирована от соседней подстанции 35-110 кВ, имеющей независимое питание;

- расчетная нагрузка подстанции требует установки трансформатора мощностью свыше 6300 кВ·А;

- от шин 10 кВ подстанции отходят 6 и более линий 10 кВ;

- расстояние между соседними подстанциями более 45 км [25].

Выбор установленной мощности трансформаторов производится по уравнению (2.7).

Вид нагрузки потребителей подстанций определяется по табл.2.14 [27].

Максимальные и минимальные границы экономического интервала нагрузки трансформатора, принятой номинальной мощности, определяются для подстанции 35/10 кВ по табл.2.18, а для подстанции 110/10 кВ – по табл.2.19.

Проверка выбранного трансформатора в нормальном режиме проводится по формуле (2.8).

Коэффициент допустимой систематической нагрузки трансформатора определяется по табл.2.16, в случае необходимости пересчитывается по формуле (2.9).

Проверка трансформаторов двухтрансформаторной подстанции в послеаварийном режиме проводится по формуле (2.10). Коэффициент допустимой аварийной перегрузки определяется по табл.2.16.

Проверка трансформаторов в послеаварийных режимах при наличии возможности резервирования части нагрузки проводится по формулам (2.11), (2.12), (2.13), (2.14).

Исходя из условий (2.8), (2.10), (2.11), (2.13), выбираются трансформаторы большей номинальной мощности.

Основные технические данные силовых трансформаторов напряжением 35/0,69 и 35/11 кВ приведены в табл.2.20 [27]. Трансформаторы 35/0,69 кВ, как правило, с переключением ответвлений без возбуждения (ПБВ), а трансформаторы 35/11 кВ – с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН).

## **2.2.6. Выбор типовой трансформаторной подстанции с высшим напряжением 10 кВ**

Комплектные трансформаторные подстанции (КТП) применяют для приёма, распределения и преобразования электрической энергии трёхфазного тока частотой 50 Гц [28].

По числу трансформаторов КТП могут быть однострансформаторными, двухтрансформаторными и трёхтрансформаторными.

По роду установки КТП могут быть:

- внутренней установки с масляными, сухими или заполненными негорючей жидкостью трансформаторами;
- наружной установки (только с масляными трансформаторами);
- смешанной установки с расположением РУ высшего напряжения и трансформатора снаружи, а РУ низшего напряжения внутри помещения.

Для объектов сельскохозяйственного назначения применяются КТП наружной установки мощностью 25...400 кВА, напряжением 6...35/0,4 кВ. Это в основном мачтовые подстанции. КТП состоят из шкафа ввода ВН,

трансформатора и шкафа НН, укомплектованного на отходящих линиях автоматическими выключателями.

Трансформаторные подстанции являются составной частью электрических сетей, в связи с чем правильный выбор типа подстанции, её схемы и конструкции имеет существенное значение в надёжном электроснабжении потребителей.

Наилучшими качествами конструкций обладают два типа подстанций:

- при малой мощности до 100-160 кВА – подстанции мачтового (МТП) или столбового типа (СТП), с открытым расположением оборудования на опоре воздушной линии;

- при большой мощности, особенно в районах густой застройки, для электроснабжения ответственных потребителей – подстанции закрытого типа с обслуживанием оборудования внутри помещения.

Определяющими при выборе КТП являются:

- электрическая нагрузка, мощность и количество трансформаторов;
- воздушный или кабельный ввод линий высокого напряжения;
- условия присоединения подстанции к питающей сети (тупиковая, проходная, узловая схема).

В [29] дана таблица с рекомендациями по выбору типовых подстанций с высшим напряжением 10 кВ. На рис. 2.1. представлен общий вид мачтовой трансформаторной подстанции напряжением 10/0,4 кВ с трансформаторами мощностью от 25 до 250 кВА с воздушным вводом линии 10 кВ, а на рис. 2.2. – электрическая схема этой трансформаторной подстанции. На рис. 2.3. представлен общий вид комплектной закрытой трансформаторной подстанции напряжением 10(6)/0,4 кВ с трансформаторами мощностью от 160 до 400 кВА проходного типа с воздушным вводом двух линий 10 кВ повышенной заводской готовности, а на рис 2.4. – электрическая схема.

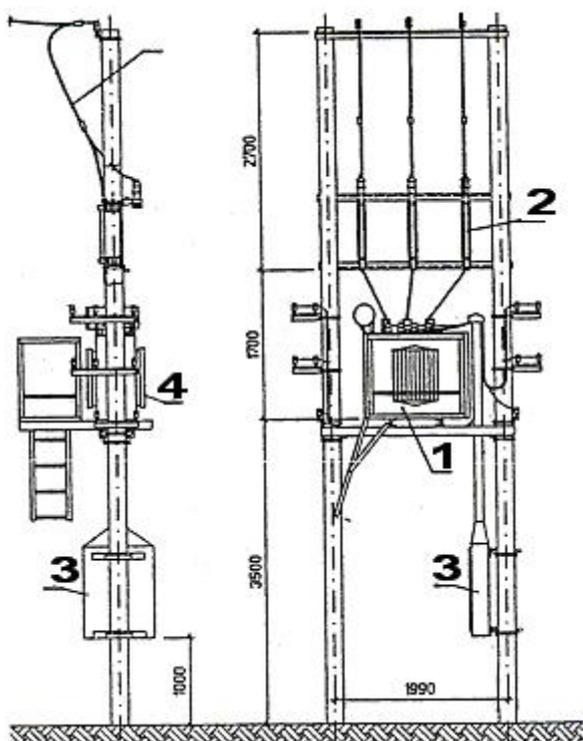


Рис. 2.1. Общий вид мачтовой трансформаторной подстанции:

1 – силовой трансформатор; 2 – предохранитель 10 кВ;

3 – шкаф РУ 0,4 кВ; 4 – провод 10 кВ

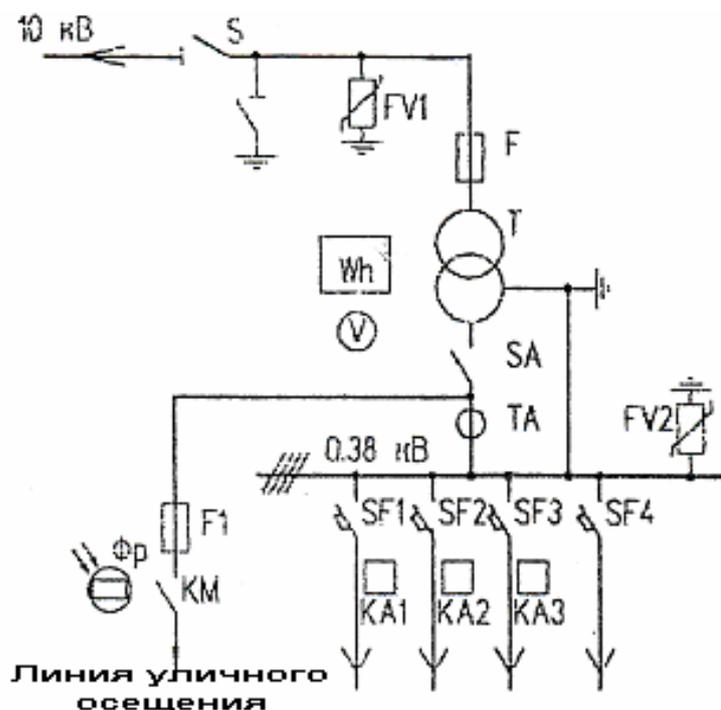


Рис. 2.2. Электрическая схема МТП:

S – разьединитель; FV – ОПН 10 кВ; F – предохранитель; T – силовой трансформатор; SA – рубильник; TA – трансформатор тока; FV2 – ОПН 0,4 кВ; SF1...SF4 – выключатель автоматический; F1 – предохранитель 0,4 кВ;

КМ – контактор; Фр – фотореле; Wh – счётчик; V – вольтметр;  
 КА1...КА3 – реле токовое

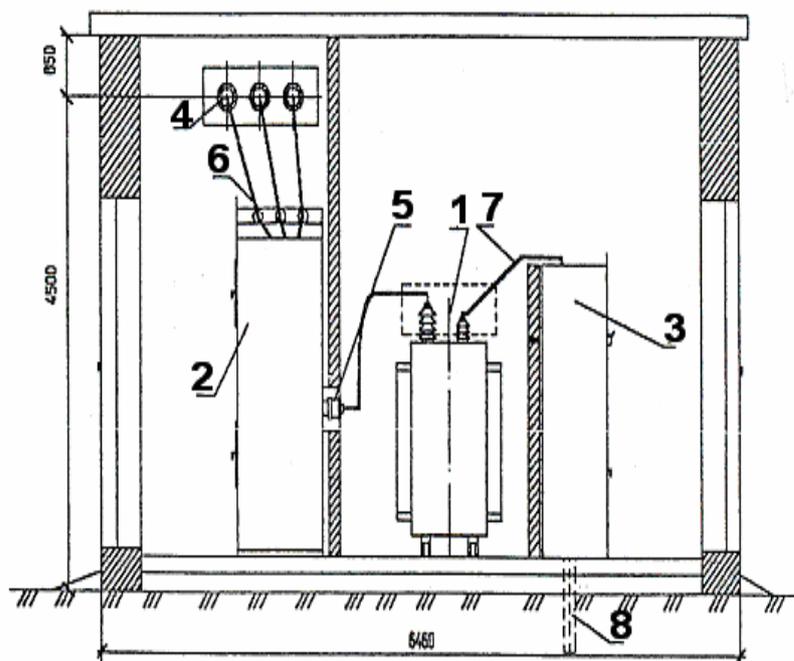


Рис. 2.3. Общий вид закрытой КТП: 1 – силовой трансформатор 10/0,4 кВ;  
 2 – камеры КСО 10 кВ; 3 щит 0,4 кВ; 4, 5 – проходные изоляторы;  
 6, 7 – шины алюминиевые; 8 – трубы для прокладки кабелей

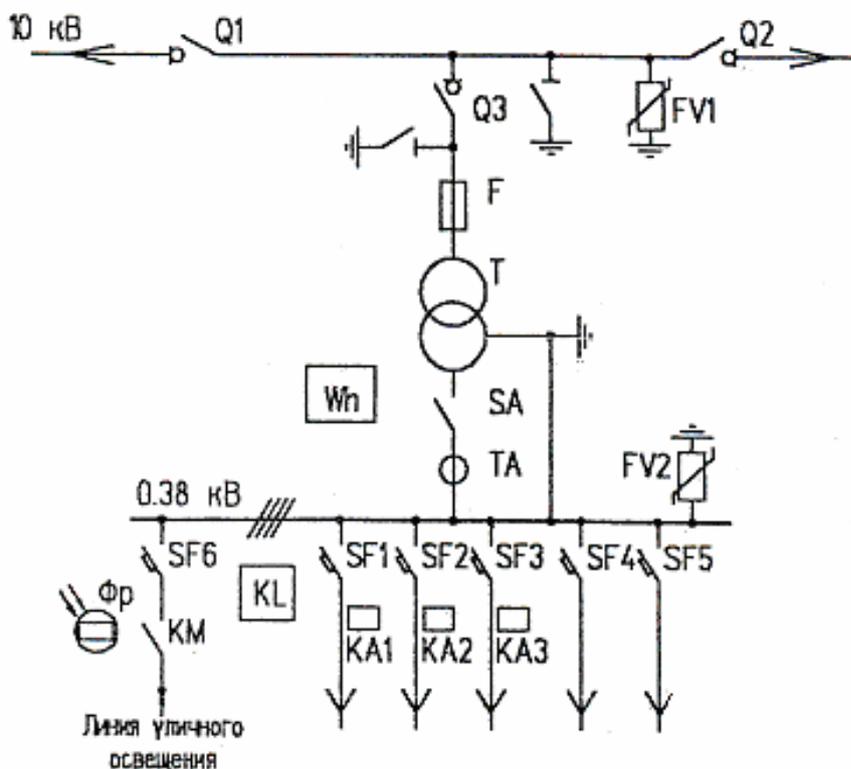


Рис. 2.4. Электрическая схема КТП:

Q1, Q2, Q3 – выключатель нагрузки; F – предохранитель 10 кВ; Т – трансформатор силовой; SA – рубильник; ТА – трансформатор тока; SF1...SF6 – выключатель автоматический; FV – ОПН 10 кВ; FV2 – ОПН 0,4 кВ; Wh – счётчик; КМ – пускатель магнитный; KL – устройство защиты от обрыва фазы; Ka1, Ka2, Ka3 – токовое реле

## 2.3. Расчёт электрических сетей

### 2.3.1. Общие требования

Линии электропередачи напряжением 0,38-10 кВ, как правило, должны быть воздушными. Кабельные линии предусматриваются в случаях, когда по действующим Правилам устройств электроустановок [5] строительство воздушных линий электропередачи не допускается, а также для электро-снабжения ответственных потребителей электроэнергии (животноводческие комплексы, птицефабрики и крупные свиноводческие фермы и др.).

Выбор схем и параметров электрических сетей следует производить по потокам мощности в нормальном, ремонтном и послеаварийных режимах.

ВЛ следует прокладывать, как правило, по двум сторонам улиц. Допускается прохождение их по одной стороне улицы с учетом исключения помех движению транспорта и пешеходов, а также удобства выполнения ответвлений от ВЛ к вводам здания и сокращения числа пересечений ВЛ с инженерными сооружениями.

На участках параллельного следования ВЛ 0,38 и 10 кВ следует рассматривать технико-экономическую целесообразность применения общих опор для совместной подвески на них проводов обеих ВЛ.

Письмом от 26.06.2000 г. № 05-5145 РАО «ЕЭС России» основываясь на результате изучения зарубежного и отечественного опыта строительства и эксплуатации в ряде районов страны, предложило при проектировании, новом строительстве и реконструкции воздушных линий электропередачи напряжением 0,38 кВ преимущественно применять самонесущие изолированные провода (СИП).

Эти требования нашли отражение ПУЭ 2006 года издания [5]. Пункт 2.4.13 для воздушных линий электропередачи напряжением до 1 кВ гласит: «На ВЛ должны, как правило, применяться самонесущие изолированные провода (СИП). В пункте 2.5.1 написано, что воздушные линии электропередачи «напряжением выше 1 кВ и до 20 кВ выполняются проводами с защитной изолирующей оболочкой - защищёнными проводами».

Самонесущие изолированные провода представляют собой провод с алюминиевыми токопроводящими жилами, с изоляцией из светостабилизированного или термопластичного полиэтилена, скрученными с нулевым несущим проводом из алюминиевого сплава, причём для одного из двух типов проводов несущий провод не изолирован, а для другого изолирован.

На кабельных линиях (КЛ) рекомендуется применять кабели с алюминиевыми жилами с пластмассовой изоляцией.

В районах с одноэтажной застройкой для ответвлений от ВЛ к вводам в здания рекомендуется применять самонесущие провода с атмосферостойкой изоляцией [25].

На ВЛ 0,38 кВ должны применяться железобетонные и деревянные с железобетонными приставками опоры.

На ВЛ напряжением 35 и 110 кВ рекомендуется применять сталеалюминиевые провода.

На отдельных сложных участках ВЛ (большие переходы через водные пространства, горы, поймы рек, болота и др.) допускается применение марок и сечений проводов, тросов, отличных от применяемых на всей линии, при соответствующем технико-экономическом обосновании.

На ВЛ 35 и 110 кВ могут применяться железобетонные на вибрированных и центрифугированных стойках и металлические опоры.

При реконструкции и расширении действующих сетей напряжением 6 кВ следует предусматривать их перевод на напряжение 10 кВ с использованием, по возможности, установленного оборудования, проводов и кабелей. Сохранение напряжения 6 кВ допускается, как исключение, при соответствующих технико-экономических обоснованиях.

### 2.3.2. Выбор сечения проводов ВЛ напряжением 0,38 и 10 кВ

Электрические сети напряжением 0,38 кВ должны быть переменного трехфазного тока с глухозаземленной нейтралью.

ПУЭ [5] рекомендует выполнять ВЛ 0,38 кВ трехфазными по всей длине алюминиевыми проводами одного сечения (не менее 50 мм<sup>2</sup>), а сооружать сельские ВЛ 10 кВ в соответствии с так называемым магистральным принципом. Согласно этому принципу, на магистралях ВЛ 10 кВ монтируют провода сечением 70-95 мм<sup>2</sup>, а на ответвлениях - не менее 35 мм<sup>2</sup>.

Конкретное экономическое сечение проводов определяют следующим образом:

1. Находим расчетную нагрузку  $S_i$  на каждом участке линии (см. раздел 2.1.2.).

2. Определяем расчётный ток  $I_{P.G.}$ , А, на головном участке линии

$$I_{P.G.} = \frac{S_{P.G.}}{\sqrt{3}U} \quad (2.15)$$

где  $S_{P.G.}$  – полная мощность, кВ·А  $i$ -го участка магистрали;  $U$  – номинальное напряжением сети, равное 0,38 или 10 кВ.

В число участков магистрали включаются участки с мощностью более 20% головного участка.

3. Производим выбор сечения изолированных проводов исходя из условия

$$I_{\text{дл.доп.}} \geq I_{\text{р.г.}},$$

где  $I_{\text{дл.доп}}$  – длительно допустимый ток провода выбранного сечения.

Длительно допустимые токи для изолированных проводов напряжением 0,38 кВ (СИП-1, СИП-1А, СИП-2, СИП-2А) приведены в табл.2.21, а для проводов напряжением 10 кВ (СИП-3) – в табл. 2.22. Аналогично выбираем сечение проводов на ответвлениях.

4. Выполняем проверку СИП-3 10 кВ на термическую стойкость. Расчёт производится при расчёте токов короткого замыкания.

5. Определяем потери напряжения при выбранных сечениях по формуле:

$$\Delta U, \% = \frac{[S_i \cdot L_i \cdot (R_0 \cdot \cos \varphi + X_0 \cdot \sin \varphi) \cdot 100] \cdot 10^{-3}}{U^2} \quad (2.16)$$

где  $S_i$ ,  $L_i$  – соответственно, полная мощность, кВ·А, и длина, км,  $i$ -го участка;  $R_0$ ,  $X_0$  – соответственно активное и индуктивное сопротивления 1 км провода, Ом;  $U$  – номинальное напряжение сети, кВ.

Значения  $R_0$  для проводов напряжением 0,38 кВ приведены в табл.2.21, а для проводов напряжением 10 кВ – в табл. 2.22.

При одинаковом расстоянии между проводами реактивное индуктивное сопротивление воздушных проводов весьма незначительно изменяется при изменении их сечения.

Это обстоятельство дает возможность для линий напряжением 0,38-20 кВ принять его равным  $X_0 = 0,1$  Ом/км [30].

Если потери напряжения превысят допустимые, то на ряде участков, начиная с головного, необходимо увеличить сечения. При этом не следует принимать в линии более 3-4 различных сечений проводов.

6. Расчет заканчивается проверкой потерь напряжения в линии  $\Delta U_{\text{л}}$ , которая не должна превышать допустимые потери напряжения  $\Delta U_{\text{доп}}$ .

В результате должно выполняться условие:

$$\Delta U_{\text{доп}} > \Delta U_{\text{л}}. \quad (2.17)$$

Допустимые потери напряжения не должны превышать в электрических сетях напряжением 10 кВ 10%, напряжением 220 и 380 В – 8%; в электропроводках одноэтажных жилых домов – 1%; в электропроводках зданий, сооружений, двух- и многоэтажных жилых домов – 2%.

При отсутствии исходных данных для расчета отклонения напряжения у электроприемников потери напряжения в элементах сети 0,38 кВ рекомендуется принимать: в линиях, питающих преимущественно коммунально-бытовые потребители – 8%, производственные – 6,5%, животноводческие комплексы – 4% от номинального напряжения [26].

### 2.3.3. Выбор сечения проводов ВЛ напряжением 35, 110 кВ

В Правилах устройства электроустановок рекомендуется выбор сечения провода из различных металлов производить по экономической плотности тока.

В последние годы по экономической плотности тока сечения проводов воздушных линий с номинальным напряжением 35 кВ и выше не выбираются. В практике проектирования применяют выбор сечения проводов для ВЛ 35-750 кВ по экономическим интервалам токов или мощностей.

Достаточно определить перетоки активной мощности в сетях 35 и 110 кВ в нормальном режиме и выбрать сечения проводов на участках по табл.2.23. Требуется дополнительная информация: материал опор, количество цепей, район по гололёду.

Далее выполняется проверка выбранного сечения в аварийном режиме. Для этого рассчитывается аварийный ток  $\dot{I}_{AB}$ , А, по формуле:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{S}{\sqrt{3}U}, \quad (2.18)$$

где  $S$  – полная мощность, протекающая по участку сети, кВ·А;  $U$  – номинальное напряжение, кВ.

Аварийный ток сравнивается с допустимым  $\dot{I}_{доп}$  по табл.2.24. Должно выполняться условие:

$$\dot{I}_{доп} \geq \dot{I}_{AB}. \quad (2.19)$$

В случае невыполнения этого условия сечение провода увеличивают.

В табл.2.25 [31] приведены расчетные данные ВЛ 35 и 110 кВ со сталеалюминиевыми проводами.

### 2.3.4. Расчет потерь мощности и энергии в электрических сетях

Одна из важнейших задач энергетики в настоящее время заключается в экономии энергоресурсов. Поэтому большое значение имеет снижение потерь мощности и энергии в электрических сетях, в том числе и в сетях сельских районов.

Потери мощности в питающих сетях напряжением 110-35 кВ, как правило, достаточно просто рассчитываются прямым счетом. Наибольшие сложности представляют расчеты потерь мощности и энергии в распределительных сетях напряжением 10-0,38 кВ. Это объясняется несколькими причинами.

Во-первых, указанные сети сильно разветвлены и состоят из большого числа участков, что само по себе повышает трудоемкость расчетов. Во-вторых, и это главное, в большинстве случаев отсутствует информация о величине нагрузки на отдельных участках ВЛ. В лучшем случае имеются данные о нагрузке головного участка ВЛ 10 и 0,38 кВ. Поэтому при расчете потерь в этих линиях приходится прибегать к ряду искусственных приемов [32].

Один из таких приемов заключается в использовании понятия эквивалентного сопротивления ВЛ  $R_{ЭК}$ , определяемого по формуле

$$R_{\text{ЭК}} = \frac{\Delta P}{3 I_{\Gamma}^2} = \sum \frac{S_i^2 R_i}{S_{\Gamma}^2}, \quad (2.20)$$

где  $\Delta P$  – суммарные потери активной мощности в разветвленной линии, кВт;  $I_{\Gamma}$ ,  $S_i$  – соответственно ток, А, и полная мощность, кВ·А, головного участка ВЛ;  $S_i$ ,  $R_i$  – соответственно полная мощность, кВ·А, и активное сопротивление, Ом,  $i$ -го участка ВЛ;  $n$  – число участков.

Нагрузку на участках ВЛ можно считать распределенной пропорционально номинальным мощностям потребительских трансформаторов.

Потери энергии в линии за год, кВт·ч,

$$\Delta W = (S_{\Gamma}^2 \cdot R_{\text{ЛЭ}} \cdot \tau_{\text{М}} \cdot 10^{-3}) / U_{\text{Н}}^2, \quad (2.21)$$

где  $S_{\Gamma}$  – расчетная мощность на головном участке, кВ·А;  $U_{\text{Н}}$  – номинальная мощность линии, кВ;  $\tau_{\text{М}}$  – время максимальных потерь, ч.

Потери энергии в трансформаторах в режиме холостого хода (х.х.) проще вычислить прямым счетом

$$\Delta W_{\text{ТХ}} = \sum \Delta P_j \cdot 8760, \quad (2.22)$$

где  $\Delta P_j$  – потери х.х. каждого трансформатора, кВт;  $m$  – число трансформаторов.

Для расчета нагрузочных потерь энергии в трансформаторах необходимо сначала определить эквивалентное сопротивление ( $R_{\text{ТЭ}}$ ) трансформаторов:

$$R_{\text{ТЭ}} = (\sum S_{\text{Н}j}^2 \cdot R_{\text{T}j}) / (\sum S_{\text{Н}j})^2, \quad (2.23)$$

где  $S_{\text{Н}j}$  – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;  $R_{\text{T}j}$  – активное сопротивление  $j$  – го трансформатора, Ом.

$$R_{\text{T}j} = (\Delta P_{\text{КЗ}} \cdot U_{\text{Н}}^2 \cdot 10^3) / (S_{\text{Н}j})^2, \quad (2.24)$$

где  $\Delta P_{\text{КЗ}}$  – паспортное данное трансформатора, кВт;  $U_{\text{Н}}$  – номинальное напряжение трансформатора, кВ.

Теперь можно определить нагрузочные потери в трансформаторах, кВт·ч:

$$\Delta W = (\sum S_j^2 \cdot R_{\text{ТЭ}} \cdot \tau_{\text{М}} \cdot 10^{-3}) / U_{\text{Н}}^2. \quad (2.25)$$

Таблица 1.1

Удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир жилых зданий, кВт/квартира

№ п/п	Потребители электроэнергии	Количество квартир													
		1-3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600	1000
1.	Квартиры с плитами:* - на природном газе - на сжиженном газе (в том числе при групповых установках) и на твердом топливе -электрическими, мощностью до 8,5 кВт	4,5	2,8	2,3	2,0	1,8	1,65	1,4	1,2	1,05	0,85	0,77	0,71	0,69	0,67
		6,0	3,4	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	1,4	1,3	1,08	1,0	0,92	0,84	0,76
		10	5,1	3,8	3,2	2,8	2,6	2,2	1,95	1,7	1,5	1,36	1,27	1,23	1,19
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

П р и м е ч а н и я. 1. Удельные расчетные нагрузки для промежуточного числа квартир определяются интерполяцией.

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

3. Удельные расчётные нагрузки приведены для квартир общей площадью 70 м<sup>2</sup> (квартиры от 35 до 90 м<sup>2</sup>) в зданиях по типовым проектам и 150 м<sup>2</sup> (квартиры от 100 до 300 м<sup>2</sup>) в зданиях по индивидуальным проектам с квартирами повышенной комфортности.

4. Расчётную нагрузку для квартир с повышенной комфортностью следует определять в соответствии с заданием на проектирование или в соответствии с заявленной мощностью и коэффициентами спроса и одновременности.

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

6. Удельные расчётные 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.
7. Для определения при необходимости утреннего или дневного максимума нагрузок следует применять коэффициент 0,7 – для жилых зданий с электрическими плитами.
8. Электрическую нагрузку жилых зданий в период летнего максимума нагрузок можно определить, умножив приведённые 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 твёрдом топливе;
  - 0,8 – для квартир с электрическими плитами.

Таблица 1.2

Коэффициенты спроса лифтовых установок жилых домов  $K_C$ 

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

Таблица 1.3

Коэффициент спроса электродвигателей санитарно-технических устройств  $K_C$ 

Количество электродвигателей	$K_C$	Количество электродвигателей	$K_C$
2	1	10	0,7
3	0,9	15	0,65
5	0,8	20	0,65
8	0,75	30	0,6

Таблица 1.4

Расчетные коэффициенты реактивной мощности жилых домов

Потребители 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

Таблица 1.5

## Коэффициенты спроса для квартир повышенной комфортности

Заявленная мощность, кВт	До 14	20	30	40	50	60	70 и более
Коэффициент спроса	0,8	0,65	0,6	0,55	0,5	0,48	0,45

Таблица 1.6.

## Коэффициенты одновременности для квартир повышенной комфортности

K<sub>o</sub>

Характеристика квартир	K <sub>o</sub> при числе квартир												
	1-5	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600 и более
С электроплитами	1	0,51	0,38	0,32	0,29	0,26	0,24	0,2	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11

Таблица 1.7

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 12 кВт	25,1	15,2	12,9	11,6	10,7	10,0	8,8	7,5	6,7	5,5

П р и м е ч а н и я. 1. Удельные расчетные нагрузки приведены для коттеджей общей площадью от 150 до 600 м<sup>2</sup>.

2. Удельные расчетные нагрузки для коттеджей общей площадью до 150 м<sup>2</sup> без электрической сауны определяются по табл.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.

См. также примечания 1, 7 и 8 в табл.1.1.

## Удельные расчетные электрические нагрузки общественных зданий

№ пп	Общественные здания	Единицы измерения	Удельная нагрузка	Расчетные коэффициенты	
				cosφ	tgφ
<b>УЧРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ</b>					
Общеобразовательные школы:					
1	-с электрифицированными столовыми и спортзалами	кВт/учащийся	0,25	0,95	0,38
2	-без электрифицированных столовых и спортзалов	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
<b>ПРЕДПРИЯТИЯ ТОРГОВЛИ</b>					
Продовольственные магазины:					
7	-без кондиционирования воздуха	кВт/м <sup>2</sup> 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
<b>ПРЕДПРИЯТИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ</b>					
Полностью электрифицированные с количеством посадочных мест:					
11	- до 400	кВт/место	1,04	0,98	0,2
12	-свыше 500 до 1000	То же	0,86	0,98	0,2
13	- свыше 1100	-«-	0,75	0,98	0,2

Продолжение таблицы 1.8

№ пп	Общественные здания	Единицы измерения	Удельная нагрузка	Расчётные коэффи- циенты	
				cosφ	tgφ
	Частично электрифициро- ванные (с плитами на газо- вом 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
	<b>ПРЕДПРИЯТИЯ КОМ- МУНАЛЬНО-БЫТОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ</b>				
18	Фабрика химчистки и пра- чечная самообслуживания	кВт/кг вещей	0,075	0,8	0,75
19	Парикмахерские	кВт/рабо- чее место	1,5	0,97	0,25
	<b>УЧРЕЖДЕНИЯ КУЛЬТУ- РЫ И ИСКУССТВА</b>				
	Кинотеатры и кинозалы:				
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
	<b>ЗДАНИЯ ИЛИ ПОМЕЩЕ- НИЯ УЧРЕЖДЕНИЙ УПРАВЛЕНИЯ, ПРОЕКТ- НЫХ И КОНСТРУКТОР- СКИХ ОРГАНИЗАЦИЙ, КРЕДИТНО-ФИНАНСО- ВЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ И ПРЕДПРИЯТИЙ СВЯЗИ</b>				
23	- без кондиционирования воздуха	кВт/м <sup>2</sup> общей площади	0,043	0,9	0,48
24	- с кондиционированием воздуха	То же	0,054	0,87	0,57

№ пп	Общественные здания	Единицы измерения	Удельная нагрузка	Расчетные коэффициенты	
				cosφ	tgφ
25	<b>УЧРЕЖДЕНИЯ ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫЕ И ОТДЫХА</b>				
26	Дома отдыха и пансионаты без кондиционирования воздуха Детские лагеря	кВт/место кВт/м <sup>2</sup> жилых помещений	0,36  0,023	0,92  0,92	0,43  0,43
27	<b>УЧРЕЖДЕНИЯ ЖИЛИЩНО- КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА</b>				
28	Гостиницы: - без кондиционирования воздуха (без ресторанов) - с кондиционированием воздуха	кВт/место  То же	0,34  0,46	0,9  0,85	0,48  0,62

П р и м е ч а н и я. 1. В удельной нагрузке п.5 и 6 нагрузка бассейнов и спортзалов не учтена.

2. Удельная нагрузка п.11-17 не зависит от наличия кондиционеров.

3. В удельной нагрузке п. 23-26 нагрузка пищеблоков не учтена. Удельную нагрузку пищеблоков следует принимать как для предприятий общественного питания открытого типа.

4. Удельную нагрузку ресторанов при гостиницах п.27 и 28 следует принимать как для предприятий общественного питания открытого типа.

5. Для предприятий общественного питания при промежуточном числе мест удельные нагрузки определяются интерполяцией.

Таблица 1.9

Суточная нагрузка потребителей микрорайона, % от  $P_{\text{МАКС}}$ 

№ п/п	Потребители	Режимный день	Часы суток												
			0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13
1.	Жилые дома	зимний	15	15	15	15	15	15	60	60	50	50	50	50	50
		летний	15	15	15	15	15	15	60	60	50	50	50	50	50
2.	Детские сады-ясли	зимний	20	20	20	20	20	20	35	35	65	65	100	100	85
		летний	20	20	20	20	20	20	35	35	65	65	100	100	85
3.	Центр торгового обслуживания	зимний	60	60	60	60	60	60	60	60	90	90	100	100	90
		летний	60	60	60	60	60	60	60	60	90	90	100	100	90
4.	Насосная 2-го подъема	зимний	90	90	90	90	80	80	90	90	100	100	95	95	100
		летний	90	90	90	90	80	80	90	90	90	90	100	100	95
5.	Школа	зимний	10	10	10	10	10	10	20	20	60	100	100	70	40
		летний	10	10	10	10	10	10	20	20	60	60	60	100	100
6.	Учебная теплица школы	зимний	20	20	20	20	20	20	35	35	65	65	100	100	85
		летний	20	20	20	20	20	20	35	35	65	65	65	65	100
7.	Учебный автогараж школы	зимний	30	30	40	40	60	60	100	100	60	60	70	70	60
		летний	30	30	40	40	60	60	60	100	100	60	70	70	60
8.	Отдельностоящие заглубленные склады	зимний	20	20	20	20	20	20	35	35	65	65	100	100	85
		летний	20	20	20	20	20	20	35	35	65	65	65	65	100

Окончание табл.1.9

№ п/п	Потребители	Режимный день	Часы суток										
			13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
1.	Жилые дома	зимний	50	40	40	50	50	100	100	100	90	30	30
		летний	50	40	40	50	50	50	50	100	100	100	90
2.	Детские сады-ясли	зимний	85	85	85	80	80	60	60	30	30	30	30
		летний	85	85	85	80	80	60	60	30	30	30	30
3.	Центр торгового обслуживания	зимний	80	90	90	90	90	90	90	80	80	60	60
		летний	80	90	90	90	90	90	90	80	80	60	60
4.	Насосная 2-го подъема	зимний	100	100	100	95	95	95	95	100	100	90	90
		летний	95	100	100	100	100	95	95	95	95	100	100
5.	Школа	зимний	40	40	40	60	90	90	90	50	50	10	10
		летний	70	40	40	40	40	60	90	90	90	50	50
6.	Учебная теплица школы	зимний	85	85	85	80	80	60	60	30	30	30	30
		летний	100	85	85	85	85	80	80	60	60	30	30
7.	Учебный автогараж школы	зимний	60	30	30	40	40	100	100	80	80	70	70
		летний	60	30	30	40	40	40	100	100	80	80	70
8.	Отдельностоящие заглубленные склады	зимний	85	85	85	80	80	60	60	30	30	30	30
		летний	100	85	85	85	85	80	80	60	60	30	30

Таблица 1.10

## Нормы средней яркости усовершенствованных покрытий

Категория объекта по освещению	Улицы, дороги и площади	Наибольшая интенсивность движения в обоих направлениях, транспортных ед./ч	Средняя яркость покрытия, кд/м <sup>2</sup>	Средняя горизонтальная освещенность покрытия, лк
А	Магистральные дороги, магистральные улицы общегородского значения	Св. 3000	1,6	20
		Св. 1000 до 3000	1,2	20
		От 500 до 1000	0,8	15
Б	Магистральные улицы районного значения	Св. 2000	1,0	15
		Св. 1000 до 2000	0,8	15
		От 500 до 1000	0,6	10
		Менее 500	0,4	10
В	Улицы и дороги местного значения	500 и более	0,4	6
		Менее 500	0,3	4
		Одиночные автомобили	0,2	4

Таблица 1.11

Параметры осветительных установок транспортно-пешеходной сети улиц и дорог при нормировании средней освещенности дорожного покрытия

Нормированное значение средней освещенности, лк	Ширина дорожного покрытия, м	Схема расположения светильников	Тип светильника	Тип источника света	Высота светового центра светильника, м	Шаг светильников, м	Удельная мощность установки	
							кВт/км	Вт/м <sup>2</sup>
4	3,5	Односторонняя	НКУ01-200	ЛН, 200 Вт	7	26	7,7	2,21
			РКУ01-125-008	ДРЛ 125	8	38	3,6	1,00
			РКУ01-125-008	ДРЛ125ХЛ	8	35	3,9	1,18
			РТУ01-125	ДРЛ125	4,5	30	4,5	1,29
			РТУ04-125	ДРЛ125	4,5	28	4,9	1,39
	5	Односторонняя	РКУ01-125-008	ДРЛ125	8	37	3,7	0,70
			РТУ01-125	ДРЛ125	4,5	26	5,3	1,06
			РТУ04-125	ДРЛ125	4,5	24	5,7	1,14
			РТУ02-250	ДРЛ250	4,5	35	7,7	1,54
	7,5	Односторонняя	СЗПР 250 М (б)	ДРЛ250ХЛ	8	40	6,7	0,90
			РКУ01-125-008	ДРЛ125	8,5	35	3,9	0,52
	11,25	Односторонняя	СЗПР 250 М (б)	ДРЛ250ХЛ	8	32	8,4	0,76
РКУ01-250-011			ДРЛ250ХЛ	10	40	6,8	0,60	
2	1,5-3	Односторонняя	РТУ01-125	ДРЛ125	4,5	40	3,4	2,00
			РТУ04-125	ДРЛ80	4,5	36	2,5	1,50

Окончание табл. 1.11

Нормированное значение средней освещенности, лк	Ширина дорожног о покрытия, м	Схема расположения светильников	Тип светильника	Тип источника света	Высота светового центра светильника, м	Шаг светильник ов, м	Удельная мощность установки	
							кВт/км	Вт/м <sup>2</sup>
2	3,5	Односторонняя	НКУ01-200	ЛН, 200 Вт	8	36	5,5	1,58
			РКУ01-125-008	ДРЛ80	8	48	1,9	0,54
			СПО-200	ЛН, 200 Вт	6,5	30	6,6	1,80
	4,5		РТУ01-125	ДРЛ125	4,5	40	3,9	0,80
			РТУ04-125	ДРЛ80	4,5	30	3,0	0,66
	5,0		НКУ01-200	ЛН, 200 Вт	7,5	32	6,3	1,25
			РКУ01-125-008	ДРЛ80	8,0	50	1,8	0,36
			СПО-200	ЛН, 200 Вт	6,5	28	7,1	1,42
	7,5		НКУ01-200	ЛН, 200 Вт	7,5	32	6,2	0,83
			РКУ01-125-008	ДРЛ80	8,5	31	2,9	0,38
1	3,5	Односторонняя	НКУ01-200	ЛН, 200 Вт	7,5	40	5,0	1,43
			СПО-200	ЛН, 200 Вт	6,5	35	5,8	1,83
			РТУ01-125	ДРЛ80	4,5	30	3,0	0,85
1	6	Односторонняя	РКУ01-125-008	ДРЛ80	8,5	50	1,8	0,30
			НКУ01-200	ЛН, 150 Вт	7,5	38	4,0	0,66
			СПО-200	ЛН, 150 Вт	6,5	46	3,3	0,55

Таблица 1.12

Длительно допустимый ток  $I_d$  для проводов и кабелей на напряжение до 1 кВ с алюминиевыми жилами при окружающей температуре воздуха 25°C и земли 15°C

Группа проводников	Провода с резиновой и пластмассовой изоляцией					Кабели и защищенные провода с резиновой и пластмассовой изоляцией						Кабели с бумажной пропитанной изоляцией					
	АПР-АПРТО-АПРВ-АПВ					АВРГ-АНРГ-АВВГ-АВРБГ-АНРБГ-АВВБГ			АВВБ-АНРБ			ААГ-АСГ-ААБГ-АСБГ			ААБ-АСБ		
Способ прокладки	открыто	в стальных трубах				в воздухе			в земле			в воздухе			в земле		
		$I_d$ , А, при числе проводников, равным					$I_d$ , А, при числе жил (одножильных проводников), равном										
Сечение, мм <sup>2</sup>	-	2	3	4	5-6	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
2,5	24	20	19	19	15	21	19	17	34	29	26	23	22	-	35	31	-
4	32	28	28	23	22	29	27	24	42	38	35	31	29	27	46	42	38
6	39	36	32	30	26	38	32	29	55	46	42	42	35	35	60	55	46
10	60	50	47	39	38	55	42	38	80	70	63	55	46	45	80	75	65
16	75	60	60	55	48	70	60	54	105	90	81	75	60	60	110	90	90
25	105	85	80	70	65	90	75	68	135	115	104	100	80	75	140	125	115
35	130	100	95	85	75	105	90	81	160	140	126	115	95	95	175	145	135
50	165	140	130	120	105	135	110	100	205	175	158	140	120	110	210	180	165
70	210	175	165	140	130	165	140	126	245	210	190	175	155	140	250	220	200
95	255	215	200	175	-	200	170	153	295	255	230	210	190	165	290	260	240
120	295	245	220	200	-	230	200	190	340	295	266	245	220	200	335	300	270
150	340	275	255	-	-	270	235	212	390	335	302	290	255	230	385	335	305
185	390	-	-	-	-	310	270	243	440	385	347	-	290	260	-	380	345

Таблица 1.13

## Допустимые потери напряжения в осветительных сетях

Мощность трансформатора, кВ·А	Коэффициент загрузки трансформатора	Потери напряжения, %, при коэффициенте мощности нагрузки, равным						
		1,0	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
160	0,95	5,9	4,8	4,4	3,9	3,6	3,4	3,3
	0,9	6,0	5,0	4,5	4,0	3,9	3,6	3,5
	0,8	6,1	5,2	4,9	4,5	4,2	4,1	4,0
	0,7	6,3	5,5	5,3	4,8	4,6	4,5	4,4
	0,6	6,5	5,8	5,5	5,2	5,0	5,0	4,9
	0,5	6,7	6,1	5,8	5,6	5,4	5,4	5,3
250	0,95	6,1	5,0	4,2	4,0	3,7	3,5	3,3
	0,9	6,2	5,1	4,6	4,1	3,9	3,7	3,5
	0,8	6,3	5,3	5,0	4,5	4,3	4,1	4,0
	0,7	6,5	5,6	5,4	4,9	4,7	4,5	4,4
	0,6	6,6	5,9	5,6	5,3	5,1	5,0	4,9
	0,5	6,8	6,2	5,9	5,6	5,6	5,4	5,3
400	0,95	6,2	5,0	4,5	4,0	3,4	3,5	3,3
	0,9	6,3	5,2	4,7	4,2	3,9	3,7	3,6
	0,8	6,4	5,4	5,0	4,6	4,3	4,1	4,0
	0,7	6,5	5,7	5,4	4,9	4,7	4,6	4,4
	0,6	6,6	5,9	5,7	5,3	5,1	5,0	4,9
	0,5	6,8	6,2	5,9	5,7	5,5	5,4	5,3
630	0,95	6,4	4,9	4,3	3,5	3,0	2,8	2,6
	0,9	6,4	5,0	4,4	3,7	3,3	3,0	2,8
	0,8	6,5	5,2	4,8	4,1	3,8	3,5	3,3
	0,7	6,7	5,6	5,2	4,6	4,3	4,0	3,9
	0,6	6,7	5,8	5,5	5,0	4,7	4,5	4,4
	0,5	6,9	6,1	5,8	5,5	5,2	5,0	4,9

Таблица 1.14

## Коэффициенты участия в максимуме нагрузки

Наименование зданий с наибольшей расчетной нагрузкой	Жилые дома с плитами		Предприятия общественного питания		Средние учебные заведения, библиотеки	Общобразоват. школы, проф. тех. училища	Учреждения управления и финансирования	Предприятия торговли		Гостиницы	Парикмахерские	Детские ясли-сады	Поликлиники	Ателье и комбинаты быт. обслуживания	Предприятия коммунального обслуживания	Кинотеатры
	электрическими	на газобразном топливе	столовые	рестораны, кафе				односменные	двухсменные							
Жилые дома: с электрическими плитами с плитами на газе	-	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
	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 общественного 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
Общобразоват. школы, проф. тех. 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 двухсменные)	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

Окончание табл. 1.14

Наименование зданий с наибольшей расчетной нагрузкой	Жилые дома с плитами		Предприятия общественного питания		Средние учебные заведения, библиотеки	Общественные школы, проф. техникумы	Учреждения управления и финансирования	Предприятия торговли		Гостиницы	Парикмахерские	Детские сады	Поликлиники	Ателье и комбинаты быт. обслуживания	Предприятия коммунального обслуживания	Кинотеатры
	электрические	на газотопливом	Столовые	рестораны, кафе				односменные	двухсменные							
Учреждения управления и финансирования	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 быт. 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	-

Таблица 1.15

Коэффициенты совмещения максимумов нагрузок трансформаторов ( $K_{\Sigma}$ )

	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	0,70	0,65	0,60	0,55

## П р и м е ч а н и я.

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 определяются интерполяцией.

Таблица 1.16

## Коэффициенты совмещения максимумов нагрузок городских сетей и промышленных предприятий

Максимум нагрузки	Отношение расчетной нагрузки предприятий к нагрузке городской сети						
	0,2	0,6	1	1,5	2	3	4
Утренний	0,75/0,6	0,8/0,7	0,85/0,7	0,88/0,8	0,9/0,85	0,9/0,87	0,95/0,9
Вечерний	0,85/0,9	0,65/0,8	0,55/0,8	0,5/0,76	0,4/0,75	0,3/0,7	0,3/0,7

## Укрупненные показатели удельной расчетной коммунально-бытовой нагрузки

№ пп	Категория (группа) города	Расчетная удельная обеспеченн ость общей площадью, м <sup>2</sup> /чел.	Город (район)					
			с плитами на природном газе, кВт/чел.			со стационарными электрическими плитами		
			в целом по городу (району)	в том числе		в целом по городу (району)	в том числе	
				центр	микрорайон (кварталы) застройки		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	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

## П р и м е ч а н и я.

1. Значения удельных электрических нагрузок приведены к шинам 10 (6) кВ ЦП.
2. Приведенные в таблице показатели учитывают нагрузки: жилых и общественных зданий (административных, учебных, научных, лечебных, торговых, зрелищных, спортивных), коммунальных предприятий. Объектов транспортного обслуживания, наружного освещения.
3. В таблице не учтены различные мелкопромышленные потребители, 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.
4. К центральным районам города относятся сложившиеся районы со значительным сосредоточением различных административных учреждений, учебных, научных, проектных организаций, банков, предприятий торговли и сервиса, общественного питания, зрелищных предприятий и пр.

Таблица 1.18

Укрупненные показатели расхода электроэнергии коммунально-бытовых потребителей и годового числа часов использования максимума электрической нагрузки

№ пп	Категория (группа) города	Г о р о д а			
		без стационарных электроплит		со стационарными электроплитами	
		удельный расход электроэнергии, кВт·ч/чел. в год	годовое число часов использования максимума электрической нагрузки	удельный расход электроэнергии, кВт·ч/чел. в год	годовое число часов использования максимума электрической нагрузки
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

**П р и м е ч а н и я.**

1. Приведенные укрупненные показатели предусматривают электропотребление жилыми и общественными зданиями, предприятиями коммунально-бытового обслуживания, объектами транспортного обслуживания, наружным освещением.
2. Приведенные данные не учитывают применения в жилых зданиях кондиционирования, электроотопления и электроводонагрева.
3. Годовое число часов использования максимума электрической нагрузки приведено к шинам 10 (6) кВ ЦП.

Таблица 1.19

Технические данные трехфазных масляных трансформаторов общего назначения для комплектных трансформаторных подстанций

Тип	Номинальная мощность, кВ*А	Номинальное напряжение обмоток, кВ		Потери, Вт		Напряжение КЗ, %	Ток ХХ, %
		ВН	НН	ХХ	КЗ		
ТМ-250/10	250			740	3700	4,5	2,3
ТМ-400/10	400	6, 10	0,4; 0,69	950	5500	4,5	2,1
ТМ-630/10	630			1310	7600	5,5	1,8

Таблица 1.20

Технические параметры трансформаторов типа ТСЗУ

Тип трансформатора	Номинальная мощность, кВА	Номинальное напряжение ВН, В	Номинальное Напряжение НН, В	Ток ХХ, %	Напряжение КЗ, %	КПД, %
ТСЗУ-5/380	5	380	12, 24, 36, 380	15	3,0	96
ТСЗУ-10/380	10					97
ТСЗУ-25/380	25					-
ТСЗУ-5/660	5	660	12, 24, 36, 380, 660			96
ТСЗУ-10/660	10					97
ТСЗУ-25/660	25					-

Таблица 1.21

Основные технические данные трансформаторов  
с литой изоляцией типа GDNN

Мощность, кВА	U <sub>НОМ</sub> , кВ (первичное)	Потери КЗ, Вт		Потери ХХ, Вт		U <sub>НОМ</sub> , кВ (вторичное)
		U <sub>К</sub> =4 %	U <sub>К</sub> =6 %	U <sub>К</sub> =4 %	U <sub>К</sub> =6 %	
50	6, 10	1250	-	300	-	0,4; 0,6
	20	1150	-	400	-	
100	6, 10	1700	-	440	-	
	20	1800	-	580	-	
160	6, 10	2300	-	610	-	
	20	2600	-	760	-	
250	6, 10	3000	3200	820	750	
	20	3390	3300	1000	880	
400	6, 10	4300	4600	1150	1050	
	20	4785	4800	1320	1200	
630	6, 10	6400	6800	1500	1450	
	20	7110	6900	1765	1650	

Таблица 2.22

Поправочный коэффициент на количество работающих кабелей,  
лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)

Расстояние между кабелями в свету, мм	Коэффициент при количестве кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Таблица 2.23

Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслोकанифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырёхжильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	-	60	55	-	-	-
10	110	80	75	60	-	65
16	135	110	90	80	75	90
25	180	140	125	105	90	115
35	220	175	145	125	115	135
50	275	210	180	155	140	165
70	340	250	220	190	165	200
95	400	290	260	225	205	240
120	460	335	300	260	240	270
150	520	385	335	300	275	305
185	580	-	380	340	310	345
240	675	-	440	390	355	-
300	770	-	-	-	-	-
400	940	-	-	-	-	-
500	1080	-	-	-	-	-
625	1170	-	-	-	-	-
800	1310	-	-	-	-	-

Таблица 2.24

Расчетные характеристики кабелей с бумажной изоляцией и вязкой пропиткой

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Активное сопротивление на 1 км длины при 20°C, Ом		Индуктивное сопротивление $x_0$ , емкостная проводимость $b_0$ и зарядная мощность $q_0$ 1 км кабеля напряжением, кВ								
			6			10			35		
	медь	алюминий	$x_0$ , Ом/км	$b_0 \cdot 10^{-4}$ , См/км	$q_0$ , квар/км	$x_0$ , Ом/км	$b_0 \cdot 10^{-4}$ , См/км	$q_0$ , квар/км	$x_0$ , Ом/км	$b_0 \cdot 10^{-4}$ , См/км	$q_0$ , квар/км
10	1,84	3,1	0,11	62,8	2,3	-	-	-	-	-	-
16	1,15	1,94	0,102	72,2	2,6	0,113	-	5,9	-	-	-
25	0,74	1,24	0,091	88,0	4,1	0,099	72,2	8,6	-	-	-
35	0,52	0,89	0,087	97,2	4,6	0,095	85,0	10,7	-	-	-
50	0,37	0,62	0,083	114,0	5,2	0,09	91,0	11,7	-	-	-
70	0,26	0,443	0,08	127,0	6,6	0,086	97,5	13,5	0,137	56,5	86,0
95	0,194	0,326	0,078	134,0	8,7	0,083	110,0	15,6	0,126	63,0	95,0
120	0,153	0,258	0,076	146,0	9,5	0,081	116,0	16,9	0,120	75,5	99,0
150	0,122	0,206	0,074	162,0	10,4	0,079	138,0	18,3	0,116	81,5	112,0
185	0,099	0,167	0,073	169,0	11,7	0,077	141,0	10,0	0,113	88,0	115,0
240	0,077	0,129	0,71	185,0	13,0	0,075	144,0	21,5	-	-	-
300	0,061	0,103	-	-	-	-	-	-	0,097	-	127,0
400	0,046	0,077	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2.25

## Экономическая плотность тока

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм <sup>2</sup> , при числе часов использования максимума нагрузки в год		
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000
Неизолированные провода и шины:			
медные	2,5	2,1	1,8
алюминиевые	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с жилами:			
медными	3,0	2,5	2,0
алюминиевыми	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами:			
медными	3,5	3,1	2,7
алюминиевыми	1,9	1,7	1,6

Таблица 2.26

## Значение функции С

Кабель	Значение функции С, А·с <sup>1/2</sup> /мм <sup>2</sup> при номинальном напряжении, кВ	
	6	10
С алюминиевыми сплошными жилами и бумажной изоляцией	92	94
С алюминиевыми многопроволочными жилами и бумажной изоляцией	98	100
С медными сплошными жилами и бумажной изоляцией	140	143
С медными многопроволочными жилами и бумажной изоляцией	147	150
С алюминиевыми жилами и поливинилхлоридной изоляцией	75	78
С медными жилами и поливинилхлоридной изоляцией	114	118
С алюминиевыми жилами и полиэтиленовой изоляцией	62	65

Таблица 2.1

Коэффициенты одновременности для суммирования  
электрических нагрузок в сетях 0,38 кВ

Наименование потребителей	Количество потребителей										
	2	3	5	7	10	15	20	50	100	200	500
Жилые дома с удельной нагрузкой на вводе	0,76	0,66	0,55	0,49	0,44	0,40	0,37	0,30	0,26	0,24	0,22
до 2 кВт/дом	0,75	0,64	0,53	0,47	0,42	0,37	0,34	0,27	0,24	0,20	0,18
свыше 2 кВт/дом	0,73	0,62	0,50	0,43	0,38	0,32	0,29	0,22	0,17	0,15	0,12
Жилые дома с эл.плитами и водонагревателями	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,47	0,40	0,35	0,30
Производственные потребители											

Таблица 2.2

Электрические нагрузки производственных, общественных и коммунально-бытовых потребителей

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум		Коэффициенты сезонности	
		$P_{мд}$ , кВт	$Q_{мд}$ , квар	$P_{мв}$ , кВт	$Q_{мв}$ , квар	$K_3$	$K_L$
Откорм свиней на 4000 голов	1	75	65	45	40	0,9	1,0
- -6000 - -	2	120	105	65	60	0,9	1,0
Выращивание и откорм свиней (с законченным циклом) на 3000 голов	5	105	90	65	60	1,0	1,0
- -4000 - -	6	120	105	90	80	1,0	1,0
- -6000 - -	7	150	150	105	90	1,0	1,0

Продолжение табл. 2.2

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум		Коэффициенты сезонности	
		Р <sub>МД</sub> , кВт	Q <sub>МД</sub> , квар	Р <sub>МВ</sub> , кВт	Q <sub>МВ</sub> , квар	К <sub>з</sub>	К <sub>л</sub>
Производство молока							
200 коров	22	35	30	25	20	1,0	0,7
400 - -	23	105	90	105	90	1,0	0,7
600 - -	24	140	125	140	125	1,0	0,7
Выращивание и откорм							
КРС 5000 голов	30	300	265	260	230	1,0	0,7
10000 - -	31	450	400	340	300	1,0	0,7
Птицефабрика по							
производству яиц на							
200 тыс. кур-несушек	42	1350	1000	1350	1000	1,0	0,9
Птицефабрика мясного							
направления на							
250 тыс. бройлеров	44	230	100	230	100	1,0	1,0
500 тыс. - -	45	400	170	400	170	1,0	1,0
Птицеферма на							
10 тыс. кур-несушек	46	55	40	55	40	1,0	0,8
20 тыс. - -	47	110	80	110	80	1,0	0,8
Коровник без							
механизации процессов							
на	100	4	-	4	-	1,0	0,2
100 коров	101	6	-	6	-	1,0	0,2
200 - -							
То же, с							
электроводонагревателе	102	10	-	10	-	1,0	0,6
м на	103	18	-	18	-	1,0	0,6
100 коров							
200 - -							
Телятник с родильным	118	5	3	8	5	1,0	0,4
отделением на	119	6	4	10	6	1,0	0,4
120 телят							
230 - -	149	65	55	20	15	1,0	0,8
Кормоцех на 12 тыс.							
откорма свиней	132	50	45	50	45	1,0	0,6
Кормоцех фермы КРС							
на 800-1000 голов	158	25	20	10	7	1,0	0,9
Кормоцех птицефермы							
на 25-30 тыс. кур	314	5	3	2	-	1,0	0,7
Овощекартофелехранил							
ище на 300-600 т							

Наименование объекта	Номер шифра	Дневной максимум		Вечерний максимум		Коэффициенты сезонности	
		Р <sub>мд</sub> , кВт	Q <sub>мд</sub> , квар	Р <sub>мв</sub> , кВт	Q <sub>мв</sub> , квар	К <sub>з</sub>	К <sub>л</sub>
Хлебопекарня производительностью 3 т/сутки	356	5	4	5	4	1,0	0,8
5,5 - -	357	15	13	15	13	1,0	0,8
Начальная школа на 40 учащихся	500	5	-	2	-	1,0	0,1
80 - -	501	7	-	2	-	1,0	0,1
Общеобразовательная школа с мастерской на 190 учащихся	503	14	7	20	10	1,0	0,1
320 - -	504	20	10	40	20	1,0	0,1
То же, с электроплитой на 480-540 учащ.	505	40	20	42	20	1,0	0,1
Детский сад-ясли на 50 мест с электроплитой	515	18	5	12	4	1,0	0,8
90 мест - -	516	23	7	14	4	1,0	0,8
Клуб со зрительным залом на 150-200 мест	525	3	1,5	10	6	1,0	0,7
300-400 - -	526	6	3,0	18	10	1,0	0,7
Сельская поликлиника на 150 посещений	533	15	8	30	20	1,0	0,7
Сельская участковая больница на 50 коек	534	50	35	50	35	1,0	0,7
Магазин на 2 рабочих места (смешанный ассортимент)	550	2	-	4	-	1,0	0,4
на 4 места продовольственный	551	10	5	10	5	1,0	0,4
Сельский жилой дом с плитой на газе или твердом топливе	608	2,0	0,72	5,0	1,45	1,0	0,7
Жилой дом с электроплитой	609	3,5	1,15	6,0	1,50	1,0	0,7
Жилой дом с электроплитой и электроводонагревателе м	610	4,5	1,50	7,5	1,87	1,0	0,7

Таблица 2.3

## Суммирование нагрузок в сетях 0,38 кВ

P*	ΔP**	P	ΔP	P	ΔP	P	ΔP	P	ΔP	P	ΔP
0,2	+0,2	19	+11,8	52	+35,4	100	+69	166	+120	232	+176
0,3	+0,2	20	+12,5	53	+36,1	102	+70	168	+122	234	+177
0,4	+0,3	21	+13,1	54	+36,8	104	+72	170	+123	236	+179
0,5	+0,3	22	+13,8	55	+37,5	106	+72	172	+124	238	+180
0,6	+0,4	23	+14,4	56	+38,2	108	+75	174	+126	240	+182
0,8	+0,5	24	+15,0	57	+38,9	110	+76	176	+127	242	+184
1,0	+0,6	25	+15,7	58	+39,6	112	+78	178	+129	244	+185
1,5	+0,9	26	+16,4	59	+40,3	114	+80	180	+130	246	+187
2,0	+1,2	27	+17,0	60	+41,0	116	+81	182	+132	248	+188
2,5	+1,5	28	+17,7	61	+41,7	118	+82	184	+134	250	+190
3,0	+1,8	29	+18,4	62	+42,4	120	+84	186	+136	252	+192
3,5	+2,1	30	+19,0	63	+43,1	122	+86	188	+138	254	+193
4,0	+2,4	31	+19,7	64	+43,8	124	+87	190	+140	256	+195
4,5	+2,7	32	+20,4	65	+44,5	126	+89	192	+142	258	+196
5,0	+3,0	33	+21,2	66	+45,2	128	+90	194	+144	260	+198
5,5	+3,3	34	+22,0	67	+45,9	130	+92	196	+146	262	+200
6,0	+3,6	35	+22,8	68	+46,6	132	+94	198	+148	264	+201
6,5	+3,9	36	+23,5	69	+47,3	134	+95	200	+150	266	+203
7,0	+4,2	37	+24,2	70	+48,0	136	+97	202	+152	268	+204
7,5	+4,5	38	+25,0	72	+49,4	138	+98	204	+153	270	+206
8,0	+4,8	39	+25,8	74	+50,2	140	+100	206	+155	272	+208
8,5	+5,1	40	+26,5	76	+52,2	142	+102	208	+156	274	+209
9,0	+5,4	41	+27,2	78	+53,6	144	+103	210	+158	276	+211
9,5	+5,7	42	+28,0	80	+55,0	146	+105	212	+160	278	+212
10	+6,0	43	+28,8	82	+56,4	148	+106	214	+161	280	+214
11	+6,7	44	+29,5	84	+57,8	150	+108	216	+163	282	+216
12	+7,3	45	+30,2	86	+59,2	152	+110	218	+164	284	+217
13	+7,9	46	+31,0	88	+60,6	154	+111	220	+166	286	+219
14	+8,5	47	+31,8	90	+62,0	156	+113	222	+168	288	+220
15	+9,2	48	+32,5	92	+63,4	158	+114	224	+169	290	+222
16	+9,8	49	+33,2	94	+65,8	160	+116	226	+171	292	+224
17	+10,5	50	+34,0	96	+66,2	162	+117	228	+172	294	+225
18	+11,2	51	+34,7	98	+67,6	164	+119	230	+174	296	+227
										298	+228
										300	+230

- P\* - меньшая из слагаемых
- P\*\* - добавка к большей слагаемой нагрузке

Таблица 2.4

Коэффициенты мощности сельскохозяйственных потребителей и трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ

Потребители, трансформаторные подстанции	Коэффициент мощности ( $\cos\varphi$ ) и коэффициент реактивной мощности ( $\operatorname{tg}\varphi$ ) в максимум нагрузки			
	дневной		вечерний	
	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
Животноводческие и птицеводческие помещения	0,75	0,88	0,85	0,62
То же, с электрообогревом	0,92	0,43	0,96	0,29
Отопление и вентиляция животноводческих помещений	0,99	0,15	0,99	0,15
Кормоцеха	0,75	0,88	0,78	0,8
Зерноочистительные тока, зернохранилища	0,7	1,02	0,75	0,88
Парники и теплицы на электрообогреве	0,92	0,43	0,96	0,29
Мастерские, гаражи для машин	0,7	1,02	0,75	0,88
Цеха по переработке сельскохозяйственной продукции	0,75	0,88	0,8	0,75
Общественные учреждения и коммунальные предприятия	0,85	0,62	0,9	0,48
Жилые дома без электроплит	0,9	0,9	0,93	0,4
Жилые дома с электроплитами и водонагревателями	0,92	0,43	0,96	0,29
Трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ: с производственной нагрузкой с коммунально-	0,7	1,02	0,75	0,88
	0,9	0,48	0,92	0,43

бытовой со смешанной нагрузкой	0,8	0,75	0,83	0,67
--------------------------------------	-----	------	------	------

Таблица 2.5

### Коэффициенты сезонности сельскохозяйственных потребителей

Вид потребителя	С е з о н			
	зима	весна	лето	осень
Традиционные потребители	1,0	0,8	0,7	0,9
Орошение	0-0,1	0,3-0,5	1,0	0,2-0,5
Закрытый грунт на электро- обогреве	0,3	1,0	0	0
Осенне-летние потребители	0,2	0	1,0	1,0

Таблица 2.6

### Зависимость годового числа часов использования максимума от расчетной нагрузки

	Число часов использования максимума (Т <sub>М</sub> ) при характере нагрузки		
	коммунально- бытовая	производственная	смешанная
До 10	900	1100	1300
10-20	1200	1500	1700
20-50	1600	2000	2200
50-100	2000	2500	2800
100-250	235	2700	3200
более 250	2600	2800	3400

Таблица 2.7

Коэффициенты одновременности для суммирования электрических нагрузок в сетях напряжением 6 – 20 кВ

Количество ТП	2	3	5	10	20	25 и более
Коэффициент одновременности ( $K_0$ )	0,9	0,85	0,8	0,75	0,70	0,65

Таблица 2.8

Суммирование нагрузок в сетях 10 кВ

P*	$\Delta P^{**}$	P	$\Delta P$	P	$\Delta P$	P	$\Delta P$	P	$\Delta P$	P	$\Delta P$
1	+0,6	34	+23,6	84	+63,5	250	+194	580	+465	910	+749
2	+1,2	35	+24,4	86	+64,0	260	+204	590	+474	920	+758
3	+1,8	36	+25,2	88	+65,5	270	+212	600	+483	930	+767
4	+2,5	37	+26,0	90	+67,0	280	+220	610	+492	940	+776
5	+3,1	38	+26,8	92	+68,5	290	+227	620	+500	950	+785
6	+3,7	39	+27,6	94	+70,0	300	+235	630	+508	960	+794
7	+4,3	40	+28,4	96	+71,5	310	+243	640	+517	970	+803
8	+5,0	41	+29,2	98	+73,0	320	+251	650	+525	980	+812
9	+5,6	42	+30,0	100	+74,5	330	+259	660	+534	990	+821
10	+6,3	43	+30,8	105	+78,0	340	+267	670	+543	1000	+830
11	+7,0	44	+31,6	110	+82,0	350	+275	680	+552	1020	+847
12	+7,7	45	+32,4	115	+86	360	+283	690	+561	1040	+865
13	+8,4	46	+33,2	120	+90	370	+291	700	+570	1060	+882
14	+9,0	47	+34,0	125	+94	380	+299	710	+578	1080	+900
15	+9,7	48	+34,8	130	+98	390	+307	720	+586	1100	+918
16	+10,4	49	+35,6	135	+102	400	+315	730	+594	1120	+935
17	+11,0	50	+36,5	140	+106	410	+323	740	+602	1140	+953
18	+11,6	52	+38,0	145	+110	420	+332	750	+610	1160	+970
19	+12,3	54	+39,5	150	+115	430	+340	760	+618	1180	+987
20	+13,0	56	+41,0	155	+119	440	+348	770	+626	1200	+1005
21	+13,7	58	+42,5	160	+123	450	+357	780	+634	1220	+1022
22	+14,4	60	+44,0	165	+127	460	+365	790	+642	1240	+1040
23	+15,1	62	+45,6	170	+131	470	+374	800	+650	1260	+1057
24	+15,8	64	+47,2	175	+135	480	+382	810	+659	1280	+1075
25	+16,5	66	+48,8	180	+139	490	+391	820	+668	1300	+1193
26	+17,2	68	+50,4	185	+143	500	+400	830	+676	1320	+1110
27	+18,0	70	+52,0	190	+147	510	+408	840	+686	1340	+1128
28	+18,8	72	+53,5	195	+151	520	+416	850	+695	1360	+1146

29	+19,6	74	+55,0	200	+155	530	+424	860	+704	1380	+1164
30	+20,4	76	+56,5	210	+162	540	+432	870	+713	1400	+1182
31	+21,2	78	+58,0	220	+170	550	+440	880	+722	1420	+1200
32	+22,0	80	+59,5	230	+178	560	+448	890	+731	1440	+1218
33	+22,8	82	+61,0	240	+186	570	+456	900	+740	1460	+1235
							4			1480	+1252
										1500	+1270

$P^*$  - меньшая из слагаемых нагрузок

$P^{**}$  - добавка к большей слагаемой нагрузке

Таблица 2.9

Коэффициенты одновременности для суммирования электрических нагрузок в сетях 35-110 кВ

Количество подстанций 110-35/10 кВ или линий 35, 110 кВ	2	3	4 и более
Коэффициенты одновременности ( $K_0$ )	0,97	0,95	0,90

Таблица 2.10

Коэффициент роста нагрузок для существующих ТП

Вид потребителей	Расчетный год			
	5	7	10*	12*
Коммунально-бытовые	1,2	1,3	1,8	2,0
Производственные	1,3	1,4	2,1	2,4
Смешанные и прочие несельскохозяйственные	1,3	1,4	2,0	2,2

\* Коэффициенты роста нагрузок на 10-й и 12-й год учитывают нагрузки всех потребителей, включая новые.

Таблица 2.11

Коэффициенты сезонности активных нагрузок  $K_p$ 

№ п/п	Потребители	Режимные дни	
		Зимний (декабрь)	Летний (июнь)
1.	Производственные	1,0	0,7
2.	Коммунально-бытовые	1,0	0,7
3.	Жилые дома с электроплитами	1,0	0,8
4.	ТП 10/0,4 кВ с преобладанием производственных потребителей	1,0	0,7
5.	ТП 10/0,4 кВ с преобладанием коммунально- бытовых потребителей	1,0	0,7
6.	Комплекс по производству молока	1,0	0,7
7.	Комплекс по производству свинины	1,0	0,7
8.	Комплекс по производству говядины	1,0	0,8
9.	Птицефабрики	1,0	0,8
10.	Электротепловые нагрузки отопления и вентиляции животноводческих помещений	1,0	-

Таблица 2.12

## Суточные графики активных нагрузок сельскохозяйственных потребителей

№ п/п	Режимны й день	Часы суток											
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
1.	зимний	40	40	40	40	45	50	60	65	75	90	100	80
	летний	35	35	35	35	40	50	60	70	80	90	100	80
2.	зимний	30	30	30	30	30	35	50	70	45	40	40	40
	летний	25	25	25	25	25	30	40	50	45	40	40	40
3.	зимний	25	25	25	25	30	50	70	50	35	30	30	40
	летний	10	10	10	10	15	20	25	25	20	20	20	20
4.	зимний	45	45	45	45	50	55	70	85	80	90	100	85
	летний	40	40	40	40	45	55	65	60	85	90	100	85
5.	зимний	40	40	40	40	45	50	60	70	65	70	75	65
	летний	35	35	35	35	40	45	55	60	60	70	75	65
6.	зимний	55	55	50	50	65	75	90	100	90	80	70	55
	летний	55	55	50	50	60	80	90	100	90	80	70	65
7.	зимний	75	75	75	75	75	75	80	90	95	100	95	95
	летний	60	60	60	60	60	60	65	75	85	95	100	90
8.	зимний	60	60	60	60	65	75	85	85	100	90	85	80
	летний	50	50	50	50	65	75	90	90	100	95	90	80
9.	зимний	70	70	75	75	80	85	90	90	95	100	95	95
	летний	60	60	60	60	60	60	70	85	95	100	95	90
10.	зимний	100	100	100	100	100	90	70	60	60	60	60	6-
	летний	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

№ п/п	Режимн ый день	Часы суток											
		12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
1.	зимний	60	70	75	75	70	65	65	60	55	50	45	40
	летний	55	55	65	70	70	65	65	65	55	50	40	35
2.	зимний	45	35	35	40	50	75	100	90	70	50	40	35
	летний	40	35	35	40	40	35	40	45	70	100	60	30
3.	зимний	60	40	40	40	60	100	95	70	50	35	30	25
	летний	40	35	30	30	30	35	40	70	100	90	40	25
4.	зимний	70	75	75	80	80	85	95	90	75	65	55	50
	летний	65	60	70	75	75	70	70	75	75	85	60	40
5.	зимний	60	55	60	65	70	85	100	90	75	60	50	54
	летний	60	55	60	65	65	65	65	65	75	100	65	40
6.	зимний	50	55	70	80	85	70	70	90	80	75	70	60
	летний	60	65	70	80	85	70	70	95	85	80	75	60
7.	зимний	85	85	90	95	90	80	80	80	80	75	75	75
	летний	70	70	95	95	80	70	70	70	70	70	70	60
8.	зимний	70	70	85	90	80	75	70	70	65	60	60	60
	летний	65	65	75	90	80	70	65	60	55	55	50	50
9.	зимний	90	90	95	95	95	90	90	85	70	70	70	70
	летний	80	80	90	90	95	90	85	65	65	60	60	60
10.	зимний	60	60	60	60	60	60	70	80	90	100	100	100
	летний	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Нагрузка уличного освещения в сельских населённых пунктах

Характеристика улиц	Расчётная нагрузка на 1 м длины улицы, Вт	Примечание
Поселковые улицы с асфальтобетонными и переходными типами покрытий шириной, м:		Освещаются газоразрядными источниками света
5		
10	4,5...6	
20	6...8	
30	8...9	
Поселковые дороги и улицы с покрытиями простейшего типа шириной, м:	11	Освещаются лампами накаливания
5		
10		
20	6...8	
Улицы и дороги местного значения и пешеходные дорожки шириной, м:	7,5...10	То же
5	11...13	
10		
20		
	3...4	
	4...5	
	5...6	

Примечание: Меньшие нормы используют при высоте подвеса светильников 7 м для ламп накаливания и 8,5 м для газоразрядных источников света; большие – при высоте подвеса светильников соответственно 10 и 11 м.

Таблица 2.14

Основные характеристики графиков нагрузок подстанций 110-35/10 кВ и 6-10/0,4 кВ сельскохозяйственного назначения

№ п/п	Шифр вида нагрузки	Наименование вида нагрузки	Коэффициент заполнения графика нагрузки	
			годовой	расчетного сезона
		<b>Подстанция 110-35/10 кВ</b>		
1.	2.1	С преобладающей (более 50%) нагрузкой сельскохозяйственных потребителей	0,45	0,54
2.	2.2	С преобладающей (более 50%) нагрузкой животноводческих комплексов и птицефабрик	0,52	0,64
3.	2.3	С преобладающей (более 50%) нагрузкой промышленных потребителей	0,51	0,60
4.	2.4	С преобладающей (более 30%) нагрузкой парников и теплиц на электрообогреве	0,43	0,59
		<b>Подстанция 10/0,4 кВ</b>		
1.	3.1	Производственные потребители, фермы КРС свиноводческие, птицеводческие и другие фермы, гаражи, овощехранилища, холодильники, насосные станции водоснабжения, котельные	0,31	0,5
2.	3.2	Коммунально-бытовые потребители, общественные и административные предприятия (школы, клубы, столовые, бани, магазины) в сочетании с жилыми домами	0,28	0,38
3.	3.3	Сельские жилые дома (как правило, одноэтажной застройки)	0,23	0,37
4.	3.6	Сельские жилые дома с электроплитами	0,26	0,36
5.	3.7	Со смешанной нагрузкой, с преобладанием (более 60%) производственных потребителей	0,45	0,63
6.	3.8	Со смешанной нагрузкой, с преобладанием (более 40%) коммунально-бытовых потребителей	0,34	0,45
7.	3.9	С нагрузкой животноводческих комплексов по производству молока	0,38	0,48
8.	3.10	С нагрузкой животноводческих комплексов по производству свинины	0,43	0,62
9.	3.11	С нагрузкой животноводческих комплексов по производству говядины	0,44	0,54
10.	3.12	С нагрузкой птицефабрик по производству яиц или бройлеров	0,74	0,85
11.	3.13	С электротепловыми потребителями – установками отопления и вентиляции животноводческих и птицеводческих помещений	0,19	0,43

Таблица 2.15

Экономические интервалы нагрузки трансформаторов подстанций 6-10 кВ  
ОЭС Дальнего Востока

№ п/п	Шифр нагрузки	Номинальная мощность трансформатора, кВ·А							
		25	40	63	100	160	250	400	630
1.	3.1	до 40	41-75	76-105	106-130	131-275	276-305	306-540	541-710
2.	3.2	до 40	41-60	61-90	91-125	126-245	246-275	276-500	501-700
3.	3.3	до 40	41-60	61-90	91-125	126-245	246-280	281-510	511-710
4.	3.6	до 40	41-70	71-100	101-130	131-260	261-290	291-525	526-730
5.	3.7	до 45	46-80	81-105	106-145	146-270	271-305	306-525	526-735
6.	3.8	до 40	41-70	71-100	101-125	126-245	246-275	276-485	486-690
7.	3.9	до 45	46-75	76-105	106-145	146-275	276-315	316-540	541-750
8.	3.10	до 45	46-80	81-105	106-145	146-265	266-300	301-500	501-690
9.	3.11	до 55	56-85	86-115	116-145	146-265	266-300	301-505	506-710
10.	3.12	до 45	46-75	76-105	106-145	146-265	266-300	301-505	506-705
11.	3.13	до 45	46-80	81-105	106-145	146-285	286-325	326-585	586-810

Таблица 2.16

Коэффициенты допустимых систематических нагрузок  
и аварийных перегрузок трансформаторов подстанций

№ п/п	Шифр вида нагрузки	Номинальная мощность трансформатора, кВ·А	Расчетный сезон и среднесуточная температура расчетного сезона, °С	Коэффициент допустимой систематической нагрузки трансформатора	Температурный градиент $A_C \cdot 10^{-2}$	Коэффициент допустимой аварийной перегрузки трансформатора	Температурный градиент $\alpha_{AB} \cdot 10^{-2}$
1.	2.1	до 2500	зимний	1,57	0,89	1,68	0,73
		4000 и выше	-10	1,50		1,64	
2.	2.2	до 2500	зимний	1,41	0,83	1,56	0,63
		4000 и выше	-10	1,32		1,53	
3.	2.3	до 2500	зимний	1,53	0,85	1,60	0,65
		4000 и выше	-10	1,47		1,55	
4.	2.4	до 2500	весенни	1,50	1,22	1,57	0,94
		4000 и выше	+5	1,45		1,53	
1.	3.1	до 63	зимний	1,65	0,92	1,75	0,77
		100 и выше	-10	1,59		1,73	
2.	3.2	до 100	зимний	1,68	0,90	1,80	0,78
		160 и выше	-10	1,65		1,78	
3.	3.3	до 63	зимний	1,70	0,98	1,84	0,81
		100 и выше	-10	1,68		1,83	
4.	3.6	до 160	зимний	1,65	0,85	1,73	0,74
		250 и выше	-10	1,61		1,70	
5.	3.7	до 63	зимний	1,58	1,00	1,73	0,73
		100 и выше	-10	1,52		1,65	
6.	3.8	до 63	зимний	1,61	0,84	1,73	0,70
		100 и выше	-10	1,53		1,67	
7.	3.9	до 100	зимний	1,50	0,89	1,62	0,68
		160 и выше	-10	1,45		1,60	
8.	3.10	до 160	зимний	1,43	0,71	1,60	0,55
		250 и выше	-10	1,37		1,53	
9.	3.11	до 160	зимний	1,52	0,99	1,70	0,76
		250 и выше	-10	1,44		1,66	
10.	3.12	до 160	зимний	1,48	0,98	1,65	0,76
		250 и выше	-10	1,37		1,59	
11.	3.13	до 160	зимний	1,41	0,61	1,49	0,65
		250 и выше	-10	1,37		1,46	

Таблица 2.17

Основные технические данные трехфазных двухобмоточных силовых трансформаторов

Тип	Номинальная мощность, кВ·А	Сочетание напряжений, кВ		Потери, Вт			Напряжение короткого замыкания, $u_K$ %	Ток холостого хода, $i_X$ , % $I_N$
		ВН	НН	холостого хода		короткого замыкания		
				уровень А	уровень Б			
ТМ	25	6 или 10	0,4	130	135	600 690	4,5 4,7	3,2
	40	6 или 10	0,4	175	190	880 1000	4,5 4,7	3,0
	63	6 или 10	0,4	240	265	1280 1470	4,5 4,7	2,8
	100	6 или 10	0,4	330	365	1970 2270	4,5 4,7	2,6
	100	35	0,4	420	465	1970	6,5	2,6
ТМ	160	6 или 10	0,4	510	565	2270 2650	4,5	2,4
	160	35	0,4	620	700	2650	6,5	2,4
ТМ	250	6 или 10	0,4	740	820	3700 4200	4,5 4,7	2,3
	250	35	0,4	900	1000	3700	6,5	2,3
ТМ	400	6 или 10	0,4	950	1050	5500	4,5	2,1
	400	35	0,4	1200	1350	5500	6,5	
ТМ	630	6 или 10	0,4	1310	1560	7600	5,5	2,0
	630	35	0,4	1600	1900	7600	6,5	2,0

Таблица 2.18

Экономические интервалы нагрузки трансформаторов подстанций 35/10 кВ ОЭС Дальнего Востока

№ п/п	Шифр нагрузки	Номинальная мощность трансформатора, кВ·А							
		1000	1600	2500	4000	6300	10000	16000	25000
1.	2.1	до 1050	1051-2100	2101-2720	2721-3900	3901-7250	7251-11590	11591-17170	выше 17170
2.	2.2	до 1000	1001-2000	2001-2570	2571-3710	3711-6870	6871-10990	10991-16350	выше 16350
3.	2.3	до 990	991-1980	1981-2550	2551-3670	3671-6870	6871-10890	10891-16180	выше 16180
4.	2.6	до 1080	1081-2170	2171-2810	2811-4040	4041-7480	7481-11980	11981-17710	выше 17710

Таблица 2.19

Экономические интервалы нагрузки трансформаторов подстанций 110/10 кВ ОЭС Дальнего Востока

№ п/п	Шифр нагрузки	Номинальная мощность трансформатора, кВ·А					
		2500	6300	10000	16000	25000	40000
1.	2.1	до 3830	3831-5320	5321-10510	10511-16640	16641-27200	выше 27200
2.	2.2	до 3630	3631-5020	5021-9970	9971-15820	15821-25840	выше 25840
3.	2.3	до 3600	3601-4990	4991-9900	9901-15700	15701-25650	выше 25650
4.	2.4	до 3960	3961-5490	5491-10820	10821-17120	17121-27990	выше 27990

Таблица 2.20

Основные технические данные трехфазных двухобмоточных силовых трансформаторов

Тип	Номинальная мощность, кВ·А	Сочетание напряжений, кВ		Потери, Вт			Напряжение короткого замыкания, $u_K$ %	Ток холостого хода, $i_X$ , % $I_H$
		ВН	НН	холостого хода		короткого замыкания		
				уровень А	уровень Б			
ТМН	1000	35	11	2,35	2,75	11,6	6,5	1,5
ТМН	1600	35	11	3,10	3,65	16,5	6,5	1,4
ТМН	2500	35	11	4,35	5,10	25,5	6,5	1,1
ТМН	4000	35	11	5,70	6,70	33,5	7,5	1,0
ТМН	6300	35	11	8,00	9,40	46,5	7,5	0,9
ТМН	10000	35	10,5	12,3	14,5	65,0	7,5	0,8

Таблица 2.21

Конструктивные параметры проводов марки СИП-3

Номинальное сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Номинальный наружный диаметр, мм	Номинальный наружный диаметр жилы, мм	Электрическое сопротивление жилы постоянному току, Ом/км	Длительный допустимый ток нагрузки, А	Односекундный ток К.З., не более, кА
50	12,6	8,1	0,720	245	4,3
70	14,3	9,7	0,493	310	6,4
95	16,0	11,3	0,363	370	8,6
120	17,4	12,8	0,288	430	11,0
150	18,8	14,2	0,236	485	13,5

Таблица 2.22

Конструктивные параметры проводов марок  
СИП-1, СИП-1А, СИП-2, СИП-2А

Число и сечение проводников и несущего троса, мм <sup>2</sup>	Максимальный наружный диаметр провода, мм	Электрическое сопротивление постоянному току, Ом/км		СИП-1, СИП-1А		СИП-2, СИП-2А	
		проводников	несущего троса	Допустимый ток нагрузки, А	Односекундный ток КЗ, не более, кА	Допустимый ток нагрузки, А	Односекундный ток КЗ, не более, кА
1x16 + 1x 25	15	1,91	1,38	75	1,0	105	1,5
3 x 16 + 25	22	1,91	1,38	70	1,0	100	1,5
3x25 + 1x35	26	1,2	0,986	95	1,6	130	2,3
3x35 + 1x50	30	0,868	0,720	115	2,3	160	3,2
3x50 + 1x70	35	0,641	0,493	140	3,2	195	4,6
3x70 + 1x95	41	0,443	0,363	280	4,5	240	6,5
3x120 + 1x95	47	0,253	0,363	250	5,9	340	7,2
4x16 + 1x25	22	1,91	1,380	70	10	10	1,5

Таблица 2.23

Экономические интервалы мощности для сталеалюминиевых проводов ВЛ 35-110 кВ  
(при полной номенклатуре сечений)

Напряжение, кВ	Тип опор	Материал опор	Район по гололеду	Предельная экономическая мощность одной цепи, МВт, при сечении, мм <sup>2</sup>					
				70	95	120	150	185	240
Энергосистемы зоны Дальнего Востока									
35	Одноцепные	Железобетон	I-II	-	5,5	8,4	11,0	-	-
			III-IV	-	5,2	7,6	11,0	-	-
		Сталь	I-II	3,8	6,8	7,4	11,0	-	-
			III-IV	-	6,3	6,8	11,0	-	-
	Двухцепные	Железобетон	I-II	4,4	6,3	9,3	10,0	-	-
			III-IV	3,5	4,9	9,0	10,0	-	-
		Сталь	I-II	4,0	6,8	7,6	10,0	-	-
			III-IV	3,0	5,5	6,5	10,0	-	-

Окончание табл. 2.23

Напряжение, кВ	Тип опор	Материал опор	Район по гололеду	Предельная экономическая мощность одной цепи, МВт, при сечении, мм <sup>2</sup>					
				70	95	120	150	185	240
110	Одноцепные	Железобетон	I-II	9,4	-	23,2	31,7	37,8	63,5
			III-IV	-	-	21,5	25,7	39,5	63,5
		Сталь	I-II	9,4	19,7	-	34,7	36,9	63,5
			III-IV	-	14,6	18,9	28,3	34,3	63,5
	Двухцепные	Железобетон	I-II	11,1	18,0	25,7	32,6	36,9	58,3
			III-IV	9,4	13,7	25,7	29,2	36,0	58,3
		Сталь	I-II	10,3	19,7	-	35,2	37,8	58,3
			III-IV	7,7	15,4	18,9	30,9	36,0	58,3

Таблица 2.24

## Допустимый длительный ток для неизолированных проводов по ГОСТ 839-80

Номинальное сечение, мм <sup>2</sup>	Сечение (алюминий/сталь), мм <sup>2</sup>	Ток, А, для проводов марок					
		АС, АСКС, АСК, АСКП		М	А и АКП	М	
		Вне помещений	Внутри помещений	Вне помещений		Внутри помещений	
10	10/1,8	84	53	95	-	60	-
16	16/2,7	111	79	133	105	102	75
25	25/4,2	142	109	183	136	137	106
35	35/6,2	175	135	223	170	173	130
50	50/8	210	165	275	215	219	165
70	70/11	265	210	337	265	268	210
96	95/16	330	260	422	320	341	255
120	120/19	390	313	485	375	395	300
150	150/24	450	365	570	440	465	355
185	185/29	510	425	650	500	540	410
240	240/32	605	505	760	590	685	490

Таблица 2.25

Расчетные данные ВЛ 35-110 кВ со сталеалюминиевыми проводами  
(на 100 км)

Номинальное сечение провода, мм <sup>2</sup>	R <sub>0</sub> , Ом, при +20 <sup>0</sup> С	35 кВ	110 кВ		
		X <sub>0</sub> , Ом	X <sub>0</sub> , Ом	b <sub>0</sub> , 10 <sup>-4</sup> См	q <sub>0</sub> , Мвар
70/11	42,8	43,2	44,4	2,55	3,40
95/16	30,6	42,1	43,4	2,61	3,50
120/19	24,9	41,0	42,7	2,66	3,55
150/24	19,8	40,6	42,0	2,70	3,60
185/29	16,2	-	41,3	2,75	3,70
240/32	12,0	-	40,5	2,81	3,75

## Библиографический список

1. Тульчин И.К., Нудлер Г.И. Электрические сети жилых и общественных зданий. – М.: Энергоатомиздат, 1983.- 472 с.
2. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. Свод правил по проектированию и строительству: СП 31-110-2003/ Госстрой России.- М.: ГУП ЦПП, 2004.- 58 с.
3. Нормативы для определения расчётных электрических нагрузок зданий (квартир), коттеджей, микрорайонов (кварталов) застройки и элементов распределительной сети. Изменения и дополнение раздела 2 «Расчётные электрические нагрузки» Инструкции по проектированию городских электрических сетей РД 34.20.185-94.-М.: МНТОЭ, 1999.- 23 с.
4. Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство и распределение электрической энергии./ 9-е изд., стереот. М.: Изд-во МЭИ, 2004.- 964 с.
5. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. 5-й выпуск (с изм. и доп., по состоянию на 1 июня 2006 г.). – Новосибирск: Сиб. Унив. изд-во, 2006.- 854 с.
6. Строительные нормы. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, посёлков и сельских населённых пунктов. СН 541-82/Госгражданстрой. - М.: Стройиздат, 1982.- 23 с.
7. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Естественное и искусственное освещение. СНиП 23-05-95. (Проект. Взамен СНиП II-4-79)//Светотехника.-1995.-№11-12.
8. Справочная книга по светотехнике. /Под ред. Ю.Б. Айзенберга.-М.: Энергоатомиздат, 1995.- 472 с.
9. Справочная книга по расчёту электрического освещения/Под ред. Г.М. Кнорринга, И.М. Фадына, В.Н. Сидорова.- Изд. 2-е перераб. и доп.-С.-Петербург: Энергоатомиздат.- С-П-бургское отд., 1992.- 448 с.
10. Справочник по проектированию электроснабжения/Под. ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990.- 576с.
11. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. РД 34.20.185-94.- М.: АО РОСЭП, 1996.0 47 с.
12. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые перегрузки трансформаторов.
13. Зорин В.В., Тисленко В.В., Клеппель Ф., Адлер Г. Надёжность систем электроснабжения. – К.: Вища школа, 1984. – 192 с.
14. Григорьев В.И., Киреева Э.А., Митюков А.П., Чохонелидзе А.Н. Электроснабжение и электрооборудование жилых и общественных зданий.- М.: Энергоиздат, 2003.- 212 с.
15. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перерб. и доп. –М.: Энергоатомиздат, 1989.- 608 с.

16. Справочник по проектированию электроснабжения городов/В.А. Козлов, Н.И. Билик, Д.Л. Фабисович.- 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1986.- 256 с.
- 17.Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов.- 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987.- 648 с.
- 18.Сибикин Ю.Д.Электроснабжение промышленных и гражданских зданий: учеб. Для студ. Сред. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2006.- 368 с.
19. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1995.- 342 с.
- 20.Киреева Э.А., Юнес Т., Айюби М. автоматизация и экономия электроэнергии в системах промышленного электроснабжения: Справочные материалы и примеры расчётов.- М.: Энергоатомиздат, 1998. – 252 с.
- 21.УЗО – устройства защитного отключения. Учебно-справочное пособие.- М.: ЗАО «Энергосервис», 2003.- 56 с.
- 22.Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства: Метод. указания по расчету электрических нагрузок в сетях 0,38-110 кВ сельскохозяйственного назначения.- М.:АО РОСЭП, 1996. – 109 с.
- 23.Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. Альбом типовых графиков электрических нагрузок сельскохозяйственных потребителей и сетей. - М.: Сельэнергопроект, 1985.–49 с.
- 24.Лещинская Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства.- М.: КолосС, 2006.- 368 с.
- 25.Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства: Метод. указания по обеспечению при проектировании нормативных уровней надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей.- М.: Сельэнергопроект, 1986. –32 с.
- 26.Нормы технологического проектирования электрических сетей сельскохозяйственного назначения НТПС-88. – М.: РОСЭП, 1997. – 66 с.
- 27.Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. Методические указания по выбору установленной мощности силовых трансформаторов на одно- и двутрансформаторных подстанциях в электрических сетях сельскохозяйственного назначения.- М.: Сельэнергопроект, 1987. – 33 с.
- 28.Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования.- М.: Изд. «Мастерство»; Высшая школа, 2001. – 320 с.
- 29.Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. Рекомендации по выбору типовых трансформаторных подстанций с высшим напряжением 10 кВ для электронабжения потребителей в сельской местности.- М.: АО РОСЭП, 2000.- 66 с.
30. Будзко И.А., Зуль Н.М. Электроснабжение сельского хозяйства. – М.: Агропромиздат, 1990.- 496 с.

31. Справочник по проектированию электроэнергетических систем/  
В.В. Ершевич, А.Н. Зейлигер, Г.А. Илларионов и др./Под ред. С.С. Рокотяна  
и И.М. Шапиро. – М.: Энергоатомиздат, 1985.- 352 с.

32. Левин М.С., Лещинская Т.Б. Сборник задач по электроснабжению  
сельских районов: Учеб. Пособие.- М.: МГАИУ, 1996.- 121 с.