

Курск 2017

Методические указания по выполнению курсового проекта  
для студентов специальности СПО 13.02.07  
Электроснабжение (по отраслям)

## УСТРОЙСТВО И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАЦИЙ



Кафедра электроснабжения

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

УДК 621.311  
М 54

Составитель В.И. Вирюлин, Д.В. Куделина

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Электроснабжение» В.Н. Алябьев

**Устройство и техническое обслуживание электрических  
подстанций: методические указания по выполнению курсового  
проекта / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. В.И. Вирюлин, Д.В. Куделина –  
Курск, 2017. – 43 с.: ил. 6, табл. 7, прилож. 5. Библиогр.: с. 43.**

Содержат сведения о методике выбора силовых трансформаторов,  
электрических аппаратов, кабелей и о разработке конструкции подстанции.  
Указывается порядок выполнения курсового проекта, подходы к решению  
различных задач и правила оформления курсового проекта.  
Предназначены для студентов специальности СПО 13.02.07  
Электроснабжение (по отраслям) всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 15.12.17. Формат 60x84 1/16.  
Усл.печ.л. 2,5. Уч.-изд.л. 2,3. Тираж 100 экз. Заказ 2900. Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Курс 2017

Методические указания по выполнению курсового проекта  
для студентов специальности СПО 13.02.07  
Электроснабжение (по отраслям)

## УСТРОЙСТВО И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАЦИЙ



Кафедра электроснабжения

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

УДК 621.311

М 54

Составитель В.И. Вирюлин, Д.В. Куделина

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Электроснабжение» В.Н. Алябьев

**Устройство и техническое обслуживание электрических подстанций: методические указания по выполнению курсового проекта для студентов направления подготовки 13.02.07/Юго-Зап. гос. ун-т; сост. В.И. Вирюлин, Д.В. Куделина. – Курск, 2017. – 43 с.: ил. 6, табл. 7, прилож. 5. Библиогр.: с. 43.**

Содержат сведения о методике выбора силовых трансформаторов, электрических аппаратов, кабелей и о разработке конструкции подстанции. Указывается порядок выполнения курсового проекта, подходы к решению различных задач и правила оформления курсового проекта. Предназначены для студентов специальности СИО 13.02.07. Электроснабжение (по отраслям) всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 15.12.17. Формат 60x84 1/16.

Усл.печ.л. 8,4. Уч.-изд.л. 27. Тираж 100 экз. Заказ 344. Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И СОСТАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	6
2. ОРГАНИЗАЦИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	7
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЭТАПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ	8
3.1. Выбор количества, типа и мощности силовых трансформаторов	8
3.2. Расчет токов короткого замыкания и их ограничение	8
3.3. Разработка схем подстанции	11
3.4. Выбор электрических аппаратов, кабелей и электроизмерительных приборов	
Приложение А	31
Приложение В	40
Приложение В	41
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	42

## ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ВЛ	– воздушная линия электропередачи,
ВН	– высшее напряжение,
ГН	– график нагрузки,
ЗН	– заземляющий нож,
ЗРЛ	– закрытое распределительное устройство,
КЗ	– короткое замыкание,
КЛ	– кабельная линия,
КРУ	– комплектное распределительное устройство для внутренней установки,
КРУН	– комплектное распределительное устройство для наружной установки,
КТП	– комплектная трансформаторная подстанция,
МУ	– методические указания,
НН	– низшее напряжение,
ОПН	– ограничитель перенапряжений нелинейный,
ОПУ	– опорный пункт управления,
ОРУ	– открытое распределительное устройство,
ОТ	– оперативный ток,
ПАВ	– посававарийный режим,
ПС	– понижающая трансформаторная подстанция,
РПЗ	– расчетно-повысительная записка,
РПН	– устройство регулирования напряжения под нагрузкой,
РУ	– распределительное устройство,
СЗА	– степень загрязнения атмосферы,
ТН	– трансформатор напряжения,
ТСН	– трансформатор собственных нужд,
ТТ	– трансформатор тока.

## ВВЕДЕНИЕ

В условиях необходимости обеспечения роста объемов производства как в промышленных, так и сельскохозяйственных сферах экономики страны, а также бурного развития электроники и новейших технологий неизбежен рост потребления электроэнергии не только имеющимися в настоящее время крупными промышленными центрами и предприятиями практически любых отраслей, но и предприятиями и организациями мелких фирм, организациями, в том числе бытовыми потребителями. Возникает ряд задач, непосредственно связанных с энергообеспечением потребителей. Одной из таких задач является качественное и бесперебойное снабжение электроэнергией. Ее решением может послужить проектирование новых ПС у потребителей. На ПС всех напряжений, как правило, применяется не более двух трансформаторов по соображениям технической и экономической целесообразности. В большинстве случаев это обеспечивает надежное питание потребителей и в то же время дает возможность применять простейшие блочные схемы питания без сборных шин на ВН, что уменьшает их конструктивные решения и уменьшает стоимость.

Курсовое проектирование считается первым шагом самостоятельной работы студента по своей специальности, который знакомится с основными приемами и методами проектирования элементов электрической части подстанции, причается к общению теоретических сведений, полученных при изучении специальных курсов, к использованию нормативной документации, ГОСТов, справочной литературы, результатов практики, учебной и периодической литературы для решения отдельных задач и выполнения проекта в целом.

В связи с этим в МУ приводятся материалы, позволяющие проектированию достаточно обоснованно разработать проект, соответствующий реальным условиям.

Настоящие методические указания посвящены проектированию ПС и могут быть использованы студентами направления подготовки Энергообеспечение и электротехника

## 1. ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И СОСТАВ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Целью выполнения курсового проекта является углубление и закрепление студентами теоретических знаний путем применения их к комплексному решению поставленной задачи по изучаемой дисциплине, а также оценка компетентности обучающихся по данной дисциплине.

Курсовое проектирование направлено на закрепление знаний по курсам «Производство электрической энергии» и «Электрические станции и подстанции», приобретение навыков самостоятельных технических решений, практических навыков инженерного проектирования электростанов, подготовку к курсовому, дипломному проектированию, а также к практической деятельности по избранной специальности.

При проектировании подстанций старается использовать типовые решения, схемы и элементы. Это приводит к унификации оборудования и, как следствие, к удешевлению обслуживания и проектировочной стоимости, в результате чего главной задачей при проектировании является выбор такого оборудования, которое будет не только обеспечивать качественное и бесперебойное электроснабжение, но и время требовать минимальное обслуживание и быть дешевой своих аналогов.

В курсовом проекте необходимо разработать электрическую часть для трансформаторной ПС.

Основными этапами курсового проектирования являются:

1. выбор силовых трансформаторов,
2. расчет токов короткого замыкания и их ограничение,
3. разработка главной схемы ПС,
4. выбор электрических аппаратов и кабелей,
5. разработка конструкции ПС,
6. графическая часть.



## 2. ОРГАНИЗАЦИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Выполнить проект рекоменбуется в порядке расположения разделов настоящих методических указаний в сроки, определенные графиком курсового проектирования.

Исходные данные для курсового проектирования приведены в приложениях А–В к настоящим методическим указаниям.

Номер варианта задания, процент резерва и состав курсового проекта для студентов дневной и заочной форм обучения определяется преподавателем при выдаче задания, которое может быть изменено преподавателем с целью наибольшего приближения проекта к реальному.

Преподаватель является одновременно руководителем проекта и консультантом. Студент как автор проекта полностью отвечает за принятые в проекте решения, правильность выполнения расчетов и практической части.

Выполненный студентом КП в виде РПЗ и графической части представляются для проверки преподавателю в сроки, указанные в графике курсового проектирования.

Студенты дневной формы обучения на индивидуальных консультациях должны представлять преподавателю для проверки результаты выполнения ими отдельных этапов проектирования.

Окончательно оформленный проект, содержащий РПЗ и графическую часть, должен быть представлен руководителю проекта. Все замечания по проекту приводятся в письменном виде руководителем проекта в РПЗ и на чертежах.

Проверенные проекты, не имеющие принципиальных ошибок, допускаются руководителем проекта к защите.

Защита проекта происходит открыто перед комиссией, назначенной заведующим кафедрой электроснабжения. На защите автор проекта делает краткое сообщение по основным разделам проекта, отвечает на вопросы членов комиссии.

По результатам сообщения студента, ответов на поставленные вопросы, просмотра РПЗ и графической части, замечаний и мнения руководителя проекта комиссия определяет оценку курсового проекта.

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЭТАПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

#### 3.1. Выбор количества, типа и мощности силовых трансформаторов

При проектировании ПС выбор мощности силовых трансформаторов выполняется на основании расчета систематических нагрузок и аварийных перерывов по ГОСТ 14209-97. В курсе проекта выбрать мощность силовых трансформаторов достаточно исходя из расчета аварийных перерывов, тем самым будет обеспечено наилучшее использование мощности силовых трансформаторов, уменьшен расход электроэнергии [21].

Надоег часто проектируются двухтрансформаторные ПС, другое количество силовых трансформаторов применяется редко и должно быть экономически обосновано. Силовые трансформаторы выбираются оптимальными и располагаются обычно на открытой части ПС. Согласно [1] при расширении, реконструкции и техническом перевооружении подстанций 35-220 кВ рекомендуется применять силовые трансформаторы единичной мощностью не выше 10 МВА на подстанциях 35 кВ и не выше 63 МВА – на подстанциях 110 кВ.

#### 3.2. Расчет токов короткого замыкания и их ограничение

##### 3.2.1. Расчет токов короткого замыкания

Целью выбора и проверки электрических аппаратов и кабелей производится расчет токов КЗ в относительных единицах для симметричного трехфазного КЗ.

Для этого следует произвольно задать величину базисной мощности  $S_b$ , удобной для расчетов, например, 1000 МВА.

Вычислить приведенные значения сопротивления для всех элементов расчетной схемы по формулам, приведенным в таблице 1 [2, 3, 9].

Расчетная схема должна быть составлена для удаленного КЗ при включенных всех основных элементах схемы: силовых трансформаторах, ВЛ, секционных выключателях и др.

Таблица 1. Формулы приведенных сопротивлений в относительных единицах

Элемент схемы	Формула
Электрическая система С1, С2	$X_C = \frac{S_K}{S_g}$ ,
Воздушная линия электропередач	$X_{II} = X_0 l \frac{U_2^2}{S_g^2}$ ,
Трансформатор двухобмоточный нерегулируемый обмоткой НН	$X_I = \frac{100 \cdot S_{nom}}{n_{K\%} \cdot S_g}$ ,
То же, но с расширенной обмоткой	$X_{I\text{НН}} = 0,125 \frac{100 \cdot S_{nom}}{n_{K\%} \cdot S_g}$ , $X_{I\text{НН}} = 1,75 \frac{100 \cdot S_{nom}}{n_{K\%} \cdot S_g}$ ,

где  $S_K$  – мощность КЗ системы С1, С2, МВА;

$X_0$  – индуктивное сопротивление 1 км длины ВЛ, Ом/км;

$l$  – длина ВЛ, км;

$U_{ВН}$  – высшее напряжение, кВ;

$U_{НН}$  – низшее напряжение, кВ;

$n_{K\%}$  – напряжение КЗ трансформатора, % [4, 5, 10, 12];

$S_{nom}$  – номинальная мощность трансформатора, МВА [4, 5, 10, 12].

Базисный ток на шинах НН и ВН:

$$I_{g\text{НН}} = S_g / (\sqrt{3} \cdot U_{g\text{НН}}), \text{кА}, \quad I_{g\text{ВН}} = S_g / (\sqrt{3} \cdot U_{g\text{ВН}}), \text{кА} \quad (3.1)$$

Должны быть составлены и рассчитаны не менее трех вариантов схем электроснабжения (например, ремонтная переемыка ВН и секционный выключатель НН включены, потом отключены и другие варианты). После преобразования расчетной схемой определить результирующие сопротивления  $X_{\Sigma\text{НН}}$  и  $X_{\Sigma\text{ВН}}$  цепей до точек КЗ соответственно на шинах НН и ВН.

В курсовом проекте при расчете токов КЗ необходимо определить следующие величины:

а) начальные действующие значения периодической составляющей на шинах НН и ВН

где  $I_{omk}$  – номинальный ток отключения выключателя НН [14], кА;

$$(3.6) \quad I_{omk}^{HH} \leq I_{omk}$$

комплексных ячеек РУ НН, т.е. необходимо чтобы  
выпускаемыми в настоящее время взамен маломасляным в  
выключателями типов ВВЭ-М-10, ВВЭТ-10, ВВ/ВБ-10 и др.,  
1) возможностью отключения токов КЗ вакуумными  
определена на основании проверки двух условий:

Необходимость ограничения тока КЗ на шинах НН должна быть  
замыкания

3.2.2. Определение необходимости ограничения токов короткого  
считать удаленным от генераторов.

расхождение контактов выключателя  $t$  считать равным  $I_{no}$ , т.е. ток КЗ  
3) действующее значение периодической составляющей к моменту

$$(3.5) \quad B_r = I_{om}^2 (I_{om} + T_a) \cdot 10^6, \text{ A}^2 \cdot \text{c},$$

ж) импульс квадратичного тока КЗ

е) ударный ток  $I_y$ , кА;

$I_{at}$ , кА, [2, 3, 9];

д) значение аperiodической составляющей в момент времени  $t$  –

$T_a$ , с (можно выбрать по таблицам [2, 3, 9]);

г) постоянную времени затухания аperiodической составляющей

где  $t_{co}$  – собственное время отключения выключателя, с [4, 14];

$$(3.4) \quad t = t_y + t_{co}, \text{ c},$$

в) время отключения тока КЗ

защиты  $t_y = 0,1 \text{ c}$  [2, 6];

Принять в курсовом проекте время действия основной релейной

$t_o$  – время отключения выключателя, с [4, 14].

где  $t_y$  – время действия релейной защиты, с;

$$(3.3) \quad I_{om} = I_y + I_o, \text{ c},$$

б) полное время отключения цепи при КЗ

$$(3.2) \quad I_{no}^{HH} = I_{\Sigma HH} / X_{\Sigma HH}, \text{ кА}, \quad I_{no}^{BH} = I_{\Sigma BH} / X_{\Sigma BH}, \text{ кА},$$

2) термической стойкостью головных участков кабельной сети, т.е. кабелей, отходящих от РУ НН.

Минимальную площадь сечения кабеля (кроме СПЗ-кабелей), отвечающую требованию его термической стойкости при КЗ, можно приближенно определить по формуле

$$q_{\min} = \frac{I_{\text{номНН}} \sqrt{t_{\text{ом}} + T_a} \cdot 1000}{C}, \text{ мм}^2 \quad (3.7)$$

где  $C$  – функция, зависящая от вида кабеля,  $A \cdot c^{1/2} / \text{мм}^2$ ,  
 В курсовом проекте выбрать сечение кабеля НН с алюминиевыми жилами –  $C = 90 A \cdot c^{1/2} / \text{мм}^2$  [2].

Условие термической стойкости головных участков кабельной сети НН выглядит так

$$q_{\min} \leq q_{\text{см}} \quad (3.8)$$

где  $q_{\text{см}}$  – стандартное сечение кабеля,  $\text{мм}^2$ ,  $q_{\text{см}} \leq 240 \text{ мм}^2$ .

Для СПЗ-кабелей: –  $B_{\text{расчНН}} \leq I_{\text{мер}}^2 t_{\text{мер}}$ ,

где  $I_{\text{мер}}$  – ток термической стойкости по каталогу в  $\text{kA}$ ,

$t_{\text{мер}}$  – время термической стойкости, принять 1 с.

Если хотя бы одно из двух вышеперечисленных условий не выполняется, ограничивают ток КЗ.

### 3.2.3. Ограничение токов короткого замыкания

Самым эффективным, наиболее распространённым и рекомендуемым способом ограничения токов КЗ является раздельная работа трансформаторов, что и рекомендуется применить в данном КИП для его улучшения и показана на однолинейной электрической схеме ПС.

## 3.3. Разработка схем подстанции

3.3.1. Определение структурной схемы и основных характеристик подстанции

Исходя из заданной схемы присоединений (приложение В, рис. В.1), необходимо определить структурную схему, тип ПС с учетом категории надежности электроснабжения [2, 3, 5, 16, 19].

зоны сильных СЗА.

к ВЛ через разьединители, которые должны быть вынесены за пределы помещений также такие входы или присоединения трансформаторов (рис. 3.1 з, е). При IV СЗА (или) при наличии сильной СЗА (III, IV степени) выбирается При ограничении на площадь, выделенную под проектируемую

выделенную под проектируемую открытию ПС [17-19].

последние невелики (I-II степени), и нет ограничения на площадь, напряжение 35-220 кВ, если окружающая среда не имеет СЗА или надо использовать створенные блоки с перемычкой (рис. 3.1 ж, з) при Если ПС ответвительная или тупиковая и подключена к двум ВЛ,

в «перемычки» допускается не устанавливаться [17-19].

(рис. 3.1 а-г). При одной линии и двух трансформаторах разьединители применять схемы укрупненного блока (линия + два трансформатора)

При наличии одной ВЛ, связывающей ПС с системой, надо крупноблочными узлами доставляемых на место монтажа [2, 13, 17-19].

высшим напряжением 35-220 кВ, изготавливаемых на заводах и трансформаторных подстанций блочных (КТБ) наружной установки с Сейчас существует тенденция к применению комплектов

проходящих ВЛ [2, 15, 17-19].

территориально недалеко расположенные от питающих ПС или

включительно. Это типичные, экономичные схемы ПС,

основном потребительских ПС или ответвительных ПС до 500 кВ

Блочные схемы применяются на стороне ВН тупиковых, в

### 3.3.2.1. Разработка схемы высшего напряжения

требований надежности и других условий [17-19].

номинального напряжения, режимов работы оборудования и нейтралей, электрических аппаратов в зависимости от структурной схемы,

определения количества систем шин и секций РУ, расстановку Разработка главной схемы предполагает выбор ее вида,

схемой».

схема главных цепей подстанции, называемой в дальнейшем «главной разработка приводит к составлению принципиальной электрической

подробно разработана для обоих напряжений (ВН и НН). Подробная Выбранный вариант структурной схемы ПС должен быть

### 3.3.2. Разработка главной схемы подстанции

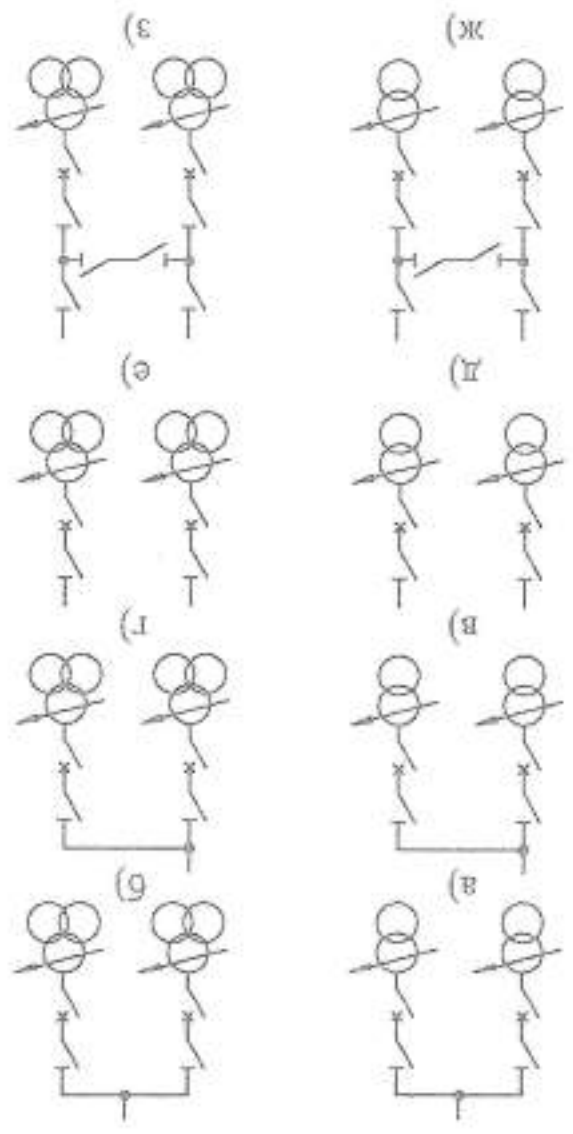
Мостиковые схемы применяются на стороне ВН ПС 35-220 кВ при 4-х присоединениях (2ВЛ+2Т) и необходимости осуществления секционирования сети [17-19].

На напряжении 110-220 кВ мостиковые схемы применяются как с ремонтной перемычкой, так и при соответствующем обосновании без ремонтной перемычки [17-19].

При необходимости секционирования сети на ПС в режиме ремонта выключатели предпочтительнее применять схему «мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов» (рис. 3.2 а, б).

Данная схема применяется при необходимости частого отключения трансформаторов (неравномерный график нагрузок), а

Рис. 3.1. Рекомендуемые схемы типовых и ответвительных подстанций



также для сохранения трансформатора при КЗ (повреждения) в трансформаторе.

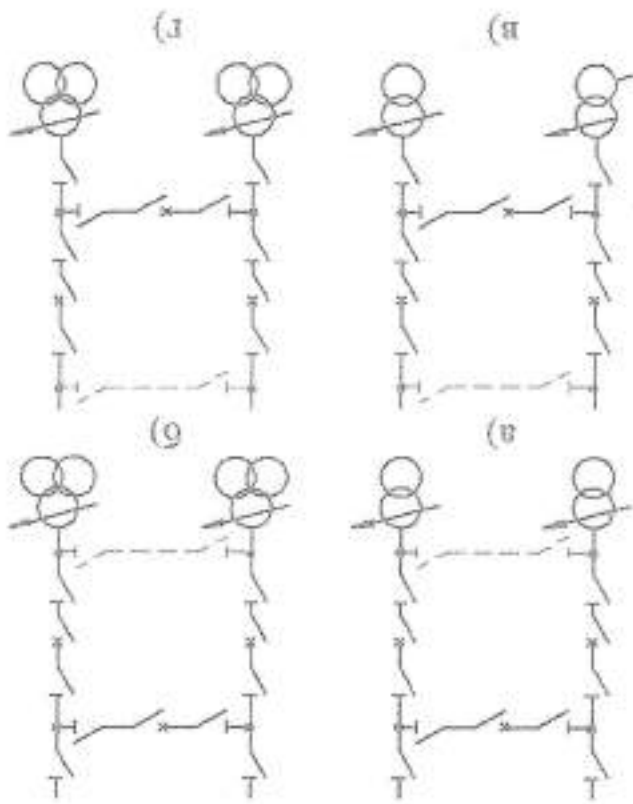


Рис. 3.2. Рекомендуемые схемы проходных подстанций

При равномерном графике нагрузки применяется схема «мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линии», что позволяет сохранить в работе два трансформатора при КЗ на ВЛ в нормальном режиме работы ПС (рис. 3.2 в, г).

Необходимость установки ремонтной перемычки в мостиковых схемах определяется возможностью отключения одной из ВЛ в схеме рисунка 3.2 в, г (одного из трансформаторов в схеме рис. 3.2 а, б) на время ремонта выключателя; если такое отключение ВЛ по условиям электроснабжения потребителя возможно — перемычка не устанавливается.

При СЗА более IV, как правило, следует предусматривать сооружение ЗРУ. В этом случае выбор схемы ВЛ должен быть проведен для обычных условий, т.е. при малой степени СЗА и отступлении от нормативов на площадь [11].

### 3.3.2.2. Разработка схемы низшего напряжения

ВН состоит из двух секций соответственно количеству трансформаторов с независимыми обмотками (рис. 3.3 а). Если



Трансформаторы имеют расширенные обмотки НН, то РУ НН содержит четыре секции соответственно общему количеству обмоток НН (рис. 3.3 б).

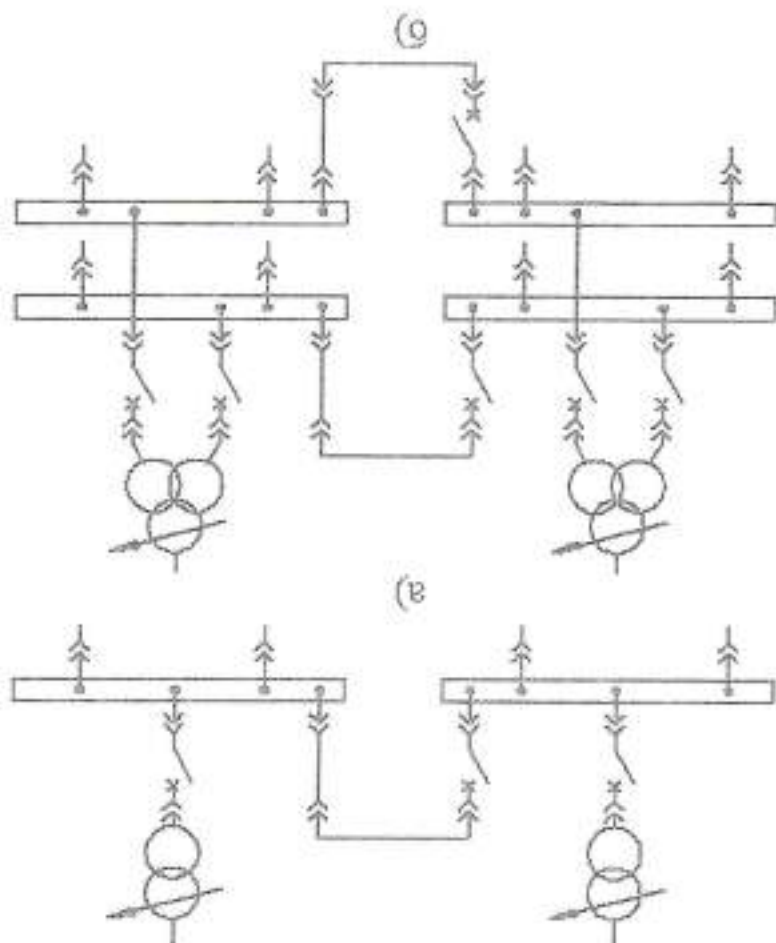


Рис. 3.3. Типовые схемы РУ НН

Количество секций РУ НН зависит также от количества кабельных линий (КЛ) НН, от характера нагрузки. В отдельных случаях ПС могут иметь иное количество секций РУ НН, не кратное двум. Разработка схемы РУ НН должна быть проведена на основании сетки основных номеров шкафов согласно используемым схемам [7, 8, 15].  
 Данное количество КЛ НН следует равномерно распределить по секциям РУ НН с учетом резерва и возможности подключения в шкафах К-59 нескольких кабелей параллельно (до 4-х) [15].



### 3.3.3. Выбор вида оперативного тока

На ПС напряжением 35 кВ (кроме ответственных и типовых) и выше должна применяться система оперативного постоянного тока (система ОПТ, СОПТ) напряжением 220 В [17, 19].  
 На ПС с высшим напряжением 35–110 кВ применяется одна аккумуляторная батарея, 220 кВ – две.

Для организации выпрямленного ОП должны быть использованы стабилизированные блоки напряжения, которые должны быть подключены к трансформатору к трансформатору напряжения на стороне ВН. Подключаясь к трансформатору питания, подстанции, и токовые блоки питания, подключаемые ко вторичным цепям отключенных трансформаторов тока на стороне ВН ПС. При необходимости предусматривается установка дополнительного блока стабилизированного напряжения, подключаемого к трансформатору собственных нужд, который принимает на себя часть нагрузки оперативных цепей в нормальном режиме работы. Для питания цепей стабилизации могут применяться нестабилизированные блоки напряжения, которые должны быть подключены к секциям питаемых собственных нужд [17, 19].

Также согласно [17, 19] возможно применение переменного ОП. В курсовом проектировании рекомендуется применение оперативного постоянного или выпрямленного тока.

### 3.3.4. Выбор трансформаторов собственных нужд

Расчет нагрузки собственных нужд двухтрансформаторной ПС проводить с использованием [3], учесть, что ПС без дежурного персонала, результаты расчета поместить в таблицу 2, тип ПС СН выбрать по [5, 15]. На всех двухтрансформаторных ПС 35–750 кВ должны быть установлены два ТСН со скрытым резервом.

Таблица 2. Расчетные нагрузки собственных нужд подстанции

Электромонтажные работы	Электромонтажные работы см. таблицу 3	Кэф. мощн. cosφ	Количество	Кэф. спроса	Расчетная мощность
1	2	-	шт	-	кВт
3	4	-	шт	-	кВт
5	6	0,85	шт	-	кВт
7	7	0,85	шт	-	кВт

(рис. 3.5).

прехранители к явотам НН трансформаторов до их выключателей переменным или выпрямленным током ТСН присоединяются через прехранители или выключатели к шинам РУ 6–35 кВ. На ПС с постоянным оперативным током ТСН присоединяются через прехранители ТСН зависит от вида оперативного тока. На ПС с

### 3.3.5. Выбор схемы питания трансформаторов собственных нужд

Тип трансформатора	Установленная мощность, кВт
ТДН-10000/35	1,5
ТДН-10000/10	1
ТДН-16000/10	1,5
ТДН-25000/10	2,5
ТДН-40000/10	3
ТДН-63000/10	4

трансформаторов

Таблица 3. Установленная мощность устройств охлаждения

и/или электродугования.

Примечание: \* Установленная мощность устройств зависит от типа и

Итого:					
Оперативные цепи	1,8	1			1,0
Наружное освещение	5	1			0,5
Отопление общепромышленной пункта управления	ОПУ-7-6 ОПУ-8-12	1			1,0
Отопление, вентиляция помещений для персонала	5,5	1			0,6–1,0
Тоже шкафа релейного аппаратуры	0,5*	1			1,0
Тоже шкафа КРУ	1*	1			1,0
Тоже ВЗН(В)-35	2,4*	1			1,0
Устройство подогрева выключателя ВЛ-11 (220)	1,65(3·1,65)*	1			1,0
1	2	3	4	5	6

Продолжение табл. 2

Выбор электрических аппаратов и кабелей осуществляется в зависимости от его назначения, места в электрической схеме, характеристик окружающей среды, условий надежности. Если выбраны типы КТЛ, КРУ, то тем самым определены типы электрических аппаратов, а их проверка будет заключаться в сопоставлении их

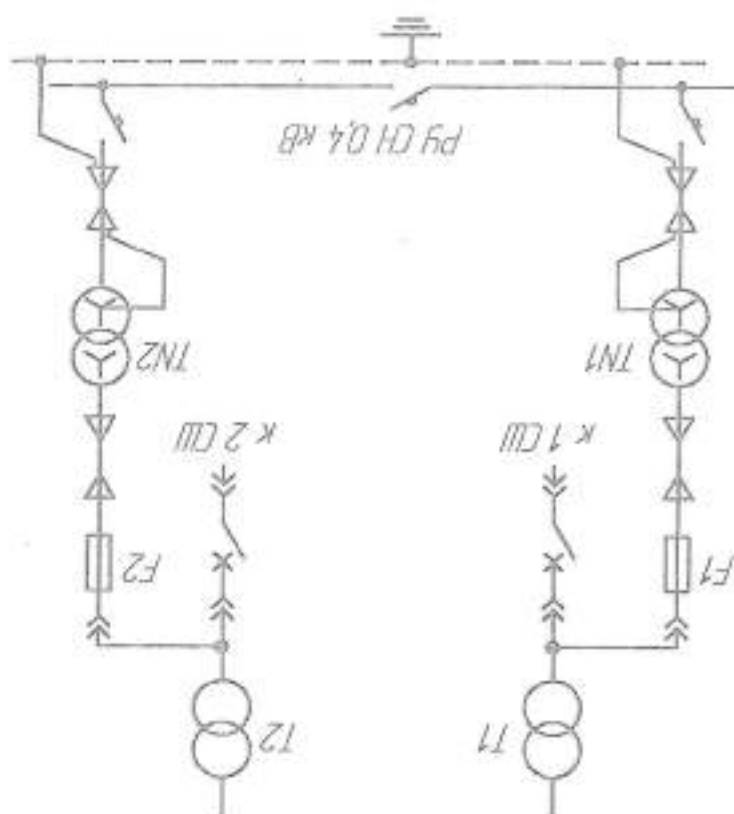
литературе [2, 3, 9, 16].  
 Выбор электрических аппаратов и кабелей производится в зависимости от их типа, сопоставления расчетных параметров с номинальными или допустимыми, приведенными в справочной

### 3.4.1. Общие сведения

## 3.4. Выбор электрических аппаратов, кабелей и электроизмерительных приборов

Сухие ТЧН обычно применяются в шкафах КРУ, масляные ТЧН – в шкафах КРУН. ТЧН мощностью более 63 кВ·А размещают вне КРУ, а их коммутационные аппараты устанавливаются в КРУ [15, 17].  
 Соединение таких ТЧН с коммутационными аппаратами выполняется кабелями.

Рис. 3.5. Схема подключения ТЧН



3.4.2. Объем работы по выбору электрических аппаратов, кабелей и электроизмерительных приборов

В курсовом проекте следует выбрать электрические аппараты, которые должны быть установлены на проектируемой ПС: выключатели, предохранители, разъемники, их приводы, ограничители перенапряжений нелинейные, ЛТ, ТН, ТСН, электроизмерительные приборы и счетчики в цепях силовых трансформаторов и самого мощного потребителя НН.

Вид	Вид						Вид
	Выключатель	Предохранитель	Разъемник	ЛТ	ТН	Кабель	
Параметры выбора и проверки	Х	Х	Х	Х	Х	Х	Параметры выбора и проверки Напряжение электроустановки, кВ Изоляция Длительный ток Электрическая стойкость Термическая стойкость Отключающая способность Выключающая способность Наружная температура Нормированная экономическая плотность тока Параметры восстанавливаемого напряжения Потеря напряжения Вид защиты
Напряжение	Х	Х	Х	Х	Х	Х	
Изоляция	Х	Х	Х	Х	Х	Х	
Длительный ток	Х	Х	Х	Х	Х	Х	
Электрическая стойкость	Х	Х	Х	Х	Х	Х	
Термическая стойкость	Х	Х	Х	Х	Х	Х	
Отключающая способность	Х	Х					
Выключающая способность	Х						
Наружная температура			Х	Х			
Нормированная экономическая плотность тока					Х		
Параметры восстанавливаемого напряжения						Х	
Потеря напряжения						Х	
Вид защиты						Х	

Таблица 4. Выбор аппаратов и кабелей

технических данных с расчетными параметрами. Параметры выбора и проверки аппаратов и кабелей приведены в таблице 4.

Кабель с алюминиевыми многопроволочными жилами и бумажной изоляцией следует выбрать и проложить в цепи самого мощного потребителя НН.

Расчет кабелей, соединяющих ТТ, ТН с электроизмерительными приборами, выполнить для одного ТТ, установленного в цепи самого мощного потребителя НН, и для одного ТН НН.

3.4.3. Выбор по номинальному напряжению и категории изоляции номинальное напряжение аппарата не должно быть меньше номинального напряжения электроустановки или сети, в которой он будет установлен, а категория его внешней изоляции должна соответствовать степени ВА согласно таблице 5 [11].

Таблица 5. Удельная эффективная длина пути утечки подерживающих гирлянд изоляторов и штыревых изоляторов ВЛ на металлических и железобетонных опорах, внешней изоляции электрооборудования и изоляторов ОРУ

Степень загрязнения	$\lambda_y$ , см/кВ (не менее), при номинальном напряжении, кВ	
	До 35 кВ	110–750 кВ
1 (лесткая)	1,9	1,6
2 (средняя)	2,35	2
3 (сильная)	3	2,5
4 (очень сильная)	3,5	3,1

Примечания: удельная длина пути утечки является отношением длины пути утечки внешней изоляции к наибольшему рабочему напряжению сети.

При отсутствии электрооборудования, удовлетворяющего требованиям таблицы 5 для районов с 3–4-й СЗА, необходимо применить оборудование, изоляторы и вводы на более высокие номинальные напряжения с изоляцией, удовлетворяющей таблице 5.

В районах с условиями загрязнения, превышающими 4-ю СЗ, как правило, следует предусматривать сооружение ЗРУ. Удельная эффективная длина пути утечки внешней изоляции электрооборудования и изоляторов в ЗРУ напряжением 110 кВ и выше должна быть не менее 1,2 см/кВ в районах с 1-й СЗ и не менее 1,5 см/кВ в районах с 2–4-й СЗ.

способности

### 3.4.6. Проверка электродинамической стойкости и включающей

указаны в справочниках для стандартных номинальных условий.

Допустимые длительные номинальные токи аппаратов и кабелей категории.

исключения нагрузки группы малоответственных потребителей III определены при отключении одного трансформатора или ВЛ и ток послеварийного или ремонтного режима,  $I_{max}$

нагрузкой,  $I_{norm}$ ;

а) ток нормального режима, определяемый максимальной сгущенных режимов:

В качестве расчетного принимается наибольший из токов

### 3.4.5. Выбор по длительному току

ближайшего стандартного сечения.

нагрузки. Полученное в результате расчета  $q_{ЭК}$  округляется до зависимости от продолжительности использования максимума Экономическую плотность тока  $f_{ЭК}$  выбрать по таблицам [2,11] в

где  $P^m$  – нагрузка самого мощного потребителя, МВт;

$$I_{norm} = \frac{P^m \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot U_{HH}}, \text{ A}, \quad (3.10)$$

$$q_{ЭК} = I_{norm} f_{ЭК}, \text{ мм}^2, \quad (3.9)$$

кабелей по нормированной экономической плотности тока по формуле:

В курсовом проекте допускается производить выбор сечения нормального режима максимальных нагрузок (без перегрузок)  $I_{norm}$ .

Расчетной величиной при выборе является длительный ток

тока

### 3.4.4. Выбор кабелей по нормированной экономической плотности

изоляторами специального исполнения.

В районах с 1-3-й СЗ должны применяться КРВН с изоляцией по таблице 5. В районах с 4-й СЗ допускается применение КРВН с



Расчетное значение ударного тока не должно превышать амплитудных значений тока электродинамической стойкости и тока включения (для выключателя), имеющихся в справочниках.

### 3.4.7. Проверка термической стойкости

Расчетный импульс квадратичного тока КЗ не должен быть больше импульса квадратичного тока КЗ, вычисленного по предельному току термической стойкости и времени протекания этого тока, имеющихся в справочниках.

Методика проверки термической стойкости кабеля изложена в п. 3.2.2 настоящих методических указаний.

### 3.4.8. Проверка отключающей способности

Методика проверки отключающей способности выключателей по действующему значению периодической составляющей приведена в п. 3.2.2 настоящих методических указаний.

Проверку по аperiodической составляющей рекомендуется проводить только для выключателей ВН [2, 3, 6, 16].

### 3.4.9. Проверка на потерю напряжения

Потеря напряжения на кабеле

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{ном} \cdot l (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \cdot 100 / U_{ном}, \% \quad (3.11)$$

где  $r_0$  – удельное активное сопротивление кабеля, Ом/км;

$x_0$  – удельное индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км;

$l$  – длина КЛ, км;

$I_{ном}$  – расчетный ток кабеля, соответствующий максимальной нагрузке

в нормальном режиме, А;

$U_{ном}$  – номинальное значение НН, кВ.

Предельные значения потерь напряжения не должны превышать 5% для кабеля НН [6, 10, 12].

3.4.10. Выбор электроизмерительных приборов и измерительных трансформаторов

Виды, типы, комплектность, условные обозначения и технические характеристики приборов следует взять из справочников [4,12,15]. Они используются при проверках измерительных трансформаторов по напряжению вторичных цепей, при расчете кабелей, соединяющих приборы с измерительными трансформаторами.

3.4.11. Расчет кабелей, соединяющих измерительные трансформаторы с электроизмерительными приборами

выполнить в следующем порядке:  
1. Определить тип ТТ, исходя из выбранного типа комплектных шкафов (шкафов) КРВ [7, 15].

2. Определить класс точности обмотки ТТ, исходя из назначения.  
3. Определить допустимую нагрузку в зависимости от класса точности и типа ТТ [4, 12, 15].

4. Выбрать схему присоединения приборов к ТТ [2].  
5. Выбрать типы приборов и мощности их токовых катушек [4,15].  
6. Просуммировать мощности приборов по фазам.  
7. Вычислить общее сопротивление приборов по методике, приведенной в [2].

8. Вычислить расчетное сопротивление кабелей [2, 3].  
9. Выбрать материал жилы кабеля и его минимальное сечение [2, 3, 17, 19].  
10. Вычислить расчетную длину кабеля по расчетному и фактическому сопротивлению и минимальному сечению [2, 3].

11. Вычислить предельную длину трассы, исходя из схемы присоединения приборов к ТТ.  
Расчет допустимой нагрузки на ТТ проводить в следующем порядке:

1. Определить тип ТТ, исходя из выбранного типа шкафов (шкафов) КРВ [7, 15].

2. Определить требуемый класс точности ТТ.  
3. Определить номинальную мощность ТТ  $S_{ТТ}^{III}$  в зависимости от его класса точности [4, 12, 15].

Привод	Аппарат	
Наименование	Тип	Наименование
Электромеханический	ВЭК-10 ВЭТЭ-М-1 ВВс-1-10	Выключатель вакуумный
Пружинный	ВВНТ-35	То же
Пружинный (Электромеханический)	ВЭП(Э)-3	То же
Пружинный	ВТТ-110	Выключатель элегазовый
Пружинно-гидравлический	ВТТ-110	То же
Пружинный	ВТТ-110	То же
Двигательный	РДЗ	Разъединитель трехполюсный наружной установки 35 кВ, 110 заземляющими ножами
Двигательный	РПН (РПТН) 35 и 110 кВ	Разъединитель горизонтально поворотного типа с заземляющей ножами
Ручной рычажный	РНД 35 и 110 кВ	Разъединитель трехполюсный наружной установки
Ручной рычажный	РН/ДЗ	То же, но с заземляющими ножами

8. Составить расчетную мощность приборов с номинальной мощностью ТН. Должно соблюдаться неравенство

$$\sum \bar{Q}_{\text{приб}} = \sum (S_{\text{приб}} \cdot \sin \varphi_{\text{приб}}) \quad (3.14)$$

$$\sum P_{\text{приб}} = \sum (S_{\text{приб}} \cdot \cos \varphi_{\text{приб}}) \quad (3.13)$$

$$S_{\text{ТН}} = \sqrt{(\sum P_{\text{приб}})^2 + (\sum \bar{Q}_{\text{приб}})^2} \quad (3.12)$$

7. Определить полную расчетную мощность приборов

напряжения приборов.

6. Просуммировать активные и реактивные мощности катушек ваттметры и др.).

выбранных по условиям подключения к ТТ (счетчики электроэнергии, коэффициенты мощности [4, 15] с учетом типов приборов, уже

5. Выбрать типы приборов, мощности их катушек напряжения и подключения к различным фазам ТН.

4. Уточнить количество катушек напряжения приборов,

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Назначение
ОПН-КР/TEL	6-10	Для защиты изоляции вращающихся машин трансформаторов от атмосферных и коммутационных перенапряжений
ОПН-Р/TEL	3-10	Для защиты изоляции трансформаторов электроустановок, изоляции кабельных сетей, электрических печей, изоляции линий от атмосферных генераторов, двигателей и т.п. от атмосферных коммутационных перенапряжений
ОПН/TEL	6-10	Для защиты изоляции электрических устройств и аппаратов распределительных устройств и аппаратов атмосферных и коммутационных перенапряжений
ОПН/TEL	35-220	Для защиты изоляции электрооборудования воздушных линий от атмосферных и коммутационных перенапряжений (может быть использован, где предусмотрено применение вентильных разрядников ВВО)
ОПН или ОПНп	6-35	Для защиты изоляции электрооборудования постоянного и переменного тока с частотой 50 Гц изолированной или компенсированной нейтралью атмосферных и коммутационных перенапряжений
ОПН или ОПН	0,38 и 110-750	Для защиты изоляции электрооборудования постоянного и переменного тока с частотой 50 Гц

Таблица 6. Применение приводов высоковольтных аппаратов

### 3.4.12. Выбор приводов коммутационных аппаратов

10. Проверить соединительные кабели на потерю напряжения [2].

17, 19].

9. Определить материал жил кабеля и его минимальное сечение [2, 3,

$$S_p \leq S_{пн} \cdot (3.15)$$

Комплект трехполюсных заземляющих ножей		Ручной рычажный
Разъединитель однополюсный	3ОН-110У 3ОН-110М	Ручной рычажный

ОПНп	для защиты изоляции разземленных нейтр	атмосферных
ОПНп	110/56	заземленной нейтралью от коммутационных перенапряжений

Вид и тип привода выключателя зависит от вида оперативного

тока.

Рекомендуется в КИ применять выключатели с пружинным приводом на ВН и выключатели с электромагнитными приводами на НН.

При выборе приводов можно использовать таблицу 6, оборудованное дано в качестве примера.

### 3.4.13. Выбор ограничителей перенапряжений нелинейных

Для защиты изоляции трансформаторов и электрооборудования РУ ПС установить ограничители перенапряжений нелинейные.

При выборе их типов можно использовать таблицу 7 настоящих методических указаний.

Таблица 7. Применение ограничителей перенапряжений нелинейных

## 3.5 Разработка конструкции подстанции

Согласно разработанной главной схеме следует подобрать номер схемы, исполнение и тип ПС. Предпочтительным является применение типовых и комплектных ПС заводского изготовления [5, 7, 13, 15, 18, 19].

Выбор вида, типа ПС, а также РУ ВН и НН зависит от климатических условий, степени ЗА, количества присоединяемых КИ НН, наличия ограничения на площадь, выделяемую под проектируемую ПС и других условий [2, 15, 17, 19].

В обычных условиях старается применять ОРУ ВН. При ограничениях на площадь (возможно применение КРУЭ), повышенных ЗА (более IV степени), тяжелых климатических условиях, например, в районах Крайнего Севера приходится применять ЗРУ ВН.

В комплектных открытых ПС в настоящее время в качестве РУ НН применяются шкафы КРУН серии К-59, К-63 и другие. Они могут быть установлены в модульном здании, которое представляет собой комплекс, состоящий из транспортбельных модулей размером 6750×2250×3300 мм со смонтированными в пределах модуля ячейками, межшкафными связями, сборными шинами, шинными мостами,

Оборудование, аппараты и приборы следует показывать на схемах согласно действующим ГОСТам условными обозначениями элементов схем, представляемыми в [2-6, 12, 15], и дополнить их буквенно-цифровыми обозначениями, отражающими вид элемента схемы, его порядковый номер и тип. Буквенно-цифровые обозначения целесообразно изобразить в непосредственной близости от условного обозначения аппарата, а типы и основные характеристики оборудования и аппаратов поместить в рамки и расположить в левой части чертежа напротив соответствующих условных обозначений элементов схемы, как показано на рисунке 3.6.

бумажного формата А1.

печатающих устройств вывода ЭВМ на белой плотной чертёжной автоматизированным методом – с применением графических и методом – черным карандашом, пастой, чернилами или тушью, либо действующих станков и могут выполняться автоматизированным цехом, а также разрез и план подстанции должны отвечать требованиям

Принципиальная однолинейная электрическая схема главных

б) разрез и план подстанции.

а) принципиальную однолинейную электрическую схему главных цепей подстанций;

Графическая часть курсового проекта содержит:

### 3.6. Выполнение графической части

9100×3300×4700 мм, имеющий лестничную площадку.

Управление серии ОПУ-7, состоящий из одного блока размером

Рекомендуется применить в КИ общеподстанционный пункт

типы КРУ или КРУН, выбор производится по каталогам.

размещение их в шкафу в электроустановках применяются различные

применяемых выключателей, трансформаторов тока и напряжения,

В зависимости от номинального напряжения и тока, типов

[7, 15].

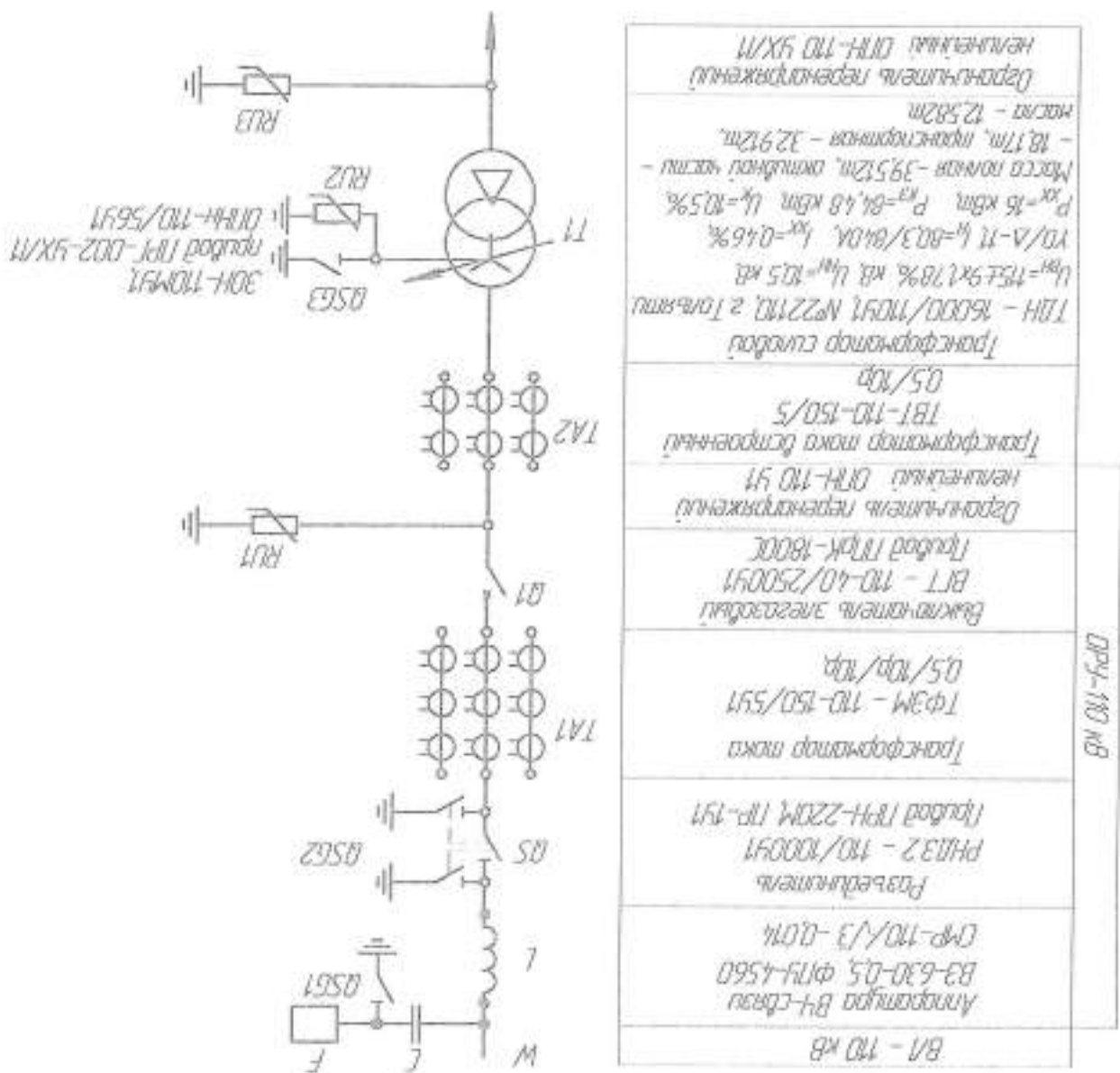
шинными вводами и кабельными лотками для вспомогательных цепей

и разрезом. На плане показывается трансформатор, разъемный и общий вид ПС может быть представлен на чертеже плане и выраженный чертеж.

выбрана такой, чтобы получился, возможно, более наглядный и всех элементов главной схемы, соединений, надписей должна быть наименьшему количеству изломов и пересечений линий. Компоновка При выполнении главной схемы ПС надо стремиться к и содержать ТЭН.

заполнения РУ, быть совместной со схемой присоединения ПС к сети расположению на ПС, главная схема должна отражать схему по схеме в одном ряду соответственно их действительному

Рис. 3.6. Однолинейная схема подключения основных аппаратов



другое оборудование и аппараты. Разрез ПС показывается по вводу НН с изображением подземных и внутриплощадочных дорог и других сооружений [5]. Железнодорожные пути выполняются только на ПС 110 кВ и выше при наличии близко расположенных внутризаводских железнодорожных путей [17, 19].

При разработке общего вида ПС нужно использовать габаритные размеры трансформаторов [4], коммутационных аппаратов [14], зданий, конструкций, ОРУ, ЗРУ, КРУН [7, 12, 15], а также наименьшие расстояния от токоведущих частей до различных элементов РУ [11].

Планы и разрезы некоторых ПС представлены в [2,3,7,13,15] и в типовых проектах.



Приложение А

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОДСТАЦИИ

№ вари	№ ГН для студентов		Эквивалентная температура	Номинальн напряжен	Номер схем присоединен подстанции к сети	Линия ВЛ		Мощность КС	Системы С1	Системы С2
	Дневн форм	Зачен форм				От систем до подста	От систем до подста			
1	2	3	4	кВ	6	км	км	МВА	9	10
1	1	2	-6	220	1	15	-	1500		
2	2	3	-19	35	5	20	10	1800	-	
3	3	4	-4	220	3	10	15	1900		
4	4	5	-8	35	4	12	11	2000	1900	
5	5	6	-8	110	2	8	15	1750	-	
6	6	1	-19	110	1	12	-	1600		
7	1	2	+1	220	2	5	7	1700	1400	
8	2	1	-6	110	5	4	6	1800		
9	3	2	-13	110	5	4,5	5	1900	1900	
10	4	3	-5	220	3	7	-	1000		
11	5	4	+5	110	5	4	9	1100	-	
12	6	5	-11	35	1	15	-	2000		
13	1	6	-5	110	2	5	-	1800	2200	
14	2	1	-11	35	3	5	10	1200	1400	
15	3	2	-6	220	4	12	8	1250		
16	4	3	-8	35	3	15	-	1900		
17	1	4	-4	35	1	4	-	1000	1500	

Продолжение таб.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	2	5	-12	35	5	25	15	1200	2200
19	3	6	+2	110	3	20	-	1300	-
20	4	1	-2	110	4	4,5	6	1400	1800
21	5	2	+5	220	5	15	4	1450	1200
22	6	3	-9	110	4	4	3	1500	1100
23	1	4	-8	35	1	10	-	1900	-
24	2	5	-16	110	2	15	7	1950	1000
25	3	6	-11	35	5	18	2,4	2000	1900
26	4	1	-2	110	4	10	4	1800	1200
27	5	4	-9	35	3	6	2,5	1850	1700
28	6	5	-2	110	2	8	10	2000	1750
29	1	6	-2	35	5	15	11	2500	1500
30	2	5	-8	110	3	4	-	2700	-
31	3	1	-5	110	4	3	7	2500	1100
32	4	2	-2	220	1	5,3	-	2000	-
33	1	3	-11	110	4	3,6	2,8	2850	1300
34	2	4	-10	35	1	10	-	2100	-
35	3	5	-20	35	2	8	5	2200	1100
36	4	6	-2	220	3	22	2,5	1900	-
37	5	1	-3	35	4	17	6	2500	1850
38	6	2	-12	35	5	5	3,5	2400	1770
39	1	3	-12	220	1	5	-	2900	-
40	2	1	-15	110	3	15	-	2950	-
41	3	2	-6	110	2	4,5	5,5	1000	1140
42	4	3	-6	35	4	6	3	1050	1200
43	5	4	-9	110	5	4,0	3,5	1100	1300
44	6	5	-8	110	4	4	2,7	1150	2820
45	4	6	-7	35	1	4	-	1760	-

Продолжение таб.:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
46	3	1	-6	35	3	2,5	—	2110	—
47	5	2	-5	220	2	20	2	1100	2350
48	2	3	-4	35	4	3	15	1400	2050
49	1	4	-4	110	5	10	2,5	1900	1800
50	2	5	-4	110	1	7	—	1200	—
51	3	6	-4	220	3	3,5	—	1250	—
52	4	1	-19	110	2	6	5	2300	1000
53	5	2	-6	110	4	4,8	33	1350	2780
54	6	3	0	220	5	15	7	1400	2000
55	5	4	-14	35	4	5,4	3	1450	1600
56	6	1	-4	35	1	11	—	1500	—
57	1	2	-17	35	3	2	—	1550	—
58	2	2	-11	110	2	2,5	15	1600	2000
59	3	4	-18	35	4	3	30	2100	2000
60	4	5	-15	35	5	1,8	17	1720	2150
61	5	6	-1	110	1	3	—	1500	—
62	6	1	-20	220	3	3,5	—	1440	—
63	1	2	-13	110	2	6	10	1390	1000
64	2	3	-17	110	5	19	2,1	1340	1085
65	1	4	+7	220	4	17	2,3	1280	2500
66	2	5	-7	110	5	29	4,2	1210	1930
67	3	6	-20	35	1	8	—	2080	—
68	4	1	-20	35	3	10	—	2190	—
69	5	2	-4	110	2	14	2,8	2050	1980
70	6	3	-12	35	4	11	2,7	1810	2140
71	3	5	-2	110	5	15	3,0	2000	2100
72	4	1	-9	110	1	4	—	1200	—

Продолжение таб.:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
73	5	2	-9	220	3	3,8	-	1170	-
74	6	3	-14	110	2	30	4	1120	1400
75	1	4	-18	110	5	15	6	1075	1420
76	2	5	0	220	1	9	-	2500	-
77	3	6	+3	110	3	5,5	-	2600	-
78	4	1	-3	110	2	20	5	2500	1000
79	5	2	-4	220	4	40	5,5	1500	2800
80	6	3	-16	110	4	7,5	25	1050	1100
81	1	4	-11	110	5	4,5	8	1150	1300
82	2	5	-15	35	1	8	-	1200	-
83	3	6	0	35	1	2	-	1700	-
84	4	1	-8	110	3	1,5	-	2500	-
85	5	2	-11	35	2	12	1,5	1500	2000
86	6	3	-15	220	4	10	10	2000	2200
87	1	4	-6	110	5	12	2,5	2500	1800
88	2	1	+6	110	1	15	-	2100	-
89	3	2	-7	35	3	3	-	2100	-
90	4	3	-7	220	2	25	9	1300	1400
91	5	4	-10	110	4	15	6,5	1400	1300
92	6	5	+6	35	5	20	4,5	1500	1200
93	2	6	-4	110	4	4,5	35	1600	1500
94	3	1	-20	35	1	3,5	-	2000	-
95	4	2	-20	35	3	2	-	2500	-
96	5	3	-11	35	2	20	2,5	2200	2500
97	1	4	-5	110	4	15	4,5	1900	2800
98	2	5	-6	35	5	10	3	1050	1400
99	3	6	-4	110	1	5	-	1100	-
100	4	3	-11	110	3	14	-	1300	-
101	5	4	0	35	2	20	5	1600	-
102	6	5	4	110	1	16	4	1800	-
103	1	6	5	35	3	7	-	2200	-
104	3	1	3	220	4	10	5	1250	2100
105	5	3	2	110	5	6	7	2350	1100
106	4	5	5	35	2	20	10	1000	2050

№ варианта

Сеть ПН (кабельная)

№ варианта	Номинальное напряжение	Количество	Длина К	Максимальная нагрузка (земля)		Коэффициент участия в максимальной нагрузке потребителей		
				Общ	Одного самого мощного потребителя	I категория	II категория	III категория
	кВ	шт.	км	МВ	МВт			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10	22	1,2	48	1,5	—	0,35	0,65
2	10	16	3	15	1,2	0,12	0,28	0,6
3	10	18	2	56	2,5	0,2	0,4	0,4
4	10	16	1,8	10	2,8	0,15	0,4	0,45
5	10	20	2	18	1,8	—	0,3	0,7
6	10	14	2,5	11	1,3	0,2	0,3	0,5
7	10	30	2,3	61	4,7	0,15	0,4	0,45
8	10	16	1,9	26	3	0,1	0,2	0,7
9	10	12	1,2	35	3,5	0,2	0,2	0,6
10	10	28	2,8	58	2,5	—	0,15	0,85
11	10	42	0,9	38	4	0,15	0,2	0,65
12	10	10	3	13	4	0,15	0,65	0,2
13	10	16	1,1	12	1,6	0,25	0,25	0,5
14	10	20	1,9	15	1,5	0,02	0,45	0,35
15	10	48	1,4	48	1,8	0,15	0,3	0,55
16	10	14	2,4	16	2	0,1	0,15	0,75
17	10	20	1,2	38	4	0,15	0,2	0,65

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	10	26	1,4	30	3,6	0,1	0,15	0,75
19	10	24	3	45	2,3	0,15	0,25	0,6
20	10	38	1,1	35	4,1	0,25	0,1	0,65
21	10	30	1,6	55	4,5	0,1	0,2	0,7
22	10	44	0,9	33	10	0,2	0,2	0,6
23	6	12	3	12	2	-	0,4	0,6
24	6	10	1,6	7,5	1,8	0,12	0,28	0,6
25	6	26	3	11	1,6	0,14	0,16	0,7
26	10	30	3,5	15	1,0	0,16	0,19	0,65
27	10	32	1,9	16	2	0,18	0,27	0,55
28	6	14	1,2	12	2,3	0,22	0,12	0,56
29	6	18	0,9	28	4	-	0,5	0,5
30	6	20	1,1	32	3,6	0,15	0,3	0,55
31	10	18	1	45	3,1	0,2	0,25	0,55
32	10	42	0,9	63	3,5	0,17	0,23	0,6
33	10	48	1,1	31	12	0,19	0,31	0,5
34	6	14	3	9	2	0,23	0,27	0,5
35	6	10	1,6	13	1,9	0,05	0,15	0,8
36	10	20	2	67	5,5	0,14	0,16	0,7
37	10	26	2,5	11	1,2	0,21	0,24	0,55
38	10	22	3	17	2,1	0,2	0,3	0,5
39	6	24	2,2	66	4,2	0,1	0,15	0,75
40	6	12	2,8	17	1,8	0,12	0,18	0,7
41	10	16	1,4	31	4	0,17	0,12	0,71
42	10	20	1,2	39	2,5	0,16	0,19	0,65
43	10	40	1,4	27	2,1	-	0,2	0,8
44	10	48	0,8	29	2,5	0,05	0,15	0,8
45	10	16	2,1	16	1,4	0,2	0,25	0,55

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6	16	1,6	19	1,3	0,15	0,2	0,65
47	6	28	2,7	72	6,5	0,25	0,3	0,45
48	10	14	1	22	2,5	0,04	0,16	0,8
49	10	20	0,6	18	1,4	-	0,25	0,75
50	6	10	1,2	17	1,4	0,18	0,17	0,65
51	10	32	1,1	55	2	0,2	0,25	0,55
52	10	18	2	24	2,1	0,15	0,2	0,65
53	10	30	1,4	45	3,6	0,22	0,28	0,5
54	10	48	2,2	32	7,5	0,17	0,13	0,7
55	10	20	1,8	26	3,2	0,16	0,24	0,6
56	6	12	3	17	1,8	0,1	0,1	0,8
57	6	10	1,4	13	2,1	0,11	0,19	0,7
58	6	20	1,6	9	1,5	0,13	0,17	0,7
59	10	14	1,3	12	1,4	0,15	0,15	0,7
60	10	16	1,2	14	1,3	0,17	0,13	0,7
61	10	10	1,8	16	1,9	0,1	0,25	0,65
62	6	22	2,2	58	4,3	-	0,4	0,6
63	6	10	0,9	15	2	0,15	0,25	0,6
64	10	10	1,1	28	2,2	0,25	0,3	0,45
65	10	38	1,5	56	4,5	0,2	0,2	0,6
66	10	42	1,7	34	6,1	0,3	0,3	0,4
67	6	14	2,2	14	1,4	0,14	0,16	0,7
68	10	12	1,6	10	1,7	0,1	0,2	0,7
69	6	24	1,8	15	1,2	0,6	0,1	0,3
70	10	18	2,3	14	1,5	-	0,3	0,7
71	10	20	2,5	16	1,3	0,14	0,26	0,6
72	6	20	2,5	19	2	0,03	0,07	0,9

Продолжение таб.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
73	10	24	2,2	61	4,1	0,1	0,2	0,7
74	10	16	1,4	30	3,5	0,05	0,15	0,8
75	10	22	3	27	3,8	0,15	0,15	0,7
76	10	34	2,6	57	4,1	0,2	0,3	0,5
77	10	30	2,4	40	4,7	0,15	0,3	0,45
78	10	15	2	26	3	0,1	0,2	0,7
79	10	44	1,3	85	5,8	0,2	0,2	0,6
80	10	12	2,9	18	2,5	0,05	0,1	0,85
81	10	42	0,9	45	6	0,15	0,2	0,65
82	10	14	1,2	12	2,3	0,22	0,12	0,56
83	10	10	3	15	4	0,1	0,3	0,6
84	10	16	1,1	16	3,6	0,15	0,2	0,65
85	10	20	1,9	9	1,5	0,05	0,1	0,85
86	10	42	1,4	78	2,5	0,15	0,2	0,65
87	10	14	2,4	7	1,0	0,15	0,65	0,2
88	10	18	1,2	30	4	0,25	0,25	0,5
89	10	22	1,4	37	3,6	0,2	0,45	0,35
90	10	36	3	59	2,3	0,15	0,3	0,55
91	10	38	1	25	4,1	0,1	0,15	0,75
92	10	30	1,6	32	7,5	0,15	0,2	0,65
93	10	44	0,9	38	6,1	0,1	0,15	0,75
94	6	12	3	10	1,5	0,15	0,25	0,6
95	6	10	1,6	15	2,0	0,25	0,1	0,65
96	6	26	3	13	1,0	0,1	0,2	0,7
97	10	30	3,5	14	1,3	0,2	0,2	0,6
98	10	32	1,9	15	1,4	0,1	0,3	0,6
99	6	14	1,2	19	2,3	0,12	0,28	0,6
100	6	18	0,9	20	4	0,14	0,16	0,7
101	10	20	1,1	18	1,1	-	0,16	0,7
102	10	22	1	12	1,2	-	0,2	0,8
103	10	15	3,2	14	1,9	-	0,3	0,7
104	10	30	2	66	4	-	0,4	0,6
105	10	12	0,8	10	5	-	0,5	0,5
106	10	14	2	8	3	-	0,35	0,65



Таблица А.3

Номер град нагрузка	Продолжитель ность использо вания максимум нагрузки, кВ	Степень загрязнения атмос		Ограничения на площадь выделенную под проектируе мость		Коэффициент молниест	
		Дневная форма обучения	Заочная ф орма обучения	Дневная форма обучения	Заочная ф орма обучения	Дневная форма обучения	Заочная форма обучения
1	2	3	4	5	6	7	8
1	4800	III	I	нет	есть	0,85	0,85
2	3900	II	II	нет	нет	0,88	0,88
3	2800	I	III	есть	нет	0,87	0,94
4	5000	IV	>IV	нет	есть	0,8	0,9
5	4500	>IV	IV	нет	нет	0,82	0,93
6	6100	III	II	есть	нет	0,91	0,82

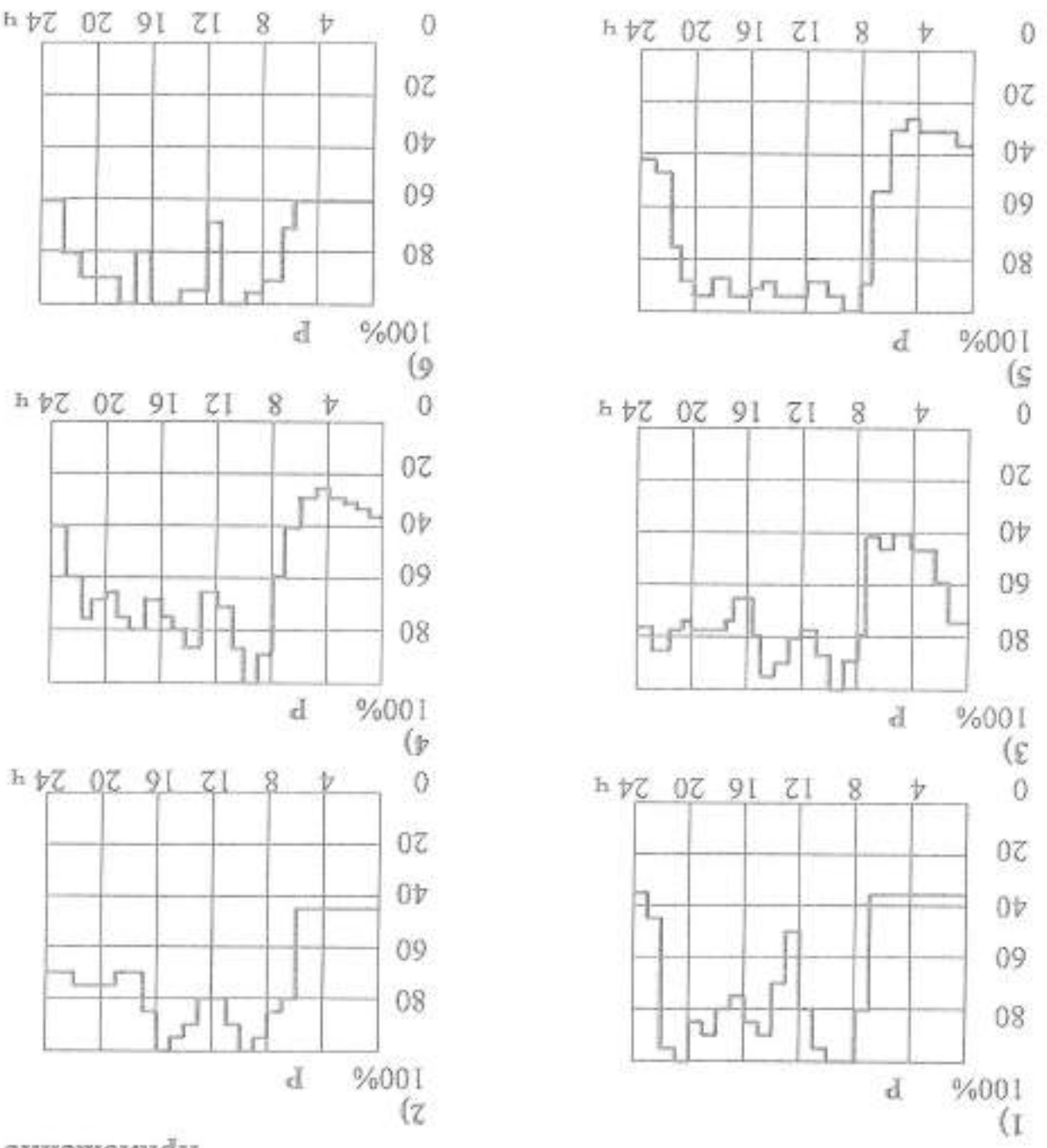
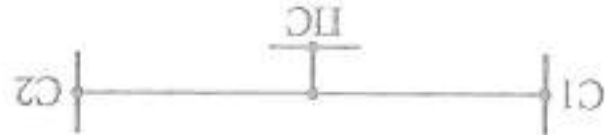


Рис. Б.1 Суточные графики зимних электрических нагрузок



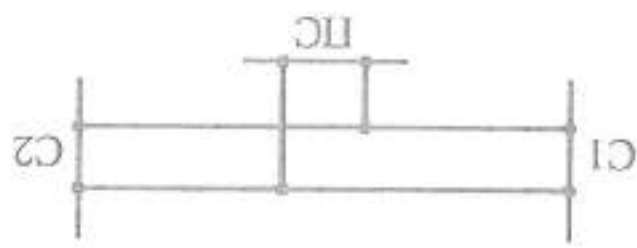
1



2



3



4



5

Рис. В.1 Схемы присоединения подстанции к сети

## ВИБЛЮГРАФІЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Положение ОАО «Россети» о единой технической политике в «Россети» и ОАО «ФСК ЕЭС»: (протокол от 23.10.2013 № 138 и протокол от 27.12.2013 № 208). М.: ЦУМРСК ОАО «ФСК ЕЭС», 2013.
2. Электроборудование электрических станций и подстанций [Текст]: учебник / Л.Д. Рожкова и [др.]; М.: Издательский центр «Академия», 2008. 448с.
3. Электрическая часть станций и подстанций [Текст]: учебник / А.А. Васильев; М.: Энергоатомиздат, 1990. 576 с.
4. Электрическая часть электрических станций и подстанций / справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / В.Н. Неклепаев, И.П. Крючков; 4-ое изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1989. 608с.
5. Справочник по проектированию подстанций 35–500 кВ [Текст]: справочник / под ред. С.С. Фокотова и Я.С. Самойлова. М.: Энергоатомиздат, 1982. 352 с.
6. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей [Текст]: учебное пособие для студентов вузов / В.М. Блок и др.; под ред. В.М. Блок; М.: Высшая школа, 1981. 304 с.
7. Комплексные электротехнические устройства [Текст]: справочник Т.1–3 / М.: Институт промышленного развития «Информэлектро», 1999. 168 с., 167 с., 104 с.
8. Электрические аппараты высокого напряжения. Выпущатели [Текст]: справочник / А.А. Чунных; Т.1–3: Информэлектро, 1996, 1997. 122с., 211, 140 с.
9. Электрическая часть электрических станций и подстанций [Текст]: учебник / В.Н. Неклепаев; М.: Энергоатомиздат, 1986. 640 с.
10. Справочник по электроснабжению и электроборудованию [Текст]: справочник / под ред. А.А. Федорова; Т.1. электроснабжение; М.: Энергоатомиздат, 1986. 568 с.
11. Правила устройства электроустановок [Текст]: 7-е изд. СПб.: Изд-во ЛНАН, 2003.
12. Справочник по проектированию электрических сетей [Текст]: справочник / под редакцией Л.Л. Файнсовича; М.: Изд-во НИ ЭНАС, 2005. 320 с. ил.
13. Комплексные трансформаторные блочные

- модернизированные подстанции 35, 110, 220 кВ [Текст]: Самарский завод «Электропит», 2014.
14. Высоковольтные выключатели [Текст]: учебное пособие / Н.В. Хорошилов, О. М. Ларин, О.М. Рыбалкин; Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 2006. 140 с., ил. 62, табл. 3, прилож. 1. Библиогр.: с. 137–139.
15. Схемы и подстанции электроснабжения [Текст]: справочник: учеб. пособие / Г.Н. Ополева; М.: Форум: ИНФРА-М, 2008. 480 с.
16. Электрические станции и подстанции [Текст]: учебное пособие / А.И. Рущикий; Минск, «Вышэйш. школа», 1974.
17. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ [Текст]: № 187, 136 / М.: ОАО «Институт «Энергосетьпроект», 2006, 2009.
18. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35–750 кВ [Текст]: типовые решения / М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2009.
19. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ [Текст]: рекомендации / М.: «Издателство НЦ ЭНАС», 2004.
20. Курсовые работы (проекты). Выпускные квалификационные работы. Общие требования к структуре и оформлению / СТД 04.02.030-2015; ЮЗГУ, Курск, 2015.
21. Электрические станции и подстанции: методические указания к практическим занятиям / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Н.В. Хорошилов Курск, 2014. 62 с.: ил. 12, табл. 12. Библиогр.: с. 62.