

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

В. А. ШАХНИН С. И. РОЩИНА

# ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ МИКРОРАЙОНА МНОГОЭТАЖНОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

Учебное пособие



Владимир 2017

УДК 621.311  
ББК 31.282  
ШЗ1

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор,  
заслуженный деятель науки Российской Федерации  
профессор кафедры приборостроения и информационно-измерительных  
технологий Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых  
*Л. М. Самсонов*

Кандидат технических наук  
зав. сектором энергетических исследований  
(внедренческое предприятие) «МАГНИТ» НПО «ТЕХКРАНЭНЕРГО»  
*В. А. Осипов*

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

**Шахнин, В. А.** Электроснабжение микрорайона многоэтажной  
ШЗ1 жилой застройки : учеб. пособие / В. А. Шахнин, С. И. Рошина ;  
Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во  
ВлГУ, 2017. – 107 с. – ISBN 978-5-9984-0770-3.

Изложены требования к содержанию, объему и оформлению курсовых проектов  
и работ по дисциплинам «Инженерные системы и оборудование энергоэффективных  
зданий» и «Электропитающие системы и электрические сети». Приведены методика  
учебного проектирования, примеры расчетов режимов и выбора электрооборудования  
электрических сетей типового микрорайона многоквартирных домов. Особое внимание  
уделено вопросам энергосбережения, учета электроэнергии и надежности электро-  
снабжения.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 08.04.01 «Строи-  
тельство» (программа «Проектирование, реконструкция и эксплуатация энергоэффе-  
тивных зданий»), «Теория и проектирование зданий и сооружений» (магистратура) и  
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электроснабжение») (бака-  
лавриат).

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответ-  
ствии с ФГОС ВО.

Табл. 20. Ил. 39. Библ.огр.: 21 назв.

УДК 621.311  
ББК 31.282

ISBN 978-5-9984-0770-3

© ВлГУ, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. Требования и рекомендации для курсового проектирования .....	7
1.1. Содержание курсового проекта .....	7
1.2. Требования к пояснительной записке и графической части .....	7
2. Предпроектный анализ системы электроснабжения .....	10
2.1. Общая характеристика объекта электроснабжения и исходная документация для проектирования .....	10
2.2. Анализ фотоплана и результатов топографической съёмки территории объекта электроснабжения .....	11
2.3. Анализ генерального плана объекта электроснабжения .....	13
2.4. Анализ условий присоединения объекта электроснабжения к энергосистеме .....	15
3. Расчёт электрических нагрузок микрорайона МКД .....	17
3.1. Анализ состава электрических нагрузок .....	17
3.2. Расчёт электрических нагрузок .....	19
4. Выбор номинальных значений напряжений, количества и мощности трансформаторов .....	26
4.1. Выбор номинальных значений напряжений .....	26
4.2. Выбор количества и мощности трансформаторов .....	28
5. Расчёт кабельных линий микрорайона МКД .....	34
5.1. Общие положения .....	34
5.2. Выбор марок и сечений кабелей .....	35
5.3. Проверка КЛ по потере напряжения .....	39
6. Расчет токов короткого замыкания .....	41
6.1. Общие положения .....	41
6.2. Пример расчёта токов к. з. на шинах проектируемой ТП62 .....	43
6.3. Пример расчёта токов к. з. на фидерах 0,4 кВ .....	44

7. Трансформаторные подстанции микрорайона МКД .....	46
7.1. Выбор типа подстанций .....	46
7.2. Электрооборудование подстанций .....	49
8. Наружное электрическое освещение .....	57
8.1. Общие положения .....	57
8.2. Энергосбережение в осветительных установках .....	58
8.3. Светотехнический расчёт .....	64
8.4. Электротехнический расчёт .....	68
9. Расчёт релейной защиты силового трансформатора .....	69
10. Разработка системы внутреннего электроснабжения МКД ....	76
10.1. Общие положения .....	76
10.2. Выбор основного оборудования .....	77
10.3. Учёт электроэнергии .....	81
11. Автоматизация проектирования .....	87
11.1. Программа <i>Light-In-Night</i> .....	87
11.2. Программа для расчёта токов к. з. ....	90

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ .....** 99

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....** 101

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....** 102

**ПРИЛОЖЕНИЯ .....** 104

**ВВЕДЕНИЕ**

Важный показатель уровня жизни общества – удельное потребление электрической энергии населением. Количество энергозатрат, приходящееся на человека, косвенно характеризует уровень комфортабельности жилья и степень совершенства инфраструктуры городов и других населённых пунктов. Во всех развитых странах наблюдается устойчивый рост названного показателя. Его количественные значения за 2015 г. приведены на диаграмме (рис. 1) [1].

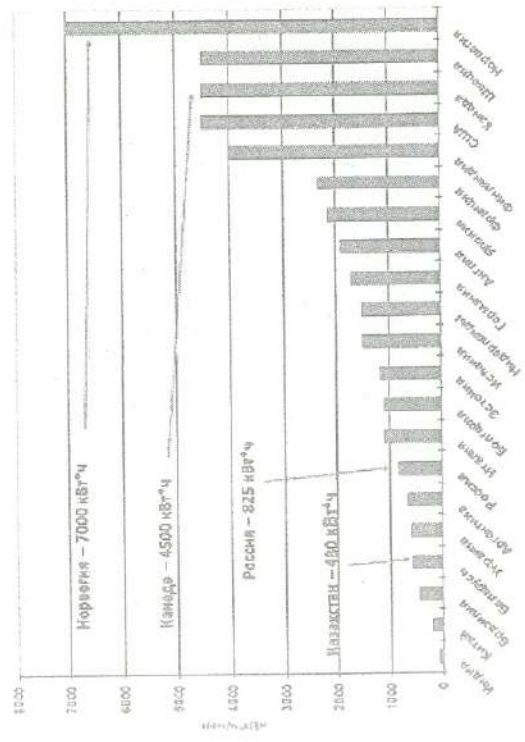


Рис. 1. Удельное потребление электроэнергии населением разных стран, кВт·ч/чел. в год

Увеличение потребления электроэнергии населением повышает требования по надёжности и энергоэффективности сетей электро-снабжения разного уровня – от электросетей крупных мегаполисов до



## 1. ТРЕБОВАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

### 1.1. Содержание курсового проекта

Содержание курсового проекта определяется заданием, которое выдается руководителем проекта и оформляется по шаблону, приведенному в прил. 1. При проектировании систем электроснабжения городских микрорайонов МКД целесообразно включение в пояснительную записку курсового проекта следующих основных разделов:

- предпроектного анализа градостроительных особенностей объекта электроснабжения и вариантов его подключения к существующим источникам электроэнергии;

- анализа состава и характеристик потребителей электроэнергии в проектируемом микрорайоне МКД;

- расчёта электрических нагрузок;

- выбора номинальных значений напряжений сети электроснабжения;

- выбора места расположения, схем и мощности трансформаторных подстанций;

- выбора трансформаторного и коммутационного оборудования подстанций;

- определения основных параметров высоковольтных и низковольтных кабельных и воздушных линий электропередачи;

- расчёта токов коротких замыканий;

- расчёта наружного освещения микрорайона;

- расчёта и выбора оборудования внутренних сетей МКД.

В каждом из разделов должны быть рассмотрены вопросы энергосбережения и энергосбережения. Обязательным элементом курса проекта является графическая часть, которая включает в себя чертёж однолинейной схемы системы электроснабжения объекта. Чертёж выполняется на листе формата А1.

### 1.2. Требования к пояснительной записке и графической части проекта

Пояснительная записка курсового проекта должна иметь следующую структуру:

- титульный лист (прил. 2);

- введение;

- основная часть работы (объем: 3 – 5 глав);

7

6

сетей отдельных многоквартирных домов [2]. Для нашей страны это особенно важно в силу изощренности электросетевого оборудования и роста доли жилья повышенной комфортности, оснащённого мощной бытовой техникой. Развитие личного освещения, световой рекламы и иллюминационного оформления городов также предъявляет особые требования к системам электроснабжения.

В современных условиях главные задачи специалистов, осуществляющих проектирование и эксплуатацию современных систем электроснабжения городских микрорайонов многоквартирных домов (МКД), — это правильное определение электрических нагрузок, рациональная передача и распределение электроэнергии между потребителями, гибкое управление. Для решения этих задач необходимы навыки выбора энергосберегающих режимов работы линий электропередачи (ЛЭП), трансформаторов, реакторов и других электрических аппаратов. Особое значение для энергосбережения имеют навыки проведения мероприятий, направленных на компенсацию реактивных составляющих мощности, обеспечение высокого качества электроэнергии и правильную организацию учёта электроэнергии.

Цель курсового проектирования по дисциплинам «Инженерные системы и оборудование энергоэффективных зданий» и «Электропитающие системы и электрические сети» — приобретение вышеперечисленных навыков.



- заключение;
- библиографический список;
- оглавление.

**Введение.** Во введении должны быть кратко отражены современное состояние в области систем электроснабжения городских микрорайонов МКД и актуальность выбранной темы, определены методы решения поставленных задач и сформулирована цель работы. Объем введения – не более двух страниц.

**Основные результаты работы.** В первой и последующих главах должны быть представлены результаты работы согласно заданию. Каждая глава должна заканчиваться выводами, в которых кратко сформулированы результаты данного этапа работы и конкретизируются задачи и методы их решения в последующих главах.

**Заключение.** В заключении формулируются главные выводы проектирования, показывающие достигнутый уровень проектных решений. Объем заключения – обычно одна страница.

**Библиографический список.** В список с указанием библиографических данных включается литература по усмотрению автора пояснительной записки. Если в работе сделаны ссылки на научную информацию, позволяющую принять конкретное решение, включение в список литературы первоисточника обязательно. Список оформляется по ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления» с указанием номера ISBN у всех изданий, вышедших после 1990 г.

Пояснительную записку оформляют на одной стороне белой бумаги формата А4 (гарнитура *Times New Roman*, кегль 12) через полтора интервала. Для разворотных таблиц и рисунков допускается формат А3 (297 × 420 мм). Заголовки таблиц, названия схем отделяют от текста одним интервалом.

Поля страницы:

- верхнее, левое, правое – 25 мм;
- нижнее – 30 мм.

Отступ в начале абзаца равен 12,5 мм. Заголовки глав и параграфов отделяют от текста сверху и снизу двумя интервалами. Текст печатается строчными буквами, заглавными (прописными) буквами набирают аббревиатуры, а также названия глав, слова «Введение» и «Заключение».

В тексте должна быть соблюдена соподчиненность глав, параграфов и пунктов. Каждую главу пояснительной записки следует начи-

нать с новой страницы. Нумерацию глав и параграфов выполняют арабскими цифрами, которые отделяются от названий точкой. Номер параграфа состоит из цифр, обозначающей номер главы, и цифры, обозначающей его порядковый номер в составе главы. Эти цифры отделяют друг от друга точкой. После заголовков точка не ставится. Заголовки глав набирают по центру, прописными буквами (шрифт *Times New Roman*, кегль 14). Заголовки параграфов оформляют по левому краю строки строчными буквами (шрифт *Times New Roman*, кегль 14).

Страницы пояснительной записки нумеруют от титульного листа и до последнего, цифра 1 на титульном листе не ставится. Номера страниц проставляют внизу посередине (шрифт *Times New Roman*, кегль 12). Приложения нумеруют арабскими цифрами (без знака №). Ориентировочный объем пояснительной записки должен составлять 20–25 страниц.

Графическую часть выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ ЕСКД на одном листе формата А1. Она должна содержать одностороннюю схему системы электроснабжения. Перечень элементов (спецификацию) можно не оформлять, так как типы используемого оборудования приводят в пояснительной записке. В учебном проекте допускаются некоторые особенности заполнения основной надписи. В верхнем правом поле размещается шифр документа, имеющий для разрабатываемого курсового проекта следующее обозначение:

ВЛГУ.08.04.01.4.00.ПЗ,  
1 2 3 4 5

где 1 – название вуза;

2 – шифр направления подготовки;

3 – шифр работы (4 – курсовой проект, 5 – курсовая работа);

4 – номер документа (пояснительная записка – 00, чертёж – 01);

5 – код документа (ПЗ – пояснительная записка; ЭЗ – схема электрическая однолинейная).

В центральном поле размещают название курсового проекта; в поле, расположенном ниже, указывают наименование чертежа в именительном падеже (первое слово – имя существительное), например, «Схема однолинейная». В нижнем правом поле указывают название вуза и номер академической группы.

При выполнении графического материала желательно использовать систему *AutoCad*.

После защиты чертеж складывается по форме, приведенной в прил. 3.



## 2. ПРЕДПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

### 2.1. Общая характеристика объекта электроснабжения и исходная документация для проектирования

В настоящее время городские микрорайоны многоквартирных жилых домов являются крупными потребителями электрической энергии, сравнимыми по наиболее важным энергетическим показателям с промышленными предприятиями. Это объясняется наличием в МКД большого количества мощной бытовой техники, а также размещением в микрорайонах энергоёмких объектов инфраструктуры. К таким объектам относятся:

- тяговые трансформаторные подстанции (ТП) электропортов (2000 – 4500 кВА);
- насосные станции водопровода и канализации;
- крупные спортивные комплексы (например, дворец спорта с ледовой ареной «Полярис» во Владивостоке имеет установленную мощность ТП порядка 3000 кВА);
- большие комплексы (например, суммарная мощность ТП Владивостокской ОКБ составляет 4200 кВА);
- современные гостиницы, оборудованные установками искусственного климата, централизованной системой пылеуборки, электропечиблоками (гостиница «Золотое кольцо» во Владивостоке имеет установленную мощность трансформаторов 2500 кВА);
- современные крупные магазины и т. п.

Основные задачи, решаемые при проектировании энергоэффективных систем электроснабжения городских микрорайонов МКД: 1) оптимизация параметров схемы путем обоснованного выбора рациональных напряжений в системе внешнего и внутреннего электроснабжения; 2) определение электрических нагрузок и выполнение требований по обеспечению бесперебойности электроснабжения; 3) рациональный выбор числа и мощности трансформаторов, конструкций электрических сетей; 4) выбор средств компенсации реактивной мощности и регулирования напряжения.

Типовой комплект документов, являющихся основанием для проектирования в том или ином муниципальном образовании (МО), включает в себя следующее:

- распоряжение главы МО (в рассматриваемом случае – главы Владивостока) о разрешении проектно-исследовательских работ (ПИР);
- конкурсные материалы проектной организации, направленные в администрацию МО для участия в конкурсе на разработку «Проекта межведомства, планировки и застройки территории микрорайона»;
- протокол заседания конкурсной комиссии администрации МО;
- архитектурно-планировочное задание Управления архитектуры и строительства (УАИС) МО;
- задание на проектирование.

В случае ипотечного финансирования в комплект включается заказ соответствующего ипотечного фонда, например, Владимирского городского, на проектирование микрорайона. Проектирование должно соответствовать следующим документам: «Концепции жилищной политики региона» и «Перечню мероприятий по повышению эффективности работы строительного комплекса региона», утвержденных приказами по Департаменту строительства и архитектуры субъекта Российской Федерации (в нашем случае – Владимирской области).

В нашем случае условно выберем в качестве объекта проектирования систему электроснабжения микрорайона многоквартирной жилой застройкой, прототипом которого (с целым рядом отличий) является один из микрорайонов г. Владивостока, расположенный на юго-западе города между улицами Нижняя Дуброва, Чапаева и Фатянова. Условно присвоим ему рабочее название «Микрорайон № 8 ЮЗ».

### 2.2. Анализ фотопанорамы и результатов топографической съёмки территории объекта электроснабжения

Общее представление о структуре микрорайона и размещении объектов электроснабжения на местности позволяет получить анализ фотопанорамы, результатов топографической съёмки и генерального плана микрорайона МКД. На этой основе строится схематический план расположения объектов электроснабжения, необходимый для выбора места размещения трансформаторных подстанций и прокладки линий электропередач.

В разделе «Предпроектный анализ» приводится общая характеристика территории объекта электроснабжения. Например, для микрорайона МКД эта характеристика содержит следующие сведения.



Территория микрорайона № 8 ЮЗ расположена на Юго-Западе г. Владимира и представляет собой участок подковообразной формы площадью 25,08 га. По территории проложены две воздушных ЛЭП напряжением 110 кВ с электрической подстанции (ПС) «Районная – 220 кВ» транзитом через ПС «Семязино – 110 кВ» на ПС «Западная – 110 кВ». За вычетом коридора ЛЭП площадью 3,19 га расчетная территория микрорайона составляет 21,89 га. Микрорайон характеризуется ярко выраженным рельефом в виде склонов холма, веерообразно понижающихся на юго-восток, юг и юго-запад. Вершина холма с отметкой 163,5 м находится на ул. Совхозной (за пределами микрорайона). Вдоль неё проходит водораздел (ландшафтно-композиционная ось), который акцентирован жилым комплексом «Вереск» переменной этажности (4 – 8 – 12 этажей). Фотопанорама подтверждает, что благодаря окружающей усадебной застройке с господствующими отметками 157 – 159 м и обширному открытому пространству, отведенному под будущий микрорайон, комплекс «Вереск» может рассматриваться как потенциальная *архитектурная доминанта градоформирующего значения*, перекликающаяся в южной панораме города с архитектурно-ландшафтными комплексами исторического ядра г. Владимира (те же абсолютные отметки и те же композиционно-видовые связи с поймой р. Клязьмы, железной дорогой, проектируемой южной магистралью и пр.).

Во всех действующих проектно-планировочных документах подтверждена градоформирующая роль застройки микрорайона № 8 ЮЗ с использованием его территории под массовую многоэтажную жилую застройку. В границах микрорайона на топографической съемке определены самые низкие отметки около 116 м (в тальвеге Мельничного оврага в юго-восточной части) и самые высокие отметки около 156 м (по оси проектируемой магистрали напротив жилого комплекса «Вереск») с максимальным перепадом высот по площадке микрорайона – около 40 метров. Выявлены также обширные неблагоприятные для застройки участки с уклоном более 10 %. Это центральная и юго-западная части микрорайона, а также склоны Мельничного оврага вдоль восточной границы микрорайона. Всю территорию микрорайона пересекает с северо-запада на юго-восток по дугообразной кривой противотанковый ров.

### 2.3. Анализ генерального плана объекта электроснабжения

Основная территория микрорайона, расположенная севернее упомянутой ЛЭП-110, отведена под жилую застройку. Она разделена пешеходными аллеями-лучами на три сектора, всером окружающих центральную жилую группу и общественный центр. Размещение промышленных жилых и обслуживающих зданий подчинено рельефу и перемежается точечными акцентами повышенной этажности. При этом выдерживается в целом ярусный принцип застройки: десять этажей в нижней зоне и 12 – 14 – 20 этажей в верхней зоне, опоясывающей общественный центр. В юго-западной части микрорайона на относительно ровной возвышенной площадке должна быть размещена школа со стадионом. Два детсада рассредоточены в жилых группах на отдельных участках.

Центральная жилая группа и общественный центр микрорайона (рабочее название «Орбита») запроектированы по концентрической модели на господствующих отметках водораздела в виде полукруглого сквера – платформы. В середине сквера размещен трехэтажный досуговый центр и кафе «Орбита», а по периметру – полукольцо двух-поземных гаражей и комплекс одно-двухэтажных объектов общественного обслуживания, пристроенных к торцам 20-этажных жилых зданий. Среди них магазины продовольственных и промышленных товаров, поликлиника с аптекой, отделения связи и Сбербанка, опорный пункт правопорядка, ЖЭО, пункты бытового обслуживания и прачечная. Два примыкающих ступенчатых жилых дома (10 – 15 – 20 этажей) запроектированы вдоль ул. Н. Дуброва. Они обращены к центру 15 – 20-этажными торцевыми блок-секциями и композиционно поддерживают существующую 12-этажную доминанту жилого комплекса «Вереск». В качестве вспомогательного фокуса общественного обслуживания в северо-западной части микрорайона по проекту предусмотрен торговый центр с предлагаемым благоустройством выработанного карьера в виде сквера и автостоянки. Восточная сторона микрорайона решена фронтальной застройкой с учетом выноса существующего канализационного коллектора на бровку Мельничного оврага. На юго-востоке сохранены естественные зеленые насаждения с формированием сквера путем благоустройства склонов оврага и ручья с родником.



## 2.4. Анализ условий присоединения объекта электроснабжения к энергосистеме

При выборе схемы присоединения электрической сети проектируемого микрорайона к энергосистеме следует обеспечить гибкость системы, т. е. её приспособляемость к разнообразным режимам распределения мощности, возникающим в процессе работы. Надо учитывать возможные резкие изменения режима работы электрической сети при внезапных отключениях отдельных элементов системы вследствие аварийного повреждения оборудования, кабелей и т. д. Следует считаться с необходимостью отключения элементов системы для ремонтных работ, испытаний, осмотров и других эксплуатационных надобностей. Необходимо стремиться к тому, чтобы источники внешнего электроснабжения обеспечивали потребность в энергии во все возрастающих размерах в течение длительных промежутков времени без каких-либо коренных изменений как отдельных элементов, так и системы в целом. Проектирование схемы присоединения электрической сети микрорайона к энергосистеме должно выполняться в соответствии с очередностью развития на срок не менее 10 лет и возможностью последующего ее расширения.

При реальном проектировании условия присоединения объекта электроснабжения к энергосистеме изучаются и формулируются на этапе проектного анализа с учетом перспектив развития сети внешнего электроснабжения города, расположения действующих и строящихся электрических подстанций напряжением 110 и 35 кВ, особенностей генерального плана, места расположения, состава и характеристик потребителей электроэнергии. В рассматриваемом примере надежность электроснабжения и отсутствие дефицита мощности на ближайших десяти лет обеспечены вводом в строй в 2013 г. ПС «Семязино – 110 кВ», которая соединена двумя воздушными ЛЭП 110 кВ с ПС «Западная – 110 кВ», расположенной на юго-восточной стороне микрорайона № 8 ЮЗ. До ввода новой подстанции в юго-западном районе г. Владимира ощущался дефицит активной мощности. В современных условиях внешнее электроснабжение микрорайона целесообразно осуществлять по кабельным линиям 6 кВ от ближайшей ПС «Западная – 110 кВ».

Основные электропотребители микрорайона № 8 ЮЗ – жилые дома, объекты сокультабита микрорайонного и общегородского значения; объекты коммунального хозяйства, инженерные сооруже-

Основу организации движения транспорта и пешеходов внутри микрорайона составляет полукольцевой местный проезд, опоясывающий центральную жилую группу и проложенный вдоль горизонтальной. К нему подключены фронтальная застройка, примыкающая к проезду с юга, и дворовые проезды центральной жилой группы, а также въезды в школу, детский сад и спортивно-оздоровительный центр. Второй детский сад с жилой застройкой западной, южной и восточной зон микрорайона обслуживаются проездами с улиц. Принятый по проекту новый жилой фонд микрорайона составит 227,133 тыс. м<sup>2</sup> общей площади, в том числе в первоочередной застройке – 58,026 тыс. м<sup>2</sup> (комплекс «Звезда»). При средней обеспеченности жильем фондом 25 м<sup>2</sup> на человека это позволит расселить в микрорайоне 9,08 тыс. человек (в том числе 2,32 тыс. в первоочередной застройке).

Микрорайонная сеть объектов социально-культурного обслуживания проектировалась с учётом расчетной численности населения, нормативной обеспеченности объектами и их пешеходной доступности. Для учреждений культурно-бытового обслуживания расчет производился согласно действующим СНиП 2.07.01-89. При этом приведенные расчеты отражают величину минимально допустимого уровня (так называемого социального минимума). Потребность в некоторых видах учреждений (магазины, предприятия питания, бытового обслуживания) в условиях рынка иногда превосходит нормативную, и сеть этих учреждений может развиваться до масштабов реального спроса. На территории микрорайона расположено значительное количество учреждений обслуживания. В юго-западной и северо-восточной частях находится по одному детскому саду и школе, которые не испытывают перегрузок. Также есть поликлиника с аптекой.

Наиболее ответственными узлами микрорайона становятся:

- самая верхняя площадка микрорайона напротив существующего жилого комплекса «Вереск», где по проекту предложен комплекс общественного обслуживания «Орбита»;
- перекресток улиц Чапаева и Н. Дуброва, где запроектирован торговый центр.



### 3. РАСЧЁТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МИКРОРАЙОНА МКД

Расчет нагрузок городской сети включает определение нагрузок отдельных потребителей (жилых домов, общественных зданий, коммунально-бытовых предприятий и т. д.) и элементов системы электроснабжения (распределительных линий, трансформаторных подстанций, распределительных пунктов, центров питания и т. д.) [4]. Наиболее полные рекомендации по расчёту нагрузок жилых и общественных зданий представлены в СП31-110-2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий» и РМ-2696 «Инструкция по расчёту электрических нагрузок зданий».

#### 3.1. Анализ состава электрических нагрузок

Расчёту предшествует анализ состава потребителей электроэнергии проектируемой системы электроснабжения. Состав основных потребителей электроэнергии рассматриваемого микрорайона № 8 ЮЗ г. Владимира приведен в табл. 3.1.

Таблица 3.1

#### Потребители электроэнергии

№	Наименование	Кол-во квартир, мест; площадь	Категория надёжности
Очередь строительства «ЗВЕЗДА»			
1	Жилой дом № 1	90	III
2	Жилой дом № 2	150	III
3	Жилой дом № 3	155	III
4	Жилой дом № 4	150	III
5	Жилой дом № 5	168	III
6	Жилой дом № 6	231	III
7	Жилой дом № 7	215	III
8	Торговый центр № 35	400	III
9	Подземный гараж № 50	120	III
Очередь строительства «ОРБИТА»			
1	Жилой дом № 14	119	III
2	Жилой дом № 15	200	III
3	Жилой дом № 16	162	III

ния. Расчет электрических нагрузок следует выполнять согласно РД34.20.185-94 «Инструкция по проектированию городских электрических сетей», СП31-110-2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий» с использованием типовых проектов и проектов-аналогов общественных зданий и сооружений. Общая нагрузка электропотребителей на шинах ТП6/0,4 кВ в границах микрорайона составит около 9230 кВт. Нагрузка инженерных сооружений на шинах ТП6/0,4 кВ составит ориентировочно 800 кВт, будет уточнена при конкретном проектировании объектов.

По надежности электроснабжения основные потребители относятся к 2 и 3 категориям, электроприемники противопожарных устройств, лифты зданий – к 1 категории (в соответствии с ПУЭ, СП31-110-2003, РД34.20.18). Для надежного электроснабжения требуется восемь трансформаторных подстанций (ТП). Проектируемые ПС должны быть двухтрансформаторными с четырьмя кабельными вводами мощностью до  $2 \times 1000$  кВА [3]. Схему сетей 0,4 кВ с учетом планировки микрорайона целесообразно выбрать радиальной. Расположение ТП6/0,4 кВ и конфигурация сетей 0,4 и 6 кВ определены в увязке с архитектурно-планировочными решениями и размещением всех других инженерных коммуникаций. Расчеты нагрузок ТП6/0,4 кВ и выбор силовых трансформаторов должны быть представлены в соответствующих разделах пояснительной записки.

При выполнении учебного проектирования условия присоединения к энергосистеме излагают в задании. Для выбранного в качестве примера микрорайона № 8 ЮЗ условия присоединения к энергосистеме приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

#### Условия присоединения к энергосистеме

Источник питания	Равные секции шин ПС «Западная – 110»
Напряжение источника питания	6 кВ
Питающие линии	Кабельные линии 6 кВ
Расстояние до источника питания	1,46 км
Мощность к.з. на шинах источника питания	3500 МВА
Предельно допустимое потребление реактивной мощности в часы максимальных нагрузок энергосистемы	$\lg \varphi = 0,38$
Удельное сопротивление грунта	$\rho = 109 \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Общая нагрузка на шинах источника питания	10000 кВт
Категории надежности электроснабжения	1-, 2-, 3-я

Окончание табл. 3.1

№	Наименование	Кол-во квартир, мест; площадь	Категория надёжности
Очередь строительства «ОРЕНТА»			
4	Жилой дом № 17	162	П/Л
5	Жилой дом № 18	200	П/Л
6	Жилой дом № 19	119	П/Л
7	Продуктовый магазин № 40	250	П/Л
8	Прачечная № 43	570	П
9	Промтоварный магазин № 49	250	П/Л
10	Досутовый центр, кафе № 37	100	П/Л
11	Подземный гараж № 51	40	Ш
12	Подземный гараж № 52	80	Ш
1-я очередь строительства			
1	Жилой дом № 8	75	П/Л
2	Жилой дом № 9	199	П/Л
3	Жилой дом № 10	115	П/Л
4	Жилой дом № 11	211	П/Л
5	Спортзал № 48	500	П/Л
2-я очередь строительства			
1	Жилой дом № 13	75	П/Л
2	Жилой дом № 20	79	П/Л
3	Жилой дом № 21	199	П/Л
4	Жилой дом № 22	216	П/Л
5	Жилой дом № 28	199	П/Л
6	Детский клуб № 34	46	П/Л
7	Детский сад № 33	120	П/Л
3-я очередь строительства			
1	Жилой дом № 23	75	П/Л
2	Жилой дом № 24	79	П/Л
3	Жилой дом № 25	75	П/Л
4	Жилой дом № 26	208	П/Л
5	Жилой дом № 27	75	П/Л
6	Продуктовый магазин № 38	200	П/Л
7	Школа № 31	1200	П/Л
8	Подземный гараж № 54	80	Ш
9	Гараж № 55	150	Ш

В соответствии с методическими рекомендациями РМ-2696 в табл. 3.2 приведён перечень возможных электроприёмников квартир

Таблица 3.2

Перечень электрических приёмников квартир

№	Наименование	Мощность
1	Освещение	25 – 30 Вт/м <sup>2</sup>
2	Рабочая сеть (телеаппаратура, плиты, холодильники, пылесосы)	25 – 30 Вт/м <sup>2</sup>
3	Электрочайник	8 – 10,5 кВт
4	Стиральная машина	2,2 кВт
5	Пылесос	2,2 кВт
6	Самовар	4 – 12 кВт
7	Духовка с подогревом	2,5 кВт
8	Душевая кабина с подогревом	3 кВт
9	Электроразветвители аккумуляторные	1,5 – 2 кВт
10	Вентиляторы проточные	5 – 18 кВт
11	Кухонные плиты	1,5 кВт
12	Кухонные бытовые электроприборы	4 – 5 кВт
13	Прочие приборы	60 – 80 Вт/м <sup>2</sup>

### 3.2. Расчёт электрических нагрузок

Актуальная мощность нагрузки многоквартирного дома определяется по формуле [4]:

$$P = P_{уд}n + 0,9P_C, \quad (3.1)$$

где  $P_{уд}$  – удельная мощность квартир, зависящая от типа кухонных плит и числа квартир  $n$  в доме;  $P_C$  – мощность силовых электроприёмников дома.

В свою очередь

$$P_C = k_{C1} \sum P_{дно} + k_{C2} \sum P_{дно}, \quad (3.2)$$

где  $k_{C1}, k_{C2}$  – соответственно коэффициенты спроса установок лифтов и прочих установок с электродвигателями (вентиляторов, насосов водопровода и др.);  $\sum P$  – суммы номинальных мощностей электроустановок лифтов и прочих установок с электродвигателями (по паспортным данным).



Нагрузка питающих линий и вводов при совместном питании силовых и осветительных нагрузок определяется по формуле (3.3)

$$P = P_{расч} K, \quad (3.3)$$

где  $K$  – коэффициент участка в максимуме, кВт.

Полная мощность нагрузки МКД и питающей его линии определяется по формуле

$$S = P / \cos \varphi, \quad (3.4)$$

где  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности.

В качестве примера приведем расчёт нагрузки 90-квартирного дома № 1 в комплексе «ЗВЕЗДА» с электрическими плитами, имеющими номинальную мощность 8,8 кВт. Для этого дома по формуле (3.1) удельная нагрузка в соответствии с СП31-110-2003 принимается равной 1,5 кВт. Таким образом, расчётная мощность составляет, кВт:

$$P_{расч} = 90 \cdot 1,5 + 0,9 \cdot 16,7 = 150,03$$

В соответствии с СП31-110-2003 коэффициент участия в максимуме для данного вида потребителей равен 1, а коэффициент мощности для квартир с электрическими плитами – 0,98. С учетом этого нагрузка питающих линий и вводов, рассчитанная по формуле (3.3), составляет 150,03 кВт, а полная мощность, рассчитанная по формуле (3.4), – 153,09 кВт. Расчёты для других МКД выполняются аналогично, их результаты сведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Результаты расчёта нагрузок МКД

№	Наименование	Кол-во квартир	$P_{уд}$ , кВт	$P_{расч}$ , кВт	$K$	$P$ , кВт	$\cos \varphi$	$S$ , кВА
Очередь строительства ЗВЕЗДА								
1	Жилой дом № 1	90	1,5	135,0	1	150,0	0,98	153,1
2	Жилой дом № 2	150	1,43	214,5	1	214,5	0,98	218,8
3	Жилой дом № 3	155	1,42	220,5	1	220,5	0,98	225,1
4	Жилой дом № 4	150	1,43	214,5	1	214,5	0,98	218,8
5	Жилой дом № 5	168	1,41	236,0	1	236,0	0,98	240,8
6	Жилой дом № 6	231	1,34	311,2	1	311,2	0,98	317,6
7	Жилой дом № 7	215	0,25	291,2	1	291,2	0,98	297,2
8	Торговый центр № 35	400	0,50	100,0	1	100,0	0,85	117,6

Продолжение табл. 3.3

№	Наименование	Кол-во квартир	$P_{уд}$ , кВт	$P_{расч}$ , кВт	$K$	$P$ , кВт	$\cos \varphi$	$S$ , кВА
Очередь строительства ЗВЕЗДА								
9	Торговый центр № 50	120	1,50	60,0	1	60,0	0,85	70,6
Очередь строительства ОРБИГА								
1	Жилой дом № 14	119	1,47	175,3	1	175,3	0,98	178,9
2	Жилой дом № 15	200	1,36	272,2	1	272,2	0,98	277,8
3	Жилой дом № 16	162	1,41	228,9	1	228,9	0,98	233,6
4	Жилой дом № 17	162	1,41	228,9	1	228,9	0,98	233,6
5	Жилой дом № 18	200	1,36	272,2	1	272,2	0,98	277,8
6	Жилой дом № 19	119	1,47	175,3	1	175,3	0,98	178,9
7	Торговый центр № 40	250	0,23	57,5	1	57,5	0,85	67,6
8	Торговый центр № 43	570	0,07	42,7	1	42,7	0,75	57,0
9	Торговый центр № 49	250	0,14	35,0	1	35,0	0,85	41,2
10	Торговый центр № 51	100	0,46	46,0	1	46,0	0,90	51,1
11	Торговый центр № 51	40	0,50	20,0	1	20,0	0,85	23,5
12	Торговый центр № 52	80	0,50	40,0	1	40,0	0,85	47,1
1-я очередь строительства								
1	Жилой дом № 8	75	1,68	126,5	1	126,5625	0,98	129,1
2	Жилой дом № 9	199	1,36	271,2	1	271,2	0,98	276,7
3	Жилой дом № 10	115	1,47	170,1	1	170,1	0,98	173,5
4	Жилой дом № 11	211	1,35	286,2	1	286,2	0,98	292,0
5	Жилой дом № 48	500	0,06	30,0	1	30,0	0,85	35,3
2-я очередь строительства								
1	Жилой дом № 13	75	1,68	126,5	1	126,6	0,98	129,1
2	Жилой дом № 20	79	1,65	130,9	1	130,9	0,98	133,6
3	Жилой дом № 21	199	1,36	271,2	1	271,2	0,98	276,7
4	Жилой дом № 22	216	1,35	292,5	1	292,5	0,98	298,5



Окончание табл. 3.3

№	Наименование	Кол-во квартир	$P_{уд}$ кВт	$P_{расч}$ кВт	$K$	$P$ , кВт	cos $\Phi$	$S$ , кВА
2-я очередь строительства								
5	Жилой дом № 28	199	1,36	271,2	1	271,2	0,98	276,7
6	Детский клуб № 34	46	0,46	21,2	1	21,2	0,90	23,5
7	Детский сад № 33	120	0,46	55,2	1	55,2	0,98	56,3
3-я очередь строительства								
1	Жилой дом № 23	75	1,68	126,5	1	126,6	0,98	129,1
2	Жилой дом № 24	79	1,65	130,9	1	130,9	0,98	133,6
3	Жилой дом № 25	75	1,68	126,5	1	126,5	0,98	129,1
4	Жилой дом № 26	208	1,35	282,3	1	282,3	0,98	288,1
5	Жилой дом № 27	75	1,68	126,5	1	126,6	0,98	129,1
6	Продуктовый магазин № 38	200	0,25	50,0	1	50,0	0,85	58,8
7	Школа № 31	1200	0,25	300,0	1	300,0	0,95	315,7
8	Подземный гараж № 54	80	0,50	40,0	1	40,0	0,85	47,1
9	Гараж № 55	150	0,50	75,0	1	75,0	0,85	88,2

Годовой расход электроэнергии вычисляется по формуле

$$W = PT_{\max}$$

где  $T_{\max}$  – годовое число часов использования максимума нагрузки. Результаты годового расхода электроэнергии, рассчитанные по этой формуле, сведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4  
Годовой расход электроэнергии (без учёта внешнего освещения)

№	Наименование	$P$ , кВт	$T_{\max}$ , ч	$W$ , МВт·ч
1	Жилые дома	5730	3400	19482
2	Магазины, торговые центры	242	2500	606
3	Гаражи	235	2300	540
4	Школа, детский сад	355	2400	852
5	Досуговые центры	68	2000	136
Итого				21616

Данные в соответствии с РМ-2696 и СП31-110-2003 определяются методами конкретных строений микрорайона.

Расчетную нагрузку линий питания электроприемников квартир следует определять по формуле

$$P_{кв} = P_{кв.уд} (n_1 k_1 + \dots + n_n k_n) \quad (3.5)$$

где  $P_{кв.уд}$  – удельная нагрузка электроприемников квартир, определенная в РМ-2696 в зависимости от количества квартир, присоединенных к линии;  $n$  – количество квартир, имеющих одинаковую общую площадь;

$k_1, k_2, \dots, k_n$  – повышающие коэффициенты для квартир площадью более 60 м<sup>2</sup>, определяются в соответствии с РМ-2696.

Для выбора приборов учета и аппаратов защиты на вводе в квартиру следует принимать следующие значения расчетных нагрузок для домов с газовыми плитами – 5,5 – 7,0 кВт на квартиру; для домов с электроплитами – 8,8 – 11 кВт на квартиру. Меньшие значения принимаются для жилых домов с малогабаритными квартирами соответствующего назначения. При выборе аппаратов защиты на линии питания электроплиты рекомендуется принимать значение расчетной нагрузки равное 7 кВт (32 А).

Удельные расчетные нагрузки квартир учитывают нагрузку освещения помещений. Для выбора приборов учета и аппаратов защиты помещений потребителей суммарную расчетную нагрузку рекомендуется определять в соответствии с РМ-2696 и СП 31-110-2003 по формуле

$$P_{р.осв} = (P_{р.лк} + P_{р.лх} + P_{р.к} + P_{р.в}) + 0,5 P_{р.пр} \quad (3.6)$$

где  $P_{р.лк}$  – расчетная нагрузка осветительных приборов;  $P_{р.лх}$  – расчетная нагрузка осветительных приборов в холлах, лифтовых холлах, коридорах, вестибюлях;  $P_{р.к}$  – расчетная нагрузка осветительных приборов в камерах, чердаках, подвалах, колодезных и т. п.

Расчетную нагрузку групповых сетей освещения общеобщественных помещений следует определять по светотехническому расчету с коэффициентом спроса, равным единице.



№	Наименование	I, А	P, кВт	cos φ	S, кВА
Очередь строительства «ЗВЕЗДА»					
1	Жилой дом № 7	505,8	350,0	0,98	357,1
2	Торговый центр № 35	144,3	100,0	0,85	117,6
3	Полуприцепный гараж № 50	86,6	60,0	0,85	70,6
Очередь строительства «ОРИГА»					
1	Жилой дом № 14	253,0	175,3	0,98	178,9
2	Жилой дом № 15	393,0	272,2	0,98	277,8
3	Жилой дом № 16	330,4	228,9	0,98	233,6
4	Жилой дом № 17	330,4	228,9	0,98	233,6
5	Жилой дом № 18	393,0	272,2	0,98	277,8
6	Жилой дом № 19	253,0	175,3	0,98	178,9
7	Торговый магазин № 40	82,9	57,5	0,85	67,6
8	Полуприцеп № 43	61,7	42,7	0,75	57,0
9	Технич.варный магазин № 49	50,5	35,0	0,85	41,2
10	Детский центр, кафе № 37	66,3	46,0	0,9	51,1
11	Полуприцепный гараж № 51	28,8	20,0	0,85	23,5
12	Трёхэтажный гараж № 52	57,7	40,0	0,85	47,0
1-я очередь строительства					
1	Жилой дом № 8	182,6	126,5	0,98	129,1
2	Жилой дом № 9	391,4	271,2	0,98	276,7
3	Жилой дом № 10	245,4	170,1	0,98	173,5
4	Жилой дом № 11	413,1	286,2	0,98	292,0
5	Склад № 48	43,3	30,0	0,85	35,3
2-я очередь строительства					
1	Жилой дом № 13	182,6	126,5	0,98	129,1
2	Жилой дом № 20	188,9	130,9	0,98	133,6
3	Жилой дом № 21	391,4	271,2	0,98	276,7
4	Жилой дом № 22	422,1	292,5	0,98	298,4
5	Жилой дом № 28	391,4	271,2	0,98	276,7
6	Детский клуб № 34	30,5	21,2	0,9	23,5

Удельные расчетные нагрузки в РМ-2696 приведены для квартир общей площадью 60 м<sup>2</sup>. При общей площади квартир более 60 м<sup>2</sup> удельную нагрузку следует увеличивать на 1 % на каждый квадратный метр дополнительной площади в домах с плитами на природном газе и на 0,5 % в домах с электрическими плитами. В обоих случаях увеличение удельной нагрузки не должно превышать 25 % значений, приведенных в РМ-2696. Удельные расчетные нагрузки не учитывают общедомовую силовую нагрузку, а также осветительную и силовую нагрузки встроенных (пристроенных) помещений.

Для определения значений утреннего или дневного максимума нагрузок необходимо применить следующие понижающие коэффициенты относительно вечернего максимума: 0,7 – для домов с электрическими плитами и 0,5 – для домов с плитами на газе.

Приведём пример расчёта нагрузки жилого дома № 7, имеющего 215 квартир площадью 60 ... 100 м<sup>2</sup>.

В соответствии с РМ-2696 удельная нагрузка составляет  $P_{уд} = 1,3546$  кВт/кв. Тогда после подстановки в (3.3) значений  $n = 215$  и  $k = 1,2$  активная нагрузка по дому составит  $P = 1,3546 \cdot 215 \cdot 1,2 = 349,48$  кВт.

Ей соответствует расчётное значение силы тока,  $A: I \approx \frac{350}{\sqrt{3} \cdot 0,4} \approx 505,8$ .

Результаты расчётов по другим домам сведены в табл. 3.5.

В соответствии с [2] мероприятия по компенсации реактивной мощности для МКД микрорайона № 8 ЮЗ не требуются.

Таблица 3.5

Расчёт нагрузок по потребителям

№	Наименование	I, А	P, кВт	cos φ	S, кВА
Очередь строительства «ЗВЕЗДА»					
1	Жилой дом № 1	216,5	150,0	0,98	153,06
2	Жилой дом № 2	309,6	214,5	0,98	218,8
3	Жилой дом № 3	318,3	220,5	0,98	225,0
4	Жилой дом № 4	309,6	214,5	0,98	218,8
5	Жилой дом № 5	340,6	236,0	0,98	240,8
6	Жилой дом № 6	449,2	311,2	0,98	317,6



Окончание табл. 3.5

№	Наименование	Г, А	P, кВт	cos φ	S, кВА
2-я очередь строительства					
7	Детский сад № 33	79,6	55,2	0,98	56,3
3-я очередь строительства					
1	Жилой дом № 23	182,6	126,5	0,98	129,1
2	Жилой дом № 24	188,9	130,9	0,98	133,6
3	Жилой дом № 25	182,6	126,5	0,98	129,1
4	Жилой дом № 26	407,5	282,3	0,98	288,1
5	Жилой дом № 27	182,6	126,5	0,98	129,1
6	Продуктовый магазин № 38	72,1	50,0	0,85	58,8
7	Школа № 31	433,0	300,0	0,95	315,7
8	Подземный гараж № 54	57,7	40,0	0,85	47,0
9	Гараж № 55	108,2	75,0	0,85	88,2

#### 4. ВЫБОР НОМИНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЙ, КОЛИЧЕСТВА И МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

При поиске рациональных путей построения системы электропитания городского микрорайона МКД определяются общие принципы ее выполнения, номинальные значения напряжений, конфигурация сетей, размещение центров питания (ПС и ТП), очередность сооружения отдельных элементов системы и особенности схемы электропитания (т. е. электрические связи между всеми элементами системы). Система электропитания микрорайона должна базироваться на корректно выбранных значениях электрических параметров элементов системы и обоснованном количестве ступеней трансформации энергии.

##### 4.1. Выбор номинальных значений напряжений

Задача выбора напряжения в системе электропитания довольно сложна, так как её решение требует учёта многих особенностей рассматриваемого района электропитания: характеристик источников

и их размещения по территории района, плотности нагрузок, конструктивных особенностей отдельных элементов системы электропитания, показателей смежных ступеней системы и т. д. На основе расчёта оптимального радиуса распределения при том или ином уровне напряжений требуется провести анализ целесообразности сооружения нескольких ступеней напряжения.

С выбором напряжения непосредственно связаны вопросы оптимальных элементов и параметров отдельных элементов электропитания. Например, оптимальное число подстанций в системе зависит от соотношения напряжений электропитающей и распределительной сетей, а также от конструктивного выполнения. В результате выбор напряжения, по существу, связан с решением общей проблемы рационального построения системы электропитания. Вместе с тем зачастую требуется для конкретных систем определяться однозначно, так как существует напряжение, при котором существуют источники питания.

Для рассматриваемого микрорайона расчёт экономически целесообразных значений высокого напряжения (на стороне ВН) для всех ТП проводим по формуле Залеского [5]  $U = \sqrt{P(100 + 15\sqrt{L})}$ ,

где  $P$  – мощность, передаваемая по сети, МВт;  $L$  – длина трассы от ТП до ступеней ПС «Западная – 10 кВ», км.

Получены следующие результаты, кВ:

$$\begin{aligned} \text{ТП № 57: } U &= \sqrt{0,717 (100 + 15\sqrt{1})} = 5,02; \\ \text{ТП № 58: } U &= \sqrt{0,769 (100 + 15\sqrt{1,4})} = 5,1; \\ \text{ТП № 59: } U &= \sqrt{0,727 (100 + 15\sqrt{1,2})} = 5,03; \\ \text{ТП № 60: } U &= \sqrt{0,916 (100 + 15\sqrt{1,6})} = 5,47; \\ \text{ТП № 61: } U &= \sqrt{1,021 (100 + 15\sqrt{1,8})} = 5,6; \\ \text{ТП № 62: } U &= \sqrt{0,958 (100 + 15\sqrt{2,1})} = 5,54; \\ \text{ТП № 63: } U &= \sqrt{0,815 (100 + 15\sqrt{1,4})} = 5,15; \\ \text{ТП № 64: } U &= \sqrt{0,692 (100 + 15\sqrt{1,3})} = 5,08. \end{aligned}$$



Для питания строящихся подстанций принимаем стандартное значение напряжения 6 кВ. Применение более высокого напряжения приведёт к неоправданному удорожанию оборудования.

За низшую ступень напряжения принимаем 380/220 В как общепринятое значение для питания бытовой и осветительной нагрузки.

#### 4.2. Выбор количества и мощности трансформаторов

В реальной системе городского электроснабжения ее элементы представляют собой одно целое, поэтому выбор рационального построения системы, в том числе выбор числа и мощности трансформаторов, включает в себя совокупность вопросов, в процессе рассмотрения которых должны быть найдены требуемые соотношения между отдельными элементами системы не только на современный период, но и с учётом перспективы развития. Основной особенностью системы электроснабжения, рассматриваемого в данном учебном пособии микрорайона № 8 ЮЗ на ближайшие пять лет является существенный устойчивый рост потребляемой электроэнергии в результате возведения новых МКД и объектов культурно-социального назначения. Надежность электроснабжения, обеспечиваемая электрической сетью микрорайона, должна находиться в пределах, регламентируемых ПУЭ, где устанавливается объем резервных элементов системы для питания потребителей города на полную мощность при различных режимах ее работы. Выбор расчетных режимов производится согласно требованиям соответствующих разделов ПУЭ, учитывающих плановые и аварийные отключения отдельных элементов системы, возможность совпадения этих отключений и т. д. Система электроснабжения микрорайона МКД должна обеспечивать питание каждого узла потребителей с общей нагрузкой выше 10 МВА от двух независимых источников с автоматическими вводом резервных элементов и переключением питания с одного источника на другой.

При выборе числа и мощности трансформаторов учитываются следующие факторы:

- категории надёжности потребителей;
- потребность в компенсации реактивной мощности низковольтных нагрузок (до 1 кВ);
- перегрузочная способность трансформаторов в нормальном и аварийном режимах;

- широта стандартных мощностей трансформаторов;
- режимные режимы работы трансформаторов в зависимости от типовых нагрузок.

Удельная мощность трансформаторов существенно влияет на затраты на распределительные устройства напряжением 6 кВ и внутриквартальные и районные сети. Так, при уменьшении числа ТП (как следствие численности или единичной номинальной мощности) уменьшается число трансформаторных устройств (РУ), суммарная длина линий в сетях электроэнергетики и напряжения в сетях 6 кВ, но при этом возрастает стоимость сетей напряжением 0,4 кВ и потери в них. Увеличение числа ТП, наоборот, снижает затраты на низковольтные сети, но увеличивает число вводов РУ 6 кВ и затраты на сети напряжением 6 кВ. Также важным заданием выбора количества и мощности трансформаторов является задача обеспечения оптимальной. При правильном её решении можно добиться минимума приведенных затрат при обеспечении заданной степени надежности электроснабжения. Такой подход следует рассматривать как окончательный.

В соответствии с [2] количество трансформаторов на ТП выбирается с учётом категории надёжности электроснабжения потребителей. Если трансформатор устанавливается при наличии приемников электроэнергии допускающих перерыв электроснабжения на время доставки необходимого резерва или при резервировании, осуществляемом по линии электропередачи от соседних ТП. Это допустимо для потребителей I и II категорий, а также при наличии в сети 380 ... 660 В необходимого количества (до 20 %) потребителей I категории. Два трансформатора устанавливаются в следующих случаях:

- при наличии потребителей I категории и наличии потребителей любой группы;
- наличие сосредоточенной нагрузки или объектов коммунального назначения (компрессорные и насосные станции);
- наличие потребителей с высокой удельной плотностью нагрузок с  $S > 0,5 \dots 0,7 \text{ кВА/м}^2$ ;

- неравномерный суточный или годовой график нагрузок, который позволяет изменить присоединённую мощность трансформаторов, используя их в более рациональных режимах работы.

Для двухтрансформаторных подстанций также необходим складской резерв для быстрого восстановления нормального питания по-

требителей в случае выхода из строя одного трансформатора на длительный срок. Оставшийся в работе трансформатор должен обеспечивать электроснабжение всех потребителей I категории на время замены поврежденного трансформатора.

Для установки трёх трансформаторов необходимо индивидуальное обоснование в каждом случае.

В соответствии с ГОСТ 14209 – 85 и 11677 – 75 шкала номинальных мощностей силовых трансформаторов имеет следующие значения, кВА, МВА: ... 100; 160; 250; 400; 630; 1000; 1600; 2500...

В настоящее время значительная часть ТП выполняется комплектными (КТП) и во всех случаях, когда этому не препятствуют условия окружающей среды и обслуживания, устанавливаются открыто.

Ориентировочный выбор числа и мощности трансформаторов производится по удельной плотности нагрузки [6, 7]:

$$s_n = S_p/F,$$

где  $S_p$  – расчётная нагрузка, кВА;  $F$  – площадь, м<sup>2</sup>.

Для выбора можно использовать табл. 4.1.

Таблица 4.1  
Ориентировочный выбор мощности трансформаторов

Напряжение нагрузки U, В	Уд. мощность, кВА/м <sup>2</sup>	Полная мощность трансформатора S <sub>н</sub> , кВА
380	менее 0,2	менее 1000
380	0,2 ... 0,3	1000 ... 1600
380	более 0,3	1600 ... 2500

Уточнить мощность трансформаторов можно исходя из их рациональной загрузки в нормальном режиме и с учетом минимально необходимого резервирования в послеаварийном режиме. При этом номинальная мощность трансформаторов S<sub>ном.т</sub> определяется по средней нагрузке S<sub>ср.т</sub> за максимально загруженный период

$$S_{ном.т} = S_{ср.т} / (N \cdot K_3),$$

где  $N$  – количество трансформаторов;  $K_3$  – коэффициент загрузки. Оптимальный коэффициент загрузки трансформаторов определяется с учётом категории надежности потребителей электроэнергии, количества трансформаторов и способа резервирования по табл. 4.2 [7].

Таблица 4.2  
Значения коэффициентов загрузки трансформаторов

Условие	Значение K <sub>з</sub>
Для установки I категории для двухтрансформаторных ПС	0,65 ... 0,7
Для установки II категории для двухтрансформаторных ПС для шестого резервирования трансформаторов на низшем уровне	0,7 ... 0,8
Для установки II категории при наличии централизованного аварийного резерва для III категории	0,9 ... 0,95

В первом двух случаях значения коэффициентов загрузки трансформаторов определены из условия взаимного резервирования трансформатора в аварийном режиме с учетом допустимой перегрузки установкой в работе трансформатора.

Полученные в установке силовые трансформаторы должны быть проверены на допустимые систематические перегрузки. На двухтрансформаторных подстанциях дополнительно проверяется выполнение условия допустимой перегрузки трансформаторов в аварийном режиме для I категории.

Результаты расчета и проверок значений S<sub>ном.т</sub> сведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3  
Выбор трансформаторов

Категория надежности	Целевое значение	S <sub>р.т</sub> , кВА (сумма)	K <sub>з</sub>	S <sub>ном.т.расч.</sub> , кВА	S <sub>ном.т.</sub> , кВА	N	Выполнение условия перегрузки
I категория	ТП № 57	742,1	0,7	530,0	400	2	1,4 · 400 ≥ 530,0714
	Класс доп. № 7						
	Класс доп. № 8						
II категория	ТП № 58	799,2	0,7	570,8	630	2	1,4 · 630 ≥ 570,8371
	Класс доп. № 14						
	Класс доп. № 15						
	Класс доп. № 16						
	Двухтрансформаторная категория № 49						
Двухтрансформаторная категория № 40							



Окончание табл. 4.3

Категория надёжности	Наименование	$S_{\text{ср}}$ кВА (сумма)	$K_3$	$S_{\text{выб.расч}}$ кВА	$S_{\text{ном.ст}}$ кВА	$N$	Выполнение условия перегрузки
I/II/III	ТП № 59: Жилой дом № 9 Жилой дом № 10 Жилой дом № 11	742,3	0,7	530,2	400	2	$1,4 \cdot 400 \geq 530,2143$
	ТП № 60: Жилой дом № 13 Жилой дом № 17 Жилой дом № 18 Жилой дом № 19 Спортзал № 48 Прачечная № 43 Подземный гараж № 52	958,9	0,7	684,9	630	2	$1,4 \cdot 630 \geq 684,9286$
	ТП № 61: Жилой дом № 20 Жилой дом № 21 Жилой дом № 22 Жилой дом № 28 Детский сад № 33	1041,9	0,7	744,2	630	2	$1,4 \cdot 630 \geq 744,2143$
I/II/III	ТП № 62: Жилой дом № 23 Жилой дом № 24 Жилой дом № 25 Жилой дом № 26 Жилой дом № 27 Магазин № 38 Подземный гараж № 54 Гараж № 55	1003,3	0,7	716,6	630	2	$1,4 \cdot 630 \geq 716,6429$
	ТП № 63: Жилой дом № 1 Жилой дом № 2 Жилой дом № 4 Жилой дом № 5	831,6	0,7	594,0	630	2	$1,4 \cdot 630 \geq 594$
	ТП № 64: Жилой дом № 3 Жилой дом № 6 Торговый центр № 35 Полуподземный гараж № 50	730,9	0,7	522,1	400	2	$1,4 \cdot 400 \geq 522,0714$

Для установки на ТП микрорайона целесообразно выбрать современные трансформаторы ТМГ (рис. 4.1) мощностью от 16 до 1600 кВА, которые изготавливаются ОАО «Минский электротехнический завод им. В. И. Ковалева». Силовые масляные трансформаторы ТМГ с герметичным гофрированным баком отличаются стабильной работой и высокой мощностью. В табл. 4.4 приведены марки трансформаторов выбранной мощности.

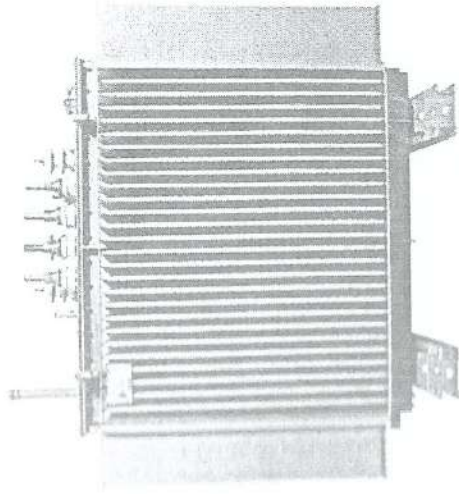


Рис. 4.1. Трансформатор ТМГ-160/10-У1

Таблица 4.4

Марки и номинальные параметры трансформаторов

Тип	$S_{\text{ном}}$ кВА	$U$ обмотки, кВ		Потери, кВт		$U_{\text{к}}$ %	$I_{\text{к}}$ %
		ВН	НН	$P_z$	$P_k$		
ТМГ-400	400	6	0,4	0,83	5,4	4,5	2,9
ТМГ-630	630	6	0,4	1,24	7,6	5,5	1,4

В соответствии с СП31-110-2003 мероприятий по компенсации реактивной мощности для объектов рассматриваемого микрорайона не требуется.





применены изоляция между жилами из силанольношпигного полиэтилена и поясная изоляция из ПВХ пластика, броня выполнена из двух стальных оцинкованных лент (рис. 5.2).

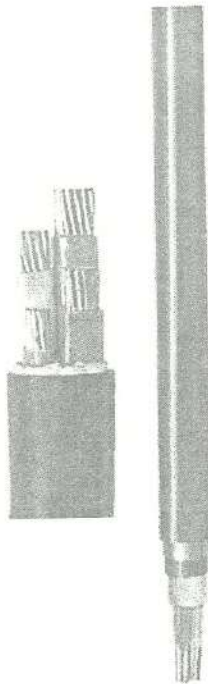


Рис. 5.2. Внешний вид кабеля ПвБбШв

Кабели выбранных марок предназначены для прокладки в траншеях при высокой коррозионной активности грунтов и грунтовых вод. Предварительный выбор сечений жил кабелей в соответствии с ПУЭ осуществляется по допустимому нагреву. Для этого определяются следующие параметры:

– расчётный ток в линии

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{нагр}}}{n\sqrt{3}U_{\text{ном}}} \quad (4.5)$$

где  $n$  – количество КЛ, по которым осуществляется электрообеспечение объекта с полной мощностью  $S_{\text{нагр}}$  при номинальном напряжении  $U_{\text{ном}}$ ;

– ток в линии при аварийном режиме

$$I_A = \frac{S_{\text{нагр}}}{\sqrt{3}(n-1)U_{\text{ном}}} \quad (4.6)$$

– длительно допустимая токовая нагрузка

$$I_{\text{доп}} = \frac{I_A}{k_{\text{пер}}k_{\text{стк}}k} \quad (4.7)$$

$k_{\text{ст}} = 0,92$  – коэффициент снижения;

$k_{\text{пер}} = 1,15$  – коэффициент перегрузки для ПВХ кабелей в течение 6 ч;

$k$  – коэффициент, зависящий от количества работающих кабелей, лежащих рядами в земле.

В качестве примера проведем расчёт по (4.5 – 4.7) для КЛ 6 кВ, питающей ТП № 57, А:

$$\frac{1,15}{1,15} = 1,15$$

$$\frac{1,15}{1,15} = 1,15$$

$$\frac{1,15}{1,15} = 1,15$$

Для ПвБбШв выберем кабель АПвБП-3 × 16 с площадью поперечного сечения жил 16 мм<sup>2</sup>.

Результаты расчётов для других КЛ представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Выбор кабельных линий

№	Участок	$S_{\text{нагр}}$ , кВА	$n$	Гр. А	$I_A$ , А	$I_{\text{доп}}$ , А	Марка кабеля
1	Линия № 1	42,11	2	35,7	71,5	81,25	АПвБП-3 × 25
2	Линия № 2	36,5	2	191,5	382,9	440,5	ПвБбШв-4 × 185
3	Линия № 3	129,1	2	93,3	186,6	214,7	ПвБбШв-4 × 50
4	Линия № 4	27,0	2	195,1	390,2	448,8	ПвБбШв-4 × 185
5	Линия № 5	79,15	2	38,5	77,0	88,6	АПвБП-3 × 25
6	Линия № 6	178,9	2	129,3	258,5	297,4	ПвБбШв-4 × 95
7	Линия № 7	209,86	2	195,0	390,0	448,5	ПвБбШв-4 × 185
8	Линия № 8	233,6	2	168,8	337,6	388,3	ПвБбШв-4 × 150
9	Линия № 9	41,2	1	59,5	59,5	68,4	ПвБбШв-4 × 10
10	Линия № 10	67,6	1	97,8	97,8	112,4	ПвБбШв-4 × 25
11	Линия № 11	42,3	2	35,8	71,5	82,3	АПвБП-3 × 25
12	Линия № 12	267,2	2	193,1	386,1	444,1	ПвБбШв-4 × 185
13	Линия № 13	173,6	2	125,4	250,8	288,5	ПвБбШв-4 × 95
14	Линия № 14	251,2	2	181,5	363,1	417,6	ПвБбШв-4 × 150
15	Линия № 15	938,9	2	46,2	92,4	106,3	АПвБП-3 × 35
16	Линия № 16	129,1	2	93,3	186,6	214,7	ПвБбШв-4 × 50
17	Линия № 17	233,6	2	168,8	337,6	388,3	ПвБбШв-4 × 150
18	Линия № 18	209,9	2	195,0	390,1	448,7	ПвБбШв-4 × 185

Окончание табл. 5.1

№	Участок	Сварь, кВА	n	I <sub>p</sub> , А	I <sub>н</sub> , А	I <sub>свн</sub> , А	Марка кабеля
W18	ТП № 60 – № 19	178,9	2	129,3	258,5	297,4	ПвБбШв-4 × 95
W19	ТП № 60 – № 48	35,3	2	25,5	51,0	58,7	ПвБбШв-4 × 10
W20	ТП № 60 – № 43	57	1	82,4	82,4	94,7	ПвБбШв-4 × 16
W21	ТП № 60 – № 52	47,1	2	34,0	68,0	78,2	ПвБбШв-4 × 10
W22	Питающая линия ТП № 61 (6 кВ)	1041,9	2	50,2	100,4	115,5	АПвБП-3 × 35
W23	ТП № 61 – № 20	133,6	2	96,5	193,1	222,1	ПвБбШв-4 × 70
W24	ТП № 61 – № 21	267,2	2	193,1	386,1	444,1	ПвБбШв-4 × 185
W25	ТП № 61 – № 22	270	2	195,1	390,2	448,8	ПвБбШв-4 × 185
W26	ТП № 61 – № 28	267,2	2	193,1	386,1	444,1	ПвБбШв-4 × 185
W27	ТП № 61 – № 33	56,32	2	40,7	81,4	93,6	ПвБбШв-4 × 16
W28	Питающая линия ТП № 62 (6 кВ)	3746,3	2	171,9	360,9	415,1	АПвБП-3 × 185
W29	ТП № 62 – № 23	129,1	2	93,3	186,6	214,7	ПвБбШв-4 × 50
W30	ТП № 62 – № 24	133,6	2	96,5	193,1	222,1	ПвБбШв-4 × 70
W31	ТП № 62 – № 25	129,1	2	93,3	186,6	214,7	ПвБбШв-4 × 50
W32	ТП № 62 – № 26	259,86	2	187,8	375,5	431,9	ПвБбШв-4 × 185
W33	ТП № 62 – № 27	129,1	2	93,3	186,6	214,7	ПвБбШв-4 × 50
W34	ТП № 62 – № 38	58,8	1	85,0	85,0	97,8	ПвБбШв-4 × 16
W35	ТП № 62 – № 54	47,1	2	34,0	68,0	78,2	ПвБбШв-4 × 10
W36	ТП № 62 – № 55	88,2	1	127,5	127,5	146,7	ПвБбШв-4 × 35
W37	Питающая линия ТП № 63 (6 кВ)	831,6	2	40,1	80,1	92,2	АПвБП-3 × 25
W38	ТП № 63 – № 1	153,1	2	110,6	221,2	254,4	ПвБбШв-4 × 70
W39	ТП № 63 – № 2	218,8	2	158,1	316,3	363,8	ПвБбШв-4 × 120
W40	ТП № 63 – № 4	218,8	2	158,1	316,3	363,8	ПвБбШв-4 × 120
W41	ТП № 63 – № 5	240,8	2	174,0	348,0	400,3	ПвБбШв-4 × 150
W42	Питающая линия ТП № 64 (6 кВ)	3103,8	2	142,4	299,0	343,9	АПвБП-3 × 185
W43	ТП № 64 – № 3	225,1	2	162,6	325,2	374,1	ПвБбШв-4 × 150
W44	ТП № 64 – № 6	258,8	2	186,6	373,2	429,3	ПвБбШв-4 × 185
W45	ТП № 64 – № 35	117,6	2	85,0	170,0	195,5	ПвБбШв-4 × 50
W46	ТП № 64 – № 50	70,6	2	51,0	102,0	117,3	ПвБбШв-4 × 25

5.3. Проверка КЛ по потере напряжения

В нормальном и аварийном режимах потеря напряжения опре-

$$\Delta U_{\Sigma} = \sqrt{3} \cdot I_{\Sigma} \cdot (R_{\Sigma} \cos \varphi + X_{\Sigma} \sin \varphi);$$

$$\Delta U_{\Sigma} = \sqrt{3} \cdot I_{\Sigma} \cdot (R_{\Sigma} \cos \varphi + X_{\Sigma} \sin \varphi).$$

Для линии питающей ТП № 57 (6 кВ), В:

$$\Delta U_{\Sigma} = \sqrt{3} \cdot 35,7 \cdot 0,3(1,24 \cdot 0,96 + 0,091 \cdot 0,28) = 22,56;$$

$$\Delta U_{\Sigma} = \sqrt{3} \cdot 71,5 \cdot 0,3(1,24 \cdot 0,96 + 0,091 \cdot 0,28) = 45.$$

Результаты расчетов для других КЛ представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Потери напряжения в силовых распределительных линиях

№	Участок	I <sub>p</sub> , А	I <sub>н</sub> , А	L, м	R <sub>лн</sub> , Ом/км	X <sub>лн</sub> , Ом/км	cos φ	ΔU <sub>лн</sub> , В	ΔU <sub>Σ</sub> , В
W18	Питающая линия ТП № 19 (6 кВ)	35,7	71,5	300	1,24	0,091	0,96	22,56	45,12
W19	ТП № 60 – № 48	35,7	71,5	95	0,099	0,059	0,98	3,43	6,85
W20	ТП № 60 – № 43	35,7	71,5	65	0,37	0,062	0,98	3,94	7,87
W21	ТП № 60 – № 52	35,7	71,5	112	0,099	0,059	0,95	4,26	8,52
W22	Питающая линия ТП № 61 (6 кВ)	38,5	77,0	340	1,24	0,091	0,90	26,17	52,34
W23	ТП № 61 – № 20	129,3	258,5	77	0,194	0,060	0,98	3,48	6,96
W24	ТП № 61 – № 21	193,1	390,0	74	0,099	0,059	0,98	2,72	5,44
W25	ТП № 61 – № 22	193,1	390,0	110	0,122	0,059	0,98	4,22	8,44
W26	ТП № 61 – № 28	193,1	390,0	122	1,84	0,073	0,85	20,12	20,12
W27	ТП № 61 – № 33	34,0	68,0	183	0,74	0,0662	0,85	20,55	20,55
W28	Питающая линия ТП № 62 (6 кВ)	40,1	80,1	700	1,24	0,091	0,9	50,04	100,09
W29	ТП № 62 – № 23	93,3	186,6	90	0,099	0,059	0,98	3,27	6,55
W30	ТП № 62 – № 24	96,5	193,1	75	0,194	0,060	0,98	3,29	6,58
W31	ТП № 62 – № 25	93,3	186,6	170	0,122	0,059	0,98	7,02	14,03
W32	ТП № 62 – № 26	187,8	375,5	290	0,89	0,087	0,9	19,44	38,88
W33	ТП № 62 – № 27	93,3	186,6	55	0,37	0,062	0,98	3,33	6,66
W34	ТП № 62 – № 38	85,0	85,0	170	0,122	0,059	0,98	6,52	13,05



Окончание табл. 3

№	Участок	$I_p, A$	$I_n, A$	$L, м$	$R_{уд}, Ом/км$	$X_{уд}, Ом/км$	$\cos \varphi$	$\Delta U_{10}, В$	$\Delta U, В$
W17	ТП № 60 – № 18	195,0	390,1	162	0,099	0,059	0,98	5,95	11,9
W18	ТП № 60 – № 19	129,3	258,5	152	0,194	0,060	0,98	6,87	13,7
W19	ТП № 60 – № 48	25,5	51,0	70	1,84	0,073	0,85	4,95	9,9
W20	ТП № 60 – № 43	82,4	82,4	194	1,15	0,067	0,75	25,08	25,0
W21	ТП № 60 – № 52	34,0	68,0	184	1,84	0,073	0,85	17,34	34,6
W22	Питающая линия ТП № 61 (6 кВ)	50,2	100,4	210	0,89	0,087	0,9	15,30	30,5
W23	ТП № 61 – № 20	96,5	193,1	53	0,26	0,061	0,98	2,36	4,75
W24	ТП № 61 – № 21	193,1	386,1	123	0,099	0,059	0,98	4,47	8,95
W25	ТП № 61 – № 22	195,1	390,2	55	0,099	0,059	0,98	2,02	4,04
W26	ТП № 61 – № 28	193,1	386,1	155	0,099	0,059	0,98	5,64	11,27
W27	ТП № 61 – № 33	40,7	81,4	51	1,15	0,067	0,98	4,10	8,19
W28	Питающая линия ТП № 62 (6 кВ)	171,9	360,9	2435	0,167	0,073	0,9	131,85	276,8
W29	ТП № 62 – № 23	93,3	186,6	89	0,37	0,062	0,98	5,39	10,78
W30	ТП № 62 – № 24	96,5	193,1	68	0,26	0,061	0,98	3,03	6,06
W31	ТП № 62 – № 25	93,3	186,6	197	0,37	0,062	0,98	11,93	23,85
W32	ТП № 62 – № 26	187,8	375,5	93	0,099	0,059	0,98	3,29	6,58
W33	ТП № 62 – № 27	93,3	186,6	86	0,37	0,062	0,98	5,21	10,41
W34	ТП № 62 – № 38	85,0	85,0	107	1,15	0,067	0,85	15,94	15,94
W35	ТП № 62 – № 54	34,0	68,0	185	1,84	0,073	0,85	17,44	34,88
W36	ТП № 62 – № 55	127,5	127,5	245	0,52	0,063	0,85	25,70	25,70
W37	Питающая линия ТП № 63 (6 кВ)	40,1	80,1	124	1,24	0,091	0,9	9,93	19,86
W38	ТП № 63 – № 1	110,6	221,2	56	0,26	0,061	0,98	2,86	5,72
W39	ТП № 63 – № 2	158,1	316,3	62	0,153	0,060	0,98	2,75	5,49
W40	ТП № 63 – № 4	158,1	316,3	88	0,153	0,060	0,98	3,90	7,80
W41	ТП № 63 – № 5	174,0	348,0	130	0,122	0,056	0,98	5,14	10,29
W42	Питающая линия РП № 64 (6 кВ)	142,4	299,0	1510	0,167	0,073	0,9	67,74	142,26
W43	ТП № 64 – № 3	162,6	325,2	87	0,122	0,059	0,98	3,22	6,43
W44	ТП № 64 – № 6	186,6	373,2	71	0,099	0,059	0,98	2,50	4,99
W45	ТП № 64 – № 35	85,0	170,0	103	0,37	0,062	0,85	5,26	10,52
W46	ТП № 64 – № 50	51,0	102,0	160	0,74	0,066	0,85	9,37	18,74

... и отрицательные отклонения напряжения...  
 ... электрической энергии не должны превышать...  
 ... значений напряжений. Таким...  
 ... 6 – 10 кВ также не...  
 ... Однако на практике с учётом опыта проек-...  
 ... принимают следующие...  
 ... для сетей низкого...  
 ... удаленного потребителя – 6 %, ...  
 ... при аварийном режиме сети...  
 ... в воздушных – 8 %, при аварийном режиме сети...  
 ... – 12 % [11]. Расчёты, резуль-...  
 ... что в нормальном...  
 ... 2,5 %, а в сети...  
 ... принятым нормативам.

**РАСЧЁТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ**

**в.1. Общие положения**

... для выполнения...  
 ... числа заземленных нейтралей систе-...  
 ... релейной защиты и автоматики, оценки...  
 ... на линии связи и...  
 ... других практических задач.  
 ... выше 1 кВ...  
 ... проводится согласно...  
 ... формуле [12]:

$$I_k = \frac{E_k}{\sqrt{3Z_k}} \quad (6.1)$$

... сопротивления ЭЭС и сопротивления...  
 ... генераторов и нагрузок зависят...  
 ... времени переходного процесса, начина-





Далее вычисляются значения параметров тока к. з. в точке КЗ1:  
 – действующее значение установившегося тока трёхфазного к. з., кА:

$$I_{KZ1}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3}Z_1} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 2,22} = 1,64;$$

– действующее значение установившегося тока двухфазного к. з., кА:

$$I_{KZ1}^{(2)} = 0,865 I_{KZ1}^{(3)} = 0,865 \cdot 1,64 = 1,42;$$

– амплитуда ударного тока к. з., кА:

$$i_{UD}^{(2)} = 2,55 I_{KZ1}^{(2)} = 2,55 \cdot 1,42 = 3,621.$$

В точке КЗ2:

– действующее значение установившегося тока трёхфазного к. з., кА:

$$I_{KZ2}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3}Z_2} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,023} = 10,1;$$

– действующее значение установившегося тока двухфазного к. з., кА:

$$I_{KZ2}^{(2)} = 0,865 I_{KZ2}^{(3)} = 0,865 \cdot 10,1 = 8,74;$$

– амплитуда ударного тока к. з., кА:

$$i_{UD}^{(2)} = 2,55 I_{KZ2}^{(2)} = 2,55 \cdot 8,74 = 22,28.$$

Соответствие кабеля требованию термической стойкости проверяется выполнением неравенства  $S \geq \frac{I_{KZ1}^{(3)}}{C} \sqrt{t_{откл}}$ , где  $S$  – площадь поперечного сечения выбранного кабеля;  $C$  – термический параметр;  $t_{откл}$  – время отключения линии. Для выбранного кабеля АПВП-3 × 185 это неравенство выполняется:

$$185 > \frac{1640}{90} \sqrt{0,5} \approx 12,88.$$

### 6.3. Пример расчёта токов к. з. на фидерах 0,4 кВ

Расчёт токов к. з. на фидерах 0,4 кВ (точки К1... К8 на рис. 6.1) целесообразно провести с использованием специализированного ком-

пьютерного программного обеспечения (см. раздел 11 «Автоматизация проектирования»). В этом случае компьютер производит расчёт и выводит значения номинальных токов предохранителей, формат (\*.idf). Ниже приводится пример протокола

#### Наименование цепи: W29

Схематическая схема цепи представлена на рис. 6.3.

W29

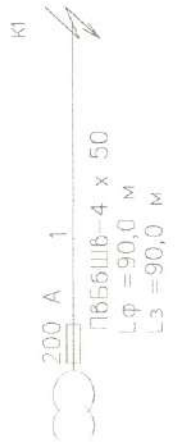


Рис. 6.3. Однолинейная схема цепи W29

#### Участок 1: ТП62 – жилой дом № 23

Исходные данные:

Трансформатор масляный (ГОСТ 11920 и ГОСТ 2022), схема соединения звезда-звезда-0;  $S_n = 630$  кВА;

$Z_n = 1,4$  Ом;  $Z_{\Sigma} = 0,015$  Ом.

Тип кабеля: П856ШВ-4 × 50

$L = 90,0$  м;  $L_n = 90,0$  м.

Тип кабеля: ПШНИ-33; предохранитель ПШНИ-33,  $I_{ном} = 200$  А;  $t_{гр.з} = 0,4$  с;

$$Z_0 = Z_n + Z_{\Sigma} = 1,4 + 0,015 = 1,415 \text{ Ом};$$

$$Z_1 = Z_n + Z_{\Sigma} + Z_{\text{каб}} = 1,4 + 0,015 + 0,060 = 1,475 \text{ Ом};$$

$$Z_2 = Z_1 + Z_{\text{ст}} = 1,475 + 0,118 \approx 1,593 \text{ Ом}.$$

Таким образом, защита обеспечена, так как  $I_{KZ} > I_{гр.з}$ .

Прямые обозначения:

$Z_0$  – сопротивление трансформатора, Ом;

$Z_{ру}$  – сопротивление оборудования распределительного устройства, Ом;  
 $L_{ф}$ ,  $L_{г}$  – длины фазного и нулевого проводников.

$Z_{с}$  – полное электрическое сопротивление нулевого участка, Ом.

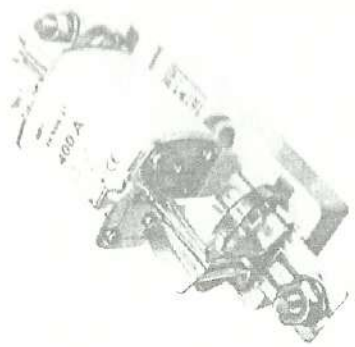
$Z_{г}$  – полное электрическое сопротивление или «фаза – ноль» до расчетной точки короткого замыкания на  $n$ -м участке, Ом.

$I_{с}$  – ток короткого замыкания, А;

$I_{сн}$  – номинальный ток защитного устройства, А.

$I_{сз}$  – ток срабатывания защитного устройства, А.

Рис. 6.4. Энергооборудование типа ПННН-33



В качестве защитного устройства целесообразно применить энергооберегающие предохранители типа ПННН-33 (рис. 6.4).

## 7. ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ МИКРОРАЙОНА МКЛ

### 7.1. Выбор типа подстанции

Для проектируемого микрорайона целесообразно применить комплектные трансформаторные подстанции (ТП), позволяющие обеспечить высокую надежность электроснабжения и простоту монтажа и подключения [13]. В число выделенных консультантов относятся отечественные блочные подстанции типа БКТПу Московского ООО «Завод „МЭЛ“». Трансформаторные подстанции типа БКТПу предназначены для присоединения и распределения электроэнергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц на напряжениях до 10 кВ и преобразования в электроэнергию 0,4 кВ и электроснабжения различных потребителей в районах с умеренным климатом от  $-45$  до  $+40$  °С.

Для ТП № 62 выбираем двухтрансформаторную подстанцию БКТПу-630 кВА (рис. 7.1). Все установленное оборудование (за исключением силовых трансформаторов) производится ОАО «МЭЛ» и соответствует требованиям ГОСТ 14695-80, ГОСТ 14693-90 и ТУ 3412-025-03989649-2003. Климатическое исполнение и категория размещения У1 по ГОСТ 15150-69, 15543.1-89.

Корпус подстанции в зависимости от исполнения может иметь 3 – 4 отдельных помещения, что обеспечивает установку силовых трансформаторов и коммутационного высоковольтного и низковольтного оборудования в отдельных помещениях (рис. 7.2). Установка всего высоковольтного и низковольтного оборудования в разных помещениях, в изделиях БКТПу позволяет производить оперативные переключения при полном контроле всего оборудования, что дает возможность исключить часть



Рис. 7.1. Внешний вид подстанции БКТПу

оборудования из схем электроснабжения. Конструкция БКТПу имеет необходимую естественную вентиляцию, обеспечивающую охлаждение силового трансформатора в процессе эксплуатации. Подстанция обеспечена учетом активной электрической энергии.

### Технические характеристики:

- Мощность силового трансформатора – 250 ... 1000 кВА;
- Номинальное напряжение на стороне высокого напряжения – 6 или 10 кВ;
- Номинальное напряжение на стороне низкого напряжения – 0,4 кВ;
- Ток термической стойкости в течение 1 с на стороне ВН – 20 кА;
- Ток электродинамической стойкости на стороне ВН – 51 кА;
- Ток электродинамической стойкости на стороне НН – 30 кА;
- Уровень изоляции по ГОСТ 1516.1-76 с масляным трансформатором: нормальный.



**Габаритные размеры (без учета декоративной крыши):**

- Ширина, мм – 5700;
- Глубина, мм – 5510;
- Высота от «0» точки, мм – 2850;
- Высота фундаментного блока, мм – 1600;
- Расчетная масса, т – 30,5.

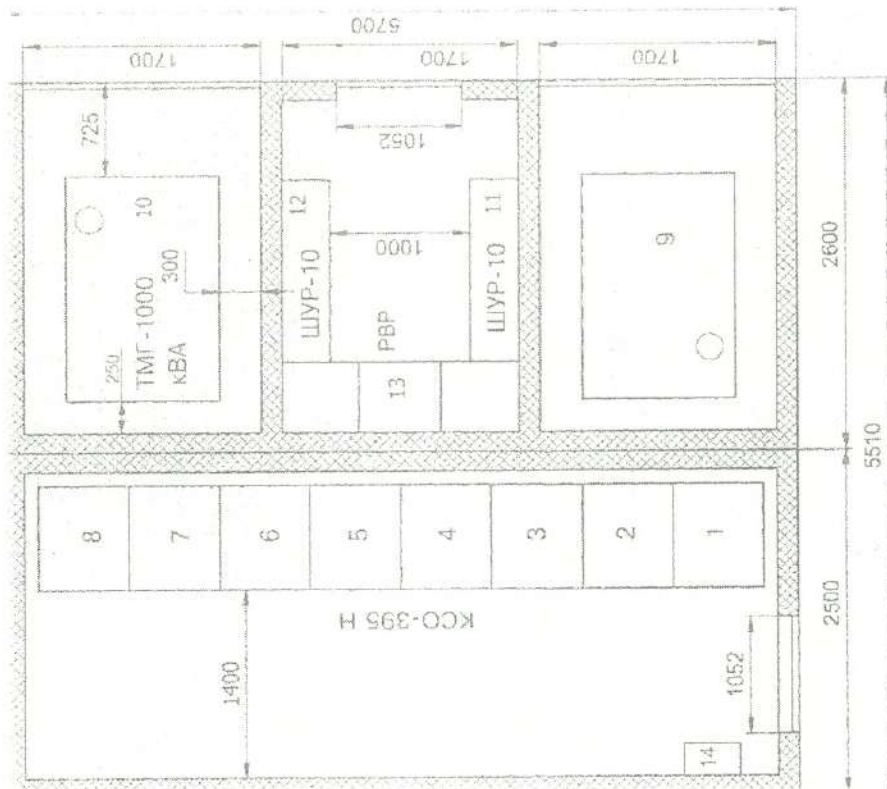


Рис. 7.2. Планировка ТП

Высоковольтное коммутационное оборудование в составе БКТПу выполнено на базе камер КСО-298 с вакуумными выключателями типа ВВ/TEL-10. Низковольтное коммутационное оборудование представлено новыми разработками ШУР-6(10), РУНН-6(8), АВР, РВР. Количество отходящих линий и их токи могут быть изменены по желанию заказчика. ШУР-6(10) выполнен на базе предохранительных шинок. В состав изделия также входит выключатель нагрузки типа ИЗЕР, панель учета и ячейка собственных нужд РВР (ручное включение резерва) выполнены на базе выключателя ИЗЕР, имеет внутреннюю ошиновку, что позволяет легко присоединить его к изделиям ШУР, РУНН, ПНН.

**7.2. Электрооборудование подстанций**

**7.2.1. Распределительное устройство 6 кВ (РУ-6 кВ)**

При выборе типа РУ-6 кВ следует руководствоваться данными табл. 7.1.

Таблица 7.1

**Выбор КРУ 6 кВ**

Расчетные данные	Справочные данные	Условие выбора
$U_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 6 \text{ кВ}$	$U_{уст} \leq U_{ном}$
$I_p = 96,7 \text{ А}$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	$I_{p \max} \leq I_{ном \text{ шинафа}}$
$I_{КС2}^{(3)} = 10,1 \text{ кА}$	$I_{откр} = 20 \text{ кА}$	$I_{к.з}^{(3)} \leq I_{откр}$
$i_{уд} = 22,28 \text{ кА}$	$i_{сбн} = 51 \text{ кА}$	$i_{уд} \leq i_{сбн}$

Принимаем к установке КСО-298 (камеры сборные одностороннего обслуживания), предназначенные для комплектования распределительных устройств напряжением 6 и 10 кВ, переменного трехфазного тока частотой 50 Гц систем с изолированной или заземленной через дугогасительный реактор нейтралью. Камеры КСО в исполнениях У и УХЛ категории 3 и 4 (ГОСТ 15150 и ГОСТ 15543.1) допус-

кается применять для работы при температурах окружающего воздуха от  $-35$  до  $+40$  °С.

Внешний вид и размеры камеры показаны на рис. 7.3.

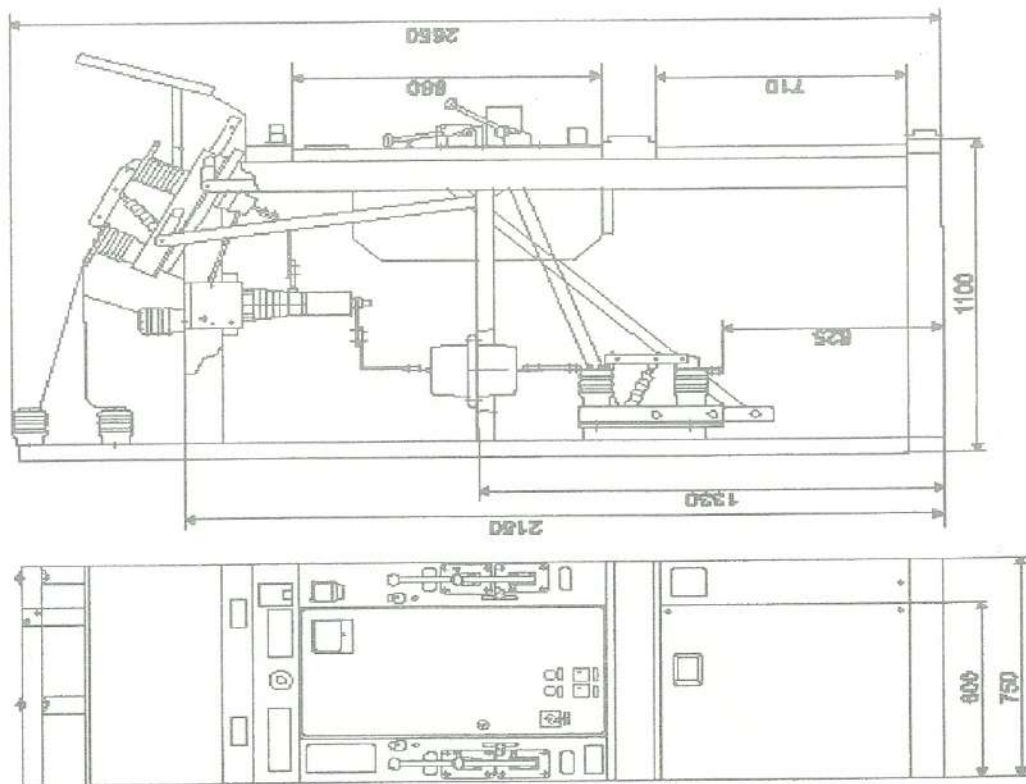


Рис. 7.3. Внешний вид и габаритные размеры камеры КСО-298

### 7.2.2. Высоковольтные выключатели

При выборе типа РУ-6кВ следует руководствоваться данными табл. 7.2.

Таблица 7.2

#### Выбор выключателей на напряжение 6 кВ

Расчетные данные	Справочные данные	Условия выбора
$U_{уст} = 6$ кВ	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{уст} \leq U_{ном}$
$I_p = 96,7$ А	$I_{ном} = 630$ А	$I_{p, max} \leq I_{ном}$
$I_{КС2}^{(3)} = 10,1$ кА $i_{уд} = 22,28$ кА	$I_{откл} = 20$ кА, $I_{пск} = 20$ кА $i_{свп} = 51$ кА	$I_{откл}^{(3)} \leq I_{откл}^{(3)}$ $I_{пск}^{(3)} \leq I_{откл}^{(3)}$ $i_{уд} \leq i_{свп}$
$B_k = (I_k^{(3)})^2 (t_{откл} + T_n) = 13 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}$ $t_{откл} = t_{0,9} + t_{p,3}$	$I^2 t_T = 20^2 \cdot 0,5 = 200 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}$ $t_{0,9} = 0,04$ с, $t_{p,3} = 0,1$ с, $T_n = 0,05$ с	$B_{к2} \leq I^2 t_T$

Выбираем вакуумные выключатели типа ВВ/ТЕL-10, которыми комплектуются камеры КСО-298.

Вакуумные выключатели ВВ/ТЕL (рис. 7.4 и 7.5) предназначены для эксплуатации в сетях трехфазного переменного тока частотой 50 Гц номинальным напряжением до 10 кВ с изолированной и компенсированной нейтралью в нормальных и аварийных режимах. Вакуумные выключатели ВВ/ТЕL применяются в ячейках КРУ внутренней и наружной установки, а также в камерах КСО как при новом строительстве, так и при замене выключателей прежних лет выпуска.

Вакуумные выключатели ВВ/ТЕL-10-20/1000 общепромышленного исполнения рассчитаны на коммутационный ресурс – 50 000 циклов «ВО» при номинальном токе, механический ресурс привода при этом составляет 150 000 циклов «ВО», а выключатели для частых коммутаций, ориентированные на работу в электротермических установках, выдерживают 100 000 циклов «ВО» при номинальном токе,



при этом все выключатели имеют ресурс 100 циклов «ВО» или 150 операций отключения при номинальном токе отключения 20 кА. Выключатель ВВ/ТЕL не требует проведения планово-предупредительных ремонтов на протяжении всего срока эксплуатации благодаря высокой надежности конструкции, отсутствию изнашивающихся деталей и высокой стабильности заводских регулировок выключателя. Рекомендуемая периодичность проверок — через два года после установки выключателя, в дальнейшем подобные проверки производить один раз в пять лет. При этом рекомендуется провести вторую проверку до истечения гарантийного срока — семь лет с момента изготовления выключателя.

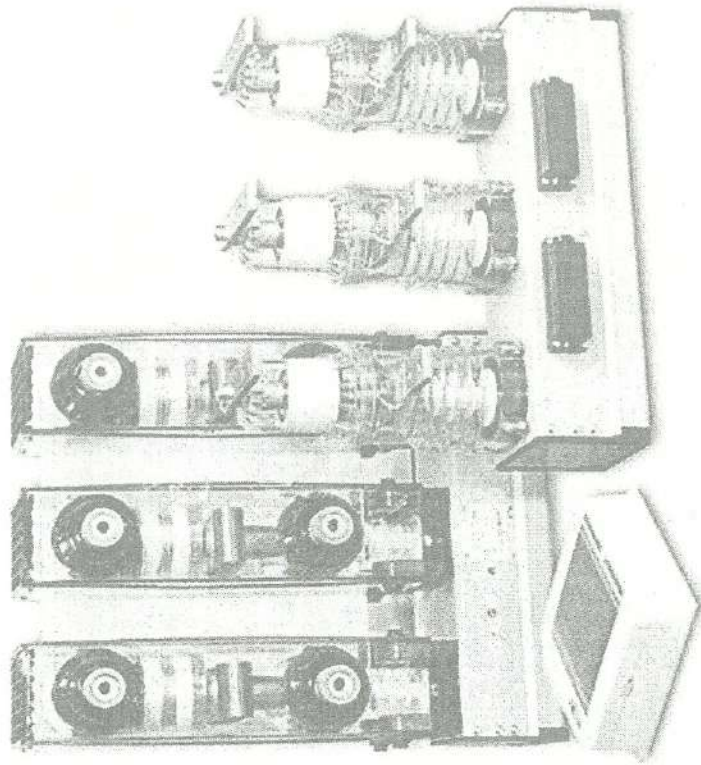


Рис. 7.4. Высоковольтный вакуумный выключатель ВВ/ТЕL.

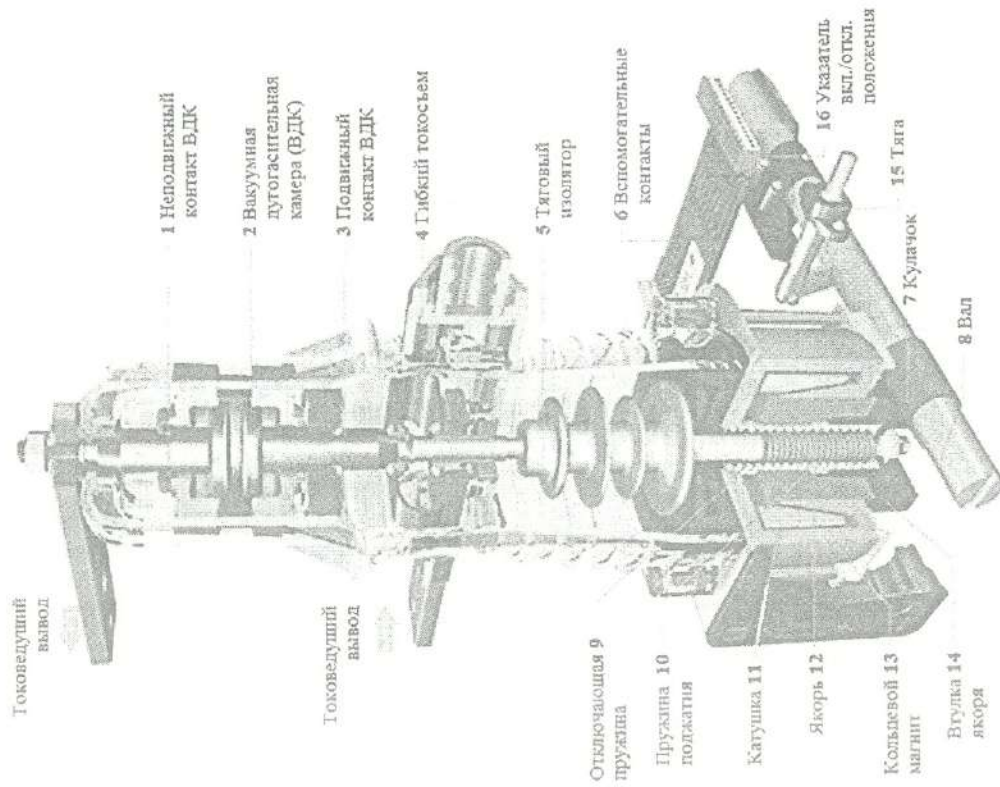


Рис. 7.5. Высоковольтный вакуумный выключатель ВВ/ТЕL в разрезе

Блоки управления выключателями имеют входы для питания по цепям постоянного, выпрямленного и переменного оперативного токов. Шкала номинальных напряжений имеет следующие значения: 24, 30, 48, 60, 110, 220 В постоянного тока, 100, 127, 220 В переменного

тока. Работоспособность сохраняется при колебании напряжения в диапазоне 80 – 125 % от номинального напряжения. При отсутствии оперативного тока включение выключателя ВВ/TEL возможно одним из следующих способов:

- от вспомогательного источника 12 – 30 В, например, двух 9-вольтовых элементов питания типа «Крона»;
- от блока автономного включения ВАВ/TEL-220-02 (при изменении блока ВУ/TEL-220-05а совместно с ВР/TEL-220-02а);
- от блока механического включения БМВ/TEL.

Все модификации устройств управления имеют встроенные конденсаторы включения и отключения, которые обеспечивают дозированную подачу электроэнергии на электромагниты выключателя ВВ/TEL, обеспечивая тем самым оптимальные условия для его работы. При этом потребление энергии от сети оперативного питания не большое, так как расходуется только на заряд конденсаторов и на работу внутренней схемы устройств управления.

Например, потребляемая мощность блока ВУ/TEL-220-05а (совместно с ВР/TEL-220-02а) составляет 120 ВА при подготовке к включению в течение 4 с и 35 ВА в стационарном режиме. Вышеперечисленное позволяет использовать облегченные источники оперативного питания, например УСН-24-01 или UPS (автоматы бесперебойного питания).

В цепи электромагнита выключателя ВВ/TEL величина тока составляет 16 А при включении и 2 А при отключении. Непосредственно из сети оперативного питания данный ток не потребляется. Движение механизма при включении и отключении происходит вдоль одной линии, механическая часть привода выключателя практически не содержит вращающихся частей, величина перемещения составляет не более 8 мм. Блоки управления приводом выключателя строятся на современной микропроцессорной элементной базе. Все это обеспечивает полное время отключения выключателя не более 55 мс (с момента подачи команды на блок управления). Для отключения выключателя используется энергия, предварительно накопленная в конденсаторе отключения, что дает возможность отключения выключателя в течение 10 – 30 с после исчезновения оперативного напряжения.

Кроме того, блоки управления выключателями имеют входы для подключения цепей трансформаторов тока, что обеспечивает.

- возможность отключения выключателя в аварийном режиме по схеме с дешунтированием;
- дополнительное питание отключающего конденсатора блока управления.

Отсутствие дугогасящей среды, для которой важно положение в пространстве (дуга гасится в вакууме), позволяет устанавливать выключатель в любом пространственном положении без ухудшения качественных параметров выключателя. Это создает дополнительные удобства при монтаже.

Габаритные размеры выключателя и вес меньше тех же параметров аналогичных выключателей других производителей. Это также имеет преимущество при производстве монтажа (такой параметр, как «человеко-часы», у нашего выключателя гораздо меньше, чем у конкурентов). При габаритах 474 × 540 × 265 мм (высота, ширина и глубина аппарата с межполюсным расстоянием 200 мм) и массе 35 кг выключатель ВВ/TEL существенно облегчает операции по его обслуживанию и монтажу.

Все вакуумные выключатели серии ВВ/TEL полностью испытаны на соответствие требованиям российских стандартов и имеют сертификаты соответствия системы ГОСТ Р.

### 7.2.3. Распределительное устройство 0,4 кВ

При выборе типа РУ-0,4кВ руководствуемся данными табл. 7.3.

Таблица 7.3

Выбор КРУ 0,4 кВ

Расчетные данные	Справочные данные	Условие выбора
$U_{уст} = 380В$	$U_{ном} = 380В$	$U_{уст} \leq U_{ном}$
$I_{р. max} = 704А$	$I_{ном} = 1000А$	$I_{р. max} \leq I_{ном. max}$
$I_{р. max} = 1409А$	$I_{сб. min} = 2500 А$	$I_{р. max}^2 \leq I_{сб. min}^2$

Принимаем к установке учётно-распределительные шкафы типа ШРУ-10М-01 (рис. 7.4), предназначенные для учета и распределения энергии переменного трёхфазного тока частотой 50 Гц в системах с глухозаземлённой нейтралью. Защита отходящих линий при коротких



#### 7.2.4. Предохранители и средства измерения

В качестве предохранителей целесообразно применить энергосберегающие типа ППНИ-33 (рис. 6.3).

К средствам измерения в КСО-297 относятся счётчики Меркурий 230 АМ-03 класса точности 0,5 и трансформаторы тока ТПП-0,66-0,5-600/5, через которые подключаются счётчики. Класс точности трансформаторов тока — 0,5; номинальный коэффициент трансформации — 600/5.

### 8. НАРУЖНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

#### 8.1. Общие положения

Наружное освещение улиц городов — один из главных элементов их благоустройства, результатами которого пользуются практически все граждане. Совокупным действием установок наружного освещения различного функционального назначения (утилитарными, архитектурно-художественными, светорекламными и витринными) создается среда города, его внешний облик в темное время суток. Благодаря своим богатейшим возможностям искусственный свет становится важной категорией вечернего города, позволяющей по-новому решать задачи композиции, пластики и организации пространства.

Для расчёта наружного освещения применяются три основных метода определения освещённости: метод коэффициента использования, метод удельной мощности и точечный метод [14]. Специфика методов отражает особенности среды и осветительной техники. Ручные методы расчёта основываются в основном на методе коэффициента использования или на методе удельной мощности. Они сравнительно просты, но позволяют определять лишь приблизительную освещённость. Точечный метод позволяет определить уровень освещённости в конкретных точках, но он довольно трудоёмок и чаще применяется для проверочных расчётов. Соответствующее программное обеспечение базируется в основном на точечном методе, так как современные вычислительная техника позволяет проводить графическое моделирование сцен, рассчитывать распределение освещённости, наглядным образом выдавать результаты расчётов.

замыканиях и перегрузках осуществляется плавкими предохранителями. Для безопасной замены плавких вставок применены совмещенные выключатели-предохранители. Шкафы ШУР-10М выпускаются в двух исполнениях — ШУР-10М-01 и ШУР-10М-02, отличающихся наличием ящика собственных нужд (ЯСН): ШУР-10М-01 — с ЯСН, ШУР-10М-02 — без ЯСН. ЯСН позволяет подключать различные потребители напряжением 380/220/12 В, в том числе осветительные плафоны КТПН напряжением 12 В. ЯСН имеет выходные розетки 380В/63А, 220В/10А и 12В/16А, защищенные автоматическими выключателями. Шкафы учетно-распределительные ШУР-10М допускаются применять для работы в условиях воздействия климатических факторов внешней среды исполнения У категории 3 по ГОСТ 15150-69. При этом значение высоты над уровнем моря составляет не более 1000 м; окружающая среда не взрывоопасная, не содержащая агрессивных паров и газов в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию. Поставка шкафов ШУР-10М осуществляется в составе КТПН и БКПТУ.

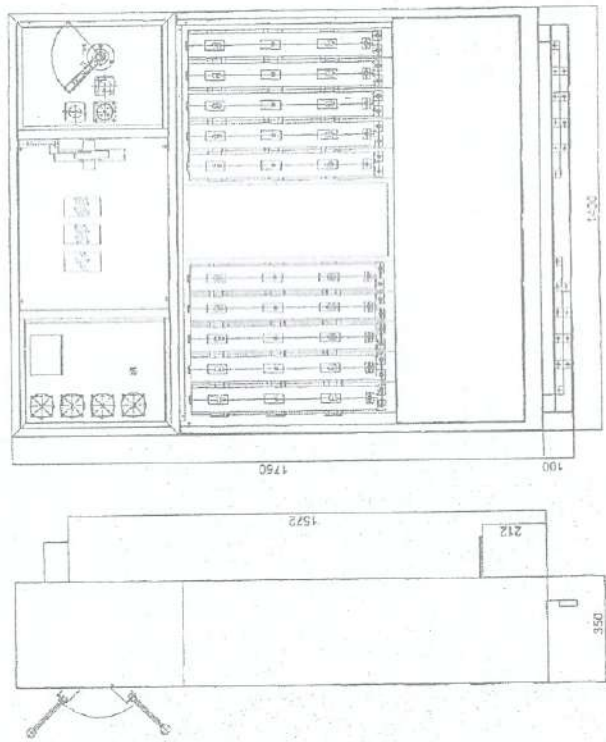


Рис. 7.6. Внешний вид ШУР-10М

В настоящее время для наружного освещения рекомендуется применение натриевых, металлогалогенных, индукционных и светодиодных ламп. Коротко рассмотрим эти источники света.

### 8.2.1. Натриевые лампы ДНаТ

Газоразрядные натриевые лампы ДНаТ (рис. 8.1) высокого давления – один из наиболее экономичных источников света. Их широкое применение подтверждает этот факт. Лампы ДНаТ различной мощности (70, 150, 250 или 400 Вт) используются, как правило, для уличного освещения, в том числе для освещения транспортных магистралей, туннелей, вокзалов, аэродромов, промышленных территорий, т. е. везде, где требуется обеспечить контрастную видимость объектов в любых погодных условиях. Еще одна распространенная область применения ламп ДНаТ – освещение в теплицах, цветниках или питомниках для растений. Аббревиатура ДНаТ расшифровывается как «*д*уговая *н*атриевая *т*рубчатая *л*ампа».



Рис. 8.1. Газоразрядная натриевая лампа

Светящимся телом лампы служит газовый разряд в парах натрия. Пресобладающим в спектре является резонансное излучение натрия, поэтому лампы дают яркий оранжево-жёлтый свет. Эта спектральная особенность НЛ (монохроматичность излучения) вызывает при освещении ими неудовлетворительное качество цветопередачи. Из-за особенностей спектра и существенного мерцания на удвоенной частоте питающей сети НЛ применяются в основном для уличного освещения. Во внешнем стеклянном баллоне лампы ДНаТ есть специальная «горелка», которая представляет собой цилиндрическую разрядную трубку из особого материала – чистой окиси алюминия.

Трубка заполнена смесью паров натрия и ртути, здесь присутствует также зажигающий газ ксенон. Электрический разряд (дуга) создается в парах натрия высокого давления. Натриевые лампы ДНаТ

Известен целый ряд программ, позволяющих проводить светотехнические расчёты *Dialux 4.0; Light-in-Night Road 3.5.0* и др. Основным на последней, так как эта отечественная программа является наиболее удобной и простой в использовании (©ЗАО НПСП «Светосервис» 2008 [www.l-i-n.ru](http://www.l-i-n.ru)). Программа ориентирована на российские СНиПы, ГОСТы, имеет базу данных по отечественным и импортным светильникам.

### 8.2. Энергосбережение в осветительных установках

Энергосберегающие мероприятия в этой сфере можно условно разделить на четыре группы [15]:

1. Использование энергоосберегающих источников света и арматуры.
2. Применение энергоосберегающих систем освещения.
3. Применение средств автоматизации в осветительных установках.
4. Надлежащая эксплуатация систем электроосвещения и световых приборов.

В табл. 8.1 приведены важнейшие параметры различных источников света, используемых для наружного освещения, позволяющие оценить энергоэффективность современных ламп по сравнению с ранее применявшимися для наружного освещения лампами накаливания.

Таблица 8.1

#### Энергоэффективность ламп различных типов

Тип	Срок службы, тыс. ч	Световая отдача, лм/Вт	Световая энергия за срок службы	Экономия электроэнергии при замене ЛН, %
Лампы накаливания (ЛН)	1	8–12	1	–
Люминесцентные лампы (ЛЛ)	10–12	48–80	69	40–54
Компактные ЛЛ (КЛЛ)	5,5–8	65–80	35	40–60
Дуговые ртутные лампы (ДРЛ)	12–20	50–54	48	41–47
Натриевые лампы высокого давления (НЛВД)	10–12	85–100	94	57–71
Металлогалогенные лампы (МГЛ)	3–10	60–90	60	20–30
Светодиодные лампы	60–90	250–300	180	90–95
Индукционные газоразрядные лампы	60–90	70–80	100	80–90



подключаются специальным образом: в первую очередь, для этого необходимы специальный пускорегулирующий аппарат (ПРА) и импульсно-зажигающее устройство (ИЗУ). Отметим, что целесообразно применение электронных ПРА, энергоэффективность которых существенно выше, чем у электромагнитных.

### 8.2.2. Металлогалогенные лампы

Металлогалогенная лампа (рис. 8.2) — один из видов газоразрядных ламп (ГРЛ) высокого давления. Отличается от других ГРЛ тем, что для коррекции спектральной характеристики дугового разряда в парах ртути в горелку МГЛ дозируются специальные излучающие добавки (ИД), представляющие собой галогениды некоторых металлов.

МГЛ — компактный, мощный и эффективный источник света (ИС), находящийся широкого применения в осветительных и светосигнальных приборах различного назначения. Основные области применения: утилитарное, декоративное и архитектурное наружное освещение, осветительные установки (ОУ) промышленных и общественных зданий, сценическое и студийное освещение, ОУ для освещения больших открытых пространств (железнодорожные станции, карьеры и т. п.), освещение спортивных объектов и др. В ОУ технологического назначения МГЛ могут использоваться как мощный источник видимого и ближнего ультрафиолетового излучения. Компактность светящегося тела МГЛ делает их весьма удобным ИС для световых приборов прожекторного типа с катодрической и катодиоптической оптикой. Светящимся телом МГЛ является плазма дугового электрического разряда высокого давления. В этом МГЛ схожа с другими типами РЛ.

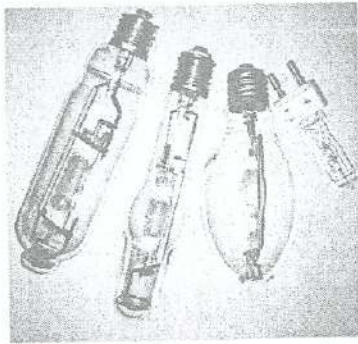


Рис. 8.2. Металлогалогенная лампа

### 8.2.3. Индукционные лампы

Индукционная лампа — инновационный газоразрядный источник света, принцип работы которого основан на том, что для генерации видимого света применяется инициирование электрического разряда индукцированным электромагнитным полем (рис. 8.3). Основное отличие от существующих газоразрядных ламп — безэлектродная конструкция, т. е. отсутствие термокатодов и нитей накала, что существенно увеличивает надёжность и срок службы индукционных ламп.

Индукционные лампы имеют следующие положительные особенности:

- срок службы: 60 ... 90 тыс. часов;
- номинальная светоотдача: более 80 лм/Вт (после 60 000 часов);
- уровень светового потока составляет около 70 % от первоначального; — при одинаковой светоотдаче потребляет на 30 — 50 % меньше электроэнергии, чем металлогалогенная лампа; на 40 — 60 % меньше, чем натриевая лампа, в 10 — 13 раз эффективнее, чем лампа накаливания;
- отсутствуют термокатоды и нити накала;
- мгновенное включение/выключение;
- неограниченное количество циклов включения/выключения;
- высокий индекс цветопередачи;
- номинальные мощности: 12 — 500 Вт;
- отсутствие мерцаний;
- низкая температура нагрева лампы: +60 — +85 °С;
- экологичность (содержание твердотельной ртути менее 0,5 мг, что значительно ниже, чем в обычных люминесцентных лампах).



Рис. 8.3. Индукционная лампа

### 8.2.4. Светодиоды

В настоящее время наиболее перспективными являются светодиодные светильники (рис. 8.4). Именно их предполагается применить для уличного освещения в проектируемом микрорайоне № 8 ЮЗ.

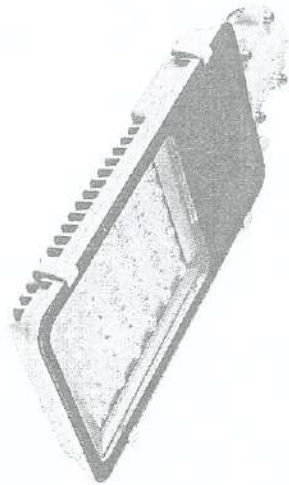


Рис. 8.4. Уличный светодиодный светильник 60 Вт DS-Street-60A

Принцип работы светодиода заключается в следующем: свечение возникает при рекомбинации электронов и дырок в области  $p-n$ -перехода. Значит, прежде всего нужен  $p-n$ -переход, т. е. контакт двух полупроводников с разными типами проводимости. Для этого приконтактные слои полупроводникового кристалла легируют разными примесями: по одну сторону – акцепторными, по другую – донорскими. Но не всякий  $p-n$ -переход излучает свет. Почему? Во-первых, ширина запрещенной зоны в активной области светодиода должна быть близка к энергии квантов света видимого диапазона. Во-вторых, вероятность излучения при рекомбинации электронно-дырочных пар должна быть высокой, для чего полупроводниковый кристалл должен содержать мало дефектов, из-за которых рекомбинация происходит без излучения. Эти условия в той или иной степени противоречат друг другу.

Современные осветительные светодиоды мало похожи на первые корпусные светодиоды, применявшиеся для индикации. Конструкция мощного светодиода серии *Luxeon*, выпускаемой компанией *Lumileds*, схематически изображена на рис. 8.5.

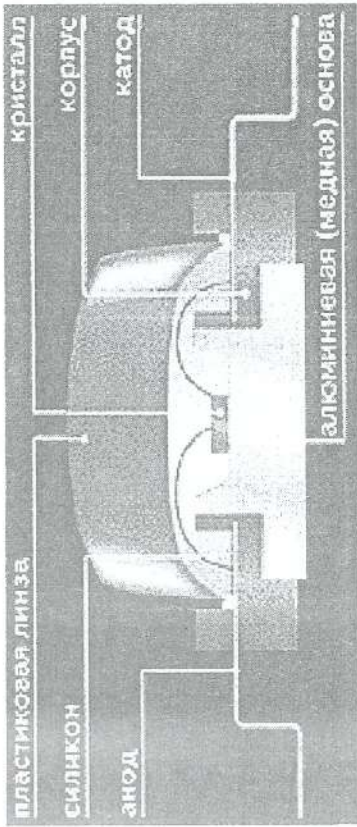


Рис. 8.5. Конструкция мощного светодиода

Для осветительных диодов одного  $p-n$ -перехода в кристалле оказывается недостаточно, и приходится изготавливать многослойные полупроводниковые структуры, так называемые гетероструктуры [16], за изучение которых российский физик академик Жорес Алферов получил Нобелевскую премию 2000 года.

Светодиод хорош тем, что в нём, в отличие от лампы накаливания или люминесцентной лампы, электрический ток преобразуется непосредственно в световое излучение, и теоретически это можно сделать почти без потерь. Действительно, светодиод (при должном теплоотводе) мало нагревается, что делает его незаменимым для некоторых приложений. Далее светодиод излучает в узкой части спектра, его цвет чист, что особенно ценят дизайнеры, а УФ- и ИК-излучения, как правило, отсутствуют. Светодиод механически прочен и исключительно надежен, срок службы его маломощных диодов может достигать 90 тыс. часов, что почти в 90 раз больше, чем у лампы накаливания, и в 5–8 раз больше, чем у люминесцентной лампы [17]. Наконец, светодиод – низковольтный электроприбор, а стало быть, безопасный. Срок службы у мощных светодиодов короче, чем у маломощных, и составляет в настоящее время 20–50 тыс. часов. Старение выражается в первую очередь в уменьшении яркости. Когда яркость снижается на 30% или наполювину, светодиод надо менять. Старение светодиода связано не только со снижением его яркости, но



и с изменением цвета. В настоящее время нет стандартов, которые позволили бы выразить количественно изменение цвета светодиодов в процессе старения и сравнить с другими источниками.

Спектр излучения светодиода близок к монохроматическому, в чем его кардинальное отличие от спектра солнца или лампы накаливания. Хорошо это или плохо — доподлинно не известно, потому что серьезных исследований в этой области нигде не проводилось. Какие-либо данные о вредном воздействии светодиодов на человеческий глаз отсутствуют.

Независимо от видов применяемых ламп существенный энергосберегающий эффект дают следующие мероприятия.

**Применение электросберегающих систем освещения.**

1. Общее равномерное.
2. Общее равномерное в сочетании с местным.
3. Общее неравномерное (локализованное).
4. Общее неравномерное в сочетании с местным.

**Применение электросберегающих средств управления и автоматике.**

1. Применение полупроводниковых высокочастотных пускорегулирующих устройств.
2. Управление осветительными приборами с помощью датчиков освещенности, движения, изменения объема помещения.

**Рациональная эксплуатация систем освещения.**

1. Чистка осветительных приборов и арматуры.
2. Чистка остекления помещений.
3. Поддержание номинального напряжения в осветительной сети.

### 8.3. Светотехнический расчет

Определим среднюю освещенность дорожного полотна шириной 10 м с тротуаром шириной 3 м, расположенными с обеих сторон полотна светильниками DS-Street-60A. Расположение одностороннее, шаг 30 м.

Средняя горизонтальная освещенность дорожного покрытия, лк:

$$E = \frac{u \Phi m}{dbk} = \frac{0,223 \cdot 7080 \cdot 1}{30 \cdot 10 \cdot 1,5} = 3,50,$$

где  $u$  — коэффициент использования светового потока по освещенности для светильника DS-Street-60A;

$\Phi$  — световой поток светильника;

$m$  — число светильников на одной опоре;

$b$  — ширина проезжей части, м;

$d$  — шаг опор, м;

$k$  — коэффициент запаса.

Требуемая освещенность дорожного покрытия по СНиП 23-05-95 составляет 2 лк.

Средняя яркость дорожного покрытия, кд:

$$L = \frac{u \Phi m}{\pi dbk} = \frac{0,055 \cdot 5600 \cdot 1}{3,14 \cdot 30 \cdot 10 \cdot 1,5} = 0,22,$$

где  $u$  — коэффициент использования светового потока по яркости для светильника DS-Street-60A.

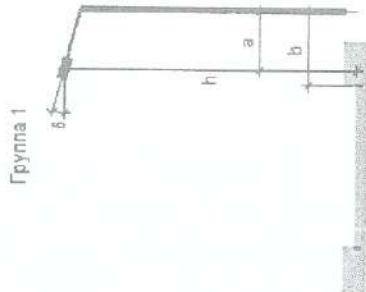
Требуемая яркость дорожного покрытия по СНиП 23-05-95 составляет 0,2 кд.

Для проверки проведенного расчета воспользуемся программой Light-in-Night Road 3.5.0 [18].

Исходные данные		Параметры дороги	
Проезжая часть			
Движение		одностороннее	
Число полос движения		1	
Ширина полосы движения	М	5.50	
Ширина проезжей части в одном направлении	М	5.50	
Полная ширина проезжей части	М	5.50	
Покрытие		мелкозернистое асфальтобетонное по ГОСТ 26824-86	
Тротуар			
Ширина	М	1.50	
Зазор между тротуаром и проезжей частью	М	0.00	
Дорога			
Полная ширина	М	7.00	
Исходные данные		Параметры групп ОП	
Шаг между опорами	М	30.00	
Коэффициент запаса		1.50	

### Исходные данные

Наименование группы ОП		Группа 1	
Тип ОП	DS-Street-60 A	DS-Street-60 A	DS-Street-60 A
Схема размещения ОП	односторонняя правая	односторонняя правая	односторонняя правая
Высота светового центра ОП над проезжей частью	h	м	10,00
Вылет светового центра ОП относительно оси опоры	a	м	2,00
Отступ оси опоры от края проезжей части	b	м	2,50
Наклон консоли относительно горизонта	$\delta$	град.	15,00
Разворот консоли относительно поперечного сечения дороги	$\psi$	град.	0,00



### Исходные данные

Наименование группы ОП		Группа 1	
Тип светильника	DS-Street-60 A	DS-Street-60 A	DS-Street-60 A
Мощность	Вт	60	60
Световой поток ИС	лм	7080	7080
Число ламп в ОП	1	1	1
Изготовитель ОП	ЛЗСИ	ЛЗСИ	ЛЗСИ
Назначение	наружное освещение	наружное освещение	наружное освещение

### Исходные данные

Наименование группы ОП		Группа 1	
Тип светильника	DS-Street-60 A	DS-Street-60 A	DS-Street-60 A
Мощность	Вт	60	60
Световой поток ИС	лм	7080	7080
Число ламп в ОП	1	1	1
Изготовитель ОП	ЛЗСИ	ЛЗСИ	ЛЗСИ
Назначение	наружное освещение	наружное освещение	наружное освещение

### По тротуару

Средняя гор. освещенность, лк	$E_{ср}$	4,9
Макс. гор. освещенность, лк	$E_{макс}$	6,5
Мин. гор. освещенность, лк	$E_{мин}$	3,6
Коэффициент равномерности	$E_{мин}/E_{ср}$	0,74
Отношение макс. освещенности к средней	$E_{макс}/E_{ср}$	1,3
Средняя полуцилинд. освещенность, лк	$E_{пл, мин}$	0,4

### Результаты расчета

Выходные данные		По проезжей части		Яркость для наблюдателя	
$L_{ср}$	кд/м <sup>2</sup>	$L_{мин}/L_{ср}$	$L_{мин}/L_{макс}$	$T_I$	%
0,51	0,93	0,23	0,45	5,9	40

### Результаты расчета

Выходные данные		По проезжей части		Освещенность	
$E_{ср}$	лк	$E_{мин}/E_{ср}$	$E_{мин}/E_{макс}$	$E_{мин}/E_{ср}$	$E_{макс}/E_{ср}$
6,5	9,7	4,0	0,61	0,41	1,5

### Результаты расчета

Выходные данные		По тротуару		Освещенность горизонтальная	
$E_{ср}$	лк	$E_{мин}/E_{ср}$	$E_{мин}/E_{макс}$	$E_{мин}/E_{ср}$	$E_{макс}/E_{ср}$
4,9	6,5	3,6	0,74	0,55	1,3

Расчёты показывают, что расположение светильников на расстоянии 30 м друг от друга позволяет выполнить требуемые нормы освещения. Допускаем установку светильников с шагом 20 ... 35 м. Светильники целесообразно установить на металлических опорах высотой 10 м. При поворотах линии сети освещения на угол больше 30° требуется установка анкерных опор.

В соответствии со схемой расположения сетей наружного освещения количество светильников, анкерных и промежуточных опор приведено в табл. 8.2.



Таблица 8.2

Оборудование сети наружного освещения

Наименование	Кол-во
Светильник DS-Street-60A	90
Опора промежуточная (металл)	65
Опора анкерная (металл)	25

#### 8.4. Электротехнический расчёт

Осветительная сеть микрорайона питается по двум линиям: ЛО1 и ЛО2. Моменты нагрузки на участках осветительной сети определяются по формуле  $M = NPL$ , где  $N$  – количество светильников;  $P$  – мощность светильника;  $L$  – протяжённость участка. Например, для головного участка  $M_{Г1} = M_{Г6+1} = 48 \cdot 0,07 \cdot 12 = 40,32$  кВт·м.

Площадь поперечного сечения самонесущих изолированных проводов (СИП) [19] осветительных линий вычисляется по формуле

$$S_i = \frac{M_{Гi} + \alpha \sum_{j=1}^n M_j}{K_c \Delta U_{\Delta}}$$

где  $\alpha$  – коэффициент приведения моментов (для трёхфазных сетей с глухозаземлённой нейтралью  $\alpha = 1,39$ );

$M_j$  – момент  $j$ -го участка сети;

$i$  – количество участков осветительной сети;

$K_c$  – понижающий коэффициент (для алюминиевых проводов трёхфазных сетей с глухозаземлённой нейтралью  $K_c = 44$ ; для медных проводов трёхфазных сетей с глухозаземлённой нейтралью  $K_c = 12$ );

$\Delta U_{\Delta}$  – допустимая потеря напряжения в линии, %.

Потери напряжения на участках осветительной линии определяются с использованием следующего выражения

$$\Delta U_i = \frac{M_i}{K_c S_i}$$

Результаты расчётов и выбора проводов осветительной сети микрорайона сведены в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Расчёт линий освещения

Участок	$M$ , кВт·м	$\Delta U$ , %	$L$ , км	Провод
ТП64-1	40,32	0,06	0,012	СИП-13 × 16 + 1 × 25
1–2	30,87	0,34	0,021	СИП-13 × 16 + 1 × 25
2–6	79,52	0,21	0,084	СИП-13 × 16 + 1 × 25
6–11	23,8	0,03	0,103	СИП-13 × 16 + 1 × 25
6–15	21,84	0,03	0,106	СИП-13 × 16 + 1 × 25
2–20	26,46	0,038	0,126	СИП-13 × 16 + 1 × 25
1–35	16,94	0,025	0,093	СИП-13 × 16 + 1 × 25
1–21	38,5	0,05	0,025	СИП-13 × 16 + 1 × 25
21–24	15,96	0,022	0,06	СИП-13 × 16 + 1 × 25
21–26	30,94	0,044	0,034	СИП-13 × 16 + 1 × 25
26–29	16,38	0,025	0,059	СИП-13 × 16 + 1 × 25
26–31	8,12	0,011	0,042	СИП-13 × 16 + 1 × 25
ТП63-36	50	0,07	17	СИП-13 × 16 + 1 × 25
36–46	249,36	0,36	0,245	СИП-13 × 16 + 1 × 25
36–51	74,3	0,11	0,125	СИП-13 × 16 + 1 × 25
36–65	358,5	0,51	0,366	СИП-13 × 16 + 1 × 25

#### 9. РАСЧЁТ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Защита силовых трансформаторов должна срабатывать при возникновении повреждений и ненормальных режимов следующих видов:

- при многофазных замыканиях в обмотках и на выводах;
- при межвитковых замыканиях обмоток одной фазы и замыканиях на землю;
- при внешних к. з.;
- при недопустимых перегрузках;
- при недопустимом снижении уровня масла.

К числу наиболее распространенных защит относятся токовые отсечки — максимальные токовые защиты с пуском по напряжению и без него; дифференциальные (продольные) токовые защиты с торможением и без него; газовая защита.

Трансформаторы малой мощности до 750 кВА при напряжении 10 кВ и до 3200 кВА при напряжении 35 кВ тупиковых подстанций могут защищаться от внутренних к. з. с помощью предохранителей. Однако в этом случае из-за нестабильности защитных характеристик последних возможны недопустимые задержки отключения и сложности согласования с защитами смежных участков.

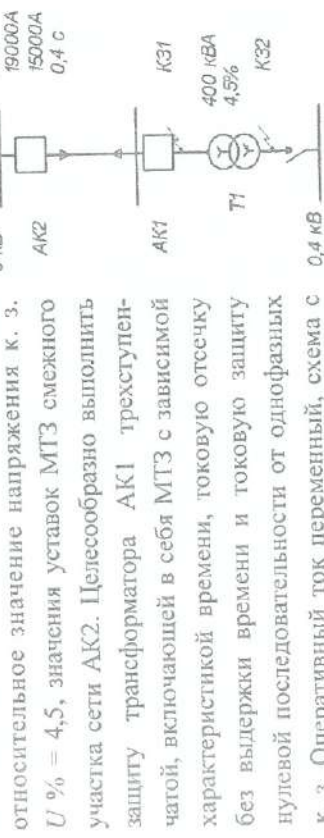
Релейную токовую защиту трансформаторов обычно выполняют трёхступенчатой. Первой ступенью защиты является токовая отсечка, значение тока срабатывания которой выбирается выше максимального значения тока к. з. за трансформатором. Вторая ступень — это максимальная токовая защита (МТЗ), выдержка времени которой согласована с выдержками времени защит отходящих присоединений. Третья ступень — токовая защита нулевой последовательности от однофазных к. з. Для повышения чувствительности МТЗ дополняется пуском по напряжению от реле напряжения обратной последовательности (при несимметричных к. з.) или от реле минимального напряжения (при симметричных к. з.). Ток срабатывания МТЗ при этом выбирается по условно отстройке от номинального тока, а не от тока срабатывания электродвигателей, питаемых трансформатором, что и обеспечивает повышение чувствительности защиты.

Дифференциальная токовая защита является основной действующей защитой трансформаторов с обмоткой высшего напряжения более 3 кВ от к. з. на выводах и внутренних повреждениях. В соответствии с ПУЭ, продольная дифференциальная защита без выдержки времени должна устанавливаться на трансформаторах мощностью 6,3 МВА и на трансформаторах меньшей мощности (но не менее 1 МВА), если токовая отсечка не удовлетворяет требованиям чувствительности, а максимальная токовая защита имеет выдержку времени более 0,5 с. Для повышения чувствительности продольных дифференциальных защит к внутренним к. з. широко применяется

принцип торможения. Для этого дифференциальное реле снабжается дополнительной тормозной обмоткой, МДС которой приводит к существенному увеличению тока срабатывания при к. з. вне трансформатора и к незначительному при к. з. в защищаемой зоне. Таким образом, появляется возможность повышения чувствительности к внутренним к. з. с одновременной отстройкой от внешних.

Газовая защита трансформаторов предназначена для отключения питания трансформатора при повреждениях внутри бака с маслом, в который помещены обмотки. При перегреве обмоток или при возникновении электрической дуги в результате к. з. начинается разложение масла с интенсивным выделением газа. В результате потоки масла устремляются в расширитель, воздействуя при этом на первичные преобразователи газового реле, по сигналу которого происходит отключение трансформатора. Трансформаторы мощностью 1 МВА и более поставляются комплектно с газовой защитой.

При расчёте релейной защиты исходными являются следующие данные: расчетная схема участка электрической сети (рис. 9.1); ток к. з. на шинах 6 кВ — 19000 А; тип защищаемого трансформатора — ТМГ, его номинальная мощность  $S_{\text{Тном}} = 400$  кВА;



относительное значение напряжения к. з.  $U\% = 4,5$ , значения уставок МТЗ смежного участка сети АК2. Целесообразно выполнить защиту трансформатора АК1 трехступенчатой, включающей в себя МТЗ с зависимой характеристикой времени, токовую отсечку без выдержки времени и токовую защиту нулевой последовательности от однофазных к. з. Оперативный ток переменный, схема с дешунтированием электромагнитов отключения [20].

Рис. 9.1. Схема участка электрической сети

Рассчитываются следующие параметры: уставки  $I_{\text{сз}}$  и  $I_{\text{сз}}$  максимальной токовой защиты; уставка  $I_{\text{с0}}$  токовой отсечки, уставки  $I_{\text{сз0}}$  и  $I_{\text{сз0}}$  защиты нулевой последовательности.





При однофазном к. з. за трансформатором расчётный ток определяется по формуле

$$I_P = \frac{I_K^{(1)}}{3K_{Ta}}, \text{ где } I_K^{(1)} = \frac{U_{CP}}{Z_H^{(1)}/3}.$$

Для трансформатора ТМГ 400 кВА  $Z_H^{(1)}/3 = 0,065$  Ом, следовательно,  $I_K^{(1)} = \frac{230}{0,065} = 3538$  А, что составляет после приведения к

напряжению 6 кВ 236 А. Таким образом,  $I_P = \frac{236}{3 \cdot 600/5} = 0,66$  А, а

коэффициент чувствительности  $K_{\text{Ч}}^{(2)} = \frac{I_P}{I_{CP}} = \frac{0,66}{4} = 0,165$ , что гораздо меньше необходимого значения 1,5. Аналогичный расчёт показывает, что и трёхрейсная схема не обеспечивает требуемой чувствительности.

Следовательно, для защиты трансформатора от однофазных к. з. на землю на стороне 0,4 кВ необходима специальная защита нулевой последовательности.

Ток срабатывания этой защиты  $I_{C30}$  выбирается из условия отстройки от тока небаланса в нулевом проводе трансформатора, максимальное значение которого в соответствии с ГОСТ не должно превышать 2,5 % от номинального значения тока трансформатора. Таким образом,

$$I_{C30} \geq K_{\text{Н}} \cdot 0,25 I_{\text{T, ном}} = 0,5 I_{\text{T, ном}} \approx 173,4 \text{ А.}$$

В последнем выражении значение номинального тока приведено к напряжению 0,4 кВ и составляет  $23,12 \frac{6}{0,4} = 346,8$  А.

В защите нулевой последовательности целесообразно применить электронное реле РС-40 и трансформатор тока с коэффициентом трансформации 800/5. Ток срабатывания реле вычисляется следующим образом  $I_P = \frac{346,8}{800/5} = 2,17$  А. Ближайшая уставка реле РС-40 2,5 А, по-

этому принимаем  $I_{C30} = 2,5 \frac{800}{5} = 400$  А. Коэффициент чувствительности защиты нулевой последовательности должен быть не менее 2 в основной зоне. В нашем случае  $K_{\text{Ч}0} = \frac{I_K^{(1)}}{I_{C30}} = \frac{3538}{400} = 8,845$ .

ствительность обеспечивает и резервирование предыдущих защитных устройств на стороне 0,4 кВ. Время срабатывания защиты нулевой последовательности можно не согласовывать с защитами предыдущих элементов 0,4 кВ. Обычно выбирается  $t_{C30} = 0,5$  с. На следующем этапе определяется ток срабатывания отсечки, А:

$$I_{CO} \geq K_{\text{Н}} I_{K_{\text{МВ}}}^{(1)} = 1,6 \cdot 1555 = 2488.$$

Этому значению  $I_{CO}$  соответствует коэффициент чувствительности к двухфазному к. з. в месте установки защиты (т. е. в точке КЗ1):

$$K_{\text{Ч}0} = \frac{I_{C31}^{(2)}}{I_{CO}} = \frac{0,865 \cdot 1640}{1488} = 2,05,$$

что превышает минимально допустимое значение 2.

Очевидно, что условие согласования с последующей токовой отсечкой АК2, ток срабатывания которой 15000 А, выполняется.

Время срабатывания МТЗ АК1 выбирается на ступень селективности 0,7 с больше, чем у МТЗ АК2, т. е.  $t_{C3} = 1,1$  с. Карта селективности защит представлена на рис. 9.5.

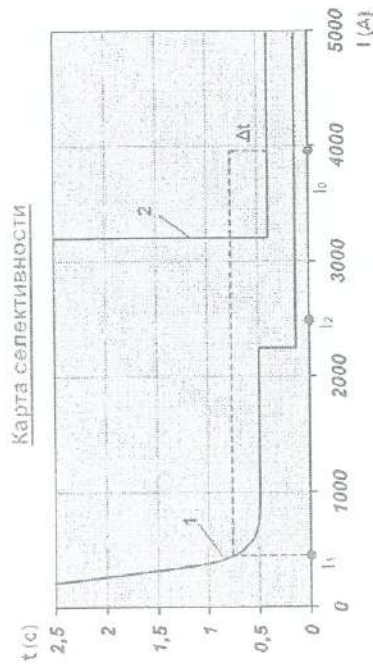


Рис. 9.5. Карта селективности. Согласование характеристик защит АК1 (кривая 1) и АК2 (кривая 2)

Проводим расчетную проверку трансформаторов тока. Для проверки на 10 % погрешность вычисляем значение предельной кратности, соответствующее току срабатывания отсечки,  $K_{10} = 2488/600 = 4,15$ . По кривой предельной кратности для данного ТА определяем сопротивление нагрузки  $Z_{\text{н доп}} = 2,4$  Ом. Расчётная нагрузка, Ом:  $Z_{\text{н расч}} = 2 \cdot r_{\text{ТР}} + 2Z_{\text{P}} + r_{\text{ТР}} = 2 \cdot 0,06 + 0,16 + 0,06 = 0,34$ .



Следовательно, погрешность ТА менее 10 %.

В применяемой схеме количество токовых реле и электромагнитов отключения одинаково, поэтому  $K_{сх} = 1$ . С учётом изложенного коэффициент чувствительности ЭО рассчитываем по упрощённой формуле

$$K_{ч.ЭО} = \frac{I_{р.мин}}{I_{с.ЭО}} = \frac{I_{К32}^{(2)}}{K_{Та}} \cdot \frac{1555}{600/5} / 5 = 2,24.$$

Это существенно выше нормативного значения 1,8.

Проверка надёжности срабатывания для реле РС-80М не проводится.

Максимальное значение напряжения на выводах вторичной обмотки ТА рассчитывается по формуле, В:

$$U_{2max} = \sqrt{2} K_{max} I_{2НОМ} Z_{н.РАСЧ} = \sqrt{2} \cdot 18 \cdot 5 \cdot 2,64 \approx 538,$$

т. е. ниже допустимого значения  $\sqrt{2} \cdot 1000$  В.

Максимальное значение вторичного тока трансформатора составляет, А:

$$I_{2Kmax} = I_{К31}^{(3)} / K_{Та} = 1631 / 120 \approx 14,$$

что ниже предельного значения 150 А для контактов реле РТ-85.

Таким образом, расчеты подтверждают правильность выбора схемы защиты на реле РС-80М.

## 10. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МКД

### 10.1. Общие положения

Многоквартирные дома микрорайона № 8 ЮЗ выполняются по типовым проектам и состоят из жилых блоков. Таким образом, требуется разработка системы электроснабжения для конкретного вида блоков. В качестве примера рассмотрим внутреннее электроснабжение жилого дома № 6. Выбранные решения являются пригодными для реализации в других объектах.

В соответствии с заданием на проектирование рабочая документация выполняется согласно требованиям СП 31-110-2003 и ПУЭ для

сети до 1 кВ с глухозаземлённой нейтралью. Система сети заземления TN-C-S. По надёжности электроснабжения электроприёмники жилого дома относятся к нагрузкам II категории.

Электроснабжение жилого дома осуществляется от внешней сети 0,4 кВ по кабельной линии, что соответствует требуемой категории электроснабжения. Электрооборудование жилого дома разработано из условия оборудования кухни газовыми плитами. Расчет нагрузок выполнен на основании РМ 2696 «Инструкция по расчёту электрических нагрузок жилых зданий».

### 10.2. Выбор основного оборудования

В качестве общедомовых вводно-распределительных устройств (ВРУ-0) целесообразно применить силовые распределительные щиты серии ПР8513, устанавливаемые на наружной стене зданий (рис. 10.1).

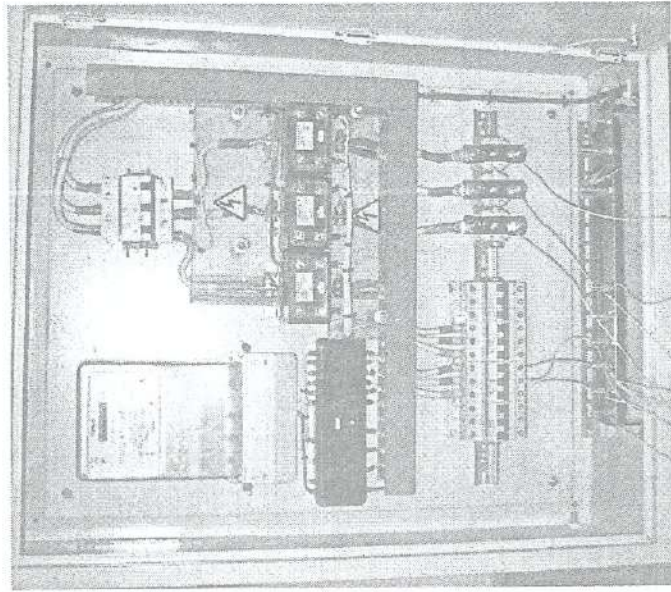


Рис. 10.1. Распределительный щит серии ПР8513

На ВРУ размещены вводный дифференциальный автоматический выключатель, общедомовой счётчик, трансформаторы тока, аппараты защиты питающих линий.

В качестве квартирных устройств распределения и учёта электроэнергии применены шкафы типа ШРУЭ-1 Чебоксарского завода «Электроаппарат» (рис. 10.2).

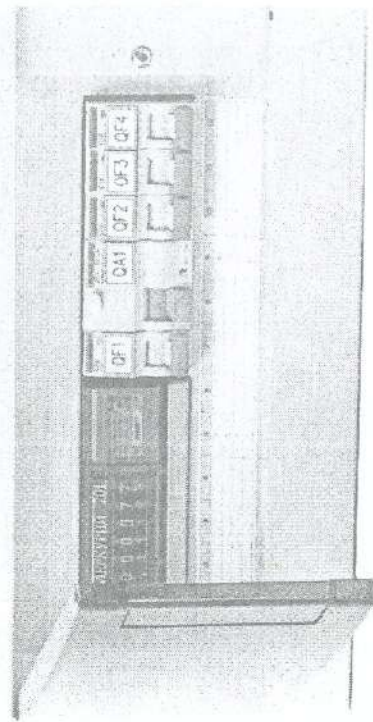


Рис. 10.2. Шкаф распределения и учёта электроэнергии типа ШРУЭ-1

В шкафу размещены вводный автоматический выключатель QF 1, дифференциальный выключатель (УЗО) QA 1, автоматические выключатели распределительных линий QF 2 – 4, счетчик учета электроэнергии «Меркурий-201».

На розеточных группах в каждой квартире предусмотрена установка автоматов с дифференциальной защитой на ток утечки 30 мА, на вводе в квартиру установлен автомат с дифференциальной защитой на ток утечки 100 мА. В ванной комнате установлены светильники фирмы MODUL арт. 211148.00X класса 2 защиты от поражения током и со степенью защиты от воздействия среды IP44. Все розетки в квартирах имеют заземляющие контакты и защиту контактных гнезд.

В качестве примера в табл. 10.1 приведён перечень электрооборудования МКД № 6.

Таблица 10.1

Перечень оборудования жилого дома № 6

Позиция	Наименование	Марка
<b>Комплектные устройства</b>		
ВРУ 0	Щит распределения и учета электроэнергии для трёхфазной сети TN-C-S, 380В со счётчиком электроэнергии «ТРИО» кл. точности 1.0 и трансформаторами тока кл. точности 0.5, с дифференциальным автоматическим выключателем на вводе $I_n = 100$ А, ток утечки 100 мА, с фидерными автоматическими выключателями распределения.	ПР 8513-3-4-10-038-1-УХЛ4
ВРУ 1	Шкаф распределения и учета электроэнергии для однофазной сети TN-C-S, 220В со счётчиком электроэнергии «Меркурий» 220В 10 – 50А кл. точности 2.0 и дифференциальным автоматическим выключателем на вводе $I = 20$ А; ток утечки 30 мА	ШРУЭ-1-4-10-038-1-УХЛ4
<b>Аппараты низкого напряжения</b>		
	Кнопка звонковая	КЭПО ГОСТ7397.2-91
	Звонок электрический	ЗП-220 ГОСТ7397.2-91
	Шина дополнительного уравнивания потенциалов	ЩДУП-4 ТУ3420-0310140 3993-02
<b>Устройства освещения</b>		
	Светильник потолочный на одну лампу до 100 Вт	НПО20-100/P20-02УХЛ4 ТУ 16-535.825-74
	Светильник на одну лампу до 60 Вт, степень защиты IP44	211148.00X MODUL
	Светильник настенный на одну лампу до 60 Вт, класс защиты от поражения током II, степень защиты IP20	НБ018-60-002УХЛ4 ТУ16-97.НББЖ 676111.871ТУ
	Светильник подвесной на одну лампу до 100 Вт, степень защиты IP52, с креплением на крюк	НСП11-100-234 ТУ 208 РСФСР 215-84



Продолжение табл. 10.1

Позиция	Наименование	Марка
	<b>Устройства освещения</b>	
	Светильник подвесной на одну лампу до 100 Вт, степень защиты IP52, класс защиты от поражения током II, с креплением на крюк	НСП02-100-007У2 ТУ 208 РСФСР 215-84
	Светильник подвесной на одну лампу до 60 Вт, степень защиты IP54	НСП03-60-001У3 ТУ 205 РСФСР 16-010-34-86
	Лампа накаливания общего назначения	ГОСТ2239-79*
	Мощность 60 Вт	Б235-245-60
	Мощность 100 Вт	Б215-225-100
	<b>Изделия электроустановочные</b>	
	Патрон подвесной пластмассовый	Е27112П01; ГОСТ2746.90
	Патрон фланцевый настенный пластмассовый	Е27Ф1-02; ГОСТ2746.1-88*
	Колодка клемная на 2 провода	С-2-2.5/220У3; ГОСТ17557-88
	Колодка клемная на 3 провода	С-3-2.5/220У3; ГОСТ17557-88
	Выключатель однополюсный для скрытой установки 6,3 А, 220 В	С-1-14-6/220; ГОСТ7397.2-91
	Выключатель однополюсный для скрытой установки 6,3 А, 220 В на две цепи	С-2-02-6/222; ГОСТ7397.2-91
	Выключатель однополюсный брызгозащищенный открытой установки 6,3 А, 220 В	0-4-IP54-14-6/220 ГОСТ 7397.2-91
	Розетка одноместная с заземляющим контактом для открытой установки, степень защиты IP43	РШ-ц-20-0-IP43-02-10/220 ТУ 16-526.463-79
	Розетка одноместная с заземляющим контактом и защитой контактных гнезд 10 А, 220 В для скрытой установки	РС-10-501 ТУ 07-90БУ6.604.084ТУ
	Розетка с боковым заземляющим контактом и защитными шторками 16 А, 250 В	РС10/16-509 ТУ 3464-002-31895692-95

Окончание табл. 10.1

Позиция	Наименование	Марка
	<b>Провода и кабели</b>	
	Сечение 2 × 16	ВВГ 2 × 16-0,66
	Сечение 3 × 16	ВВГ 3 × 16-0,66
	Сечение 1 × 16	ВВГ 1 × 16-0,66
	<b>Изделия электромонтажные</b>	
	Крюк для подвески светильников	У623УХЛ4 ТУ 36-1451-82
	Розетка потолочная	РПУХЛ4 ТУ 36-1451-82
	Коробка для установки электроустановочных изделий	КУВ-1МУХЛ3
	Коробка ответвительная пластмассовая на 4 розжка, степень защиты IP54	КОР74 У1.5
	Коробка ответвительная пластмассовая на 3 розжка, степень защиты IP54	КОР73 У1.5
	Коробка ответвительная для скрытой проводки	У197УХЛ3 ГОСТ14254-96

### 10.3. Учёт электроэнергии

В проектируемом микрорайоне № 8 ЮЗ целесообразно применить современную систему учёта электроэнергии, представляющей совокупность аппаратных и программных средств автоматизированного сбора, передачи, обработки, отображения и документирования информации о потреблении электрической энергии по множеству пространственно распределённых энергетических объектов. В соответствии с РД 34.1.1.14-98 для сокращения наименования таких систем применяется аббревиатура АСКУЭ, которая расшифровывается следующим образом: «Автоматизированная система контроля и учёта электроэнергии и мощности» [21]. Системы АСКУЭ предназначены для выполнения двух видов учёта электроэнергии: коммерческого и технического.

**Коммерческий (расчётный) учёт** – определение количества использованной потребителем электроэнергии для финансового расчёта за неё с поставщиком. Счетчики для этого вида учёта устанавливаются на границе балансовой принадлежности сетей потребителя и по-



ставщика и называются расчетными. В многоквартирных домах расчетными счётчиками являются общедомовые и квартирные приборы учёта электроэнергии.

**Технический (контрольный) учет электроэнергии** – учет расхода электроэнергии отдельными подразделениями энергетического объекта для внутрихозяйственного расчета, анализа потерь электроэнергии и расхода электроэнергии на производственные нужды с целью повышения энергоэффективности производства и энергосбережения. Например, в электрических сетях микрорайона сетевые организации с помощью АСКУЭ ведут учёт потерь энергии в трансформаторах и линиях электропередачи. Анализ данных, предоставляемых АСКУЭ, необходим для определения перегруженных участков электросети и принятия решения об увеличении их пропускной способности.

Для эффективной реализации названных видов учёта электроэнергии АСКУЭ должны решать следующие задачи:

- точное измерение параметров поставки и потребления электроэнергии за счет использования измерительных приборов и преобразователей соответствующих классов точности;
- применение многотарифного учёта по действующим тарифным системам с целью минимизации производственных и производственных затрат на энергоресурсы;
- контроль параметров электропотребления по всем точкам и объёмам учёта в заданных временных интервалах с учётом лимитов поставки, режимных и технологических ограничений.

В качестве квартирных приборов учёта электроэнергии в проектируемом микрорайоне № 8 ЮЗ целесообразно применить цифровые однофазные однотарифные счётчики «Меркурий 201.22» и цифровые однофазные многотарифные счётчики «Меркурий 200.04 М» в качестве общедомовых приборов учёта наиболее пригодны цифровые трехфазные многотарифные счётчики «Меркурий 230 ART-01 CLN».

Счётчики «Меркурий 230 ART-01 CLN» (рис. 10.3) – это цифровые двунаправленные (цифра 2 в названии) счётчики.

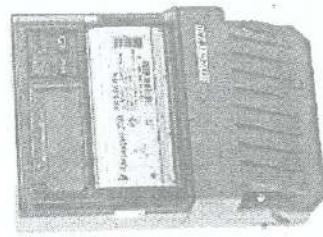


Рис. 10.3. Счётчик «Меркурий 230 ART-01 CLN»

Они предназначены для учета активной и реактивной (буквы А и R в названии) электрической энергии и мощности в одном направлении в трехфазных трех- и четырёхпроводных сетях переменного тока с возможностью тарифного учёта по зонам суток (буква Т в названии).

Для передачи результатов измерений и накопленной информации об энергопотреблении по цифровым каналам применяется интерфейс CAN (буква С в названии), а для передачи информации по силовой сети 0,4 кВ используется PLC-модем (Power Line Communication), наличие которого обозначено буквой L в названии счётчика. Счётчик имеет электронную пломбу (буква N в названии).

Для подключения счётчиков электроэнергии со встроенными интерфейсами CAN или RS-485 к персональному компьютеру в системе АСКУЭ применяется адаптер «Меркурий 221» (рис. 10.4), который представляет собой преобразователь интерфейса USB в CAN или RS-232/RS-485. После установки драйвера USB устройство определяется как виртуальный порт COM. На плате адаптера имеется переключатель для установки режима работы преобразователя. С установленной переключкой функционирует CAN, со снятой – RS-485. Заводская установка – «переключатель установлен». Все интерфейсные выводы адаптера имеют гальваническую развязку от интерфейса USB компьютера.

Концентратор «Меркурий 225.1» (рис. 10.5) применяется для организации сетей сбора данных PLC-1 или PLC-П. Устройство представляет собой одноканальный цифровой приёмник информации, передаваемой по силовой сети 0,4 кВ электросчётчиками, оснащёнными PLC-модемами. Концентратор является центральным узлом

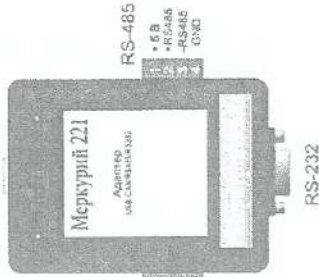


Рис. 10.4. Адаптер «Меркурий 221»

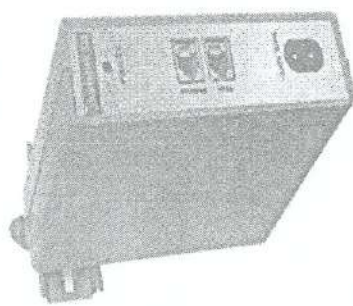


Рис. 10.6. Концентратор «Меркурий 225.1»



лом сети PLC-устройств и обеспечивает доступ к подчинённым узлам со стороны прикладных программ.

Концентратор осуществляет сетевой поиск электросчётчиков, маршрутизацию информационных пакетов, хранение и передачу данных через выбранный канал связи в центральный диспетчерский пункт. В трёхфазных сетях используются блоки из трёх концентраторов соответствующей модификации, связанных по интерфейсу RS-485.

На рис. 10.7, 10.8 и 10.9 представлены структурная схема локальной сети с присоединением счётчиков непосредственно к компьютеру и принципиальные схемы подключения счётчиков к нагрузке и компьютеру.



Рис. 10.7. Структурная схема локальной сети

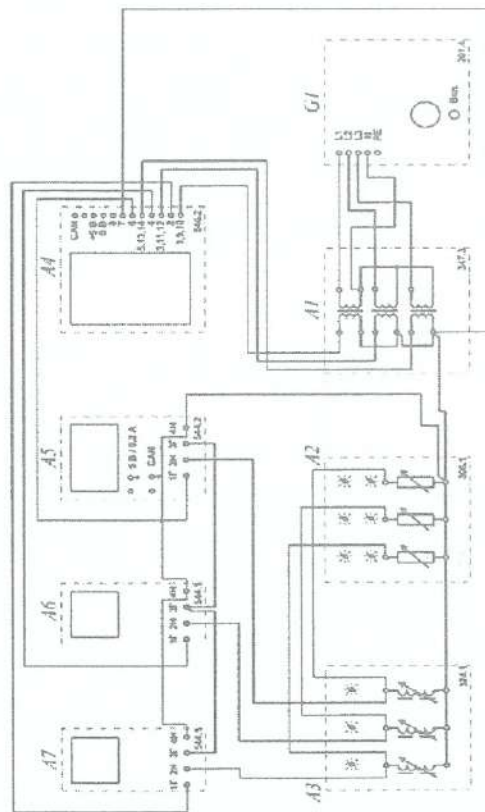


Рис. 10.8. Принципиальная схема соединения счётчиков и нагрузки

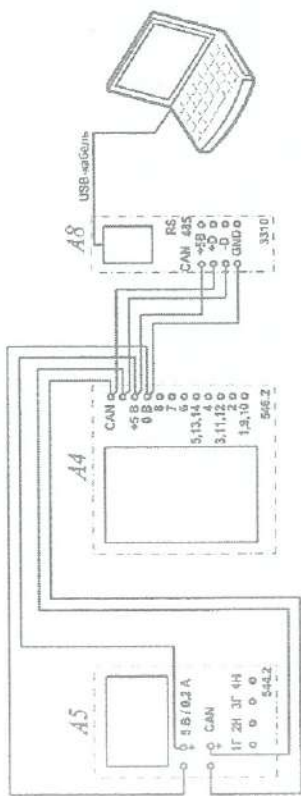


Рис. 10.9. Принципиальная схема соединения счётчика с компьютером

Рис. 10.10 иллюстрирует способы подключения концентратора «Mercurius 225.1» к компьютеру и силовой сети 0,4 кВ.

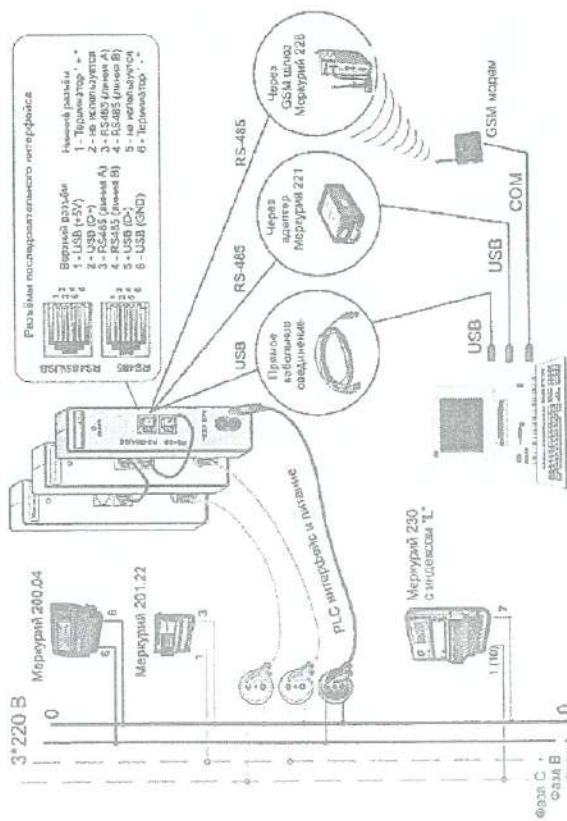


Рис. 10.10. Схема подключения концентратора «Mercurius 225.1»

В табл. 10.2 приведён перечень программных продуктов, применяемых для функционирования локальной сети АСКУЭ. Для активизации программного обеспечения необходимо выполнить следующее:

1. Запустите программу «Конфигуратор счетчиков "Меркурий"» и перейдите на вкладку «Параметры связи».
2. На вкладке «Параметры связи» в поле «Счётчик» укажите тип счетчика (например, «Меркурий 200») и сетевой адрес выбранного счетчика. Для однофазных счетчиков в качестве сетевого адреса используется номер счётчика, указанный на его передней панели.

Таблица 10.2

*Программное обеспечение*

№	Название	Где размещено	Назначение
1	Драйвер к адаптеру «Меркурий 221»	<a href="http://www.incotexcom.ru/m221.htm">http://www.incotexcom.ru/m221.htm</a>	Драйвер
2	TM comm	<a href="http://www.incotexcom.ru/m223.htm">http://www.incotexcom.ru/m223.htm</a>	Программирование PLC-адресов счетчиков
3	Конфигуратор счетчиков «Меркурий»	<a href="http://dl.dorbox.com/u/3467322/RSS/Configurator/konfigurator.zip">http://dl.dorbox.com/u/3467322/RSS/Configurator/konfigurator.zip</a>	Конфигурация и получение информации от счетчиков

Исключением являются счётчики «Меркурий 200», у которых в качестве сетевого адреса используют последние шесть цифр номера счетчика. Для трехфазных счетчиков сетевой адрес равен последним трем цифрам серийного номера и лежит в диапазоне 0 ... 240. Если число более 240, то сетевой адрес определяют по последним двум цифрам. Адрес 0 используют как групповой. На него отвечают все электросчетчики, поэтому его можно применять только при индивидуальной работе с одним счетчиком.

3. В поле «Тип интерфейса» укажите тип: «RS-485, CAN».
4. Установите галочку в поле «Эхо» в том случае, если в подключаемом счетчике установлена перемычка между контактами 3 и 4, в противном случае поле «Эхо» не активируется.

5. Установите настройки COM-порта и нажмите кнопку «Соединить».

Если соединение установлено, то далее происходит автоматическое перемещение на вкладки служебной информации выбранного счетчика. Сеть готова к работе.

## 11. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

При проектировании систем электроснабжения широко применяются разнообразное программное обеспечение, позволяющее повысить производительность, точность и качество проектирования:

- AutoCAD (подготовка графического материала);
- Компас 3D (подготовка графического материала);
- Light-In-NightRoad 3.5.0 (расчёты наружного освещения);
- КОЗА (расчёт токов к. з. и релейной защиты в сетях 0,4 кВ).

В данном разделе рассматриваются две последние программы.

### 11.1. Программа Light-In-Night

Программа Light-in-Night Road версия 3.5.0 [18] предназначена для проектирования утилитарного наружного освещения, включая улично-дорожную сеть городов и сельских населенных пунктов, внегородские автомагистрали, автостоянки, паркинги, АЗС, производственные территории, садово-парковые пешеходные зоны, дворовые территории и другие объекты.

Программа базируется на действующих российских нормах освещения, отечественной методологии расчета светотехнических параметров и принятых в России яркостных характеристиках дорожных покрытий. Используемая в программе база данных световых приборов основывается на номенклатуре компании GALAD, продукция которой выпускается на Лихославльском заводе «Светотехника» и Кадошкинском электротехническом заводе. Пользовательский интерфейс программы реализован в среде Windows.



Программа позволяет:

- выбрать тип, мощность и светораспределение необходимого светильника (с возможностью просмотра и одновременного сравнения КСС нескольких световых приборов);
- оценить эффективность выбранной схемы освещения прямых дорог (односторонняя, двусторонняя, шахматная, центральная и др.);
- подобрать наиболее рациональное расположение светильников: способ установки (на опоре или на мачте), схему размещения (в линию, по окружности или индивидуально), высоту размещения (в линию опорами, наклон кронштейна или ориентацию прожекторов и др.);
- автоматически определить оптимальный шаг между опорами, при котором обеспечиваются заданные уровни средней яркости или освещенности дорожного покрытия и равномерность освещения;
- правильно классифицировать освещаемый объект (участок улицы, площади, перекресток, пешеходная зона и т. п.) и определить для него нормативные показатели в соответствии с положениями действующих федеральных норм СНиП 23-05-95\*;

• рассчитать значения нормируемых параметров осветительной установки:

- среднюю яркость или освещенность для проезжей части,
- горизонтальную и полуцилиндрическую освещенность для тротуара,
- коэффициенты равномерности яркости и освещенности,
- показатели ослепленности,
- освещенность на стенах примыкающих к улице зданий и сравнить их с соответствующими нормативными показателями;
- представить исходные данные и результаты расчета в виде многостраничного протокола в наглядной текстовой, табличной и графической формах, удобных для представления в проектной документации.

Интерфейс программы и протокол результатов расчета выполнены на русском языке (рис. 11.1).

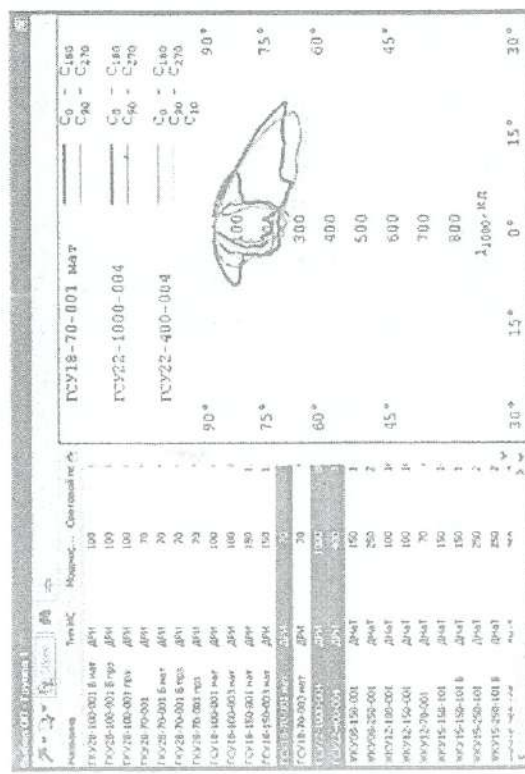
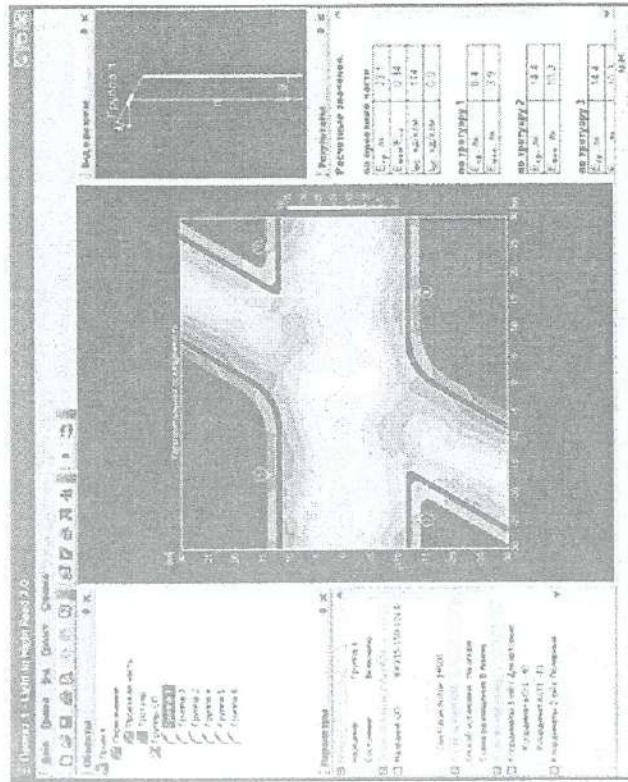


Рис. 11.1. Пример протокола результатов расчета

В текстовых полях интерфейса значения линейных параметров задаются в метрах, угловых – в градусах. Разделителем в десятичных числах является точка. Программа дает возможность получить результаты расчета в виде многостраничного протокола, в котором исходные данные и результаты расчета представлены в наглядной табличной и графической формах, удобных для представления в проектной документации. Структуру протокола определяет пользователь. Расчет базируется на российской методологии с учетом европейских стандартов и рекомендаций Международной комиссии по освещению (МКО).

### 11.2. Программа для расчёта токов к. з.

Рекомендуемая программа разработана сотрудниками «Владинградпроект» и носит рабочее название «КОЗА». Программа предназначена для расчета токов однофазного короткого замыкания на токопроводящие части (на защитный проводник) и расчета сопротивления цепи фаза – защитный проводник. Программа позволяет проверить обеспеченность защиты электросети путем сравнения тока короткого замыкания и тока срабатывания защитного устройства. В программе предусмотрен вывод результатов расчета непосредственно в программную систему *MS Word*. В программе предусмотрено автоматизированное формирование чертежей (расчетных схем электрических цепей) в программной системе *Auto CAD*. Работа с программой ведется в режиме прямого диалога, никакая предварительная подготовка исходных данных не требуется.

**РАБОТА С ПРОГРАММОЙ.** Программа размещается в папке КОЗА. Работа начинается с запуска файла КОЗА.exe. Для удобства работы может быть создан ярлык на рабочем столе или кнопка в одной из панелей. Исходные данные состоят из двух форм: главной формы программы, содержащей общие исходные данные по объекту, и формы данных по цепи.

**Общие данные по объекту.** Поля «Шифр раздела», «Наименование объекта», «ГИП», «Проверил», «Исполнил» заполняются простым вводом с клавиатуры. Эта информация используется при оформлении штампа расчета. Любое из этих полей можно оставлять незаполненным.

**Список цепей.** Окно в правой части формы содержит список цепей данного объекта. Чтобы ввести в список новую цепь, нужно установить указатель в окне на нужную строку и нажать кнопку «Вставить пустую цепь». В списке появляется цепь с названием «?». Конкретное название цепи задается при заполнении исходных данных по ней. Новая цепь добавляется после той, на которой стоит указатель. Переключатель «Как копию предыдущей» служит для облегчения ввода данных по однотипным сетям. Если следующая сеть сходна с предыдущей (содержит повторяющиеся данные), то можно сначала создать копию предыдущей, а затем исправить в ней необходимые значения.

Кнопки «Копировать цепь в буфер» и «Вставить цепь из буфера» аналогичны кнопкам «Копировать» и «Вставить» в любой *Windows*-программе, например, *Word*. Допустим, нужно создать цепь, сходную с одной из имеющихся, но в списке они не стоят подряд одна за другой. В этом случае нужно поставить указатель на имеющуюся цепь и нажать кнопку «Копировать цепь в буфер». В буферной памяти будет создана копия этой цепи. Затем нужно переставить указатель на ту цепь в списке, после которой должна появиться новая цепь, и нажать кнопку «Вставить цепь из буфера». При нажатии кнопки «Данные по цепи» (или при двойном щелчке мышью по наименованной цепи в списке) раскрывается окно исходных данных по цепи. Главная форма кроме общих исходных данных содержит меню команд.

**Меню «Исходные данные».** Если не нужно создавать новые исходные данные, а требуется открыть данные, ранее выполненного расчета, следует обратиться к команде «Открыть» из меню «Исходные данные».

По умолчанию программа настроена на чтение данных из папки «С:\КОЗА». Можно перейти в любую другую папку. Файлы исходных данных имеют расширение «кз», под которым расчет сохраняется в прошлый раз. Если в окне сохранения файлов щелкнуть по имени файла правой кнопкой мыши, откроется меню, позволяющее удалить или переименовать файл. Если из меню «Исходные данные» вызвать команду «Сохранить», окно не открывается, имя не запрашивается, а происходит сохранение под тем же именем, что в прошлый раз.



**МЕНЮ «Результаты».** Возможно выполнение следующих операций:

– «Расчет одной цепи»: выполняется расчет той цепи, на которой стоит указатель в окне-списке цепей. На экран вызывается окно просмотра и обработки результатов.

– «Расчет всех цепей»: то же, но для всех цепей объекта.

– «Чертеж одной цепи»: выполняется формирование схемы той цепи, на которой стоит указатель в окне-списке цепей. На экран вызывается AutoCAD.

– «Чертеж всех цепей»: то же, но для всех цепей объекта.

**Исходные данные по цепи.** Если на главной форме нажать кнопку «Данные по цепи», откроется форма, содержащая исходные данные по той цепи, на которой стоит указатель в списке цепей (рис. 11.2).

№ п/п	Наименование участка	N	Za	Zb	L	Zпр	Iзд	Значения устройства
1	Линия 10 кВ	0.555	1.47	ААВЛ 10 кВ 4x70	0.35	0	1800	линейный выключатель (ЛВ) 1000 А
2	От 10 кВ до ток. 1	3.64	3.64	10 кВ сек. 6	0.0015	0	150	автоматический выключатель (АВ) 1000 А, ток. 10 А
3	От ток. 1 - сек.	8.73	8.73	ВВГ сек. 25	0.04	0	150	автоматический выключатель (АВ) 1000 А, ток. 10 А
4	От ток. 1 до ток. 2	3.64	3.64	10 кВ сек. 6	0.005	0	150	автоматический выключатель (АВ) 1000 А, ток. 10 А
5	От ток. 2 до ток. 3	5.47	5.47	10 кВ сек. 4	0.04	0	150	автоматический выключатель (АВ) 1000 А, ток. 10 А
6	От ток. 3 - сек.	5.47	5.47	10 кВ сек. 4	0.02	0	150	автоматический выключатель (АВ) 1000 А, ток. 10 А
7		0	0	0	0	0	0	
8		0	0	0	0	0	0	
9		0	0	0	0	0	0	

Рис. 11.2. Форма данных по цепи

**Наименование цепи.** Сразу после создания новой цепи устанавливается наименование «?». Вместо него следует ввести реальное наименование (простым набором на клавиатуре).

**Сопрогивление трансформатора.** Если заранее известно точное значение сопротивления фазной обмотки трансформатора, то можно просто ввести его в малое текстовое поле, а в большое – марку или характеристику трансформатора.

В программе предусмотрен также выбор сопротивления трансформатора из справочной таблицы. Для этого следует нажать кнопку «Выбор» (рис. 11.3). В открывшемся окне «Сопрогивление трансформатора при схеме соединения обмоток» нужно указать нужную ячейку (щелчком мыши или стрелками на клавиатуре) и нажать кнопку «ОК». Окно закрывается. В соответствующих полях окна исходных данных появятся сопротивление трансформатора и его описание, взятые из справочной таблицы. При необходимости их можно отректировать с клавиатуры.

Мощность	Трансформатор масляный ГЭС 11920 по ГОСТ 2022	Трансформатор с векторными алгоритмами (ГОСТ 18655)	Трансформатор сухой (ГОСТ 14074)
25	1.036	0.302	трег / тревг
40	0.649	0.187	трег / тревг
63	0.420	0.120	трег / тревг
100	0.259	0.0754	трег / тревг
160	0.162	0.047	трег / тревг
250	0.104	0.031	трег / тревг
370	0.065	0.019	трег / тревг
400	0.043	0.014	трег / тревг
630	0.027	0.009	трег / тревг
1000			трег / тревг

Рис. 11.3. Форма данных «Сопрогивление трансформатора при схеме соединения обмоток»

**Сопрогивление оборудования ТП.** В данное поле вводится расчетное сопротивление разьединителей, выключателей и катушек трансформаторов тока распределительного устройства 0,4 кВ трансформаторной подстанции. Поскольку в большинстве случаев долу-



стимо принимать его равным 0,015 Ом, то достаточно просто нажать на расположенную рядом кнопку «0.015». В расчете эта величина добавляется к полному сопротивлению 1-го расчетного участка цепи.

**Сопротивление оборудования ВРУ.** В данное поле вводится расчетное сопротивление разрядников, выключателей и катушек трансформаторов тока ВРУ. Поскольку в большинстве случаев допустимо принимать его равным 0,02 Ом, то достаточно просто нажать на расположенную рядом кнопку «0.02». В расчете эта величина добавляется к полному сопротивлению второго расчетного участка цепи.

**Наименование участка.** Наименование участка вводится простым набором на клавиатуре.

**Номер предыдущего участка.** Указывается порядковый номер участка, предшествующего данному участку в общей схеме цепи. Это нужно для описания разветвленных цепей, но если даже цепь не разветвленная, номер все равно надо указывать.

**Данные о проводниках.** Для расчета требуются следующие значения:

- $Z_{ф}$  – удельное сопротивление фазного проводника, Ом/км;
- $Z_{з}$  – удельное сопротивление защитного проводника, Ом/км.

Тип проводника можно указывать в произвольной форме, на расчет он не влияет. Можно заполнить эти поля простым вводом с клавиатуры, если сопротивления известны заранее. Второй способ – воспользоваться справочной таблицей проводников (рис. 11.4). Для этого нужно поставить указатель в таблице на нужный участок и нажать кнопку «Выбор проводника» (расположена под таблицей). Открывается окно «Сопротивление проводника». В таблице в левой части окна нужно найти нужный тип и сечение проводника. Поиск в таблице ведется прокруткой с помощью мыши или стрелками клавиатуры. Если фазный и защитный проводники однотипные, то нужно щелкнуть по ячейке в графе «Сечение». Тогда в полях в правой части окна сразу установятся значения  $Z_{фазн}$  и  $Z_{защит}$ . Бывает, что фазный и защитный проводники разнотипные, т. е. их сопротивления стоят не в одной строке таблицы, а в разных. Тогда нужно найти каждый из них в таблице, но щелкнуть не по графе «Сечение», а по графе «Фазный провод» или «Защитный провод» соответственно.

В поле характеристики проводника (см. рис. 11.4) после выбора в таблице устанавливается общее описание типа «алюминий, бум. изол., 4 × 35». Щелчком по кнопке с черным треугольником можно открыть список, содержащий набор возможных марок провода, и выбрать в нем нужную марку. Наконец, можно откорректировать характеристику проводника вручную с клавиатуры.

Кнопки «2» и «3» предназначены для случая, когда полное удельное сопротивление нужно разделить на два или три провода.

Тип	Сечения	Фазный провод	Защит. провод, трос
алюминий, бум. изол.	3 × 6	6.460	0.770
	3 × 10	3.670	0.600
	3 × 16	2.470	0.520
	4 × 16	2.420	0.520
	4 × 25	1.550	0.430
	3 × 35 + 16	1.110	0.405
	4 × 35	1.110	0.338
	3 × 50 + 25	0.775	0.320
	4 × 50	0.775	0.265
	4 × 70	0.555	0.213
медь, бум. изол.	4 × 95	0.408	0.182
	4 × 120	0.324	0.156
	4 × 150	0.250	0.127
	4 × 185	0.210	0.110
	3 × 6	3.830	0.628
	3 × 10	2.260	0.570
	3 × 16	1.440	0.435

Характеристика проводника  
алюминий, бум. изол., 4 × 70

Защит.  
0.655

Z<sub>фазн</sub>  
0.213

1/2

1/3

OK

Отмена

Выбор по ячейке таблицы

Выбор типа фазного проводника

Выбор типа защитного проводника

Выбор типа защитного проводника

Рис. 11.4. Форма данных «Сопротивление проводника»

Работа в окне завершается нажатием кнопки «OK». Окно закрывается, и в соответствующих полях окна исходных данных подставляются значения удельных сопротивлений и характеристика проводника. Там их можно в свою очередь корректировать.

**Длина участка.** В графу «L» вводится с клавиатуры длина участка в километрах. Можно корректировать длину, не отрывая рук



от мыши, щелчками по кнопкам «>L» и «<L», которые вызывают пошаговое увеличение или уменьшение значения.

**Спротивление распределительного пункта.** В графу «Zпр» вводится значение сопротивления распределительного пункта (щита, шкафа) и любого другого оборудования, установленного на данном участке цепи (в омах). Поскольку в большинстве случаев допустимо принимать его равным 0,025 Ом, то достаточно просто нажать на расположенную под этой графой рядом кнопку «0.025».

**Данные о защитном устройстве.** Графа «Iпр.з» должна содержать значение тока срабатывания защитного устройства, а графа «Защитное устройство» – его характеристику (понятно, что характеристика на расчет не влияет и служит только для оформительских целей). Если ток известен заранее, то можно просто ввести его с клавиатуры. Второй способ – воспользоваться справочной таблицей защитных устройств. Для этого нужно поставить указатель в таблице на нужный участок и нажать кнопку «Выбор защитного устройства» (расположена под таблицей). Открывается одноименное окно (рис. 11.5).

11.5. Выбор защитного устройства

Для плавкой вставки в таблице указан ток срабатывания. Для автоматического выключателя указана чувствительность по отношению к номиналу; пометкой для каждого дополнительного значения отмечены участки

Уставка автомата, А

Ток или чувствительность (за 0,4 сек) (за 0,4 сек)	Ток или чувствительность (за 0,4 сек)	Ток или чувствительность (за 0,4 сек)	Ток или чувствительность (за 0,4 сек)
200	2050	1210	1650
250	2500	1550	2100
315	3400	2100	2200
395	3950	2200	2500
400	4200	2500	3050
500	5000	3050	3600
600	5700	3600	
AE1000	12	5	
AE2045	13	8	
AE2044	13	11	
AE2058M	13	9	
BA51-25	7,5	7,5	
BA51-25	11,5	11	
BA51-35	14	9,5	
BA23-25	5	5	
BA23-25G	10	5	

0,6  
0,8  
1,0  
1,25  
1,6  
2,0  
2,5  
3,15  
4,0

OK Отмена

Рис. 11.5. Окно выбора защитного устройства

Если выбирается плавкая вставка, то достаточно найти в таблице нужную строку и щелкнуть мышью по значению в колонке «За 0,4 сек» или «За 5 сек». В случае автоматического выключателя в таблице содержится не готовое значение тока срабатывания, а значение кратности. Поэтому после выбора значения в таблице появляется еще список возможных значений уставок, в котором также нужно сделать выбор.

Выбор защитного устройства подтверждается кнопкой «OK». Ток срабатывания защиты и характеристика устройства заносится в соответствующие графы таблицы исходных данных.

Возможен случай, когда в определенной точке цели происходит изменение сечения проводников, но защитное устройство в этом месте не ставится. Фрагмент цепи, начиная с места изменения сечения, должен описываться как отдельный участок цепи с отсутствующим ЗУ, т. е. защите этого участка осуществляет ЗУ, установленное на предыдущем участке. Для этого нужно указать в таблице строку «Предыдущее».

**Меню «Исходные данные».** Меню содержит команды «Сохранить» и «Сохранить как...» – аналоги тех, что находятся в одноименном меню главной формы. Здесь они продублированы для того, чтобы можно было сохранять данные в процессе работы, не выходя в главную форму.

**Меню «Редактирование».** Меню содержит команды для корректировки таблицы участков. В таблице данных по участкам часто может встречаться повторяющаяся информация. Кнопка «//», расположенная в левом нижнем углу окна, вызывает повторение в ячейке таблицы того значения, которое проставлено в выше лежащей ячейке. Например, если на нескольких участках подряд использованы одинаковые проводники или защитные устройства, то нужно по всем полям заполнить данные по первому из них, а на остальных просто пощелкать этой кнопкой.

В меню «Редактирование» имеются команды «Добавить участок» и «Удалить участок». При удалении или вставке участка (т. е. строки таблицы) происходит автоматическое изменение нумерации участков.

В меню есть также команды «Вырезать», «Копировать» и «Вставить». Эти операции – стандартные для любых *Windows*-программ.

**Выполнение расчета.** Имеется несколько команд для выполнения расчета, причем расчет можно запустить как из главной формы программы, так и из формы исходных данных по цепи.

Находясь в форме исходных данных по цепи, можно нажать кнопку «Проверить участок». При этом выполняется быстрый расчет от начала цепи до текущего участка (на котором стоит указатель в таблице), и результаты показывается в самой краткой форме: значения тока короткого замыкания, тока срабатывания защиты и вывод об обеспеченности защиты (рис. 11.6). Этот прием используется для быстрой проверки в ходе заполнения исходных данных.

В меню «Результаты» имеются команды для выполнения расчета цепи и формирования схемы цепи.



Рис. 11.6. Форма «Результаты расчета»

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы области применения воздушных и кабельных линий 0,38 – 20 кВ в городском микрорайоне?
2. Каковы нормируемые показатели качества электрической энергии, установленные ГОСТ 13109-97?
3. Какими средствами в городском микрорайоне обеспечивается соответствие установившегося отклонения напряжения заданным требованиям?
4. С какой целью выполняется компенсация реактивной мощности в электрических сетях?
5. Чем определяется значение минимального допустимого сечения проводов воздушных линий?
6. Что является предметом регулирования Федерального закона № 261-ФЗ?
7. Что означают символы ЗР в условном обозначении автоматического выключателя ВА103-ЗР-063А-С?
8. Каково номинальное значение отключающего тока утечки УЗО типа УЗО01-2Р-100А-030?
9. Как изменяется напряжение неповрежденных фаз при однофазном к. з. на землю?
10. Что означает символ Н в условном обозначении предохранителя ПН101-37-2-200А?
11. Каково номинальное значение тока предохранителя типа ПЦ102-С10-4А?
12. Что означает термин «селективность токовых защит»?
13. Что характеризует кривая силы света светильника?
14. Какими средствами обеспечивается регулирование частоты и ее поддержание в соответствии с требованиями ГОСТ 13109-97?
15. Какое электрооборудование влияет на искажение напряжения по несинусоидальности?
16. Какое электрооборудование влияет на искажения напряжения по несимметрии?
17. Перечислите ненормируемые по ГОСТ 13109-97 показатели качества электроэнергии.