

ЭЛЕКТРО- СНАБЖЕНИЕ ГОРОДОВ

Под редакцией А.В. Прохорова

Учебно-практическое пособие

ЭЛЕКТРО- СНАБЖЕНИЕ ГОРОДОВ

Под редакцией А.В. Прохорова

Учебно-практическое пособие

Челябинск
2015

УДК 621.311.1(075.8)
P179

*Одобрено
учебно-методической комиссией филиала в г. Озёрске*

Рецензент А.Ю. Янов

P179 **Электроснабжение городов:** учебно-практическое пособие по решению задач / сост.: С.Н. Разыграев, Д.П. Химичева; под ред. А.В. Прохорова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 27 с.

В учебно-практическом пособии отражены наиболее актуальные вопросы теории и практики, которые позволяют студенту систематизировать и закрепить знания, обеспечить взаимосвязь между отдельными областями знаний при решении задач по дисциплине «Электроснабжение городов».

Издание предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника».

УДК 621.311.1(075.8)

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ И ЗАДАЧ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

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

Источниками питания систем электроснабжения города являются городские электрические станции и понижающие подстанции.

Центром питания называется распределительное устройство генераторного напряжения электрической станции или распределительное устройство вторичного напряжения 6÷20 кВ понижающей подстанции, к шинам которого присоединяются распределительные сети данного района.

Задачами проектирования электроснабжения города является создание экономически целесообразных систем, обеспечивающих необходимое качество комплексного электроснабжения всех потребителей (по надежности питания и качеству электроэнергии), а также обеспечивающих их экономичную эксплуатацию.

Проекты электроснабжения городов и всех входящих в данные системы электроустановок выполняются на основе государственных норм, соответствующих технологических инструкций и руководящих указаний. Эти нормирующие документы рекомендуют следующую последовательность проектных проработок при проектировании городских электрических сетей:

- генеральная схема развития сетей города, выполняется при составлении развития города на перспективу 10÷20 лет, с учетом динамики всех факторов энергоснабжения и города, питающей энергосистемы и состава энергоносителей, электрических нагрузок потребителей, перспективного электрооборудования, требований охраны экологической среды человека и охраны природы, технической эстетики города, его планировки и технического хозяйства, а также технико-экономических показателей;

- технический проект развития электроснабжения города создается с учетом реконструкции и расширения городской электрической сети сроком 5÷7 лет.

2. МЕСТО ГОРОДСКОЙ СЕТИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА

В зависимости от размера города для питания потребителей, расположенных на его территории, предусматривается соответствующая система электроснабжения (совокупность трансформаторных подстанций и электрических сетей всех напряжений). Эта система условно может быть разбита на две части:

– первая часть это электрические сети и понижающие подстанции напряжением $35\div 220$ кВ;

– вторая часть это распределительные подстанции и сети напряжением $0,4\div 10$ кВ.

Совокупность сетей напряжением $35\div 220$ кВ получила название электроснабжающих сетей. Эти сети предназначаются для распределения энергии между отдельными районами города. На этой стадии электроснабжения нет деления сетей и сетевых сооружений по их назначению и ведомственной принадлежности. В крупных городах имеют место сети напряжением $35\div 220$ кВ, которые используются только для питания отдельных потребителей большой мощности.

Порядок построения электроснабжающих сетей, выбора параметров их отдельных элементов, конструктивного выполнения имеет специфические условия. Во многом характеристики электроснабжающих сетей зависят от местных условий. Но вместе с тем по мере увеличения размеров городов начинают проявляться определенные закономерности, связанные с выбором сетей напряжением $35\div 220$ кВ, с мощностью понижающих подстанций, что позволяет рассматривать эту часть системы электроснабжения города как самостоятельную область электрических сетей.

Вторая часть системы электроснабжения предназначается для распределения энергии непосредственно среди потребителей или отдельных групп потребителей. Границы этой группы начинаются от на сборных шинах $6\div 10$ кВ источников и заканчиваются на вводах к потребителю. Вторая часть системы электроснабжения включает в свой состав не только распределительные сети $6\div 10$ кВ и сети напряжением до 1000 В, но и распределительные пункты и трансформаторные подстанции. Основные характеристики распределительных сетей, расположенных на территории города, отличаются от характеристик аналогичных сетей промышленных предприятий и сельских районов, поэтому такие сети получили название городских распределительных сетей.

Для крупных городов построение распределительной сети $6\div 10$ кВ состоит из двух звеньев: питающей сети $6\div 10$ кВ и непосредственно распределительной сети того же напряжения. Надо отметить, что в состав питающей сети $6\div 10$ кВ включаются питающие линии, распределительные пункты (РП) и прямые связи $6\div 10$ кВ между РП. Питающей линией называется линия $6\div 10$ кВ, питающая РП от центра питания и не имеющая распределения энергии по своей длине.

Распределительным пунктом называется подстанция 6÷10 кВ городской сети, предназначенная для приема и распределения электрической энергии без преобразования и трансформации.

Распределительной линией называется линия, питающая несколько трансформаторных подстанций от центра питания (ЦП) или от РП, или вводы к электроустановкам потребителей.

Распределительная сеть напряжением 0,4 кВ предусматривается для питания жилых домов, магазинов, коммунально-бытовых и других мелких потребителей города.

Надо отметить, что важнейшей характеристикой системы электроснабжения города является число трансформаций и напряжений выше 1000 В. Например, если в системе имеется две ступени трансформации: 35÷220/6÷10 кВ и 6÷10/0,4 кВ, то данная система называется системой двух напряжений. Рационально построенные системы имеют минимальное число трансформации.

3. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ГОРОДАХ

Основными группами потребителей электроэнергии в системах электроснабжения городов являются:

- а) коммунально-бытовые потребители;
- б) промышленные предприятия;
- в) электрофицированный городской и пригородный транспорт;
- г) в отдельных случаях – поселки, предприятия промышленного и сельскохозяйственного производства пригородных зон.

Коммунально-бытовые потребители электроэнергии – это жилые здания, административные, культурно-массовые, учебные, лечебные, торговые, научно-исследовательские организации и предприятия, комбинаты бытового обслуживания, гостиницы, предприятия питания и торговли. У этих потребителей электроэнергии используется широкая номенклатура электроприемников.

Суммарная установленная мощность электроприемников, приходящаяся на одну семью (квартиру) в настоящее время колеблется в широких пределах и при газовых плитах от 1,5 до 5,0 кВт; при электрических плитах 5,8 кВт от 6,5 до 10 кВт; при электрических плитах 8,5 кВт от 9,5 до 13,5 кВт. Максимальные электрические нагрузки одной квартиры в современный период находятся в большой зависимости от уровня электрификации быта и составляют от 5,5 до 8 кВт. Надо учесть, что наша и зарубежная промышленность увеличивают ассортимент и мощность бытовой техники, что в дальнейшем может вызвать значительный рост установленной мощности электроприемников бытовой сферы.

Лифтовые установки жилых зданий от 7 до 20 этажей оборудуются трехфазными асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором мощностью от 3,5 до 7,5 кВт.

В сфере коммунального обслуживания населения применяется более широкий состав типов электроприемников, установок, единичные и суммарные мощности которых значительно выше.

Наибольшее относительное потребление реактивной мощности в коммунально-бытовом секторе (косинус φ падает до 0,6) имеет место в ночные часы, что объясняется влиянием постоянно включенных холодильников, а также газоразрядных ламп наружного освещения и дежурного освещения зданий.

Характеристики графиков нагрузок коммунальных предприятий определяются их производственным назначением, технологией производства, а также применяемыми электроприемниками.

Для городов характерен ряд отраслей промышленности: машиностроение, металлообработка, пищевая, текстильная, швейная, строительных материалов, насосные станции и т. д.

При проектировании электрических сетей 6÷10 кВ систем электроснабжения городов должны учитываться понижающие выпрямительные подстанции трамвая и троллейбуса. Электрические нагрузки трамвая или троллейбусов достигают 600÷3000 кВА. Кроме того, учитываются при проектировании городских электростанций и крупных понижающих подстанций электрические нагрузки электрофицированного железнодорожного транспорта и метрополитена.

Современная система электроснабжения города представляет собой комплекс, объединяющий разнородных потребителей электроэнергии (бытовых, промышленных и т. п.) общими сетевыми устройствами, связывающими их с источником питания. Электроснабжение городов осуществляется от районных подстанций энергосистем, которые наряду с местными городскими и промышленными электростанциями являются центром питания города. Для связи районных подстанций с городскими подстанциями глубокого ввода и последние между собой используются электроснабжающие сети 35÷220 кВ.

Глубоким вводом называют систему электроснабжения, при которой высшее напряжение максимально приближается к центрам нагрузки потребителей с наименьшим количеством ступеней промежуточной трансформации.

Городские электрические сети включают все электроустановки, предназначенные для электроснабжения города и находящиеся на территории города, начиная от сборных шин районных подстанций до вводов к потребителям. Поэтому при проектировании сетей должна вестись увязка сетей 35÷220 кВ и питающих и распределительных сетей 6÷10 кВ, с учетом всех видов нагрузок города и прилегающих к нему районов при наибольшей экономичности, требуемой степени надежности электроснабжения и соблюдения установленного качества энергии по напряжению.

По требуемой степени надежности электроснабжения электроприемники делятся на три категории:

а) к первой категории относятся электроустановки радиосвязи, телеграфа, телефонных станций, насосных водопровода и противопожарных сооружений, в высотных зданиях лифты (более 16 этажей), аварийное освещение, операционные и реанимационные палаты (особая группа – третий источник), а также электроустановки групп городских потребителей с общей нагрузкой более 10 МВА;

б) к электроприемникам 2 категории относятся электроустановки школ, административных и общественных зданий, лечебных, детских учреждений, учебных заведений и зданий высотой более 5 этажей, группы городских потребителей с общей нагрузкой от 300 до 10000 кВа – для кабельных сетей и от 1000 кВа и более – для воздушных сетей;

в) к 3 категории относятся все прочие электроприемники (районы малоэтажных застроек, небольшие поселки и т. д.).

4. РАСЧЕТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

Расчет электрических нагрузок производится от низших к высшим ступеням системы электроснабжения и включает в себя 2 этапа:

1. Определение нагрузки на вводе к каждому потребителю.
2. Расчет на этой основе нагрузок отдельных элементов сети.

Расчетная нагрузка как потребителя, так и отдельных элементов сети принимается равной ее вероятному максимальному значению за интервал времени 30 минут. Определение расчетных нагрузок селитебных зон и центров питания городов должно производиться, исходя из графиков суточных активных нагрузок.

Для создания взаимоувязанной планировочной структуры города предусматривается деление территории по видам ее использования на следующие функциональные зоны:

- селитебную, для размещения жилых районов, общественных центров, зеленых насаждений общего пользования;
- промышленную, для размещения промышленных предприятий и связанных с ними объектов;
- коммунально-складской для размещения баз и складов, трамвайных депо, гаражей, автобусных парков;
- внешнего транспорта, для размещения транспортных устройств и сооружений (пассажирских и грузовых станций и портов, пристаней).

Селитебная зона территории города включает в себя жилые дома и общественно-коммунальные учреждения.

Эти потребители имеют разные закономерности формирования основных показателей электропотребления и по этой причине разную методику определения этих показателей. При этом имеется в виду то, что потребление электрической энергии в жилых домах определяется укладом жизни населения, в то время как потребление электрической энергии коммунальных учреждений зависит от особенностей их технологического процесса.

Определение расчетных нагрузок жилых зданий основывается на использовании нагрузки одного потребителя, в качестве которого выступает семья или квартира, при посемейном заселении дома.

Действующие нормированные значения удельной нагрузки жилых квартир при разных видах кухонных плит для приготовления пищи и посемейном заселении квартир с общей площадью до 55 м² приведены для зимнего вечернего максимума в табл. 4.1, где значения нагрузок установлены с учетом коэффициента одновременности их максимумов в зависимости от числа квартир. Удельные нагрузки квартир учитывают нагрузку освещения общедомовых помещений (лестничные клетки, технические этажи, чердаки). Удельные нагрузки не учитывают силовую нагрузку общедомовых потребителей и нагрузку встроенных в жилые дома торговых и коммунально-бытовых предприятий, а также применение в квартирах кондиционеров, электронагревателей и электроотопления.

Таблица 4.1

Удельные расчетные электрические нагрузки в зависимости от числа
квартир

Потребитель электроэнергии	Количество квартир домов													
	1-3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600	1000
Квартиры с плитами на природном газе	4,5	2,3	1,75	1,45	1,3	1,15	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,43	0,4
Квартиры с плитами на сжиженном газе, в том числе при групповых установках и твердом топливе	5,0	2,6	2,0	1,65	1,48	1,3	1,15	1,0	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,55
Квартиры с электроплитами мощностью до 5,8 кВт	6,0	3,2	2,7	2,4	2,15	2,0	1,8	1,5	1,3	1,15	1,0	0,9	0,85	0,8
Квартиры с электроплитами мощностью от 5,9 до 8 кВт	7,0	4,0	3,0	2,5	2,15	2,0	1,8	1,5	1,3	1,15	1,0	0,9	0,85	0,8
Дома на участках садоводческих товариществ	3,0	1,5	1,1	0,9	0,75	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	0,38	0,35	0,33	0,3

Примечание: 1. При общей площади квартир, превышающей 55 кв.метров, удельную нагрузку следует увеличивать на 1 % на каждый 1 кв. метр дополнительной площади в домах с плитами на природном газе и на 0,5 % с электрическими плитами и плитами на твердом топливе и сжиженном газе.

2. Для определения утреннего или дневного максимума нагрузок необходимо вводить коэффициент 0,5 для квартир с плитами на природном газе и 0,7 при электроплитах.

Расчетная активная нагрузка от квартир на вводах в здание, на линиях, питающих дом или группу домов, на шинах трансформаторной подстанции определяется в зависимости от числа квартир по выражению:

$$P_{p(кв)} = P_{кв,уд} n_{кв} , \quad (4.1)$$

где $P_{кв,уд}$ – удельная расчетная нагрузка квартиры, кВт;

$n_{кв}$ – число квартир, присоединенных к элементу сети.

Расчетная активная нагрузка на вводе жилого здания определяется по выражению:

$$P_{p.(ж.зд)} = P_{p(кв)} + K_{н.м} P_c , \quad (4.2)$$

где P_c – расчетная нагрузка силовых электроприемников жилого здания, кВт;

$K_{н.м.}$ – коэффициент, учитывающий несовпадение максимумов нагрузки квартир и силовых электроприемников и принимается равным 0,9.

Расчетная нагрузка силовых электроприемников на вводе в здание, в линиях до 1000 В, на шинах ТП определяется:

а) нагрузками лифтовых установок:

$$P_{p(l)} = \kappa_{c(l)} \sum_{i=1}^{n_l} P_{л(i)}, \quad (4.3)$$

где $\kappa_{c(l)}$ – коэффициент спроса лифтовых установок, принимаемый по табл. 4.2;

n_l – число лифтовых установок, питаемых по линии от ТП;

$P_{л(i)}$ – установленная мощность электродвигателя i – того лифта по паспорту, кВт;

б) нагрузками электродвигателей насосов водоснабжения, вентиляторов и других санитарно-технических устройств по их установленной мощности с учетом коэффициента спроса, равного 0,7.

Полная расчетная нагрузка жилых зданий, кВА, определяется с учетом коэффициентов приведенных в табл. 4.3.

Таблица 4.2

Коэффициенты спроса лифтовых установок жилых зданий различной этажности

Количество лифтовых установок	До 12 этажей	12 этажей и более
2–3	0,8	0,9
4–5	0,7	0,8
6–7	0,6	0,7
8–10	0,5	0,6
11–20	0,4	0,5
Более 20	0,35	0,4

Расчетная нагрузка на вводе в здание при наличии в жилом доме встроенного коммунального предприятия или учреждения:

$$P_{p(зд)} = P_{p(ж.зд)} + \kappa_{у.м(зд)} P_{p(пр)}, \quad (4.4)$$

где $P_{p(пр)}$ – расчетная нагрузка предприятия, кВт;

$\kappa_{у.м(зд)}$ – коэффициент участия в максимальной нагрузке встроенного предприятия по отношению к нагрузке жилого дома по табл. 4.4.

Таблица 4.3

Расчетные коэффициенты электрических нагрузок линий жилых домов

Линии питания	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$
Квартир с электрическими плитами	0,98	0,2
Квартир с плитами на природном газообразном или твердом топливе	0,96	0,29
Хозяйственных насосов, вентиляционных установок и других санитарно-технических устройств.	0,85	0,62
Лифтов	0,6	1,33

Расчетные нагрузки на вводе в общественные здания или встроенные в жилые дома предприятия определяются по укрупненным удельным нагрузкам по выражению и по табл. 4.5.

$$P_{p,(общ)} = P_{p(np)} = P_{уд.пр} M, \quad (4.5)$$

где $P_{уд.пр}$ – удельная расчетная нагрузка единицы количественного показателя (рабочее место, посадочное место, площадь торгового зала и т. п.) m^2 ;

M – количественный показатель, характеризующий пропускную способность, предприятия, объем производства и т. д.

Полная нагрузка на вводе в общественное здание кВА, определяемое с учетом коэффициентов мощности приведена в табл. 4.5.

Расчетные нагрузки линий до 1000 В и ТП, питающих группы жилых и общественных зданий:

$$P_{p(л.мп)} = P_{P(нб)} + \sum_{i=1}^{m-1} K_{у,м(i)} P_{зд(i)}, \quad (4.6)$$

где $P_{P(нб)}$ – наибольшая расчетная нагрузка одного из общественных зданий или суммарная нагрузка жилых зданий с одинаковым типом кухонных плит, питаемых по данной линии или от ТП; последняя нагрузка определяется по суммарному количеству квартир и лифтовых установок, питаемых по линии или от ТП;

$P_{зд(i)}$ – расчетные нагрузки других (i) зданий питаемых линией или от ТП;

$K_{у,м(i)}$ – коэффициенты участия в максимуме нагрузок потребителей относительно наибольшей нагрузки, определяемые по табл. 4.4; $i = 1, 2, 3, m-1$.

Таблица 4.4

Коэффициенты участия в максимуме электрических нагрузок общественных зданий или жилых домов относительно наибольшей расчетной нагрузки

Наименование зданий с наибольшей расчетной нагрузкой	Коэффициенты участия в максимуме									
	Жилые дома		Предприятия общественного питания		Учебные заведения, библиотеки	Школы, училища	Учреждения проектные, финансовые	Предприятия торговли		Гостиницы
	эл. плита	газ	Столовая	Кафе, рестораны				1 смена	2 смены	
Жилые дома с эл. плитой	–	0,9	0,6	0,7	0,6	0,4	0,6	0,6	0,8	0,7
Жилье с газовой плитой	0,9	–	0,6	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	0,8	0,7
Кафе и рестораны	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
Учебные заведения	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7
Предприятия торговли 1-но и 2-ух сменные	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7
Учреждения проектные и финансовые	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
Гостиницы	0,8	0,8	0,6	0,8	0,4	0,3	0,6	0,6	0,8	0,8

Электрические нагрузки наружного освещения ориентировочно определяются исходя из следующих норм:

1) Магистральные линии общегородского значения, площади города, кВт/км – $80 \div 100$.

2) Магистральные улицы районного значения, площади перед крупными общественными зданиями, кВт/км – $30 \div 50$.

3) Улицы местного значения, улицы жилых районов, поселковые улицы, кВт/ км – $7 \div 10$.

4) Внутренние проезды, аллеи на территориях микрорайонов, кВт/км – 3,5.

5) Внутриквартальные территории, кВт/км – 12.

Расчетные нагрузки линий и распределительных пунктов (РП) 6÷10 кВ определяются умножением суммы расчетных нагрузок трансформаторов, питающихся по данному элементу сети, на коэффициент, учитывающий совмещение максимумов их нагрузок, который приводится в табл. 4.6. Полные нагрузки, кВА, линий и РП определяются по расчетным активным нагрузкам и по среднему коэффициенту мощности 0,92.

Таблица 4.5

Укрупненные удельные нагрузки и коэффициенты для общественных зданий и коммунальных предприятий

Общественные здания	Ед. измерения	Удельная нагрузка	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
Предприятия общ. питания до 400 мест	кВт/место	0,9	0,98	0,2
Предприятие общ. питания 500 и более мест газ. плитами	кВт/место	0,75	0,98	0,2
Прод. магазины без кондиционирования воздуха	кВт/м ² зала	0,11	0,82	0,7
Прод. магазины с кондиционированием воздуха	кВт/м ² зала	0,14	0,8	0,75
Пром. магазины без кондиционирования воздуха	кВт/м ² зала	0,08	0,92	0,43
Пром. магазины с кондиционированием воздуха	кВт/м ² зала	0,11	0,9	0,48
Школы с электрифицированными столовыми без приготовления горячих блюд	кВт/учащегося	0,14	0,95	0,33
Детские сады-ясли с электрифицированным пищеблоком	кВт/место	0,4	0,97	0,25
Детские сады-ясли с пищеблоком на газовых плитах	кВт/место	0,1	0,95	0,33
Больницы хирургического профиля с пищеблоком	кВт/койко-место	2,5	0,92	0,43
Больницы многопрофильные с пищеблоками	кВт/койко-место	2,2	0,93	0,4
Детские больницы с пищеблоками	кВт/койко-место	2,0	0,93	0,4
Поликлиники	кВт/посещение за смену	0,15	0,92	0,43
Кинотеатры концерт. залы с кондиционер. воздуха	кВт/место	0,12	0,92	0,43
Театры и цирки	кВт/место	0,3	0,9	0,48
Комбинат бытового обслуживания населения	кВт/раб. место	0,5	0,9	0,48

Таблица 4.6

Коэффициенты совмещения максимумов нагрузки трансформаторов в зависимости от их количества

Характеристики нагрузки	Число трансформаторов				
	2	3 ÷ 5	6 ÷ 10	11 ÷ 20	Более 20
Жилая застройка (70 % и более нагрузка жилых домов и до 30 % нагрузки общественных зданий)	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
Общественная застройка (70 % и более нагрузки общественных зданий и до 30 % нагрузки жилых домов)	0,9	0,75	0,7	0,65	0,6
Коммунально-промышленные зоны (65 % и более нагрузки промышленных и общественных зданий и до 35 % нагрузки жилых домов)	0,9	0,7	0,65	0,6	0,55

Расчетные нагрузки на шинах 6÷10 кВ источника питания определяются с учетом несовпадения максимумов нагрузок потребителей городских распределительных сетей и сетей промышленных предприятий умножением суммы активных расчетных нагрузок на коэффициент совмещения максимумов нагрузок по табл. 4.7.

Таблица 4.7

Коэффициенты совмещения максимумов нагрузок городских сетей и промышленных предприятий в зависимости от отношения расчетной нагрузки предприятий к нагрузке городской сети

Время максимума нагрузки	20 %	60 %	100 %	150 %	200 %	300 %	400 %
Утро	$\frac{0,75}{0,6}$	$\frac{0,8}{0,7}$	$\frac{0,85}{0,75}$	$\frac{0,88}{0,8}$	$\frac{0,9}{0,85}$	$\frac{0,92}{0,87}$	$\frac{0,95}{0,9}$
Вечер	0,85 ÷ 0,9	0,65 ÷ 0,85	0,55 ÷ 0,8	0,45 ÷ 0,75	0,4 ÷ 0,75	0,3 ÷ 0,7	0,3 ÷ 0,7

Примечание: 1. В период утреннего максимума в числителе приведены коэффициенты для жилой застройки с электрическими плитами, в знаменателе – с газовыми плитами.

2. В период вечернего максимума меньшие значения коэффициентов следует принимать при наличии промышленных предприятий с односменным режимом работы, большие – когда все предприятия имеют двух-трехсменный режим работы. Если режим работы предприятий неодинаков, то коэффициент совмещения определяется интерполяцией.

3. При отношении расчетной нагрузки промышленных предприятий к нагрузке городской сети менее 20 % коэффициент совмещения для утреннего и вечернего максимумов следует принимать равным 1. Если отношение более 400 % то коэффициент совмещения для утреннего максимума следует принимать равным 1; для вечернего, когда все предприятия односменные – 0,25; при двух-трехсменных – 0,65.

С учетом однородности и высоких значений коэффициентов мощности нагрузок потребителей на напряжение 6÷10 кВ полная мощность на шинах источника питания приближенно может быть определена по выражению:

$$S_{un} = S_{нб} + \sum_{i=1}^{n_n} k_i S_{pi}, \quad (4.7)$$

где $S_{нб}$ – полная мощность нагрузки потребителей, формирующих максимум нагрузки данного источника питания;

S_{pi} – расчетные нагрузки других i потребителей или линий 6÷10 кВ отходящих от источника питания, кВА;

k_i – определяется по табл. 4.8.

Расчетная нагрузка жилых зданий микрорайона ориентировочно определяется с помощью приведенных к шинам 0,4 кВ ТП удельных нагрузок, отнесенных к 1 м² полезной площади квартир по выражению:

$$P_{p(ж.д)} = P_{уд.ж.д} \cdot S_{\Sigma} \cdot 10^{-3}, \quad (4.8)$$

где $P_{уд.ж.д}$ – удельная расчетная нагрузка жилых домов на шинах 0,4 кВ ТП, принимаемая по табл. 4.8;

S_{Σ} – суммарная полезная площадь жилых домов, питаемых от шин 0,4 кВ ТП, м².

Укрупненная расчетная нагрузка микрорайона, приведенная к шинам 0,4 кВ ТП, определяется по выражению:

$$P_{p(м.р)} = (P_{уд.ж.д} + P_{уд.общ}) S_{\Sigma} \cdot 10^{-3}, \quad (4.9)$$

где $P_{уд.общ}$ – удельная нагрузка общественных зданий микрорайонного значений, принимаемая при установке в жилых домах электрических плит 2,6 Вт/м² (в удельных нагрузках общественных зданий микрорайонного значения учтены предприятия торговли, питания, детские ясли-сады, школы, аптеки и т. д.).

Таблица 4.8

Удельные расчетные нагрузки жилых домов на шинах 0,4 кВ ТП

Этажность застройки	На природном газе	На твердом топливе	Электрические плиты
1–2	9,5/0,96...	11,7/0,96	20/0,98
3–5	9,3/0,96	11,2/0,96	18,2/0,98
5 и более с долей квартир в домах выше 5 этажей:			
20 %	10,2/0,94	12,2/0,94	19,8/0,97
50 %	10,9/0,93	16,5/0,93	20,4/0,97
100 %	12,0/0,92	18,0/0,92	21,5/0,96

Примечание: 1. В знаменателе приведены значения $\cos \varphi$.

2. Приведенные данные включают нагрузки насосов отопления, горячего водоснабжения, лифтов и наружного освещения территории микрорайона.

3. Удельные нагрузки квартир определены исходя из средней полезной площади квартир 50 м² и относятся как к первой очереди строительства, так и к расчетному сроку.

5. НОМИНАЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

В современных отечественных системах электроснабжения городов применяются все номинальные напряжения от 0,4 до 330 кВ.

Выбор напряжения при проектировании систем электроснабжения городов основывается на рекомендациях с выполнением соответствующих технико-экономических расчетов.

Напряжения до 1000 В. Нормирующие документы гласят, что при новом проектировании или реконструкции электрических сетей всех назначений должно применяться линейное напряжение 0,4 кВ.

Также на некоторых предприятиях широкое применение находит напряжение 660 В.

Напряжения 6÷10 кВ применяются для распределения электрической энергии от источника питания по прилегающим к ним территориям города и для питания ТП 6÷20/0,4 кВ. С технической точки зрения возможности применения этих напряжений по передаваемой мощности и по расстояниям передачи электроэнергии ограничиваются: 1) сечением жил кабелей и проводов по условиям нагрева; 2)наибольшей допустимой потерей напряжения в сети. В табл. 5.1 представлены данные о пропускной способности линий и возможной дальностью передачи электрической энергии при напряжении 6÷10 кВ.

Напряжение 110кВ и выше. Применяются в системах электроснабжения городов для внешнего электроснабжения. Напряжение 110 кВ и выше экономически целесообразно применять для электроснабжения средних, больших и крупных городов. Напряжение 220 кВ целесообразно для электроснабжения крупнейших городов.

Таблица 5.1

Технические возможности передачи электроэнергии по одной линии
6÷10 кВ

Номиналь- ное напряже- ние сети, кВ	Характеристика конструкции линии	Наибольшая передаваемая мощность $S_{доп}$, МВА.		Наибольшие расстояния передачи, км (по потере напряжения при $S_{доп}$)	
		Нормальные режимы	Послеава- рийные режимы	Линия с одной нагрузкой	Линия с пятью нагрузками, равномерно рас- пределенными по ее длине
6	Кабели $S = 240 \text{ мм}^2$ в земле	4,2	5,45	4,55	7,6
6	ВЛЭП, провода АС120	3,9	3,9	1,35	2,25
10	Кабели $S = 240 \text{ мм}^2$ в земле	6,15	8,0	8,35	13,9
10	ВЛЭП провода АС120	6,5	6,5	2,25	3,75

Примечания: 1. S – сечение алюминиевых токоведущих фазных жил кабелей.

2. Мощности, допустимые при прокладке кабелей в земле, указаны без поправочных коэффициентов на температуру почвы, число рядом лежащих кабелей и т. п.

3. Наибольшие расстояния передачи указаны при $(\Delta V) = 6\%$, передаче допустимой по нагреву мощности S_{don} (в нормальном режиме) и коэффициенте мощности нагрузки 0,9.

6. НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Требования к надежности электроснабжения определяются применительно к вводу к устройству электроприемника или вводу к устройству комплекса электроприемников (потребителю).

В системах электроснабжения городов к первой категории относятся:

- электроприемники лечебно-профилактических учреждений, от бесперебойности работы которых непосредственно зависит жизнь людей;
- электродвигатели и другие электроприемники противопожарных устройств в больницах и диспансерах для взрослых или их отдельных корпусов вместимостью более 400 коек (для детей более 250 коек);
- котельные первой категории, являющиеся единственным источником тепла, обеспечивающие потребителей первой категории, не имеющих индивидуальных резервных источников тепла;
- водопроводные насосные станции в городах с числом жителей более 50 тысяч человек;
- электродвигатели и другие электроприемники противопожарных устройств, лифты, эвакуационное и аварийное освещение, огни сетевого ограждения в жилых домах и общежитиях высотой 17 этажей и более, гостиниц более чем на 1000 мест и учреждений с количеством работающих более 2000 человек;
- электродвигатели и другие электроприемники противопожарных устройств общеобразовательных школ и других учебных заведений при количестве учащихся более 1000 человек;
- электродвигатели пожарных насосов и другие электроприемники противопожарных устройств, эвакуационное и аварийное освещение крытых зрелищных и спортивных предприятий общей вместимостью более 800 человек;
- то же и в том числе охранная сигнализация магазинов с торговым залом более 2000 м²;
- то же для столовых, кафе и ресторанов с числом посадочных мест более 500.

Электроприемники первой категории должны обеспечиваться питанием от двух независимых источников питания. В качестве второго независимого источника питания могут использоваться автономные источники (аккумуляторные батареи, дизельные электростанции и др.) и резервные связи по сети напряжением 0,4 кВ от ближайших ТП, питающихся по сети 6÷10 кВ другого независимого источника. Устройство АВР предусматривается непосредственно на вводе к электроприемникам первой категории.

К электроприемникам второй категории относятся электроприемники, перерыв в электроснабжении которых приводит к нарушению нормальной деятельности значительного количества городских жителей, а именно: жилые дома с электроплитами, за исключением одно-восьмиквартирных домов; жилые дома высотой 6 этажей и выше с газовыми плитами или плитами на твердом

топливе; общежития вместимостью от 50 человек и более; учреждения с количеством работающих от 50 до 2000 человек; детские учреждения; медицинские учреждения и аптеки; крытые зрелищные и спортивные сооружения с количеством мест в зале от 300 до 800; предприятия общественного питания с количеством посадочных мест от 100 до 500; магазины с торговой площадью от 250 до 2000 м²; городские РП и ТП с суммарной нагрузкой от 400 до 10000 кВА при отсутствии электроприемников первой категории.

Электроприемники второй категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых источников питания. Для электроприемников 2 категории допустимы перерывы в электроснабжении на время, необходимое для включения резервного питания дежурным персоналом. Допускается питание электроприемников второй категории по одной линии 0,4÷10 кВ, если обеспечена возможность проведения аварийного ремонта линии за время не более 1 суток.

При централизованном резерве трансформаторов и обеспечении замены повредившегося трансформатора за время не более 1 суток возможно питание электроприемников второй категории от однотрансформаторных ТП.

7. СХЕМЫ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Распределительная сеть, сооружаемая на территории города, представляет собой, совокупность распределительной сети 6÷10 кВ, трансформаторных подстанций и распределительной сети 0,4 кВ.

К распределительной сети предъявляются следующие основные требования:

- сеть прежде всего должна обеспечить требуемое качество электроснабжения потребителей. Под качеством понимается требуемый уровень надежности электроснабжения приемников и регламентированный уровень напряжения на их зажимах;

- надо учитывать, что важнейшей особенностью городских потребителей электроэнергии является непрерывный рост их электрической нагрузки, что предопределяет необходимость развития сетей на всех уровнях системы электроснабжения города. Учитывая этот факт, рациональный принцип построения городской распределительной сети должен учитывать возможность ее систематического развития, т. е. увеличение пропускной способности сети по мере возрастания электрической нагрузки потребителей.

Также принцип построения сети должен обеспечивать ее надежность. В распределительной сети необходимо применять типовые электросетевые сооружения, к тому же распределительная сеть должна быть удобной в процессе ее эксплуатации и создавать безопасные условия труда для обслуживающего ее персонала.

Классификация электрических схем условно разделена на три группы, в основе деления лежат требования по категоричности потребителей согласно ПУЭ:

- первая группа – это схемы для которых учитывается, что при повреждении любого элемента распределительной сети восстановление питания потребителей может быть произведено только после ремонта этого элемента сети или его замены, это подходит по требованиям для электроприемников третьей категории;

- вторая группа охватывает схемы, в которых восстановление питания потребителей обеспечивается при повреждении элементов сети за счет ввода резервных элементов действиями оперативного персонала;

- третья группа – наиболее многочисленные схемы. Для этих схем характерен автоматический ввод резервных элементов при нарушениях нормального режима работы сети.

Применительно к этой классификации схем существуют особенности построения распределительной сети. К первой группе относятся сети, выполняемые по радиальной нерезервируемой схеме. Эти сети наиболее дешевые и создают самую минимальную надежность питания потребителей.

Схемы второй и третьей групп предусматривают резервирование питания потребителей. При этом возможно взаимное резервирование отдельных звеньев сети: трансформаторов через распределительную сеть напряжением 0,4 кВ,

резервирование линий 6÷10 кВ и трансформаторов через сеть 0,4 кВ, непосредственное резервирование линий 6÷10 кВ и трансформаторов.

Схемы второй группы базируются на использовании так называемых петлевых линий, т. е. линий, имеющих двухстороннее питание. При этом предусматривается также частичное резервирование трансформаторов через сеть напряжением 0,4 кВ. Эта группа схем удовлетворяет требованиям, предъявляемым к электроснабжению основной массы городских потребителей, т. е. к электроприемникам второй категории. Учитывая простоту и наглядность схемы, удовлетворительные технико-экономические показатели петлевых сетей, они рекомендуются в настоящее время в качестве основных, и распределительные сети в большинстве городов России выполняются по этой схеме.

Схемы третьей группы включают различные схемы с автоматическим вводом резерва. Такие сети создают высокую надежность электроснабжения потребителей, так как при повреждении элементов сети, их питание может нарушаться только на время действия автоматических устройств. Электроприемники первой категории произвольно размещаются на территории города и автоматизация предусматривается только для узлов сети с приемниками первой категории.

Надо отметить, что наиболее часто повреждаются кабельные линии 6÷10 кВ. Внезапный выход из работы этих линий может вызвать прекращение электроснабжения большого числа городских потребителей. Вместе с тем повреждения трансформаторов и линий 0,4 кВ довольно таки редки, к тому же выход из строя этих элементов сети связан с нарушением питания меньшего числа потребителей. Поэтому основное внимание уделяется разработке автоматических устройств, создающих надежное электроснабжение при возникновении повреждений в линиях 6÷10 кВ.

Радиальная нерезервированная сеть.

Сети, выполненные по радиальной нерезервированной схеме, относятся к первой группе. Характеристики таких сетей рассмотрим на примере рис. 7.1.

Основной особенностью построения таких схем является одностороннее питание потребителей и отсутствие в сети резервных элементов.

На рис. 7.1 видно, что каждый трансформатор ТП используется для питания самостоятельного района сети 0,4 кВ, которые между собой не связаны. Работа сети характеризуется только нормальным режимом. При повреждении любого из элементов происходит его отключение и подача энергии потребителям прекращается на время, необходимое для ремонта или замены элемента сети.

Параметры элементов сети определяются условием одностороннего питания потребителей.

Данная радиальная нерезервируемая схема находит применение только в системах электроснабжения приемников 3 категории.

Применительно к городским распределительным сетям одностороннее питание может использоваться в сетях напряжением 0,4 кВ для осуществления

вводов к потребителям 3 категории, например в жилые дома высотой до 6 этажей.

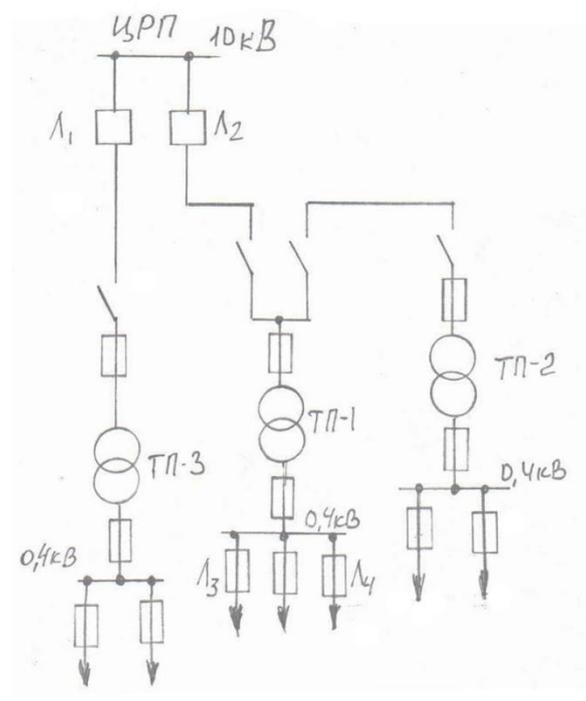


Рис. 7.1. Схема радиальной нерезервированной сети

Петлевые и полузамкнутые сети.

С ростом требований к надежности электроснабжения потребителей в сетях стали предусматриваться резервные элементы. Поэтому появилась необходимость в схеме с двухсторонним питанием ТП и потребителей. В результате была разработана так называемая петлевая схема построения распределительных сетей.

Существуют две разновидности петлевых сетей:

– первая представляет собой сеть напряжением 0,4 кВ с распределительными линиями одностороннего питания в сочетании с петлевыми линиями 6÷10 кВ. Петлевой линией называется линия, в которой возможно двойное питание. Эта линия может работать по разомкнутой схеме.

– вторая разновидность схем представляет собой сеть 0,4 кВ с петлевыми линиями в сочетании с сетью 6÷10 кВ тоже с петлевыми линиями. Такие схемы предусматривают возможность двухстороннего питания ТП по напряжению 6÷10 кВ и вводов, присоединенных к петлевым линиям 0,4 кВ. Надо отметить, что мощность трансформаторов в ТП выбирается с резервом на случай питания потребителей, присоединяемых к петлевым линиям 0,4 кВ при отключении одного из трансформаторов, работающего в узле сети. Схема рекомендуется для замкнутой работы сети 0,4 кВ с ограниченным резервированием питания потребителей, т. е. допускается параллельная работа трансформаторов ТП через сеть напряжением 0,4 кВ. Надо отметить, что при этом ТП могут быть подключены как к одной, так и к разным линиям 6÷10 кВ, питание которых должно осуществляться от одного независимого источника. Такая схема

применяется для электроснабжения при наличии электроприемников второй и третьей категории. Особенности построения распределительных петлевых сетей показаны на рис. 7.2.

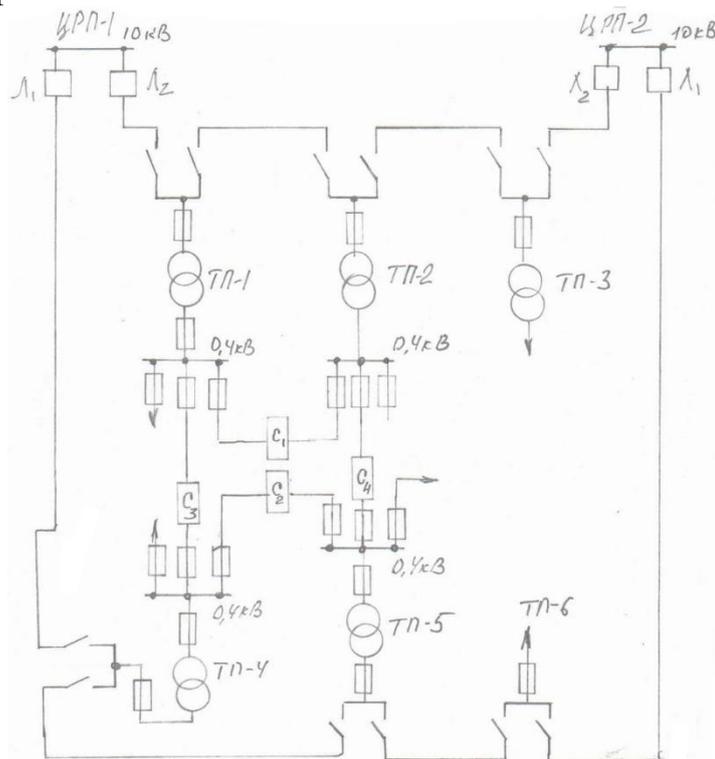


Рис. 7.2. Схема петлевой (полуразомкнутой) распределительной сети

В отличие от радиальной схемы необходимо различать режимы работы сети. Начнем с нормального режима, когда все элементы сети находятся в исправном состоянии и схема соответствует оптимальным условиям работы сети.

Выбор параметров электрооборудования должен быть использован при условии нормального режима. Например, сечение линии Л1 определяется нагрузкой ТП-4 и ТП-5, мощность трансформатора ТП-2 принимается в соответствии с нагрузкой линий Л3, Л4, Л5, сечение линий Л3 должно соответствовать нагрузке потребителей б1 и б2 и т. д.

Схема с выборочной автоматизацией питания потребителей.

Петлевые схемы построения сетей предусматривают ввод резервных элементов действиями дежурного персонала.

Рассмотрим две схемы выборочной автоматизации:

- схему с устройством АВР на стороне 6÷10 кВ на рис. 7.3;
- схему с устройством АВР на стороне напряжения 0,4 кВ на рис. 7.4.

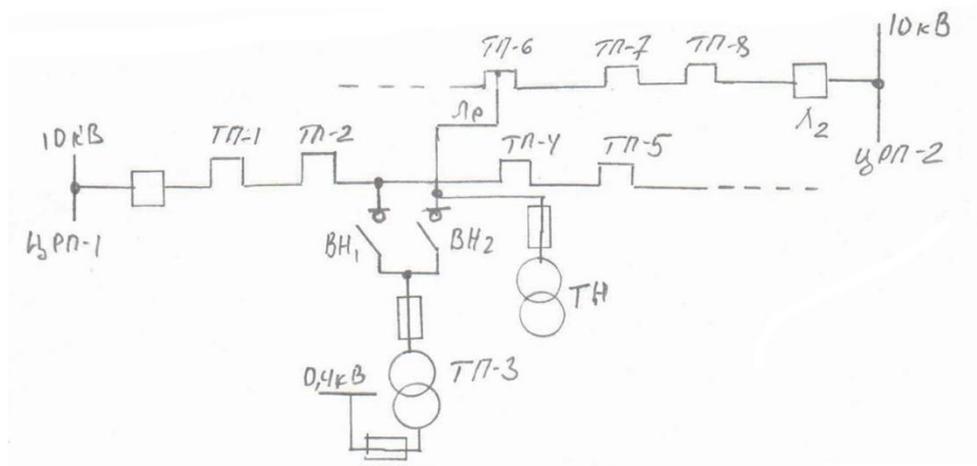


Рис. 7.3. Схема автоматизации питания ТП-3 с устройством АВР при напряжении 6÷10 кВ

В действующих сетях, выполненных по петлевой схеме, встречаются дополнительные резервные связи между распределительными линиями 6÷10 кВ. Учитывая, что стоимость размещения устройства АВР в ТП сравнительно небольшая, представляется рациональным использовать эти связи 6÷10 кВ для автоматизированного резерва, с оборудованием в отдельных ТП устройств АВР. Указанные условия создают предпосылки так называемой выборочной автоматизации питания потребителей, когда устройства АВР предусматриваются только в отдельных ТП. Питание остальных ТП распределительной сети осуществляется по петлевой схеме.

Ниже приведена схема АВР по стороне 0,4 кВ (см. рис. 7.4), имеющая контакторы основного и резервного питания. В нормальном режиме каждый трансформатор через контактор основного питания КО связан с отдельной группой потребителей. При повреждении любой линии 6÷10 кВ или связанного с ней трансформатора напряжение на шинах 0,4 кВ трансформатора исчезает, контактор основного питания отпадает, после чего включается контактор резервного питания КР. В результате этого нагрузка отключившегося трансформатора автоматически переключается на оставшийся в работе второй трансформатор. Например, при повреждении линии Л1 или трансформатора Тр1 напряжение на 1 секции 0,4 кВ пропадает, отключается контактор КО1 и затем включается контактор КР1.

В результате питание 1 секции 0,4 кВ переводится на трансформатор Тр2. При повреждении линии Л_р или трансформатора Тр2 питание 2 секции 0,4 кВ переключается на трансформатор Тр1 аналогичным образом.

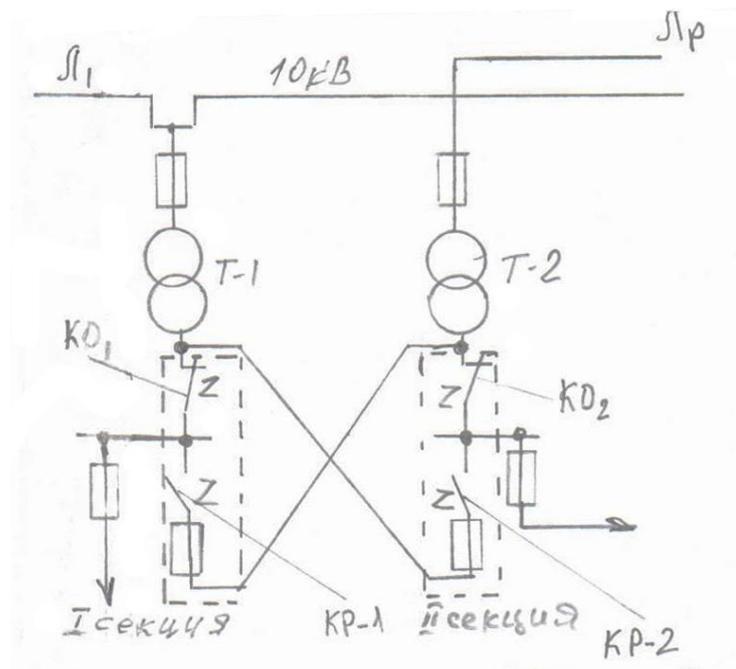


Рис. 7.4. Схема автоматизации питания ТПЗ с устройством АВР при напряжении 0,4 кВ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атабеков, В.Б. Городские электрические сети / В.Б. Атабеков, В.И. Крюков. – М.: Стройиздат, 1997. – 384 с.
2. Герасимов, В.Г. Электротехнический справочник / В.Г. Герасимов, П.Г. Грудинский, В.А. Лабунцов и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 885 с.
3. Козлов, В.А. Городские распределительные электрические сети / В.А. Козлов. – Ленинград.: Энергоиздат, 1982. – 223 с.
4. Козлов, В.А. Справочник по проектированию систем электроснабжения городов / В.А. Козлов, Н.И. Билик, Д.О. Файбисович. – Ленинград.: Энергия, 1984. – 380 с.
5. Козлов, В.А. Электроснабжение городов / В.А. Козлов. – Ленинград.: Энергия, 1987. – 350 с.
6. Правила устройства электроустановок. (6-ое и 7-ое издание). – Новосибирск.: Сибирское университетское издательство, 2011. – 464 с.
7. Умнов, П.А. Обслуживание городских электрических сетей / П.А. Умнов. – М.: Высшая школа, 1994. – 256 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общая характеристика систем электроснабжения городов и задач их проектирования.....	3
2. Место городской сети в системе электроснабжения города	4
3. Общая характеристика потребителей электроэнергии в городах	6
4. Расчетные электрические нагрузки	8
5. Номинальные напряжения электроустановок.....	15
6. Надежность электроснабжения.....	17
7. Схемы городских электрических сетей	19
Библиографический список.....	25

Техн.редактор *А.В. Миних*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 18.03.2015. Формат 60×84 1/16. Печать трафаретная.
Усл.печ.л. 1,63. Тираж 100 экз. Заказ 214.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, пр.им. В.И. Ленина, 76.