

# ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Учебный справочник



Учебное электронное издание

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова»

# **Электроэнергетические системы и сети**

*Учебный справочник*

Архангельск  
САФУ  
2018

УДК 621.311.16  
ББК 31.2  
Э45

*Рекомендован к изданию учебно-методическим советом  
Северного (Арктического) федерального университета  
имени М.В. Ломоносова*

*Составитель*

А.И. Мотовилов, старший преподаватель

Э45 Электроэнергетические системы и сети [Электронное издание]: учебный справочник / сост. А.И. Мотовилов; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – [Электронные текстовые данные]. – Архангельск: САФУ, 2018. – 67 с.

ISBN 978-5-261-01317-4

В пособии даны основные характеристики и параметры элементов электрических систем и сетей, основы проектирования электрических сетей, схемы электрических сетей. Приведены справочные данные для проектирования электрических сетей, показатели технико-экономических расчетов, которые возможно использовать для экономического сравнения вариантов электроснабжения при учебном проектировании. Рассмотрены требования к электрическим схемам, которые применяются на практике; представлены рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35–750 кВ.

Предназначен для студентов специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль Электроснабжение) дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.311.16  
ББК 31.2

Издательский дом им. В.Н. Булатова САФУ  
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 56

ISBN 978-5-261-01317-4

© Мотовилов А.И., составление,  
2018

© Северный (Арктический)  
федеральный университет  
им. М.В. Ломоносова, 2018

## Оглавление

1. Условные обозначения .....	4
2. Термины и определения .....	4
3. Требования к проектированию воздушных линий электропередач .....	6
4. Выбор трассы линии электропередачи .....	10
5. Выбор сечений проводов.....	11
6. Выбор изоляции .....	14
7. Применение опор для ВЛ.....	15
8. Показатели технико-экономических расчетов.....	16
9. Требования к выполнению схем.....	19
10. Рекомендации по применению типовых принципиальных устройств подстанций 35–750 кВ .....	24
11. Охрана окружающей среды .....	64
Контрольные вопросы.....	65
Библиографический список.....	67

## 1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

АИИС КУЭ (АСКУЭ) – автоматизированная система, созданная для дистанционного сбора данных коммерческого учета потребления;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическими процессами;

ВЛ – воздушная линия;

ВЛЗ – воздушная линия электропередачи напряжением 6–20 кВ, выполняемая защищенными проводами;

ВЛИ – воздушная линия электропередачи напряжением до 1 кВ с применением СИП;

ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи;

ЗРУ – закрытое распределительное устройство;

КРУЭ – комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией;

ЛЭП – линия электропередачи;

ОРУ – открытое распределительное устройство;

ПС – подстанция;

СИП – самонесущий изолированный провод;

ТП – трансформаторная подстанция 6–20 кВ;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

УГО – условное графическое обозначение.

## 2. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ<sup>1</sup>

*Воздушная линия электропередачи* – устройство для передачи электроэнергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным при помощи изолирующих конструкций и арматуры к опорам, несущим конструкциям, кронштейнам и стойкам на инженерных сооружениях (мостах, путепроводах и т.п.).

*За начало и конец ВЛ (ВЛЗ)* принимаются:

у ЗРУ – место выхода провода из аппаратного зажима, присоединяемого к проходному изолятору;

у ОРУ с линейными порталами – место выхода провода из зажима натяжной гирлянды изоляторов на линейном портале в сторону ВЛ;

у КТП – место крепления провода к изолятору КТП или место выхода провода из аппаратного зажима;

---

<sup>1</sup> В пособии применяются термины согласно ГОСТ 21027–75, ГОСТ 27.002–2015, ГОСТ 34.003–90.

у ТП с выносным разъединителем – место выхода провода из аппаратного зажима, присоединяемого к разъединителю.

*Самонесущий изолированный провод* – скрученные в жгут изолированные жилы, причем несущая жила может быть как изолированной, так и неизолированной. Механическая нагрузка может восприниматься или несущей жилой, или всеми проводниками жгута.

*Анкерный пролет* – участок ВЛ между двумя ближайшими анкерными опорами.

*Подвесной изолятор* – изолятор, предназначенный для подвижного крепления токоведущих элементов к опорам, несущим конструкциям и различным элементам инженерных сооружений.

*Гирлянда изоляторов* – устройство, состоящее из нескольких подвесных изоляторов и линейной арматуры, подвижно соединенных между собой.

*Штыревой изолятор* – изолятор, состоящий из изоляционной детали, закрепляемой на штыре или крюке опоры.

*Тросовое крепление* – устройство для прикрепления грозозащитных тросов к опоре; если в состав тросового крепления входит один или несколько изоляторов, то оно называется изолированным.

*Усиленное крепление* провода с защитной оболочкой – крепление провода на штыревом изоляторе или к гирлянде изоляторов, которое не допускает проскальзывания проводов при возникновении разности тяжений в смежных пролетах в нормальном и аварийном режимах ВЛЗ.

*Пляска проводов (тросов)* – устойчивые периодические низкочастотные (0,2–2 Гц) колебания провода (троса) в пролете с односторонним или асимметричным отложением гололеда (мокрого снега, изморози, смеси), вызываемые ветром скоростью 3–25 м/с и образующие стоячие волны (иногда в сочетании с бегущими) с числом полуволн от одной до двадцати и амплитудой 0,3–5 м.

*Вибрация проводов (тросов)* – периодические колебания провода (троса) в пролете с частотой от 3 до 150 Гц, происходящие в вертикальной плоскости при ветре и образующие стоячие волны с размахом (двойной амплитудой), который может превышать диаметр провода (троса).

*Магистраль ВЛ* – участок линии от питающей трансформаторной подстанции до концевой опоры. К магистрали ВЛ могут быть присоединены линейные ответвления или ответвления к вводу.

*Линейное ответвление от ВЛ* – участок линии, присоединенной к магистрали ВЛ, имеющий более двух пролетов.

*Ответвление от ВЛ к вводу* – участок от опоры магистрали или линейного ответвления до зажима (изолятора ввода).

*Нормальная схема электрических соединений объекта электроэнергетики* – схема электрических соединений объекта электроэнергетики, на которой все коммутационные аппараты и заземляющие разъединители изображаются в положении, соответствующем нормальному режиму работы объекта электроэнергетики.

### **3. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ<sup>2</sup>**

При проектировании ВЛ надлежит руководствоваться гл. 2.5 «Правил устройства электроустановок», а также нормативными и методическими документами и директивными документами по техническому перевооружению и реконструкции электрических сетей.

Проектные решения, принимаемые в конкретных проектах ВЛ, должны быть обоснованы.

При проектировании ВЛ должны быть обеспечены:

- надежная и качественная передача электроэнергии;
- экономическая эффективность ВЛ;
- внедрение прогрессивных проектных решений, обеспечивающих снижение ресурсных, трудовых и капитальных затрат при строительстве и эксплуатации;
- внедрение прогрессивных технологий строительных и монтажных работ;
- оптимальное использование земли, а также лесных угодий, т.е. применение конструкций и проектных решений, требующих при прочих равных условиях наименьшего отчуждения земли в постоянное и временное пользование и наименьшей площади вырубki леса;
- соблюдение требований экологической безопасности и охраны окружающей среды;
- ремонтпригодность всех применяемых конструкций;
- передовые методы эксплуатации, удобные и безопасные условия труда, возможность проведения ремонтных работ на ВЛ под напряжением;
- выполнение требований задания на проектирование и условий договора на производство проектно-изыскательских работ.

---

<sup>2</sup> Данное пособие не распространяется на электрические воздушные линии, сооружение которых определяется специальными правилами, нормами и постановлениями (контактные сети электрифицированных железных дорог, трамвая, троллейбуса; ВЛ для электроснабжения сигнализации, централизации и блокировки; ВЛ напряжением 6–35 кВ, смонтированные на опорах контактной сети, и т.п.).

Воздушные линии электропередачи должны размещаться так, чтобы опоры не загораживали входы в здания и въезды во дворы и не затрудняли движение транспорта и пешеходов. В местах, где имеется опасность наезда транспорта (у въездов во дворы, вблизи съездов с дорог, при пересечении дорог), опоры должны быть защищены от наезда (например, отбойными тумбами).

При необходимости сооружения новых ВЛ, проходящих в одном направлении с существующими, должно быть приведено технико-экономическое обоснование целесообразности нового строительства по сравнению с увеличением пропускной способности существующих ВЛ с помощью различных технических средств (перевод на более высокое напряжение, увеличение сечения проводов и др.).

При проектировании ВЛ рекомендуется применять стандартное оборудование и материалы и унифицированные или типовые конструкции опор, фундаментов и других элементов линий, прошедшие все требуемые испытания и положительно зарекомендовавшие себя в эксплуатации. Следует рассматривать целесообразность использования новых прогрессивных технических решений, оборудования, конструкций и материалов, применение которых подтверждено практикой, а при их нахождении в процессе освоения или экспериментальной проверки – целесообразность их установки в опытно-промышленную эксплуатацию. При применении новых материалов и конструкций элементов ВЛ и других новых технических решений должны проводиться их испытания и приемка.

Для систем передачи информации, релейной защиты и противоаварийной автоматики, АСУ ТП и АИИС КУЭ при проектировании ВЛ необходимо предусматривать высокочастотные каналы по проводам и проводящим грозозащитным тросам, оптические кабели связи, размещаемые на элементах ВЛ, или другие виды связи.

При прохождении ВЛ по населенной местности угол пересечения с улицами (проездами) не нормируется. При прохождении ВЛ вдоль улицы допускается расположение проводов над проезжей частью.

Для предотвращения вынужденных наездов транспортных средств на опоры ВЛ, устанавливаемые в пределах городских и сельских улиц и дорог, их следует ограждать в соответствии с требованиями строительных норм и правил.

Крепление проводов ВЛ на штыревых изоляторах должно быть двойным. При применении подвесных и полимерных изоляторов крепление проводов на промежуточных опорах должно выполняться глухими зажимами.

Крепление проводов ВЛЗ на штыревых изоляторах должно выполняться усиленным с применением спиральных пружинных вязок с полимерным по-

крытием; при применении поддерживающих гирлянд изоляторов крепление проводов следует выполнять с помощью глухих поддерживающих зажимов.

Наименьшие расстояния от проводов ВЛ до поверхности земли в населенной местности в нормальном режиме работы ВЛ должны приниматься не менее приведенных в табл. 1.

Наименьшие расстояния определяются при наибольшей стреле провеса провода без учета его нагрева электрическим током.

Прохождение ВЛ над зданиями и сооружениями, как правило, не допускается. Допускается прохождение ВЛ над производственными зданиями и сооружениями промышленных предприятий I и II степени огнестойкости в соответствии со строительными нормами и правилами по пожарной безопасности зданий и сооружений с кровлей из негорючих материалов (для ВЛ 330–750 кВ только над производственными зданиями электрических станций и подстанций). При этом расстояние по вертикали от проводов ВЛ до вышеуказанных зданий и сооружений при наибольшей стреле провеса должно быть не менее приведенных в табл. 1.

**Таблица 1.** Наименьшее расстояние по вертикали от проводов ВЛ до поверхности земли, производственных зданий и сооружений в населенной местности, м

Условия работы ВЛ	Класс напряжения, кВ						
	ВЛЗ	До 35	110	150	220	330	500
Нормальный режим:							
до поверхности земли	6	7	7	7,5	8	11	15,5
до производственных зданий и сооружений	3	3	4	4	5	7,5	8
Обрыв провода в смежном пролете до поверхности земли	5,0	5,5	5,5	5,5	5,5	6	–

Металлические кровли, над которыми проходят ВЛ, должны быть заземлены.

Для ВЛ 330 кВ и выше должна быть обеспечена защита персонала, находящегося внутри производственных зданий электрических станций и подстанций, от влияния электрического поля, а заземление металлической кровли должно выполняться не менее чем в двух точках.

Расстояния по горизонтали от крайних проводов ВЛ до 220 кВ при наибольшем их отклонении до ближайших частей производственных, складских, административно-бытовых и общественных зданий и сооружений должны быть не менее: 2 м – для ВЛ до 20 кВ; 4 м – для ВЛ 35–110 кВ; 5 м – для ВЛ 150 кВ; 6 м – для ВЛ 220 кВ.

Расстояния по горизонтали от крайних проводов ВЛ 330 кВ и выше должны быть не менее:

- до ближайших частей непроизводственных и производственных зданий и сооружений электрических станций и подстанций при наибольшем отклонении проводов: 8 м – для ВЛ 330 кВ; 10 м – для ВЛ 500–750 кВ;

- до ближайших частей производственных, складских, административно-бытовых и общественных зданий и сооружений (кроме электрических станций и подстанций) при неотклоненном положении проводов: 20 м – для ВЛ 330 кВ; 30 м – для ВЛ 500 кВ; 40 м – для ВЛ 750 кВ.

Прохождение ВЛ по территориям стадионов, учебных и детских учреждений не допускается.

Расстояние по вертикали от проводов ВЛИ до поверхности земли и проезжей части улиц в населенной и ненаселенной местности должно быть не менее 5 м. Оно может быть уменьшено в труднодоступной местности до 2,5 м, в недоступной (склоны гор, скалы, утесы) – до 1 м.

При пересечении непроезжей части улиц ответвлениями от ВЛИ к вводам в здания расстояния от СИП до тротуаров пешеходных дорожек допускается уменьшить до 3,5 м. Расстояние от СИП и изолированных проводов до поверхности земли на ответвлениях к вводу должно быть не менее 2,5 м.

Расстояние от неизолированных проводов до поверхности земли на ответвлениях к вводам должно быть не менее 2,75 м.

Расстояние от проводов ВЛ в населенной и ненаселенной местности при наибольшей стреле провеса проводов до земли и проезжей части улиц должно быть не менее 6 м. Расстояние от проводов до земли может быть уменьшено в труднодоступной местности до 3,5 м и в недоступной местности (склоны гор, скалы, утесы) – до 1 м.

Расстояние по горизонтали от СИП при наибольшем их отклонении до элементов зданий и сооружений должно быть не менее: 1,0 м – до балконов, террас и окон; 0,2 м – до глухих стен зданий, сооружений.

Допускается прохождение ВЛИ и ВЛ с изолированными проводами над крышами зданий и сооружениями, при этом расстояние от них до проводов по вертикали должно быть не менее 2,5 м.

Расстояние по горизонтали от проводов ВЛ при наибольшем их отклонении до зданий и сооружений должно быть не менее: 1,5 м – до балконов, террас и окон; 1,0 м – до глухих стен.

Прохождение ВЛ с неизолированными проводами над зданиями и сооружениями не допускается.

Наименьшее расстояние от СИП и проводов ВЛ до поверхности земли или воды, а также до различных сооружений при прохождении ВЛ над ними

определяется при высшей температуре воздуха без учета нагрева проводов ВЛ электрическим током.

При прокладке по стенам зданий и сооружениям минимальное расстояние от СИП должно быть:

- при горизонтальной прокладке:
  - над окном, входной дверью – 0,3 м;
  - под балконом, окном, карнизом – 0,5 м;
  - до земли – 2,5 м;
- при вертикальной прокладке:
  - до окна – 0,5 м;
  - до балкона, входной двери – 1,0 м.

Расстояние в свету между СИП и стеной здания или сооружением должно быть не менее 0,06 м.

#### **4. ВЫБОР ТРАССЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

При выборе трассы необходимо учитывать:

- природные особенности территории (рельеф, климат, наличие опасных геологических процессов) по СНиП 2.01.15–90;
- состояние природной среды (загрязнение атмосферы, агрессивность грунта, подземных вод и т.д.);
- современное хозяйственное использование территории;
- ценность территории (природоохранная, культурная, национальная, особо охраняемые природные объекты и пр.);
- возможный ущерб, причиняемый природной и социальной среде, а также возможные изменения в окружающей природной среде в результате сооружения ВЛ и последствия этих изменений для природной среды, жизни и здоровья населения;
- на залесенных территориях прохождение трассы по следующим вариантам:
  - а) по лесу с вырубкой просеки в соответствии с требованиями ПУЭ;
  - б) обход лесного массива;
  - в) сооружение ВЛ над лесом;
- условия строительства и эксплуатации.

Выбор трассы новой ВЛ необходимо производить на основании утвержденной схемы развития электрических сетей, наиболее рационального размещения подстанций и возможности выхода всех отходящих от них ВЛ.

При прохождении ВЛ по населенной местности трасса предоставляется заказчиком в соответствии с утвержденной градостроительной документаци-

ей (генеральными планами городов и других населенных пунктов, схемами и проектами планировки и застройки территориальных образований и др.).

Трасса ВЛ должна быть, по возможности, кратчайшей, учитывать при этом условия отчуждения земли, вырубки просек в насаждениях, комплексного использования охранной зоны и приближена к дорогам и существующим ВЛ. Допускается при наличии технико-экономического обоснования прохождение ВЛ в насаждениях без вырубки просеки на повышенных опорах с расположением проводов над деревьями.

При выборе трассы ВЛ обходу, как правило, подлежат населенные пункты, промышленные предприятия, массивы орошаемых, осушенных и других мелиорированных земель, многолетние плодовые насаждения и виноградники, участки с высоким естественным плодородием почв и другие приравненные к ним земельные угодья, зоны санитарной охраны курортов, заповедники, памятники истории и культуры. При прохождении ВЛ в зонах санитарной охраны курортов и заповедниках рекомендуется выполнять ВЛ на повышенных опорах без вырубки просек.

На подходах к электростанциям и подстанциям трасса ВЛ должна прокладываться в соответствии с планом разводки всех подходящих ВЛ различных напряжений, составленным с учетом развития энергосистемы.

## **5. ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ**

Выбор сечения проводов ВЛ напряжением 500 кВ и ниже должен производиться по плотности тока, рекомендуемой ПУЭ; для ВЛ напряжением выше 500 кВ – на основании технико-экономических расчетов. Выбор сечения проводов на основании технико-экономических расчетов можно производить независимо от величины напряжения ВЛ.

В условиях равнинной местности рекомендуется применять на ВЛ не более двух марок и сечений проводов, включая магистраль и ответвления от нее. При наличии технико-экономического обоснования допускается на отдельных сложных участках ВЛ (большие переходы через водные пространства, горы, поймы, болота, сложные климатические условия и пр.) применение марок и сечений проводов и грозозащитных тросов и конструкции фазы, отличных от примененных на всей линии.

На ВЛ рекомендуется применять сталеалюминиевые провода, в том числе провода со сниженным активным сопротивлением переменному току. На больших переходах через водные пространства при наличии экономической целесообразности в качестве проводов могут применяться стальные канаты.

Минимально допустимые сечения проводов по условиям механической прочности при напряжении выше 1 кВ указаны в табл. 2.

**Таблица 2.** Минимально допустимые сечения проводов по условиям механической прочности при напряжении выше 1 кВ

Характеристика ВЛ	Сечение проводов, мм <sup>2</sup>	
	сталеалюминиевых	стальных
ВЛ без пересечений в районах гололеда:		
до II	35/6,2	35
в III–IV	50/8	35
в V и более	70/11	35
Пересечения ВЛ с судоходными реками и инженерными сооружениями в районах гололеда:		
до II	50/8	35
в III–IV	50/8	50
в V и более	70/11	50
ВЛ, сооружаемые на двухцепных или многоцепных опорах:		
до 20 кВ	70/11	—
35 кВ и выше	120/19	—

*Примечания.*

1. В пролетах пересечений с автомобильными дорогами, троллейбусными и трамвайными линиями, железными дорогами необщего пользования допускается применение проводов таких же сечений, как на ВЛ без пересечений.

2. В районах, где требуется применение проводов с антикоррозионной защитой, минимально допустимые сечения проводов принимаются такими же, как и сечения соответствующих марок без антикоррозионной защиты.

По условиям механической прочности на магистралях ВЛ напряжением ниже 1 кВ и на линейном ответвлении и на ответвлениях к вводам следует применять провода с минимальными сечениями, указанными в табл. 3 и 4.

**Таблица 3.** Минимально допустимые сечения изолированных проводов ВЛ ниже 1 кВ

Нормативная толщина стенки гололеда $b_3$ , мм	Сечение несущей жилы, мм <sup>2</sup> , на магистрали ВЛИ, на линейном ответвлении от ВЛИ	Сечение жилы на ответвлениях от ВЛИ и от ВЛ к вводам, мм <sup>2</sup>
10	35 (25)	16
15 и более	50 (25)	16

*Примечание.* В скобках дано сечение жилы самонесущих изолированных проводов, скрученных в жгут, без несущего провода.

**Таблица 4.** Минимально допустимые сечения неизолированных и изолированных проводов ВЛ ниже 1 кВ

Нормативная толщина стенки гололеда $b_3$ , мм	Материал провода	Сечение провода на магистрали и линейном ответвлении, мм <sup>2</sup>
10	Алюминий (А), нетермообработанный алюминиевый сплав (АН), сталеалюминий (АС), термообработанный алюминиевый сплав (АЖ)	25
	Медь (М)	16
15 и более	А, АН	35
	АС, АЖ	25
	М	16

Магистраль ВЛ, как правило, следует выполнять проводами неизменного сечения. Сечения фазных проводов магистрали ВЛ рекомендуется принимать не менее 50 мм<sup>2</sup>.

Сечение токоведущих проводников должно проверяться по условию нагрева при коротких замыканиях (КЗ) и на термическую стойкость.

Расположение проводов на опорах ВЛ ниже 1 кВ допускается любое независимо от района климатических условий. Нулевой провод ВЛ с неизолированными проводами, как правило, следует располагать ниже фазных проводов. Изолированные провода наружного освещения, прокладываемые на опорах ВЛИ, могут размещаться выше или ниже СИП, а также быть скрученными в жгут СИП. Неизолированные и изолированные провода наружного освещения, прокладываемые на опорах ВЛ, должны располагаться, как правило, над PEN (PE) проводником ВЛ.

По условиям короны и радиопомех при отметках до 1000 м над уровнем моря рекомендуется применять на ВЛ провода диаметром не менее указанных в табл. 5.

Защищать от вибрации рекомендуется:

- провода алюминиевые и из нетермообработанного алюминиевого сплава площадью сечения до 95 мм<sup>2</sup>, из термообработанного алюминиевого сплава и сталеалюминиевые провода площадью сечения алюминиевой части до 70 мм<sup>2</sup>, стальные тросы площадью сечения до 35 мм<sup>2</sup> – гасителями вибрации петлевого типа (демпфирующие петли) или армирующими спиральными прутками, протекторами, спиральными вязками;

- провода (тросы) большего сечения – гасителями вибрации типа Стокбриджа;

- провода ВЛЗ в местах их крепления к изоляторам – гасителями вибрации спирального типа с полимерным покрытием.

**Таблица 5.** Минимальный диаметр проводов ВЛ по условиям короны и радиопомех, мм

Напряжение ВЛ, кВ	Фаза с проводами	
	одиночными	двумя и более
110	11,4 (АС 70/11)	—
150	15,2 (АС 120/19)	—
220	21,6 (АС 240/32) 24,0 (АС 300/39)	—
330	33,2 (АС 600/72)	2×21,6 (2×АС 240/32) 3×15,2 (3×АС 120/19) 3×17,1 (3×АС 150/24)
500	—	2×36,2 (2×АС 700/86) 3×24,0 (3×АС 300/39) 4×18,8 (4×АС 185/29)

*Примечание.* Для ВЛ 220 кВ минимальный диаметр провода 21,6 мм относится к горизонтальному расположению фаз, а в остальных случаях допустим с проверкой по радиопомехам.

Гасители вибрации следует устанавливать с обеих сторон пролета.

Для ВЛ, проходящих в особых условиях (районы Крайнего Севера, ортографически незащищенные выходы из горных ущелий, отдельные пролеты в местности типа С и др.), защита от вибрации должна производиться по специальному проекту.

## 6. ВЫБОР ИЗОЛЯЦИИ

Выбор количества, типа и материала (стекло, фарфор, полимеры) изоляторов производится в соответствии с требованиями ПУЭ с учетом климатических условий (температуры и увлажнения), условий загрязнения, опыта эксплуатации существующих ВЛ.

На ВЛ 330 кВ и выше рекомендуется применять, как правило, стеклянные изоляторы; на ВЛ 35–220 кВ – стеклянные, полимерные и фарфоровые, преимущество должно отдаваться стеклянным или полимерным изоляторам. На ВЛ, проходящих в особо сложных для эксплуатации условиях (горы, болота, районы Крайнего Севера и т.п.), на ВЛ, сооружаемых на двухцепных и многоцепных опорах, и на ВЛ, питающих тяговые подстанции электрифицированных железных дорог, независимо от напряжения следует применять стеклянные изоляторы или, при наличии соответствующего обоснования, полимерные, на больших переходах – стеклянные изоляторы. На этих ВЛ ре-

комендуется предусматривать установку на поддерживающих гирляндах изоляторов защитной арматуры.

Отказ от подвески грозозащитного троса на ВЛ или их отдельных участках допускается при наличии обоснования.

На ВЛ 110 кВ и выше должны применяться подвесные изоляторы, допускается применение стержневых и опорно-стержневых изоляторов.

На ВЛ 35 кВ должны применяться подвесные или стержневые изоляторы. Допускается применение штыревых изоляторов.

На ВЛ 20 кВ и ниже должны применяться:

- 1) на промежуточных опорах – любые типы изоляторов;
- 2) на опорах анкерного типа – подвесные изоляторы, допускается применение штыревых изоляторов в районе по гололеду I и в ненаселенной местности.

Самонесущий изолированный провод ниже 1 кВ крепится к опорам без применения изоляторов.

На ВЛ ниже 1 кВ с неизолированными и изолированными проводами независимо от материала опор, степени загрязнения атмосферы и интенсивности грозовой деятельности следует применять изоляторы либо траверсы из изоляционных материалов.

## **7. ПРИМЕНЕНИЕ ОПОР ДЛЯ ВЛ**

Для ВЛ следует применять следующие типы опор:

– промежуточные, устанавливаемые на прямых участках трассы ВЛ. Эти опоры в нормальных режимах работы не должны воспринимать усилий, направленных вдоль ВЛ;

– анкерные, устанавливаемые для ограничения анкерного пролета, а также в местах изменения числа, марок и сечений проводов ВЛ. Эти опоры должны воспринимать в нормальных режимах работы усилия от разности тяжения проводов, направленные вдоль ВЛ;

– угловые, устанавливаемые в местах изменения направления трассы ВЛ. Эти опоры при нормальных режимах работы должны воспринимать результирующую нагрузку от тяжения проводов смежных пролетов. Угловые опоры могут быть промежуточными и анкерного типа;

– концевые, устанавливаемые в начале и конце ВЛ, а также в местах, ограничивающих кабельные вставки. Они являются опорами анкерного типа и должны воспринимать в нормальных режимах работы ВЛ одностороннее тяжение всех проводов.

Опоры, на которых выполняются ответвления от ВЛ, называются ответвительными; опоры, на которых выполняется пересечение ВЛ разных направлений или пересечение ВЛ с инженерными сооружениями, – перекрестными. Эти опоры могут быть всех указанных типов.

Опоры независимо от их типа могут быть свободностоящими, с подкосами или оттяжками.

Оттяжки опор могут прикрепляться к анкерам, установленным в земле, или к каменным, кирпичным, железобетонным и металлическим элементам зданий и сооружений. Сечение оттяжек определяется расчетом. Они могут быть многопроволочными или из круглой стали.

При установке опор на затапливаемых участках трассы, где возможны размывы грунта или воздействие ледохода, опоры должны быть укреплены (подсыпка земли, замощение, устройство банкеток, установка ледорезов).

В качестве анкерно-угловых опор следует применять только стальные свободностоящие опоры жесткой конструкции.

На ВЛ 35 кВ и выше расстояние между анкерными опорами должно быть не более 10 км, а на ВЛ, проходящих в труднодоступной местности и в местности с особо сложными природными условиями, – не более 5 км.

На ВЛ 20 кВ и ниже с проводами, закрепленными на штыревых изоляторах, расстояние между анкерными опорами не должно превышать 1,5 км в районах по гололеду I–III и 1 км в районах по гололеду IV и более.

На ВЛ 20 кВ и ниже с подвесными изоляторами расстояние между анкерными опорами не должно превышать 3 км.

## **8. ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ**

Система показателей технико-экономических расчетов включает:

- укрупненные показатели стоимости строительства с гибкой ошиновкой и закрытых подстанций напряжением 35–750 кВ;
- укрупненные показатели стоимости строительства ВЛ напряжением 6–750 кВ;
- территориальные корректирующие коэффициенты

Укрупнённые стоимостные показатели приведены в базисном уровне цен 2000 г. и не включают НДС (табл. 6). Определение стоимости строительства в текущем (прогнозном) уровне цен осуществляется с применением индексов пересчета стоимости в текущий (прогнозный) уровень цен. Индексы представляют собой отношение стоимости продукции, работ или ресурсов в текущем уровне цен к стоимости в базисном уровне цен.

**Таблица 6.** Укрупнённые стоимостные показатели в базисном уровне цен 2000 г., не включая НДС (тыс. руб.)

Напряжение, кВ	Ячейка трехфазного выключателя	Ячейка трехфазного выключателя КРУЭ	Управляемый ШР		Ячейки (авто) трансформаторного оборудования		ВЛ (тыс. руб./км)		КЛ (тыс. руб./км)	
					Мощность, МВ·А	Стоимость ячейки трансформатора	1 цепь	2 цепи	1 цепь	2 цепь
10	800	—	—	—	—	—	700	950	1300	2100
35	2100	4800			10 16 25	3900 4700 6700	870	1400	3000	5600
110	6300	9700	25	19800	25 40 63 80	7030 9900 14200 16970	1100	1600	15300	19800
220	12800	17800	100	42600	40 63 80 125 200 250	11200 16300 19020 25970 39500 48700	1590	2800	28900	37600
330	18700	29800	180	86700	200 250 400	42800 51250 78070	2450	3660	43400	56400

Стоимость ячеек КРУЭ представлена для широко распространённых условий эксплуатации. При особых условиях эксплуатации применяются повышающие коэффициенты (К): при токах короткого замыкания (ТКЗ) свыше 50 кА  $K = 1,3$ ; при температуре окружающего воздуха ниже  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$   $K = 1,1$ ; при наличии требований или технических решений по применению специальных строительных конструкций  $K = 1,1$ .

Показатели стоимости ячейки выключателя КРУЭ используются в расчете стоимости реконструкции в случае размещения подстанции в условиях городской и/или промышленной застройки, а также в особо загрязненных районах.

В стоимость ячейки выключателя КРУЭ не входит стоимость материалов и строительных конструкций для ввода токопровода в ячейку КРУЭ: элегазовый токопровод или кабельные строения и конструкции, включая концевую кабельную муфту. Данные затраты рассчитываются в разделе КЛ.

Для ячеек выключателей в стоимость входят:

- высоковольтные элегазовые выключатели;
- разъединители, трансформаторы тока;
- трансформаторы напряжения;
- оборудование релейной защиты ячейки выключателя;
- строительно-монтажные работы ячейки с учётом стоимости материалов.

Для ячеек трансформаторов (реакторов) в стоимость включают:

- трансформаторы (реакторы);
- ограничители перенапряжения;
- оборудование релейной защиты трансформатора (реактора);
- строительно-монтажные работы ячейки с учётом стоимости материалов.

Для получения полной стоимости подстанции к сумме показателей добавляются следующие затраты:

- 2 % – благоустройство, временные здания и сооружения;
- 11 % – проектно-изыскательские работы и авторский надзор;
- 8 % – затраты на общеподстанционные устройства: автоматизация, управление и связь, собственные нужды и система оперативного постоянного тока;
- 15 % – затраты на подготовку территории, строительство зданий, ограждений и инженерных сетей: срезка растительного слоя, подсыпка и выравнивание площадки, водоснабжение и пожаротушение, канализация, маслоуловители, ограждение, общеподстанционные здания и сооружения.
- 2 % – содержание дирекции строительства;
- 5 % – прочие работы и затраты.

Стоимость прокладки ВОЛС в грозотросе ВЛ учитывается в размере 360 тыс. руб./км в базисных показателях стоимости с учётом оборудования связи на концах ВЛ.

Для получения полной стоимости ВЛ и КЛ и стоимости ВОЛС добавляются следующие затраты:

- 2 % – временные здания и сооружения;
- 11 % – проектно-изыскательские работы и авторский надзор;
- 2 % – содержание дирекции строительства;
- 5 % – прочие работы и затраты.

Коэффициент для учета усложняющих условий строительства в условиях городской промышленной застройки ВЛ и КЛ имеет предельное значение 1,62.

Территориальный повышающий коэффициент к базисной стоимости подстанций и линий электропередачи для Архангельской области имеет предельное значение 1,3.

## **9. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ СХЕМ**

Условные графические обозначения элементов и соединяющие их линии электрической связи следует располагать на схеме таким образом, чтобы обеспечивать наилучшее представление о структуре и взаимодействии функциональных частей.

При выполнении схем применяют УГО элементов, приведенные в табл. 7, а также построенные на их основе. При необходимости допускается применять нестандартизованные УГО, при применении которых на схеме необходимо привести соответствующие пояснения.

На одной схеме следует применять один выбранный вариант УГО, для которого установлено несколько допустимых (альтернативных) вариантов выполнения, различающихся геометрической формой или степенью детализации.

УГО элементов схемы необходимо изображать упрощенным однолинейным способом построения, если для УГО конкретных элементов схемы отсутствуют специальные указания.

Размеры УГО, а также толщины линий должны быть одинаковыми на одной схеме.

УГО следует выполнять линиями той же толщины, что и линии электрической связи, если для них отсутствуют отдельные указания.

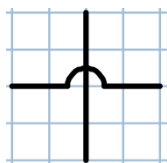
УГО элементов схемы должны изображаться в положении, в которых они приведены в табл. 7, или повернутыми на угол, кратный  $90^\circ$ , если отсутствуют специальные указания.

Допускается УГО изображать зеркально повернутым, если отсутствуют специальные указания. Если при повороте или зеркальном изображении УГО может нарушиться смысл или удобочитаемость обозначения, то такие обозначения должны быть изображены в положении, в которых они приведены в табл. 7.

Линии электрической связи должны выполняться толщиной от 0,2 до 1,0 мм в зависимости от форматов и размеров УГО. Рекомендуемая толщина линий – от 0,3 до 0,4 мм.

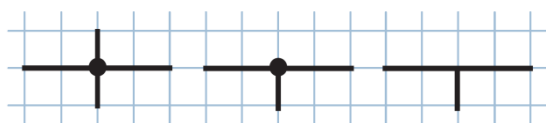
Линии электрической связи должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь наименьшее число изломов и взаимных пересечений.

Пересечение линий электрической связи допускается обозначать специальным УГО (рис. 1).



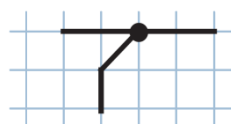
**Рис. 1.** Пересечение линий электрической связи

Линию электрической связи с одним ответвлением допускается изображать без точки (рис. 2).



**Рис. 2.** Линия электрической связи с одним ответвлением

Ответвления линий электрической связи допускается изображать при помощи излома под углом  $45^\circ$  (рис. 3).



**Рис. 3.** Ответвления линий электрической связи

Линии электрической связи должны быть показаны, как правило, полностью. Линии электрической связи, если они затрудняют чтение схемы, допускается обрывать. Обрывы линий электрической связи заканчиваются стрелками. Около стрелок должны указываться места подключения прерванных линий.

К текстовой информации (надписям), указываемой на схемах, относятся:

- диспетчерские наименования элементов схемы;
- технические данные элементов схемы.

Надписи указывают либо около УГО элемента схемы (по возможности справа или сверху), либо на свободном месте схемы.

Надписи следует ориентировать горизонтально. При большой плотности допускается вертикальная ориентация некоторых надписей. При вертикальной ориентации надпись следует выполнять снизу вверх. В надписях, не относящихся к диспетчерским наименованиям, не должны применяться сокращения слов, за исключением общепринятых.

На схеме должны быть изображены УГО следующих элементов схемы и линии электрических связей между ним:

- генераторы, синхронные компенсаторы;
- автотрансформаторы, трансформаторы (в том числе резервные фазы, трансформаторы собственных нужд), линейные регулировочные трансфор-

маторы, трансформаторы напряжения измерительные, выносные трансформаторы тока, катушки индуктивности и т.д.;

- реакторы шунтирующие, реакторы токоограничивающие, реакторы дугогасящие, батареи конденсаторов, ограничители перенапряжений, разрядники;
- системы (сборных) шин (рабочие, обходные), секции (систем сборных) шин;

- коммутационные устройства: выключатели, разъединители, отделители, короткозамыкатели, заземляющие разъединители, предохранители.

Взаимное расположение распределительных устройств высшего и среднего классов напряжения на схеме, как правило, должно соответствовать их действительному размещению на объекте электроэнергетики (согласно виду сверху).

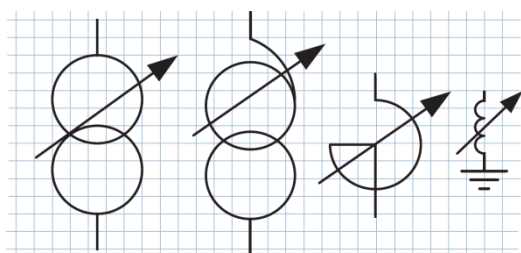
Графическое изображение распределительного устройства высшего класса напряжения следует располагать в верхней и, как правило, левой частях схемы.

Чередование ячеек распределительного устройства на схеме должно соответствовать их действительному размещению на объекте электроэнергетики.

УГО ЛЭП должны отображаться утолщенными линиями электрической связи (двукратное или большее увеличение толщины по отношению к линиям, которыми выполняются УГО элементов схемы).

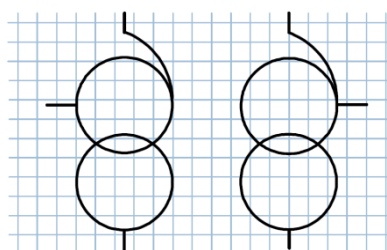
Не допускается поворачивать и отображать зеркально на нормальной схеме УГО генераторов, автотрансформаторов, трансформаторов (кроме трансформаторов собственных нужд).

Возможность регулирования на оборудовании необходимо отображать стрелкой (рис. 4).



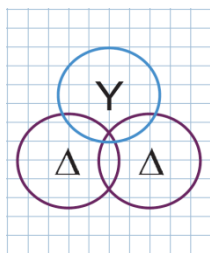
**Рис. 4.** Возможность регулирования

Отвод связи обмотки среднего напряжения автотрансформаторов допустимо изображать как со стороны касания дуги, так и с противоположной стороны (рис. 5).



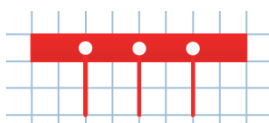
**Рис. 5.** Отвод связи обмотки среднего напряжения автотрансформаторов

Способы соединения обмоток должны отображаться символами внутри обмоток (рис. 6).



**Рис. 6.** Способы соединения обмоток

Точки электрического соединения для обозначения отводов (отпаяек) от шины необходимо выполнять заливкой белого цвета (рис. 7).



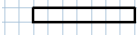
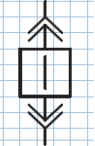
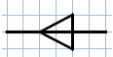
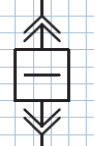
**Рис. 7.** Точки электрического соединения

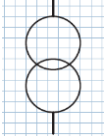
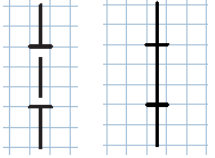
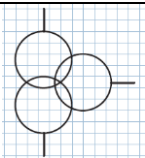
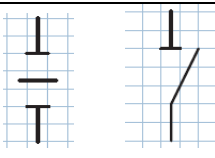
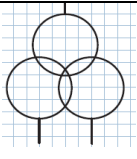
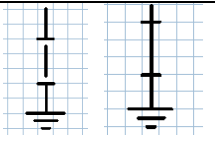
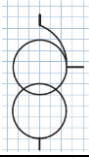
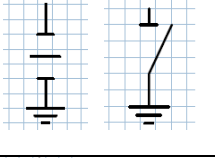
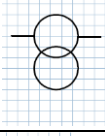
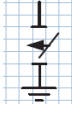

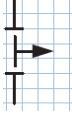

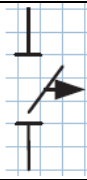

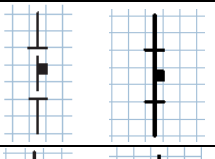

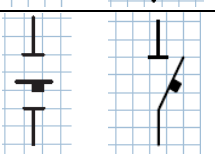
На схемах должны быть указаны диспетчерские наименования всего оборудования, УГО которого изображены на схеме, а также всех ЛЭП, отходящих от объекта электроэнергетики.

На схеме должны указываться следующие технические характеристики оборудования:

- для генераторов – активная мощность, в МВт;
- для трансформаторов и автотрансформаторов – полная мощность, в МВ · А или кВ · А для трансформаторов и автотрансформаторов мощностью менее 1 МВ · А;
- для синхронных компенсаторов, батарей конденсаторов, реакторов – реактивная мощность, в Мвар;
- у присоединений резервных ячеек – номера этих ячеек.

**Таблица 7.** Условные графические обозначения элементов схем

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Шина		Выкатная тележка выключателя в рабочем положении (выключатель включен)	
Концевая муфта кабельной линии электропередачи		Выкатная тележка выключателя в рабочем положении (выключатель отключен)	

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Трансформатор двух-обмоточный		Разъединитель (включен)	
Трансформатор трех-обмоточный		Разъединитель (отключен)	
Трансформатор двух-обмоточный с расщепленной вторичной обмоткой		Заземляющий разъединитель (включен)	
Автотрансформатор с третичной обмоткой		Заземляющий разъединитель (отключен)	
Вольтодобавочный трансформатор		Короткозамыкатель (отключен)	
Генератор		Отделитель (включен)	
Двигатель		Отделитель (отключен)	
Компенсатор синхронный		Автоматический выключатель (включен)	
Батарея статических конденсаторов		Автоматический выключатель (отключен)	

## **10. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТИПОВЫХ ПРИНЦИПАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПОДСТАНЦИЙ 35–750 КВ**

Данные рекомендации корректно применять при выполнении учебных заданий по дисциплине «Электрические сети и системы»

Схемы РУ должны удовлетворять ряду требований (критериев). Важнейшие из них: надежность, экономичность, удобство эксплуатации, техническая гибкость, экологическая чистота, компактность, унифицированность.

Надежность – свойство объекта выполнять заданные функции в заданном объеме при определенных условиях функционирования. Для схем РУ в распределительных сетях – обеспечение электроснабжения потребителей в соответствии с их категорией.

Экономичность подразумевает выбор схемы РУ на основании технико-экономических показателей, учитывающих затраты на его сооружение и эксплуатацию и экономические последствия, вызванные аварийными возмущениями.

Удобство эксплуатации заключается в наглядности и простоте схемы, снижающих вероятность ошибочных действий персонала, в возможности минимизации количества переключений.

Техническая гибкость – способность адаптироваться к изменяющимся условиям работы электроустановки при плановых и аварийно-восстановительных ремонтах, расширении, реконструкции и испытаниях.

Экологическая чистота определяется степенью воздействия электроустановки на окружающую среду – шум, электрические и магнитные поля, загрязнение выбросами и отходами, нарушение ландшафта и пр.

Компактность характеризуется возможностью минимизации площади земли, отчуждаемой под РУ. Это позволяет наиболее рационально решать проблему приобретения земельных участков, которая при обосновании и выборе схем электроустановок нередко является определяющей.

Унифицированность заключается в применении ограниченного числа типовых схем (табл. 8). Использование типовых решений позволяет снижать материальные и финансовые затраты на проектирование, монтаж, пусконаладку и эксплуатацию электроустановки.

**Таблица 8.** Унифицированные описания типовых схем (1-я группа)

Параметр	Наименование схемы	
	Блок (линия – трансформатор) с разъединителем	Блок (линия – трансформатор) с выключателем
Номер схемы	35-1; 110-1; 220-1	35-3Н; 110-3Н; 220-3Н; 330-3Н; 500-3Н
Область применения	Распределительные устройства 35–220 кВ	Распределительные устройства 35–500 кВ
Тип подстанции	Тупиковая	Тупиковая или ответвительная
Количество присоединений	Один (авто)трансформатор и одна линия	
Этапность развития	Возможно расширение практически до любой схемы. Первым этапом расширения является схема блока (линия – трансформатор) с выключателем или схема мостиков	Начальный этап развития более сложных схем. Последующим этапом развития является схема мостиков
Основные условия применения	Тупиковая однотрансформаторная подстанция, подключаемая к линии, которая не имеет ответвительных подстанций. При этом обеспечивается надежная передача управляющих воздействий релейной защиты на отключение выключателя питающей линии	Тупиковая или ответвительная однотрансформаторная подстанция, подключенная к линии, от которой запитаны и другие подстанции
Экономические критерии применения	Не требует ячеек выключателей	Требуется одну ячейку выключателя на два присоединения ((авто)трансформатор и линия)
	Занимает минимальные отчуждаемые площади с учетом количества присоединений	
	Наиболее дешевая схема с учетом количества присоединений	
Критерии надежности	а) Отказ (авто)трансформатора или линии приводит к обесточиванию стороны низшего и среднего (при наличии) напряжения. Следовательно, схема является недостаточно надежной.	а) Отказ (авто)трансформатора или линии приводит к обесточиванию стороны низшего и среднего (при наличии) напряжения рассматриваемой подстанции. Для повышения надежности элект-

Параметр	Наименование схемы	
	Блок (линия – трансформатор) с разъединителем	Блок (линия – трансформатор) с выключателем
Критерии надежности	Для повышения надежности электроснабжения потребители могут резервироваться по стороне низшего и среднего (при наличии) напряжения. В полном объеме оно нецелесообразно. Поэтому применение рассматриваемой схемы должно быть ограничено	роснабжения потребители могут резервироваться по стороне низшего и среднего (при наличии) напряжения. Однако в полном объеме оно нецелесообразно. б) Отказ линии или выключателя какой-либо подстанции приводит к отключению всех (авто)-трансформаторов подстанций, подключенных к линии. в) Как следствие (пп. а, б), схема является недостаточно надежной, и ее следует рассматривать как начальный, временный этап развития подстанции
Эксплуатационные критерии	а) Простая и наглядная. б) Электромагнитные блокировки и операции с разъединителями просты и однотипны. в) Как следствие (пп. а, б) минимизированы отказы по вине персонала	
Критерии безопасности	а) Электрооборудование, токоведущие части, изоляторы, крепления, ограждения, несущие конструкции, изоляционные и другие расстояния должны быть выбраны и установлены таким образом, чтобы: – вызываемые нормальными условиями работы электроустановки усилия, нагрев, электрическая дуга или иные сопутствующие ее работе явления (искрение, выброс газов и т.п.) не могли причинить вред обслуживающему персоналу, а также привести к повреждению оборудования и возникновению КЗ; – при выводе в ремонт какого-либо присоединения относящиеся к нему аппараты, токоведущие части и конструкции могли подвергаться безопасному техническому обслуживанию и ремонту без нарушения нормальной работы соседних цепей;	

Параметр	Наименование схемы	
	Блок (линия – трансформатор) с разъединителем	Блок (линия – трансформатор) с выключателем
Критерии безопасности	<p>– была обеспечена возможность удобного транспортирования оборудования;</p> <p>– при нарушении нормальных условий работы электроустановки была обеспечена необходимая локализация повреждений, обусловленных действием КЗ.</p> <p>б) Напряженность электрического и магнитного полей на маршрутах обхода для осмотра оборудования и на рабочих местах у оборудования, где возможно длительное присутствие персонала для проведения профилактических и ремонтных работ, не должна превышать допустимую.</p> <p>в) Должны быть выполнены требования нормативно-технических документов по электромагнитной совместимости.</p>	

Таблица 9. Унифицированные описания типовых схем (2-я группа)

Параметр	Наименование схемы	
	Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий
Номер схемы	35-4Н; 110-4Н; 220-4Н	35-5Н; 110-5Н; 220-5Н
Область применения	Распределительные устройства 35–220 кВ	
Тип подстанции	Тупиковая или ответвительная	Проходная
Количество присоединений	Два (авто)трансформатора и две линии	
Этапность развития	Возможно расширение до схемы с одной или двумя системами сборных шин (с обходной системой шин либо без нее). При этом учитываются	Возможно расширение до схемы с одной или двумя системами сборных шин (с обходной системой шин либо без нее). При этом учитываются сле-

Параметр	Наименование схемы	
	Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий
Этапность развития	следующие конструктивные особенности. Под каждое присоединение, включая перемычку, предусматривают отдельную ячейку аналогично компоновкам схем с одной-двумя системами сборных шин. Каждый участок ошиновки между выключателями и ремонтной перемычкой выполняют в виде отдельной системы или секции системы сборных шин ( типовые решения для схем с одной-двумя системами сборных шин). Разъединители со стороны присоединения линий и (авто)трансформаторов устанавливаются под выходными линейными порталами. При поэтапном расширении секционный или шиносоединительный выключатель устанавливается в ячейке перемычки	дующие конструктивные особенности. Сооружается участок ошиновки между разъединителями перемычки в виде системы сборных шин. В последующем она может преобразовываться в обходную систему шин. Под каждое присоединение, а также под секционный выключатель предусматриваются отдельные ячейки, установленные в один ряд. Остальное оборудование и порталы устанавливаются по привязкам компоновки схемы с одной-двумя системами сборных шин
Основные условия применения	<p>а) Тупиковая или ответвительная подстанция с одно- или двухсторонним питанием, подключенная к двухцепной линии, от которой запитаны и другие подстанции.</p> <p>б) В нормальном режиме разъединители в неавтоматической перемычке отключены, остальные разъединители, а также выключатели в схеме включены</p>	<p>а) Проходная подстанция с двухсторонним питанием.</p> <p>б) В нормальном режиме разъединители в ремонтной перемычке отключены, остальные разъединители, а также выключатели в схеме включены</p>

Параметр	Наименование схемы	
	Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий
Экономические критерии применения	а) Требуется две ячейки выключателей на четыре присоединения (два (авто)трансформатора и две линии)	а) Требуется три ячейки выключателей на четыре присоединения (два (авто)трансформатора и две линии)
	б) Занимает минимальные отчуждаемые площади с учетом количества присоединений	
	в) Наиболее дешевая схема с учетом количества присоединений	в) Наиболее дешевая схема с учетом количества присоединений для заданной конфигурации сети
Критерии надежности	<p>а) Отказ линии или выключателя приводит к отключению по одному (авто)трансформатору на всех смежных подстанциях, подключенных к данной линии. Рассматриваемые отказы не должны приводить к ограничению электроснабжения потребителей при достаточной нагрузочной способности оставшихся в работе (авто)трансформаторов, а также действию автоматического ввода резерва на стороне низшего и среднего (при наличии) напряжения (авто)трансформатора.</p> <p>б) При трех-четырех и более ответственных подстанциях, подключенных к линиям с двухсторонним питанием, рекомендуется рассмотреть целесообразность секционирования этих линий за счет использования на одной из подстанций соответствующей схемы, например заход-выход</p>	<p>а) При отказе нормально включенного «среднего» выключателя возможно полное погашение распределительного устройства. При этом теряется транзит мощности через сторону высшего напряжения подстанции. При заданной в схеме присоединения подстанций к энергосистеме (двухстороннее питание) потеря транзита не приводит к ограничению электроснабжения потребителей на смежных подстанциях. Транзит мощности будет потерян и при отказе выключателя в цепи линии. Транзит мощности прерывается и при отказе силового (авто)трансформатора. Однако этот перерыв непродолжительный и определяется временем оперативных переключений в схеме. Кроме того, частота отказов (авто)трансформаторов рассматриваемого класса напряжения сравнительно невелика (параметр потока отказов равен</p>

Параметр	Наименование схемы	
	Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий
Критерии надежности	<p>в) Неавтоматическую перемычку со стороны линий следует устанавливать только при наличии технико-экономических обоснований с учетом фактора надежности, поскольку плановые и аварийные простои линий 35–220 кВ непродолжительны, а параметр потока отказов (авто)трансформаторов один из самых низких среди элементов электрических сетей.</p> <p>г) Является лучшей схемой с позиций надежности и экономичности для тупиковых или ответвительных двухтрансформаторных подстанций при использовании современных элегазовых выключателей с пружинными приводами для подстанций 35–220 кВ</p>	<p>0,005–0,02 1/год). Поэтому данное событие принимается во внимание при выборе схем лишь при наличии достаточных технико-экономических обоснований с учетом фактора надежности.</p> <p>б) Установка второго последовательно включенного выключателя или переход к схеме четырехугольника для исключения погашения распределительного устройства (п. а) нецелесообразна с технико-экономических позиций с учетом фактора надежности.</p> <p>в) К одной линии с двусторонним питанием рекомендуется подключать не более трех-четырёх проходных подстанций, в том числе по условиям надежной работы релейной защиты в части селективности.</p> <p>г) При прочих равных условиях в рассматриваемой схеме, в отличие от схемы мостика с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов, коммутация линий выполняется одним выключателем. Это благоприятно сказывается на надежности распределительного устройства, поскольку коммутация линий электропередачи в нормаль-</p>

Параметр	Наименование схемы	
	Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий
		<p>ных, ремонтных и аварийных режимах осуществляется значительно чаще, чем (авто)трансформаторов.</p> <p>д) С учетом пп. а–г является лучшей схемой с позиций надежности и экономичности для проходных подстанций при использовании современных элегазовых выключателей с пружинными приводами для подстанций 35–220 кВ</p>
Эксплуатационные критерии	<p>а) Простая и наглядная</p> <p>б) Электромагнитные блокировки и операции с разъединителями просты и однотипны</p> <p>в) Как следствие (пп. а и б) минимизированы отказы по вине персонала</p>	
Критерии безопасности	<p>а) Электрооборудование, токоведущие части, изоляторы, крепления, ограждения, несущие конструкции, изоляционные и другие расстояния должны быть выбраны и установлены таким образом, чтобы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вызываемые нормальными условиями работы электроустановки усилия, нагрев, электрическая дуга или иные сопутствующие ее работе явления (искрение, выброс газов и т.п.) не могли причинить вред обслуживающему персоналу, а также привести к повреждению оборудования и возникновению КЗ;</li> <li>– при выводе в ремонт какого-либо присоединения относящиеся к нему аппараты, токоведущие части и конструкции могли подвергаться безопасному техническому обслуживанию и ремонту без нарушения нормальной работы соседних цепей;</li> <li>– при нарушении нормальных условий работы электроустановки была обеспечена необходимая локализация повреждений, обусловленных действием КЗ.</li> </ul> <p>б) Напряженность электрического и магнитного полей на маршрутах обхода для осмотра оборудования и на рабочих местах у оборудования, где возможно длительное присутствие персонала для проведения профилактических и ремонтных работ, не должна превышать допустимую.</p> <p>в) Должны быть выполнены требования нормативно-технических документов по электромагнитной совместимости</p>	

**Таблица 10.** Унифицированные описания типовых схем (3-я группа)

Параметр	Наименование схемы	
	Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны транс-форматоров	Заход-выход
Номер схемы	35-5АН; 110-5АН; 220-5АН	110-6; 220-6
Область применения	Распределительные устройства 35–220 кВ	Распределительные устройства 110 и 220 кВ
Тип подстанции	Проходная	Проходная
Количество присоединений	Два (авто)трансформатора и две линии	Два (авто)трансформатора и четыре линии
Этапность развития	Возможно расширение до схемы с одной или двумя системами сборных шин (с обходной системой шин либо без нее). При этом учитываются следующие конструктивные особенности. Сооружается участок ошиновки между разъединителями перемычки в виде системы сборных шин. В последующем она может преобразовываться в обходную систему шин. Под каждое присоединение, а также под секционный выключатель предусматриваются отдельные ячейки, установленные в один ряд. Остальное оборудование и порталы устанавливаются по привязкам компоновки схемы с одной-двумя системами сборных шин	Начальный этап развития схемы мостиков, треугольника или другой более сложной схемы при одном (авто)трансформаторе и двух линиях. Также используется на двухтрансформаторных подстанциях в виде двух не связанных между собой заходов-выходов и в этом случае является законченным этапом развития схемы
Основные условия применения	а) Проходная подстанция с двухсторонним питанием при необходимости частых включений-отключений (авто)трансформаторов при неравномерном графике нагрузки для снижения потерь мощности и электроэнергии в (авто)трансформаторах	а) Проходная подстанция с двухсторонним питанием, подключенная к двухцепной линии

Параметр	Наименование схемы	
	Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны транс-форматоров	Заход-выход
	б) В нормальном режиме разъединители в ремонтной перемычке отключены, остальные разъединители, а также выключатели в схеме включены	
Экономические критерии применения	а) Требуется три ячейки выключателей на четыре присоединения (два (авто)трансформатора и две линии)	а) Требуется четыре ячейки выключателей на шесть присоединений (два (авто)трансформатора и четыре линии)
	б) Занимает минимальные отчуждаемые площади с учетом количества присоединений	
	в) Наиболее дешевая схема с учетом количества присоединений для заданной конфигурации сети	в) Сравнительно дешевая схема с учетом количества присоединений для заданной конфигурации сети
Критерии надежности	<p>а) При отказе нормально включенного «среднего» выключателя возможно полное погашение распределительного устройства. При этом теряется транзит мощности через сторону высшего напряжения подстанции. Потеря транзита не приводит к ограничению электроснабжения потребителей на смежных подстанциях. Транзит мощности будет потерян и при отказе выключателя в цепи (авто)-трансформатора.</p> <p>б) Установка второго последовательно включенного выключателя или переход к схеме четырехугольника для исключения погашения распределительного устройства (п. а) нецелесообразна с технико-экономических позиций с учетом фактора надежности.</p>	<p>а) При отказе любого выключателя теряется заход-выход только от одной линии, заход-выход от второй линии остается в работе.</p> <p>б) Схему заход-выход целесообразно рассматривать для секционирования двухцепной линии с двухсторонним питанием, к которой подключено более трех ответвительных подстанций по схеме блока для повышения надежности электроснабжения потребителей и работы устройств релейной защиты</p>

Параметр	Наименование схемы	
	Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны транс-форматоров	Заход-выход
Критерии надежности	<p>в) К одной линии с двусторонним питанием рекомендуется подключать не более трех-четырех проходных подстанций, в том числе по условиям надежной работы релейной защиты в части селективности.</p> <p>з) При ремонте секционного выключателя схема позволяет сохранить транзит мощности по присоединенным линиям через ремонтную перемычку, а также сохранить в работе оба (авто)трансформатора при аварийном отключении одной из отходящих линий.</p> <p>д) При прочих равных условиях в рассматриваемой схеме, в отличие от схемы мостика с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий, коммутация линии выполняется двумя выключателями. Поэтому схему мостика с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов следует использовать в случаях значительной неравномерности графика нагрузки, когда может быть оправданы частые включения-отключения (авто)трансформаторов для снижения потерь мощности и электроэнергии в них</p>	

Параметр	Наименование схемы	
	Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны транс-форматоров	Заход-выход
Эксплуатационные критерии	а) Простая и наглядная б) Электромагнитные блокировки и операции с разъединителями просты и однотипны в) Минимизированы отказы по вине персонала	
Техническая гибкость	—	(Авто)трансформаторы подключаются к двум источникам питания через развилку выключателей, что является дополнительным преимуществом схемы в ремонтных и послеаварийных режимах
Критерии безопасности	а) Электрооборудование, токоведущие части, изоляторы, крепления, ограждения, несущие конструкции, изоляционные и другие расстояния должны быть выбраны и установлены таким образом, чтобы: <ul style="list-style-type: none"> <li>– вызываемые нормальными условиями работы электроустановки усилия, нагрев, электрическая дуга или иные сопутствующие ее работе явления (искрение, выброс газов и т.п.) не могли причинить вред обслуживающему персоналу, а также привести к повреждению оборудования и возникновению КЗ;</li> <li>– при выводе в ремонт какого-либо присоединения, относящиеся к нему аппараты, токоведущие части и конструкции могли подвергаться безопасному техническому обслуживанию и ремонту без нарушения нормальной работы соседних цепей;</li> <li>– при нарушении нормальных условий работы электроустановки была обеспечена необходимая локализация повреждений, обусловленных действием КЗ.</li> </ul> б) Напряженность электрического и магнитного полей на маршрутах обхода для осмотра оборудования и на рабочих местах у оборудования, где возможно длительное присутствие персонала для проведения профилактических и ремонтных работ, не должна превышать допустимую. в) Должны быть выполнены требования нормативно-технических документов по электромагнитной совместимости	

**Таблица 11.** Унифицированные описания типовых схем (4-я группа)

Параметр	Наименование схемы	
	Четырехугольник (треугольник)	Шестиугольник
Номер схемы	110-7; 220-7; 330-7; 500-7; 750-7 (110-6Н; 220-6Н; 330-6Н; 500-6Н; 750-6Н)	110-8; 220-8; 330-8
Область применения	Распределительные устройства 110–750 кВ	Распределительные устройства 110–330 кВ
Тип подстанции	Проходная	Узловая
Количество присоединений	Два (авто)трансформатора и две линии	Два (авто)трансформатора и четыре линии (или другое сочетание присоединений)
Этапность развития	Возможно расширение до схемы трансформаторы-шины с присоединением линий через два выключателя или полуторным присоединением линий, до полуторной схемы в зависимости от выделенных площадей и примененной компоновки, например одно-, двух-, трехрядного расположения выключателей	Возможно расширение до схемы трансформаторы-шины с полуторным присоединением линий и полуторной схемы
Основные условия применения	Проходная подстанция с двухсторонним питанием по двум линиям	Узловая подстанция с пятью-шестью присоединениями
Экономические критерии применения	а) Требуется четыре ячейки выключателей на четыре присоединения (два (авто)трансформатора и две линии)	а) Требуется шесть ячеек выключателей на шесть присоединений
	б) Занимает минимальные отчуждаемые площади с учетом количества присоединений в) Сравнительно дешевая схема с учетом количества присоединений для заданной конфигурации сети	
Критерии надежности	а) При отказе любого выключателя отключается не более одной линии и одного (авто)трансформатора. При этом теряется транзит мощности через сторону высшего напряжения подстанции. Потеря	а) При отказе любого выключателя теряется, как правило, не более одной линии и одного (авто)трансформатора, двух линий или двух (авто)трансформаторов.

Параметр	Наименование схемы	
	Четырехугольник (треугольник)	Шестиугольник
Критерии надежности	<p>транзита не приводит к ограничению электроснабжения потребителей на смежных подстанциях.</p> <p>б) Схема четырехугольника является альтернативой схеме мостика, в которой при отказе «среднего» выключателя возможно полное погашение распределительного устройства.</p> <p>в) Схему четырехугольника наиболее предпочтительно использовать для двухтрансформаторных подстанций 500 и 750 кВ с двумя линиями, для подстанций 110–330 кВ эта схема применяется при наличии соответствующих технико-экономических обоснований с учетом фактора надежности</p>	<p>б) При анализе возможности применения схемы необходимо выполнить оценку возможных режимных ограничений при возникновении аварийных возмущений в схеме при ремонте одного из выключателей и(или) присоединений.</p> <p>в) Схема шестиугольника является альтернативой схеме заход-выход при секционировании двухцепной линии с двухсторонним питанием, к которой подключено более трех-четырёх ответвительных подстанций по схеме блока для повышения надежности электроснабжения потребителей и работы устройств релейной защиты. В схеме шестиугольника на две ячейки выключателей больше, чем в схеме заход-выход. Однако схема шестиугольник обеспечивает более равномерное распределение потоков мощности по участкам двухцепной линии, что снижает потери мощности и энергии в электрической сети. Данный критерий следует учитывать при технико-экономическом сравнении этих схем</p>
Эксплуатационные критерии	<p>а) Простая и наглядная.</p> <p>б) Электромагнитные блокировки и операции с разъединителями просты и однотипны.</p> <p>в) Минимизированы отказы по вине персонала</p>	

Параметр	Наименование схемы	
	Четырехугольник (треугольник)	Шестиугольник
Техническая гибкость	(Авто)трансформаторы подключаются к двум источникам питания через развилку выключателей, что является дополнительным преимуществом схемы в ремонтных и послеаварийных режимах	а) (Авто)трансформаторы подключаются к двум источникам питания через развилку выключателей, что является дополнительным преимуществом схемы в ремонтных и послеаварийных режимах. б) Требуется сложный учет набора различных перетоков мощности в ремонтных и послеаварийных режимах (разрыв кольца) при выборе параметров срабатывания релейной защиты
Критерии безопасности	<p>а) Электрооборудование, токоведущие части, изоляторы, крепления, ограждения, несущие конструкции, изоляционные и другие расстояния должны быть выбраны и установлены таким образом, чтобы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вызываемые нормальными условиями работы электроустановки усилия, нагрев, электрическая дуга или иные сопутствующие ее работе явления (искрение, выброс газов и т.п.) не могли причинить вред обслуживающему персоналу, а также привести к повреждению оборудования и возникновению КЗ;</li> <li>– при выводе в ремонт какого-либо присоединения относящиеся к нему аппараты, токоведущие части и конструкции могли подвергаться безопасному техническому обслуживанию и ремонту без нарушения нормальной работы соседних цепей;</li> <li>– при нарушении нормальных условий работы электроустановки была обеспечена необходимая локализация повреждений, обусловленных действием КЗ.</li> </ul> <p>б) Напряженность электрического и магнитного полей на маршрутах обхода для осмотра оборудования и на рабочих местах у оборудования, где возможно длительное присутствие персонала для проведения профилактических и ремонтных работ, не должна превышать допустимую.</p> <p>в) Должны быть выполнены требования нормативно-технических документов по электромагнитной совместимости</p>	

**Таблица 12.** Унифицированные описания типовых схем (5-я группа)

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с одной секционированной системой сборных шин	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с подключением трансформаторов через развилку из выключателей
Номер схемы	35-9; 110-9; 220-9	110-9Н; 220-9Н
Область применения	Распределительные устройства 35–220 кВ	Распределительные устройства 110 и 220 кВ
Тип подстанции	Узловая	
Количество присоединений	Два (авто)трансформатора и три линии с возможностью увеличения числа присоединений (т.е. расширения подстанции) свыше шести; при расширении до шести присоединений используется схема шестиугольника. Вопросы расширения подстанции анализируются при выборе схем электрических сетей на перспективу 5–10 лет	
Этапность развития	Возможно расширение до схемы с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин, а также до схемы с двумя системами сборных шин и с обходной системой шин либо без нее	Возможно развитие до аналогичной схемы с обходной системой шин
Основные условия применения	<p>а) Наличие попарно резервируемых линий (попарно резервируемые линии, подключенные к различным секциям распределительного устройства; при отключении одной линии ее нагрузка перераспределяется на оставшуюся в работе линию), а также линий, резервируемых от других подстанций.</p> <p>б) Отсутствует необходимость сохранения в работе всех присоединений к каждой секции при ее отключении.</p> <p>в) Основные этапы должны подтверждаться расчетами установившихся режимов при поочередном отключении каждого присоединения, а также секции системы сборных шин. При этом в расчетных ремонтных и послеаварийных режимах в энергосистеме должны обеспечиваться: сохранение статической устойчивости; требуемые уровни напряжения по узлам сети; допустимые токовые нагрузки проводников и аппаратов</p>	

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с одной секционированной системой сборных шин	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с подключением трансформаторов через развилку из выключателей
Экономические критерии применения	<p>а) Требуется <math>k + 1</math> ячейка выключателя, где <math>k</math> – количество присоединений.</p> <p>б) Занимает минимальные отчуждаемые площади с учетом количества присоединений.</p> <p>в) Наиболее дешевая схема с учетом количества присоединений</p>	<p>а) Требуется <math>k + 2</math> ячейки выключателей, где <math>k</math> – количество присоединений, т.е. на одну ячейку больше, чем в схеме с одной секционированной системой сборных шин.</p> <p>б) Наиболее дешевая и компактная схема с учетом количества присоединений после схемы с одной секционированной системой сборных шин</p>
Критерии надежности	<p>а) При отказе нормально включенного секционного выключателя возможно полное погашение распределительного устройства.</p> <p>б) Установка второго последовательно включенного секционного выключателя для исключения погашения распределительного устройства (п. а) нецелесообразна с технико-экономических позиций.</p> <p>в) Предпочтительна установка двух последовательно включенных секционных выключателей с включением в развилку из них одного присоединения (в том числе и нерезервируемого) для исключения погашения распределительного устройства при единичном отказе секционного выключателя без увеличения количества выключателей в схеме.</p> <p>г) Является лучшей схемой с позиций надежности и экономичности при использовании современных</p>	<p>а) Наличие двух разилок из выключателей для подключения (авто)трансформаторов исключает полное погашение распределительного устройства 110 или 220 кВ при единичном отказе любого выключателя схемы. Поэтому надежность рассматриваемой схемы выше, чем схемы с одной секционированной системой сборных шин.</p> <p>б) С учетом фактора надежности переход от схемы с одной секционированной системой сборных шин (<math>k + 1</math> ячейка выключателя) к схеме с одной секционированной системой сборных шин и с подключением (авто)трансформаторов через развилку из выключателей (<math>k + 2</math> ячейки выключателей) требует технико-экономических обоснований с учетом фактора надежности для подстанций с высшим напряжением 110 и 220 кВ.</p>

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с одной секционированной системой сборных шин	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с подключением трансформаторов через развилку из выключателей
Критерии надежности	элегазовых выключателей с пружинными приводами для подстанций 35–220 кВ. То же относится и к КРУЭ.	в) С учетом фактора надежности схему с одной секционированной системой сборных шин и с подключением (авто)трансформаторов через развилку из выключателей наиболее предпочтительно использовать для распределительных устройств 110 и 220 кВ подстанций с высшим напряжением 500 и 750 кВ, т.е. на стороне среднего напряжения крупных подстанций основной сети энергосистем. Тем самым обеспечивается подключение автотрансформаторов 500 и 750 кВ через два выключателя как со стороны высшего, так и среднего напряжения
Эксплуатационные критерии	<p>а) Простая и наглядная.</p> <p>б) Электромагнитные блокировки и операции с разъединителями просты и однотипны.</p> <p>в) Минимизированы отказы по вине персонала</p>	
Техническая гибкость	Жесткая фиксация присоединений по секциям; попарно резервированные присоединения необходимо подключать к разным секциям.	<p>а) (Авто)трансформаторы подключаются к двум источникам питания через развилку выключателей, что является дополнительным преимуществом схемы в ремонтных и послеаварийных режимах.</p> <p>б) Жесткая фиксация присоединений по секциям; попарно резервированные линии необходимо подключать к разным секциям</p>

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с одной секционированной системой сборных шин	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с подключением трансформаторов через развилку из выключателей
Критерии безопасности	<p>а) Электрооборудование, токоведущие части, изоляторы, крепления, ограждения, несущие конструкции, изоляционные и другие расстояния должны быть выбраны и установлены таким образом, чтобы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вызываемые нормальными условиями работы электроустановки усилия, нагрев, электрическая дуга или иные сопутствующие ее работе явления (искрение, выброс газов и т.п.) не могли причинить вред обслуживающему персоналу, а также привести к повреждению оборудования и возникновению КЗ;</li> <li>– при выводе в ремонт какого-либо присоединения, относящиеся к нему аппараты, токоведущие части и конструкции могли подвергаться безопасному техническому обслуживанию и ремонту без нарушения нормальной работы соседних цепей;</li> <li>– при нарушении нормальных условий работы электроустановки была обеспечена необходимая локализация повреждений, обусловленных действием КЗ.</li> </ul> <p>б) Напряженность электрического и магнитного полей на маршрутах обхода для осмотра оборудо-</p>	<p>а) Электрооборудование, токоведущие части, изоляторы, крепления, ограждения, несущие конструкции, изоляционные и другие расстояния должны быть выбраны и установлены таким образом, чтобы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вызываемые нормальными условиями работы электроустановки усилия, нагрев, электрическая дуга или иные сопутствующие ее работе явления (искрение, выброс газов и т.п.) не могли причинить вред обслуживающему персоналу, а также привести к повреждению оборудования и возникновению КЗ;</li> <li>– при выводе в ремонт какого-либо присоединения относящиеся к нему аппараты, токоведущие части и конструкции могли подвергаться безопасному техническому обслуживанию и ремонту без нарушения нормальной работы соседних цепей;</li> <li>– при нарушении нормальных условий работы электроустановки была обеспечена необходимая локализация повреждений, обусловленных действием КЗ.</li> </ul> <p>б) Напряженность электрического и магнитного полей на маршрутах обхода для осмотра оборудо-</p>

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с одной секционированной системой сборных шин	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с подключением трансформаторов через развилку из выключателей
Критерии безопасности	вания и на рабочих местах у оборудования, где возможно длительное присутствие персонала для проведения профилактических и ремонтных работ, не должна превышать допустимую. в) Должны быть выполнены требования нормативно-технических документов по электромагнитной совместимости	вания и на рабочих местах у оборудования, где возможно длительное присутствие персонала для проведения профилактических и ремонтных работ, не должна превышать допустимую. в) Должны быть выполнены требования нормативно-технических документов по электромагнитной совместимости

**Таблица 13.** Унифицированные описания типовых схем (6-я группа)

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с подключением присоединений через «полупотрную» цепочку	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин
Номер схемы	110-9АН; 220-9АН	110-12; 220-12
Область применения	Распределительные устройства 110 и 220 кВ	
Тип подстанции	Узловая	
Количество присоединений	Два (авто)трансформатора и три линии с возможностью увеличения числа присоединений (т.е. расширения подстанции) свыше шести; при расширении до шести присоединений используется схема шестиугольника. Вопросы расширения подстанции анализируются при выборе схем электрических сетей на перспективу 5–10 лет	
Этапность развития	Возможно развитие до схемы трансформаторы-шины с полупотрным присоединением линий или полупотрной схемы	Возможно развитие до схемы с двумя системами сборных шин и с обходной системой шин

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с подключением присоединений через «полупотрону» цепочку	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин
Основные условия применения	<p><i>а)</i> Наличие не более двух нерезервированных линий (включаются в «полупотронные» цепочки), т.е. при отключении такой линии подстанции подключенные к ней обесточиваются. Остальные линии должны быть попарно резервируемыми (попарно резервируемые линии, подключенные к различным секциям распределительного устройства; при отключении одной линии ее нагрузка перераспределится на оставшуюся в работе линию), а также линиями, резервируемыми от других подстанций.</p> <p><i>б)</i> Отсутствует необходимость сохранения в работе всех присоединений к каждой секции при ее отключении.</p> <p><i>в)</i> Пункты <i>а</i> и <i>б</i> должны подтверждаться расчетами установившихся режимов при поочередном отключении каждого присоединения, а также секции системы сборных шин. При этом в расчетных ремонтных и послеаварийных режимах в энергосистеме должны обеспечиваться: сохранение статической устойчивости; требуемые уровни напряжения по узлам сети; допустимые токовые нагрузки проводников и аппаратов</p>	<p><i>а)</i> Наличие нерезервированных присоединений, причем не более одного на секцию, при этом обходная система шин включена в схему плавки гололеда на воздушных линиях. Остальные присоединения должны быть резервированы.</p> <p><i>б)</i> Отсутствие необходимости сохранения в работе всех присоединений к секции при ее отключении с учетом п. <i>а</i>.</p> <p><i>в)</i> Пункты <i>а</i> и <i>б</i> должны подтверждаться расчетами установившихся режимов при поочередном отключении каждого присоединения, а также секции системы сборных шин. При этом в расчетных ремонтных и послеаварийных режимах должны обеспечиваться: сохранение статической устойчивости в энергосистеме; требуемые уровни напряжения по узлам сети; допустимые токовые нагрузки проводников и аппаратов</p> <p><i>г)</i> В нормальном режиме обходной выключатель не задействован.</p>
Экономические критерии применения	<i>а)</i> Требуется $k + 2$ ячейки выключателей, где $k$ – количество присоединений	

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с подключением присоединений через «полуторную» цепочку	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин
Экономические критерии применения	б) Наиболее дешевая и компактная схема с учетом количества присоединений, в том числе нерезервируемых. При прочих равных условиях ее использование более предпочтительно по сравнению со схемой с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин	б) По сравнению со схемой с одной секционированной системой сборных шин: – требует установки на каждом присоединении (линии или (авто)трансформаторе) обходного разъединителя, стоимость которого составляет 15–25 % стоимости выключателя; – увеличивает отчуждаемые земельные участки за счет обходной системы шин на 20–30 % в зависимости от числа присоединений. в) При использовании современных элегазовых выключателей с пружинными приводами обходная система шин, как правило, не окупает себя с позиций снижения потерь мощности и электроэнергии в сети при плановых ремонтах коммутационных аппаратов. При отсутствии необходимости плавки гололеда и при прочих равных условиях более предпочтительно использовать схему с одной секционированной системой сборных шин и с подключением ответственных присоединений через «полуторную» цепочку
Критерии надежности	а) Наличие «полуторных» цепочек исключает полное погашение распределительного устройства 110 или 220 кВ при единичном отказе любого выключателя схемы. Поэтому схема достаточно надежна.	а) При отказе нормально включенного секционного выключателя возможно полное погашение распределительного устройства.

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с подключением присоединений через «полуторную» цепочку	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин
Критерии надежности		<p>б) Установка второго последовательно включенного секционного выключателя для исключения погашения распределительного устройства (п. а) нецелесообразна с технико-экономических позиций с учетом фактора надежности.</p> <p>в) Предпочтительна установка двух последовательно включенных секционных выключателей с включением в развилку из них одного присоединения (в т.ч. и нерезервируемого) для исключения погашения распределительного устройства при единичном отказе секционного выключателя без увеличения количества выключателей в схеме</p>
Эксплуатационные критерии	а) Схема менее простая и наглядная по сравнению со схемами с одной секционированной системой сборных шин (с подключением (авто)трансформаторов через развилку из выключателей или без нее)	а) Простая и наглядная
	б) Электромагнитные блокировки и операции с разъединителями не однотипны	
	в) Требуется жесткой фиксации присоединений линий электропередачи по секциям (снижение гибкости схемы), при этом попарно резервированные присоединения необходимо подключать к разным секциям	в) Жесткая фиксация присоединений по секциям; попарно резервированные присоединения необходимо подключать к разным секциям

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с подключением присоединений через «полуторную» цепочку	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин
Техническая гибкость	<p>а) (Авто)трансформаторы подключаются в схеме через развилку из двух выключателей, что является дополнительным преимуществом схемы в ремонтных и послеаварийных режимах.</p> <p>б) Жесткая фиксация присоединений по секциям; попарно резервированные линии необходимо подключать к разным секциям</p>	
Критерии безопасности	<p>а) Электрооборудование, токоведущие части, изоляторы, крепления, ограждения, несущие конструкции, изоляционные и другие расстояния должны быть выбраны и установлены таким образом, чтобы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вызываемые нормальными условиями работы электроустановки усилия, нагрев, электрическая дуга или иные сопутствующие ее работе явления (искрение, выброс газов и т.п.) не могли причинить вред обслуживающему персоналу, а также привести к повреждению оборудования и возникновению КЗ;</li> <li>– при выводе в ремонт какого-либо присоединения, относящиеся к нему аппараты, токоведущие части и конструкции могли подвергаться безопасному техническому обслуживанию и ремонту без нарушения нормальной работы соседних цепей;</li> <li>– при нарушении нормальных условий работы электроустановки была обеспечена необходимая локализация повреждений, обусловленных действием КЗ.</li> </ul> <p>б) Напряженность электрического и магнитного полей на маршрутах обхода для осмотра оборудования и на рабочих местах у оборудования, где возможно длительное присутствие персонала для проведения профилактических и ремонтных работ, не должна превышать допустимую</p> <p>в) Должны быть выполнены требования нормативно-технических документов по электромагнитной совместимости</p>	

**Таблица 14.** Унифицированные описания типовых схем (7-я группа)

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин с подключением трансформаторов через развилку из выключателей	Схема с двумя системами сборных шин
Номер схемы	110-12Н; 220-12Н	110-13; 220-13
Область применения	Распределительные устройства 110 и 220 кВ	
Тип подстанции	Узловая	
Количество присоединений	Два (авто)трансформатора и три линии с возможностью увеличения числа присоединений (т.е. расширения подстанции) свыше шести; при расширении до шести присоединений используется схема шестиугольника. Вопросы расширения подстанции анализируются при выборе схем электрических сетей на перспективу 5–10 лет	
Этапность развития	—	Возможно развитие до схемы с двумя системами сборных шин и с обходной системой шин, а также до схемы с двумя секционированными системами сборных шин и с обходной системой шин
Основные условия применения	<p><i>а)</i> Наличие нерезервируемых присоединений, причем не более одного на секцию, при этом обходная система шин включена в схему плавки гололеда на воздушных линиях. Остальные присоединения должны быть резервируемы.</p> <p><i>б)</i> Отсутствие необходимости сохранения в работе всех присоединений к секции при ее отключении с учетом п. <i>а</i>.</p>	<p><i>а)</i> Более двух нерезервируемых присоединений на подстанции и, как следствие, необходимость их сохранения в работе при плановом отключении системы сборных шин.</p> <p><i>б)</i> В нормальном режиме присоединения по возможности симметрично распределены между системами сборных шин, а шиносоединительный выключатель включен и выполняет секционирующие функции (режим фиксированных присоединений) или отключен по режимным соображениям, в том числе стационарному делению сети</p>

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин с подключением трансформаторов через развилку из выключателей	Схема с двумя системами сборных шин
		для ограничения уровней токов КЗ. При этом один из шинных разъединителей каждого присоединения включен, а другой отключен. Остальные разъединители, а также выключатели в схеме включены
Экономические критерии применения	<p>а) Требуется <math>k + 3</math> ячейки выключателей, где <math>k</math> – количество присоединений.</p> <p>б) По сравнению со схемой с одной секционированной системой сборных шин:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– требует установки на каждом присоединении (линии или (авто)трансформаторе) обходного разъединителя, стоимость которого составляет 15–25 % стоимости выключателя;</li> <li>– увеличивает отчуждаемые земельные участки за счет обходной системы шин на 20–30 % в зависимости от числа присоединений.</li> </ul> <p>в) При использовании современных элегазовых выключателей с пружинными приводами обходная система шин, как правило, не окупает себя с позиций снижения потерь мощности и электроэнергии в сети при плановых ремонтах коммутационных аппаратов. То же относится к КРУЭ.</p>	<p>а) Требуется <math>k + 1</math> ячейку выключателя, где <math>k</math> – количество присоединений.</p> <p>б) По сравнению со схемой с одной секционированной системой сборных шин требует установки на каждом присоединении второго шинного разъединителя, стоимость которого составляет 15–25 % стоимости выключателя;</p> <p>в) Занимает минимальные отчуждаемые площади с учетом количества присоединений при килевой установке одного шинного разъединителя на каждом присоединении</p>

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин с подключением трансформаторов через развилку из выключателей	Схема с двумя системами сборных шин
	<p>з) При отсутствии необходимости плавки гололеда и при прочих равных условиях более предпочтительно использовать схему с одной секционированной системой сборных шин и с подключением трансформаторов через развилку из выключателей</p>	
Критерии надежности	<p>а) Наличие двух развилок из выключателей для подключения (авто)трансформаторов исключает полное погашение распределительного устройства 110 или 220 кВ при единичном отказе любого выключателя схемы. Поэтому надежность рассматриваемой схемы выше, чем схемы с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин.</p> <p>б) С учетом фактора надежности переход от схемы с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин (<math>k + 2</math> ячейки выключателя) к схеме с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин с подключением трансформаторов через развилку из выключателей (<math>k + 3</math> ячейки выключателей) требует технико-экономических обоснований с учетом</p>	<p>а) При отказе нормально включенного шиносоединительного выключателя возможно полное погашение распределительного устройства.</p> <p>б) При оперативных переключениях сборные шины имеют непосредственную электрическую связь на развилках из шинных разъединителей, и при возникновении отказов возможно полное погашение распределительного устройства.</p> <p>в) По статистике 20–30 % отказов на сборных шинах приводят к полному погашению распределительного устройства, при этом параметр потока отказов, приводящих к данному событию, составляет 0,001–0,004 1/год на одно присоединение. Таким образом, на крупных системных подстанциях, например 500 кВ, имеющих на стороне 110 или 220 кВ в среднем 10 присоединений, параметр</p>

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин с подключением трансформаторов через развилку из выключателей	Схема с двумя системами сборных шин
Критерии надежности	<p>фактора надежности для подстанций с высшим напряжением 110 и 220 кВ.</p> <p>в) С учетом фактора надежности схему с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин с подключением трансформаторов через развилку из выключателей целесообразно использовать для распределительных устройств 110 и 220 кВ подстанций с высшим напряжением 500 и 750 кВ, т.е. на стороне среднего напряжения крупных подстанций основной сети энергосистем. Тем самым обеспечивается подключение автотрансформаторов 500 и 750 кВ через два выключателя как со стороны высшего, так и среднего напряжения.</p>	<p>потока отказов, приводящих к полному погашению распределительного устройства, составит 0,04 1/год, или раз в 25 лет, т.е. надежность данной схемы недостаточно высокая.</p> <p>з) По сравнению со схемой с одной секционированной системой сборных шин на порядок увеличивает математическое ожидание недоотпуска электроэнергии потребителям при прочих равных условиях.</p> <p>д) Как следствие (пп. б-з), является вынужденным решением, требующим в проектах дополнительного обоснования с режимных позиций</p>
Эксплуатационные критерии	<p>а) Электромагнитные блокировки и операции с разъединителями не однотипны.</p> <p>б) Жесткая фиксация присоединений по секциям; попарно резервированные присоединения необходимо подключать к разным секциям</p>	<p>а) Электромагнитные блокировки и операции с разъединителями сложны.</p> <p>б) Управление разъединителями даже в пределах одной ячейки выключателя не однотипное и громоздкое: пофазное управление разъединителя с килевой установкой и трехфазное – для второго разъединителя.</p>

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин с подключением трансформаторов через развилку из выключателей	Схема с двумя системами сборных шин
Эксплуатационные критерии		<p>в) Следствием пп. <i>а</i> и <i>б</i> является значительное число инцидентов по вине персонала, а также отказов оборудования вследствие большого количества технологических операций при оперативных переключениях.</p> <p>з) Не требуется жесткой привязки присоединений по системам сборных шин – высокая эксплуатационная гибкость схемы. Гибкая фиксация присоединений по системам сборных шин</p>
Критерии безопасности	<p><i>а</i>) Электрооборудование, токоведущие части, изоляторы, крепления, ограждения, несущие конструкции, изоляционные и другие расстояния должны быть выбраны и установлены таким образом, чтобы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вызываемые нормальными условиями работы электроустановки усилия, нагрев, электрическая дуга или иные сопутствующие ее работе явления (искрение, выброс газов и т.п.) не могли причинить вред обслуживающему персоналу, а также привести к повреждению оборудования и возникновению КЗ;</li> <li>– при выводе в ремонт какого-либо присоединения, относящиеся к нему аппараты, токоведущие части и конструкции могли подвергаться безопасному техническому обслуживанию и ремонту без нарушения нормальной работы соседних цепей;</li> <li>– при нарушении нормальных условий работы электроустановки была обеспечена необходимая локализация повреждений, обусловленных действием КЗ.</li> </ul> <p><i>б</i>) Напряженность электрического и магнитного полей на маршрутах обхода для осмотра оборудования и на рабочих местах у оборудования, где возможно длительное присутствие персонала для проведения профилактических и ремонтных работ, не должна превышать допустимую.</p> <p><i>в</i>) Должны быть выполнены требования нормативно-технических документов по электромагнитной совместимости</p>	

**Таблица 15.** Унифицированные описания типовых схем (8-я группа)

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с двумя системами сборных шин и с обходной системой шин	Схема с двумя секционированными системами сборных шин и с обходной системой шин
Номер схемы	110-13Н; 220-13Н	110-14; 220-14
Область применения	Распределительные устройства 110 и 220 кВ	
Тип подстанции	Узловая	
Количество присоединений	Два (авто)трансформатора и три линии с возможностью увеличения числа присоединений (т.е. расширения подстанции) свыше шести; при расширении до шести присоединений используется схема шестиугольника. Вопросы расширения подстанции анализируются при выборе схем электрических сетей на перспективу 5–10 лет	Значительное количество присоединений: не менее двух-четырех (авто)трансформаторов и 12–14 отходящих линий
Этапность развития	Возможно развитие до схемы с двумя секционированными системами сборных шин и с обходной системой шин	
Основные условия применения	а) Более двух нерезервируемых присоединений на подстанции и, как следствие, необходимость их сохранения в работе при плановом отключении системы сборных шин, при этом обходная система шин включена в схему плавки гололеда на воздушных линиях	
	б) В нормальном режиме присоединения по возможности симметрично распределены между системами сборных шин, а шиносоединительный выключатель включен и выполняет секционирующие функции (режим фиксированных присоединений) или отключен по режимным соображениям, в том числе стационарному делению сети для ограничения уровней токов КЗ. При этом один из шинных	б) Недопустимость полного погашения распределительного устройства при отказах выключателей и сборных шин по условию сохранения устойчивости энергосистемы (без воздействия противоаварийной автоматики) при указанных расчетных возмущениях. в) В нормальном режиме присоединения по возможности симметрично распределены между сис-

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с двумя системами сборных шин и с обходной системой шин	Схема с двумя секционированными системами сборных шин и с обходной системой шин
Основные условия применения	разъединителей каждого присоединения включен, а другой отключен. Остальные выключатели и разъединители в схеме включены. В нормальном режиме обходной выключатель не задействован	темами сборных шин, а шиносоединительные выключатели включены и выполняют секционирующие функции (режим фиксированных присоединений) или отключены по режимным соображениям, в том числе стационарному делению сети для ограничения уровней токов КЗ. При этом один из шинных разъединителей каждого присоединения включен, а другой отключен. Остальные выключатели и разъединители в схеме включены. В нормальном режиме обходные выключатели не задействованы
Экономические критерии применения	а) Требуется $k + 2$ ячейки выключателей, где $k$ – количество присоединений	а) Требуется $k + 6$ ячеек выключателей, где $k$ – количество присоединений
	б) По сравнению со схемой с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин требует установки на каждом присоединении (линии или (авто)трансформаторе) второго шинного разъединителя, стоимость которого составляет 15–25 % стоимости выключателя	
	в) По сравнению со схемой с двумя системами сборных шин увеличивает отчуждаемые земельные участки за счет обходной системы шин на 20–30 % в зависимости от числа присоединений. г) Требуется значительных отчуждаемых площадей и затрат на коммутационное оборудование. За счет этого является одной из наиболее дорогих схем.	в) По сравнению со схемой с двумя системами сборных шин увеличивает отчуждаемые земельные участки за счет обходной системы шин на 20–30% в зависимости от числа присоединений. г) Требуется значительных отчуждаемых площадей и затрат на коммутационное оборудование. За счет этого является одной из наиболее дорогих схем. Например, при 12 присоединениях в схеме

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с двумя системами сборных шин и с обходной системой шин	Схема с двумя секционированными системами сборных шин и с обходной системой шин
Экономические критерии применения		с двумя секционированными системами сборных шин и с обходной системой шин необходимо 18 ячеек выключателей. Столько же ячеек требуется для более надежной и экономичной (за счет значительно меньшего количества разъединителей) схемы 3/2
Критерии надежности	<p>а) При отказе нормально включенного шиносоединительного выключателя возможно полное погашение распределительного устройства.</p> <p>б) При оперативных переключениях сборные шины имеют непосредственную электрическую связь на развилках из шинных разъединителей, и при возникновении отказов возможно полное погашение распределительного устройства.</p> <p>в) По статистике 20–30 % отказов на сборных шинах приводит к полному погашению распределительного устройства, при этом параметр потока отказов, приводящих к данному событию, составляет 0,001–0,004 1/год на одно присоединение. Таким образом, на крупных системных подстанциях, например 500 кВ, имеющих на стороне 110 или 220 кВ в среднем 10 присоединений, параметр потока отказов, приводящих к полному погашению распределительного устройства, составит 0,04</p>	<p>а) По сравнению со схемой с двумя системами сборных шин (с обходной системой шин либо без нее) за счет их секционирования исключена потенциальная возможность полного погашения распределительного устройства из-за отказов шиносоединительных выключателей и отказов на развилках из шинных разъединителей. Таким образом, секционирование сборных шин повышает надежность схемы.</p> <p>б) При оперативных переключениях сборные шины имеют непосредственную электрическую связь на развилках из шинных разъединителей, и при возникновении отказов возможно погашение одновременно двух секций обеих систем сборных шин.</p> <p>в) Надежность схемы остается недостаточно высокой. Причина заключается в том, что попарно резервируемые линии 110 и 220 кВ располагают-</p>

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с двумя системами сборных шин и с обходной системой шин	Схема с двумя секционированными системами сборных шин и с обходной системой шин
Критерии надежности	<p>1/год или раз в 25 лет, т.е. надежность данной схемы недостаточно высокая.</p> <p>з) По сравнению со схемой с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин на порядок увеличивает математическое ожидание недоотпуска электроэнергии потребителям при прочих равных условиях.</p> <p>д) Как следствие (пп. б-з) является вынужденным решением, требующим в проектах дополнительного обоснования с режимных позиций.</p>	<p>ся в смежных ячейках распределительного устройства, чтобы исключить их пересечение. Поэтому отказы шиносоединительных выключателей и отказы на развилках из шинных разъединителей могут привести к погашению половины присоединений и соответственно потребителей подстанции.</p> <p>з) По сравнению со схемой с двумя системами сборных шин и с обходной системой шин дополнительная установка двух секционных, шиносоединительного и обходного выключателей (всего четыре выключателя) для исключения погашения подстанции, как правило, нецелесообразна с технико-экономических позиций с учетом фактора надежности.</p> <p>д) Как следствие (пп. б-з), является вынужденным решением, требующим в проектах дополнительного обоснования с режимных позиций. В частности, область применения схемы следует ограничить распределительными устройствами 110 и 220 кВ подстанций с высшим напряжением 500 кВ. Тем самым обеспечивается подключение автотрансформаторов 500 кВ через два выключателя как со стороны высшего, так и среднего напряжения</p>

Параметр	Наименование схемы	
	Схема с двумя системами сборных шин и с обходной системой шин	Схема с двумя секционированными системами сборных шин и с обходной системой шин
Эксплуатационные критерии	<p>а) Электромагнитные блокировки и операции с разъединителями сложны.</p> <p>б) Управление разъединителями даже в пределах одной ячейки выключателя не однотипное и громоздкое: пофазное управление разъединителя с килевой установкой и трехфазное – для второго разъединителя.</p> <p>в) Большое количество разъединителей и их заземляющих ножей – четыре и пять соответственно на каждом присоединении.</p> <p>г) Значительное число инцидентов по вине персонала, а также отказов оборудования вследствие большого количества технологических операций при оперативных переключениях</p>	
Техническая гибкость	Гибкая фиксация присоединений по системам сборных шин	
Критерии безопасности	<p>а) Электрооборудование, токоведущие части, изоляторы, крепления, ограждения, несущие конструкции, изоляционные и другие расстояния должны быть выбраны и установлены таким образом, чтобы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вызываемые нормальными условиями работы электроустановки усилия, нагрев, электрическая дуга или иные сопутствующие ее работе явления (искрение, выброс газов и т.п.) не могли причинить вред обслуживающему персоналу, а также привести к повреждению оборудования и возникновению КЗ;</li> <li>– при выводе в ремонт какого-либо присоединения, относящиеся к нему аппараты, токоведущие части и конструкции могли подвергаться безопасному техническому обслуживанию и ремонту без нарушения нормальной работы соседних цепей;</li> <li>– при нарушении нормальных условий работы электроустановки была обеспечена необходимая локализация повреждений, обусловленных действием КЗ.</li> </ul> <p>б) Напряженность электрического и магнитного полей на маршрутах обхода для осмотра оборудования и на рабочих местах у оборудования, где возможно длительное присутствие персонала для проведения профилактических и ремонтных работ, не должна превышать допустимую.</p> <p>в) Должны быть выполнены требования нормативно-технических документов по электромагнитной совместимости</p>	

**Таблица 16.** Унифицированные описания типовых схем (9-я группа)

Параметр	Наименование схемы	
	Трансформаторы-шины	Трансформаторы-шины с полуторным присоединением линий
Номер схемы	330-15; 500-15; 750-15	220-16; 330-16; 500-16; 750-16
Область применения	Распределительные устройства 330–750 кВ	Распределительные устройства 220–750 кВ
Тип подстанции	Узловая	
Количество присоединений	Два автотрансформатора и три-четыре линии	Два (авто)трансформатора и пять-шесть линий
Основные условия применения	<p>а) Узловая подстанция с количеством присоединений до шести.</p> <p>б) По условиям устойчивости энергосистемы недопустима одновременная потеря двух или более линий</p>	<p>а) Узловая подстанция с количеством присоединений до восьми.</p> <p>б) По условиям устойчивости энергосистемы допустима потеря одновременно двух линий при отказе любого выключателя в схеме</p>
Экономические критерии применения	<p>а) Требуется восемь ячеек выключателей на шесть присоединений.</p> <p>б) Наиболее экономичная схема с учетом количества присоединений и фактора надежности</p>	<p>а) Требуется девять ячеек выключателей на восемь присоединений.</p> <p>б) Достаточно экономичная схема с учетом количества присоединений</p>
Критерии надежности	<p>а) При отказе выключателя теряется не более одной линии и одного автотрансформатора, что допустимо с позиций устойчивости. Поэтому схему предпочтительно использовать в основных сетях 500 и 750 кВ с позиций сохранения устойчивости в энергосистеме при расчетных возмущениях (в т.ч. при единичном отказе любого элемента схемы), которые не должны сопровождаться работой противоаварийной автоматики. Таким образом, схема достаточно надежная.</p>	<p>а) При отказе выключателя со стороны сборных шин теряется не более одной линии и одного (авто)трансформатора, что допустимо с позиций устойчивости.</p> <p>б) При отказах выключателей «среднего» ряда одновременно отключаются две линии. Поэтому для основных сетей энергосистем 500 и 750 кВ необходима проверка сохранения устойчивости в энергосистеме при данных расчетных возмущениях, которые не должны сопровождаться рабо-</p>

Параметр	Наименование схемы	
	Трансформаторы-шины	Трансформаторы-шины с полуторным присоединением линий
Критерии надежности	б) Является лучшей схемой с технико-экономических позиций с учетом фактора надежности для распределительных устройств 500 и 750 кВ большинства подстанций (так, 74 % подстанций 500 кВ имеют не более двух автотрансформаторов, а 93 % – не более четырех линий, при этом около 50 % подстанций выполнены по схеме четырехугольника (треугольника) – начальный этап развития схемы трансформаторы-шины)	той противоаварийной автоматики (на подстанциях 500 и 750 кВ имеется, как правило, не более шести линий).
Эксплуатационные критерии	а) Сравнительно простая и наглядная. б) Электромагнитные блокировки и операции с разъединителями просты и однотипны. в) Минимизированы отказы по вине персонала	
Техническая гибкость	Каждая линия подключается через развилку выключателей, что является дополнительным преимуществом схемы в ремонтных и послеаварийных режимах	
Критерии безопасности	а) Электрооборудование, токоведущие части, изоляторы, крепления, ограждения, несущие конструкции, изоляционные и другие расстояния должны быть выбраны и установлены таким образом, чтобы: <ul style="list-style-type: none"> <li>– вызываемые нормальными условиями работы электроустановки усилия, нагрев, электрическая дуга или иные сопутствующие ее работе явления (искрение, выброс газов и т.п.) не могли причинить вред обслуживающему персоналу, а также привести к повреждению оборудования и возникновению КЗ;</li> <li>– при выводе в ремонт какого-либо присоединения, относящиеся к нему аппараты, токоведущие части и конструкции могли подвергаться безопасному техническому обслуживанию и ремонту без нарушения нормальной работы соседних цепей;</li> <li>– при нарушении нормальных условий работы электроустановки была обеспечена необходимая локализация повреждений, обусловленных действием КЗ.</li> </ul>	

Параметр	Наименование схемы	
	Трансформаторы-шины	Трансформаторы-шины с полуторным присоединением линий
Критерии безопасности	<p>б) Напряженность электрического и магнитного полей на маршрутах обхода для осмотра оборудования и на рабочих местах у оборудования, где возможно длительное присутствие персонала для проведения профилактических и ремонтных работ, не должна превышать допустимую.</p> <p>Должны быть выполнены требования нормативно-технических документов по электромагнитной совместимости</p>	

Таблица 17. Описание полуторной схемы

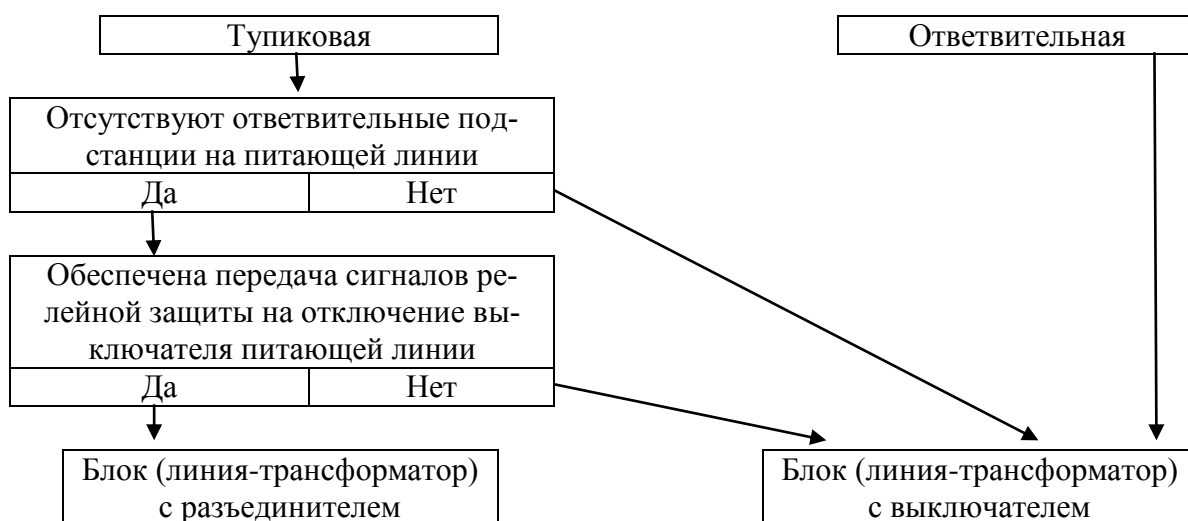
Параметр	Полуторная схема
Номер схемы	220-17; 330-17; 500-17; 750-17
Область применения	Распределительные устройства 220–750 кВ
Тип подстанции	Узловая
Количество присоединений	Шесть и более
Основные условия применения	<p>а) Узловая подстанция с количеством присоединений шесть и более.</p> <p>б) Нецелесообразно использовать иные схемы (трансформаторы-шины, трансформаторы-шины с полуторным присоединением линий); например, данная схема имела наибольшую эффективность на подстанции 750 кВ с тремя автотрансформаторами и тремя линиями, на которой с позиций устойчивости недопустимо одновременно терять два автотрансформатора или две линии при отказе выключателя</p>
Экономические критерии применения	Необходимо три выключателя на каждые два присоединения, поэтому схема достаточно затратная и должна требовать обоснования
Критерии надежности	а) При отказе выключателя со стороны сборных шин теряется не более одной линии или одного (авто)трансформатора, что допустимо с позиций устойчивости.

Параметр	Полуторная схема
Критерии надежности	<p>б) При отказах выключателей «среднего» ряда одновременно отключаются два присоединения, поэтому для основных сетей энергосистем 500 и 750 кВ необходима проверка сохранения устойчивости в энергосистеме при данных расчетных возмущениях, которые не должны сопровождаться работой противоаварийной автоматики.</p> <p>в) Секционирование сборных шин в схеме 3/2 осуществляется в целях недопущения снижения максимально допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях и обеспечения надежности функционирования подстанции при возникновении аварийных возмущений. Необходимость секционирования определяется на основании результатов расчетов электрических режимов с учетом технико-экономических показателей соответствующей схемы РУ</p>
Эксплуатационные критерии	<p>а) Сравнительно простая и наглядная.</p> <p>б) Электромагнитные блокировки и операции с разъединителями просты и однотипны.</p> <p>в) Минимизированы отказы по вине персонала</p>
Техническая гибкость	Каждое присоединение подключается через развилку выключателей, что является дополнительным преимуществом схемы в ремонтных и послеаварийных режимах
Критерии безопасности	<p>а) Электрооборудование, токоведущие части, изоляторы, крепления, ограждения, несущие конструкции, изоляционные и другие расстояния должны быть выбраны и установлены таким образом, чтобы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вызываемые нормальными условиями работы электроустановки усилия, нагрев, электрическая дуга или иные сопутствующие ее работе явления (искрение, выброс газов и т.п.) не могли причинить вред обслуживающему персоналу, а также привести к повреждению оборудования и возникновению КЗ;</li> <li>– при выводе в ремонт какого-либо присоединения, относящиеся к нему аппараты, токоведущие части и конструкции могли подвергаться безопасному техническому обслуживанию и ремонту без нарушения нормальной работы соседних цепей;</li> <li>– при нарушении нормальных условий работы электроустановки была обеспечена необходимая локализация повреждений, обусловленных действием КЗ.</li> </ul> <p>б) Напряженность электрического и магнитного полей на маршрутах обхода для осмотра оборудования и на рабочих местах у оборудования, где возможно длительное присутствие персонала для проведения профилактических и ремонтных работ, не должна превышать допустимую.</p> <p>в) Должны быть выполнены требования нормативно-технических документов по электромагнитной совместимости</p>

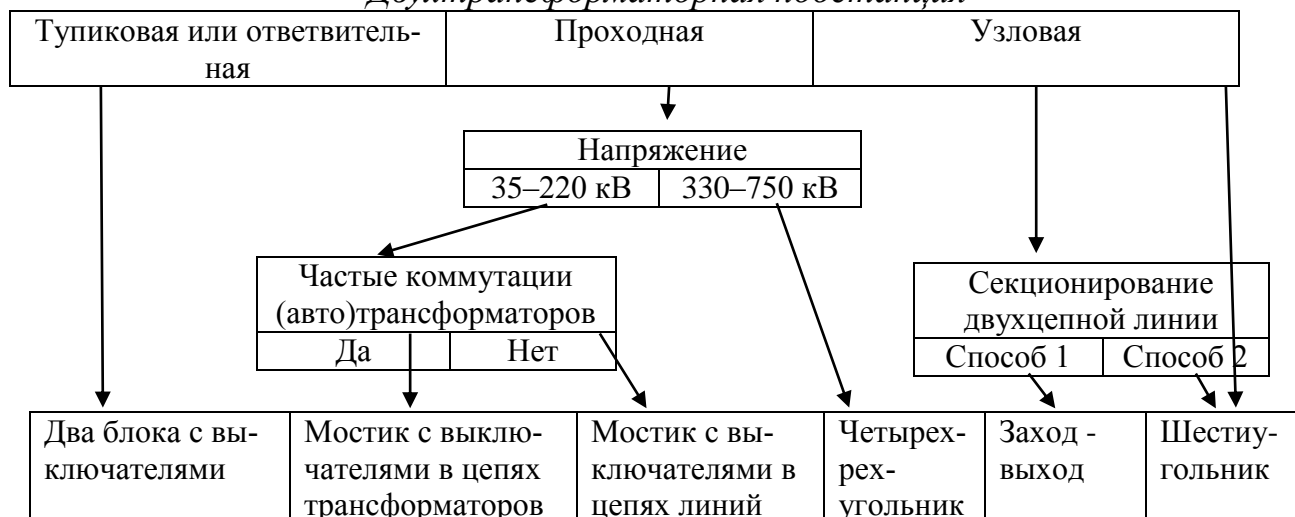
Для каждой схемы фиксируется только для нее характерные условия применения:

- на рис. 8 показан алгоритм выбора схемы, в которой число выключателей меньше или равно количеству присоединений в схеме (общее количество присоединений не превышает шести);
- на рис. 9 – алгоритм выбора схемы 35–220 кВ с одной-двумя системами сборных шин с количеством присоединений более шести;
- на рис. 10 приведен алгоритм выбора схемы с коммутацией присоединений двумя и более выключателями.

### Однотрансформаторная подстанция



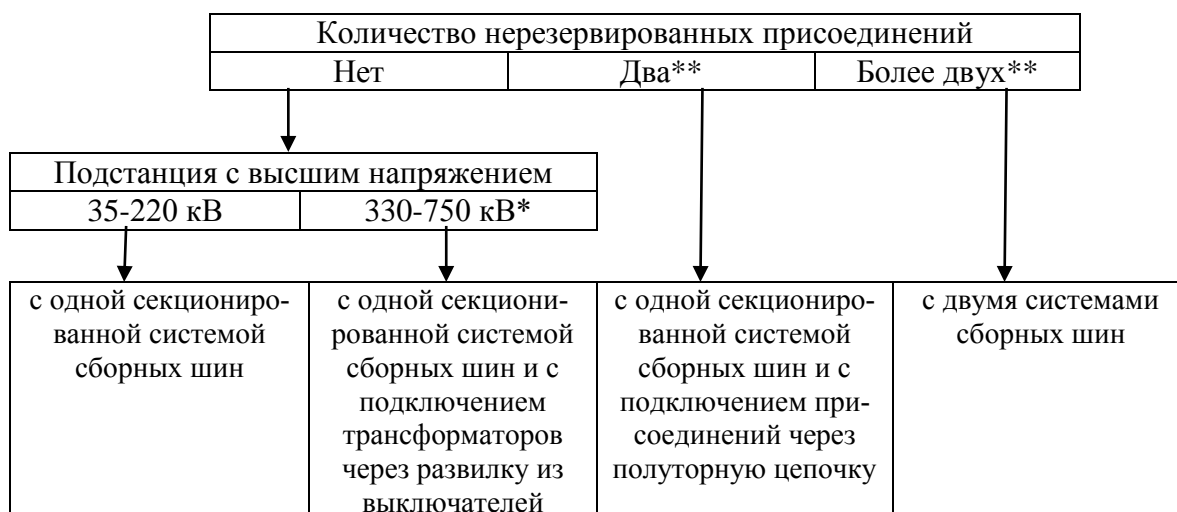
### Двухтрансформаторная подстанция



Примечание. Способы секционирования двухцепной линии могут быть двух типов. Первый тип – использование схемы заход-выход, второй способ – схемы шестиугольника. В последнем случае параллельные линии имеют непосредственную электрическую связь, что обеспечивает более равномерное естественное потокораспределение активной мощности. Это благоприятно сказывается на потерях мощности и энергии в электрических сетях.

**Рис. 8.** Алгоритм выбора схемы с числом выключателей не более шести

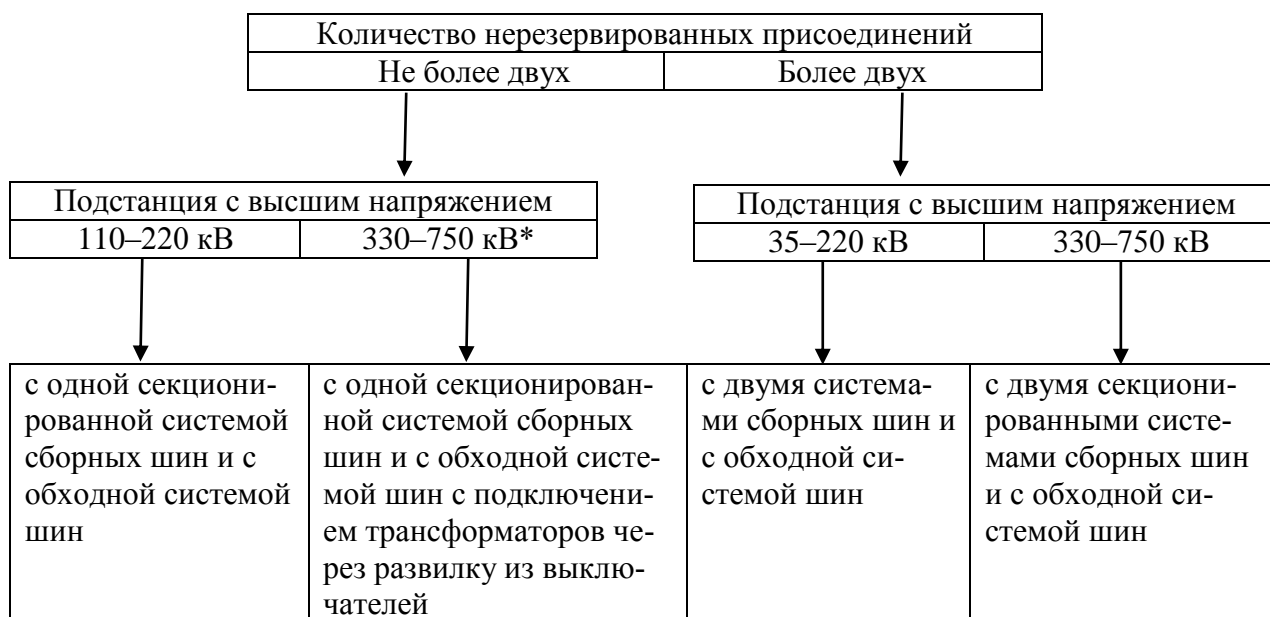
*Системы плавки гололеда на воздушных линиях отсутствуют*



\* РУ 35–220 кВ подстанции с высшим напряжением 330–750 кВ (т.е. сторона среднего напряжения).

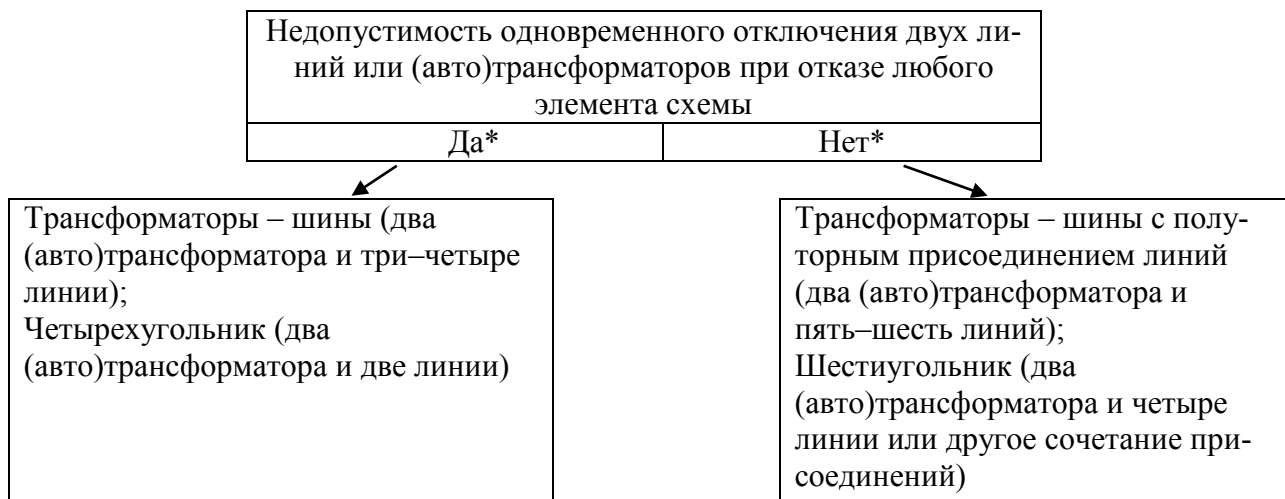
\*\* Для РУ 110–220 кВ.

*Обходные системы шин включены в схему плавки гололеда*



\* РУ 35–220 кВ подстанции с высшим напряжением 330–750 кВ (т.е. сторона среднего напряжения)

**Рис. 9.** Алгоритм выбора схемы с числом выключателей более шести



\* При шести и более присоединениях и невозможности или нецелесообразности использования по тем или иным причинам схем трансформаторы – шины, трансформаторы – шины с полуторным присоединением линий или шестиугольник необходимо перейти к рассмотрению наиболее затратной (требующей при прочих равных условиях наибольшего количества ячеек выключателей) полуторной схемы.

**Рис. 10.** Алгоритм выбора схемы с коммутацией присоединений двумя и более выключателями.

## 11. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

При проектировании ВЛ следует выполнять требования нормативных документов, регламентирующих уровень воздействия ВЛ на окружающую среду, жизнедеятельность и здоровье населения, применяя соответствующее конструктивные и проектные решения, а при необходимости, специальные мероприятия, обеспечивающие снижение воздействий ВЛ до безопасных значений, требуемых действующими нормами.

При отсутствии по отдельным видам воздействий нормативных документов следует использовать имеющиеся данные соответствующих научно-исследовательских организаций и опыт эксплуатации аналогичных объектов (в том числе за рубежом).

Предельно допустимые уровни напряженности электрического поля определяются СанПиН 2971– 84.

В районах Крайнего Севера в проектах следует предусматривать мероприятия по защите ягельников и мохорастительного слоя при прохождении по ним ВЛ.

Ширина просек в насаждениях определяется требованиями ПУЭ.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение ВЛ?
2. Что обеспечивается при проектировании ВЛ?
3. Что рекомендуется применять при проектировании ВЛ?
4. Какие наименьшие расстояния от проводов ВЛ до поверхности земли?
5. Какие расстояния по горизонтали от крайних проводов ВЛ?
6. Что необходимо учитывать при выборе трассы?
7. Что подлежит обходу при выборе трассы?
8. Что принимается за начало и конец ВЛ (ВЛЗ)?
9. Дайте определение анкерному пролету.
10. Дайте определение магистрали ВЛ.
11. По каким критериям должны выбираться сечения проводов?
12. Назовите минимально допустимые сечения проводов по условиям механической прочности выше 1 кВ.
13. Назовите минимально допустимые сечения изолированных проводов ВЛ ниже 1 кВ.
14. Назовите минимально допустимые сечения неизолированных и изолированных проводов ВЛ ниже 1 кВ.
15. Назовите минимальный диаметр проводов ВЛ по условиям короны и радиопомех.
16. Какое максимальное расстояние анкерного пролета на ВЛ 35 кВ и выше?
17. Какое максимальное расстояние анкерного пролета на ВЛ 20 кВ и ниже?
18. Какой материал используется для изоляторов на ВЛ?
19. Какой материал изоляторов рекомендуется при прохождении ВЛ в условиях Крайнего Севера?
20. Когда допускается отказ от грозозащитного троса?
21. Как крепятся самонесущие изолированные провода ниже 1 кВ к опорам?
22. Дайте определение подвесного изолятора?
24. К какому типу относятся опоры, на которых выполняется пересечение ВЛ разных направлений или пересечение ВЛ с инженерными сооружениями?
25. Каким критериям должны удовлетворять схемы РУ?
26. Назовите типы подстанций?
27. Назовите номера схем для блока линия–трансформатор.
28. Какую схему РУ выбрать для ответвительной, однотрансформаторной ПС с 3 выключателями?

30. Какую схему РУ выбрать для ПС с 4 резервируемыми присоединениями? с 13 выключателями?

31. Какие показатели используются для технико-экономических расчетов?

32. Что входит в стоимость ячейки выключателя?

33. Что входит в стоимость ячейки трансформатора?

34. Какой территориальный повышающий коэффициент к базисной стоимости подстанций и линий электропередачи для Архангельской области?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. 320 с.
2. ГОСТ Р 56303–2014. Оперативное диспетчерское управление нормальные схемы электрических соединений объектов электроэнергетики. Общие требования к графическому исполнению. М., 2015.
3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 592 с.
4. СТО 56947007-29.240.55.016–2008. Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35–750 кВ. Введ. 24.10.2008. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2008.
5. СТО 56947007–29.240.124-2012. Сборник «Укрупнённые стоимостные показатели линий электропередачи и подстанций напряжением 35–1150 кВ» 324 тм.- т1 для электросетевых объектов ОАО «ФСК ЕЭС». Введ. 09.07.2012. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2012.
6. СТО 56947007–29.240.10.028-2009. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ (НТП ПС). Введ. 13.04.2009. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2009.
7. СТО 56947007-29.240.30.047-2010. Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35–750 кВ. Введ. 12.07.2011. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2011.
8. Правила устройства электроустановок: утв. Министерством энергетики Российской Федерации 08.06.2002.