



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

А.В. Варганова
Е.А. Панова

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ:
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СОЗДАНИЕ СХЕМ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ
НАПРЯЖЕНИЕМ 6-220 кВ ПОНИЗИТЕЛЬНЫХ
ПОДСТАНЦИЙ**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Издание 2-е

Магнитогорск
2021

УДК 621.311 + 004.896(075.8)

Рецензенты:

Начальник участка наладки систем электроснабжения ЦЭТЛ
ПАО «ММК»
А.Я. Альбрехт

Проректор по учебной работе ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»
доктор технических наук, профессор
А.А. Радионов

Варганова А.В.

Системы автоматизированного проектирования в электроэнергетике: автоматизированное создание схем распределительных устройств напряжением 6-220 кВ понизительных подстанций [Электронный ресурс] : учебное пособие / Александра Владимировна Варганова, Евгения Александровна Панова ; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Изд. 2-е, подгот. по печ. изд. 2019 г. – Электрон. текстовые дан. (1,61 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2021. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9967-2133-7

Учебное пособие составлено в соответствии с рабочей программой дисциплины «Системы автоматизированного проектирования в электроэнергетике». Предназначено для изучения теоретического материала, а также выполнения практических заданий по указанной дисциплине. В пособии приведены основные требования к схемам распределительных устройств, представлены алгоритмы автоматизированного выбора схемы, приведено описание программного комплекса САПР, рассмотрены примеры его применения. Особое внимание уделено технико-экономическому обоснованию выбранных вариантов.

Пособие предназначено для обучающихся по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых – кандидатов наук МК-939.2019.8.

УДК 621.311 + 004.896(075.8)

ISBN 978-5-9967-2133-7

© Варганова А.В., Панова Е.А., 2019
© ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Общие сведения о САПР	6
1.1. Классификация САПР	7
1.2. Структура системы автоматизированного проектирования [2]	9
1.3. Математическая модель процесса проектирования [2]	10
2. Формирование схем распределительных устройств 35 кВ и выше	13
2.1. Требования к схемам распределительных устройств	13
2.2. Алгоритм выбора вариантов схемы распределительного устройства напряжением 35 кВ [4]	21
2.3. Алгоритм выбора вариантов схемы распределительного устройства напряжением 110 и 220 кВ [4]	23
2.4. Работа с САПР проектирование схем распределительных устройств	27
2.4.1. Назначение программного обеспечения. Описание основных характеристик и особенностей программного обеспечения	27
2.4.2. Языки программирования, на которых написано программное обеспечение	27
2.4.3. Инструкция по установке программного обеспечения	27
2.5. Пример выбора схемы распределительного устройства 35 кВ и выше	29
3. Формирование схем распределительных устройств 6-10 кВ	32
3.1. Формирование отдельных присоединений схем распределительных устройств в САПР	32
3.2. Алгоритм формирования однолинейной схемы распределительного устройства 6-10 кВ	40
3.3. Автоматизированное создание однолинейных схем в разработанной САПР	41
3.3.1. Примеры создания однолинейной схемы РУ 6-10 кВ с помощью отрисованных визуальных элементов	42
4. Методика оценки эффективности сравнения вариантов проектируемых объектов электроэнергетики	46
4.1. Первоначальные капитальные вложения	46
4.2. Ежегодные эксплуатационные издержки производства	47
4.3. Оценка народнохозяйственного ущерба от нарушения электроснабжения	47
4.3.1. Аналитический метод расчета надежности электроснабжения	49
4.3.2. Логико-вероятностный метод расчета надежности электроснабжения	52
4.3.3. Структурно – аналитический метод расчета надежности	

электрообеспечения	53
4.4. Методика технико-экономического сравнения вариантов проектируемых или реконструируемых электрических сетей	56
4.4.1. Определение капитальных вложений	56
4.4.3. Определение экономического ущерба от нарушения электрообеспечения	61
4.4.4. Методика технико-экономического сравнения вариантов схем ..	61
4.5. Работа с САПР	63
4.6. Пример расчета	63
Заключение	65
Библиографический список	66
Приложение П1	67

ВВЕДЕНИЕ

САПР широко внедряются в различных отраслях промышленности, в том числе и в электроэнергетике. Их применение позволяет избавить проектировщика от выполнения рутинной работы, сократить возможные ошибки при выполнении проекта и облегчить работу с нормативными документами и каталогами.

Выбор схемы распределительного устройства напрямую влияет на надежность проектируемой подстанции. Для осуществления правильного выбора проектировщику требуется ориентироваться в большом объеме нормативных документов, а также уметь выполнять экономическое сравнение технически реализуемых вариантов. В учебном пособии описана САПР «ОРУ САД», разработанная на кафедре электроснабжения промышленных предприятий МГТУ им. Г.И. Носова. Данная система позволяет не только выбрать схему распределительного устройства напряжением 6-220 кВ, но и выполнить экономическую оценку выбранного варианта с учетом фактора надежности. Проектировщику предлагаются возможные варианты схем распределительных устройств и их технико-экономические показатели. На основе этих данных проектировщик принимает решение в пользу одного из вариантов. Для выбранного варианта автоматически создается однолинейная схема в программном пакете КОМПАС.

В пособии описаны алгоритмы работы САПР, а также приведены примеры их выполнения. В основу данных алгоритмов положены действующие нормы проектирования и ГОСТ ЕСКД, которые также описаны в пособии.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О САПР

Понятие «автоматизированное проектирование» означает процесс проектирования, при котором часть операций выполняется автоматически, без участия человека, часть – автоматизировано, с малой долей участия человека, а оставшиеся операции выполняются только человеком. Автоматизированное проектирование предназначено для избавления человека от рутинной работы со справочниками и упрощения большинства инженерных расчетов, предоставив проектировщику лишь ввод минимума информации и выбор основных технических решений. При этом пользователь должен иметь возможность вмешиваться в автоматический процесс расчетов, так как могут возникнуть ситуации, которые невозможно предусмотреть заранее. Помимо удобств пользователя важно, чтобы процесс улучшал эффективность работы проектировщика. С одной стороны, процесс проектирования следует ускорить для сокращения времени выполнения проектов, с другой - выполняемые проекты должны быть качественными. Таким образом, основной целью применения технологии автоматизированного проектирования электрической сети является сокращение сроков выполнения проекта и, как следствие, создание условий более детального и качественного поиска инженерных решений [1].

САПР – это автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования. Представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности [2].

Традиционные методы неавтоматизированного проектирования не позволяют рассмотреть все многообразие возможных вариантов проектных решений, ограничиваясь кругом привычных «типовых» вариантов. В результате принимаемое проектное решение в большинстве случаев не совпадает с оптимальным. Поскольку масштабы, и стоимость современных крупных технических объектов весьма велики, то даже сравнительно небольшое отклонение принимаемого решения от оптимального может причинить значительные убытки народному хозяйству.

В развитии автоматизированного проектирования можно отметить три стадии с разными уровнями использования ЭВМ. На первой начальной стадии ЭВМ используется для машинного решения отдельных наиболее трудоемких расчетных задач, т.е. как быстродействующий арифмометр или «технологическая счетная линейка». Например, в области проектирования электростанций разработаны типовые программы для расчета токов к. з., для расчета самозапуска электродвигателей с. н. и т.д.

На второй стадии имеет место автоматизация проектирования отдельных узлов проекта (подсистем низшего уровня проектируемого объекта). Для

создания САПР отдельных подсистем требуется составить математическое описание (алгоритм) ряда последовательных операций, необходимых для проектирования данной подсистемы; предусмотреть оптимизацию решения с использованием методов прикладной математики; создать необходимый машинный банк исходной информации. На этой стадии ЭВМ используют на значительно более высоком уровне – для организации оптимального проектирования локальных подсистем объекта.

Наконец, третья стадия развития характеризуется комплексной автоматизацией проектирования всего объекта (или одной из его автономных подсистем высшего уровня), т.е. системным подходом к процессу проектирования. Отличительные черты САПР на высшем уровне ее развития составляют, во-первых, осуществление полного комплекса компонентов процесса проектирования – от ввода исходной информации (технического задания) до выпуска всей выходной документации и, во-вторых, использование ЭВМ в режиме диалога с проектировщиком. Таким образом, САПР на полной стадии развития (САПР высшего уровня или большая САПР) представляет собой человеко-машинную систему, где доля участия проектировщика и ЭВМ в процессе проектирования устанавливается в соответствии с их особенностями и возможностями.

Процесс проектирования сложного объекта состоит из ряда крупных последовательных процедур – (циклов операций), каждая из которых должна заканчиваться определенным проектным решением [2].

1.1. Классификация САПР

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков: по области использования, по целевому назначению, по масштабам и комплексности решаемых задач, по характеру базовой подсистемы (ядра САПР).

По области применения наиболее широко используемыми являются:

1. САПР для машиностроения (MCAD – Mechanical CAD).
2. САПР для радиоэлектроники (ECAD – Electronic CAD, EDA – Electronic Design Automation).
3. САПР в области архитектуры и строительства (ArCAD – Architecture CAD).

В указанных 3-х основных группах известны также специализированные САПР: САПР летательных аппаратов, САПР кораблестроения, САПР электрических машин, САПР больших интегральных схем (БИС). Иногда специализированные САПР выделяют в самостоятельные классы, например, САПР БИС.

По целевому назначению различают САПР или их подсистемы, реализующие различные аспекты проектирования. К примеру, в составе машиностроительных САПР (MCAD) выделяют:

1. САПР функционального проектирования (САПР-Ф, CAE – Computer Aided Engineering).
2. Конструкторские САПР (САПР-К, CAD – Computer Aided Design).
3. Технологические САПР, автоматизированные системы технологической подготовки производства (САПР-Т, АСТПП, САМ – Computer Aided Manufacturing).

По масштабам различают:

1. Отдельные программно-методические комплексы (ПМК) САПР.

К отдельным ПМК относятся, например, комплекс анализа прочности изделий методом конечных элементов, комплекс динамического анализа механических конструкций, комплекс анализа электронных схем и др.

2. Системы ПМК.
3. Системы с уникальной архитектурой программного и технического обеспечения.

По характеру базовой подсистемы различают следующие разновидности САПР:

1. САПР на основе СУБД.

Такие САПР ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных используемых алгоритмах и математических расчётах перерабатываются большие объёмы данных. Преимущественно встречаются в технико-экономических приложениях, например, при проектировании бизнес-планов. Используются также при проектировании объектов с не очень сложной структурой и большим количеством элементов, например, щитов управления систем автоматики.

1. САПР на базе подсистем машинной графики и геометрического моделирования.

Эти САПР ориентированы на приложения, в которых основными проектными процедурами является решение конструкторских задач, т.е. определение пространственной формы и взаимного расположения объектов. К этой группе САПР относится большинство конструкторских САПР для машиностроения, а точнее их графические ядра. В настоящее время существуют графические ядра, которые применяются в нескольких САПР: ядро Parasolid фирмы EDS Unigraphics и ядро ACIS фирмы Intergraph.

2. САПР на основе конкретных прикладных пакетов.

Эти САПР чаще всего представляют собой автономно используемые программно-методические комплексы, например: имитационного моделирования технических и производственных систем, расчёта прочности объектов методом конечных элементов, синтеза и анализа систем автоматического управления. Такие САПР чаще всего относятся к системам CAE. Их характерными примерами являются программы на базе математических пакетов типа Matlab, Mathcad и их расширений.

3. Комплексные (интегрированные) САПР.

Состоят из совокупности подсистем предыдущих видов. Характерными примерами являются CAE/CAD/CAM-системы в машиностроении и САПР БИС в электронике. Пример – системы Pro/Engineer, EUCOLID, T-FlexCAD. Для управления такими сложными системами применяют специализированные системные среды.

1.2. Структура системы автоматизированного проектирования [2]

При создании САПР решаются следующие задачи: составление схемы процесса проектирования, организация исходной информации, математическое описание процесса проектирования (функциональная задача) с алгоритмом поиска оптимального решения, оснащение системы техническими средствами для осуществления самого процесса автоматизированного проектирования, организация диалога «человек – машина», оформление результатов проектирования (рис. 1.1). Эти задачи решаются совместно специалистами-технологами, хорошо знающими специфику проектируемого объекта, и специалистами по САПР. Реализация этих задач осуществляется полным комплексом средств, состоящим из совокупности информационного, математического (функционального), программного, лингвистического и технического обеспечения.

Организация исходной информации внутри САПР лежит на средствах информационного обеспечения. Информационная база есть совокупность определенным образом организованных, проблемно-ориентированных исходных данных, необходимых для автоматизированного проектирования объекта. Различают переменную и постоянную исходную информацию. Переменная информация – это массив данных о конкретном проектируемом объекте (техническое задание на проект). Если проектируется подсистема объекта, то в задание входят выходные данные смежных подсистем, необходимые для проектирования данной подсистемы. Постоянная часть информации включает в себя массивы справочно-нормативных данных: каталоги, прейскуранты, стандарты.

Информационная база есть не только хранилище данных, в ней осуществляются формирование и подача по запросу информации, необходимой для выполнения отдельных проектных операций. Поэтому информационную базу больших САПР выполняют в виде банка данных, состоящего из базы и системы управления этой базой.

База данных – это специальным образом организованная совокупность данных, хранящаяся в памяти прямого доступа, а система управления – комплекс программ, обеспечивающих функции управления массивом данных.



Рис. 1. Структурная схема САПР

В математическое (функциональное) обеспечение САПР входит математическая модель процесса проектирования объекта, включая все необходимые алгоритмы проектирования.

Математическое обеспечение соответствующего уровня процесса проектирования реализуется в ЭВМ через пакет прикладных программ. Он состоит из набора проектирующих программ, реализующих решение проектных процедур, и управляющей программы, осуществляющей управление общим ходом работы проектирующих программ.

1.3. Математическая модель процесса проектирования [2]

Процесс проектирования состоит из последовательных проектных процедур, заканчивающихся конечным проектным решением. Последнее

фиксирует конечное описание объекта проектирования с заданной степенью его детализации. Проектная процедура в свою очередь складывается из суммы проектных операций и заканчивается актом принятия промежуточного локального проектного решения. Это решение описывает один из фрагментов проектируемого объекта, который состоит из совокупности элементов, характеризующихся определенной структурой связей и внутренними параметрами. Таким образом, процесс проектирования, как и сам объект проектирования, имеет иерархическую структуру.

В соответствии со сказанным различают три вида состояния процесса проектирования сложного объекта: начальное состояние, когда еще не определен ни один фрагмент объекта; промежуточные состояния после выполнения очередной проектной процедуры, когда сформировалась только часть объекта; конечное состояние после завершения всего процесса проектирования, когда определились полностью структура и внутренние параметры объекта.

Многовариантному проектированию соответствует некоторая совокупность (пространство) состояний, в которой надо найти путь к оптимальному проектному решению.

Математическая модель процесса проектирования (ММП) должна отражать рассмотренную выше специфику этого процесса: многовариантность проектных решений, иерархическую структуру процесса и его комплексный характер (совокупное рассмотрение всех процедур проектирования с учетом их взаимосвязей и подчиненности). Из-за сложности процесса проектирования и большого количества внутренних взаимосвязей между проектными процедурами построение полностью адекватной математической модели практически невозможно. Поэтому надо добиваться известного компромисса между сложностью модели и требуемой точностью результата проектирования.

Математическая модель процесса проектирования включает в себя граф конструирования (табл. 1.1) и алгоритмы проектирования.

Граф конструирования представляют в виде правильного дерева, т.е. графа без контуров, в каждую вершину которого входит не более одной дуги, а листья куста (поддерева) расположены на одинаковом расстоянии от линии его корня. Линии листьев кустов образуют ярусы графа. Корень дерева соответствует начальному состоянию процесса проектирования, вершины дерева – промежуточным состояниям, листья дерева – конечному состоянию, а ярусы – проектным процедурам. Следовательно, листья дерева определяют множество вариантов проектируемого объекта.

Для получения одного варианта конечного проектного решения надо пройти определенный путь от корня в соответствующий лист дерева. На этом пути вершинам соответствуют фрагменты объекта, а дугам – переходы от одного фрагмента к другому, связанные с выполнением очередной проектной процедуры и, следовательно, с определением

соответствующего фрагмента структуры и совокупности внутренних параметров. Кроме того, на каждом ярусе определяют внешние параметры.

Таблица 1.1

Граф конструирования

Ярусы	Граф конструирования	Внутренние параметры	Внешние параметры
Начальное состояние <i>I</i>		$x_1 - x_p$	Z_1, I Z_2, I Z_3, I
Промежуточное			
Состояние <i>II</i>		$x_{p+1} - x_r$	Z_1, II Z_2, II Z_3, II
Промежуточное			
Состояние <i>III</i>		$x_{r+1} - x_s$	Z_1, III Z_2, III Z_3, III
Промежуточное			
Состояние <i>IV</i>		$x_{s+1} - x_t$	Z_1, IV Z_2, IV Z_3, IV
Конечное состояние			

2. ФОРМИРОВАНИЕ СХЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 35 кВ И ВЫШЕ

2.1. Требования к схемам распределительных устройств

Требования к схемам распределительных устройств, а также рекомендации по их применению устанавливаются стандартом ФСК [3].

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. Уровень надежности может быть регламентирован или экономически обоснован. Для схем РУ в распределительных сетях одно из первостепенных значений приобретает обеспечение электроснабжения потребителей в соответствии с их категоричностью, регламентированной нормативными документами.

Экономичность подразумевает принятие решений с учетом необходимых капитальных вложений и сопутствующих ежегодных издержек производства и сбыта продукции. Принимаемый уровень надежности обосновывается сопоставлением затрат на его повышение с экономическими последствиями из-за ненадежности (например, с ущербом или штрафными санкциями) при расчетных отказах элементов схем.

Удобство эксплуатации заключается в наглядности и простоте схемы, снижающих вероятность ошибочных действий персонала, возможности минимизации количества переключений при изменении режима применительно как к первичным, так и вторичным цепям, в обеспечении соответствия режимов работы электроустановки и энергосистемы.

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.

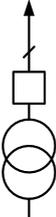
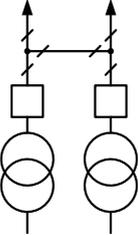
Унифицированность заключается в применении ограниченного числа типовых схем. Использование типовых решений позволяет снижать материальные и финансовые затраты на проектирование, монтаж, пусконаладку и эксплуатацию электроустановки.

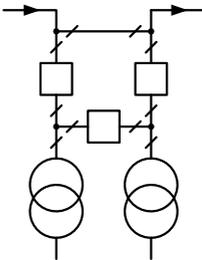
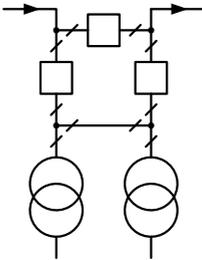
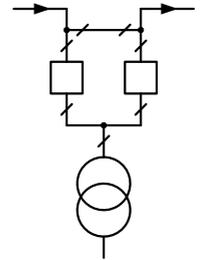
Схемы РУ разрабатываются на основании исходных данных, получаемых в схемах развития энергосистем.

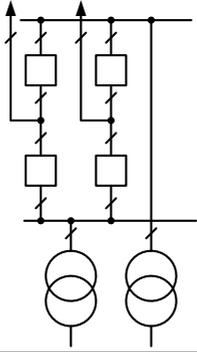
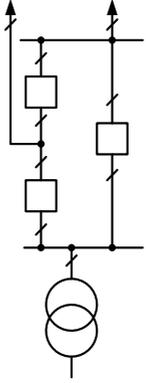
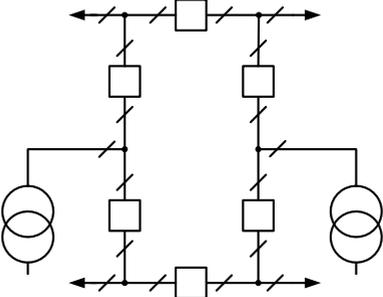
В табл. 2.1 приведены типовые схемы распределительных устройств и их номера.

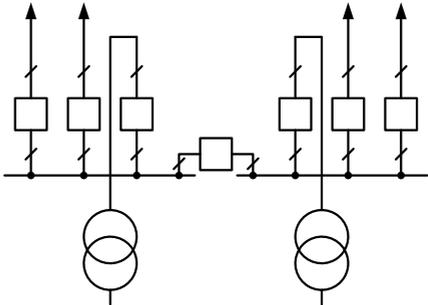
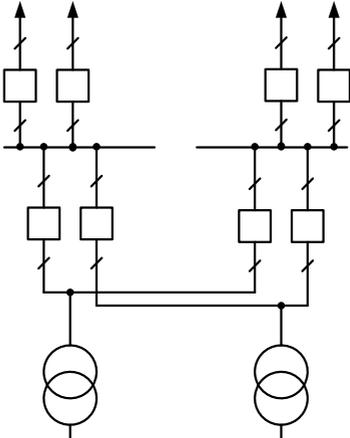
Таблица 2.1

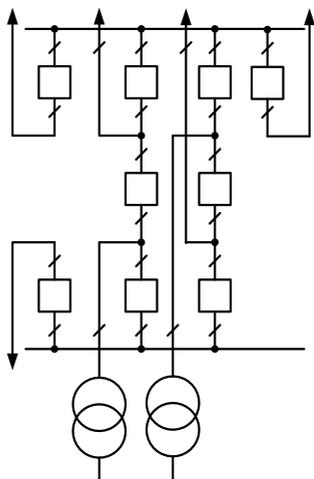
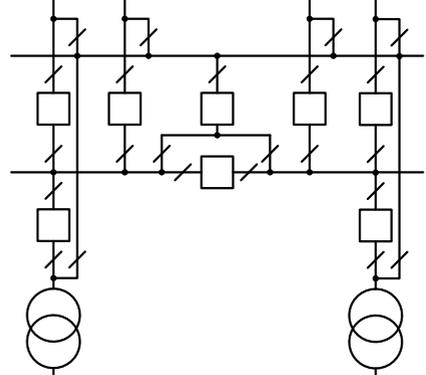
Типовые схемы распределительных устройств подстанций

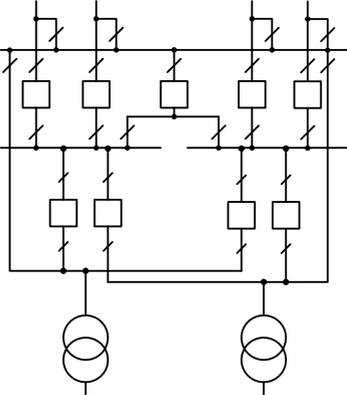
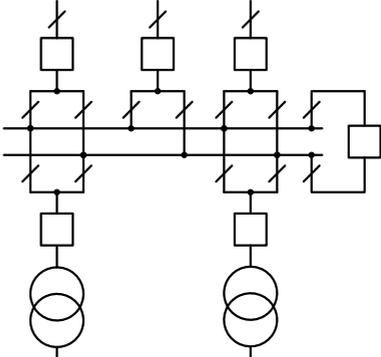
Схема	
Номер	1
Название	Блок «линия-трансформатор» с разъединителем
Схема	
Номер	3Н
Название	Блок «линия-трансформатор» с выключателем
Схема	
Номер	4Н
Название	Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий

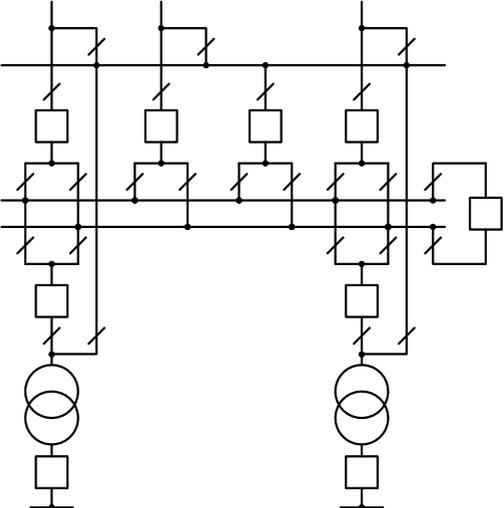
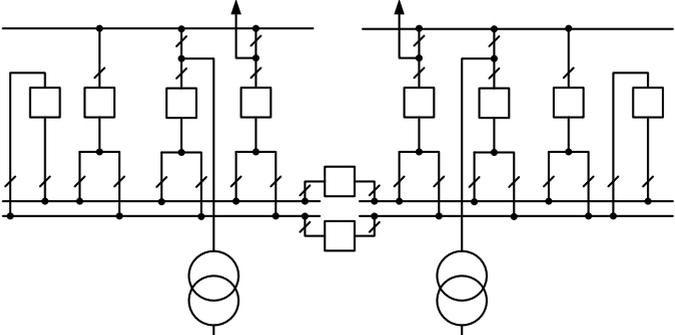
<p>Схема</p>	
<p>Номер</p>	<p>5Н</p>
<p>Название</p>	<p>Мостик с выключателями в цепях линий и неавтоматической перемычкой со стороны линий</p>
<p>Схема</p>	
<p>Номер</p>	<p>5АН</p>
<p>Название</p>	<p>Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и неавтоматической перемычкой со стороны трансформаторов</p>
<p>Схема</p>	
<p>Номер</p>	<p>6</p>
<p>Название</p>	<p>«Заход-выход» (двойной «заход-выход»)</p>

<p>Схема</p>	
<p>Номер</p>	<p>7</p>
<p>Название</p>	<p>Четырехугольник</p>
<p>Схема</p>	
<p>Номер</p>	<p>6Н</p>
<p>Название</p>	<p>Треугольник</p>
<p>Схема</p>	
<p>Номер</p>	<p>8</p>
<p>Название</p>	<p>Шестиугольник</p>

<p>Схема</p>	
<p>Номер</p>	<p>9</p>
<p>Название</p>	<p>Схема с одной секционированной системой сборных шин</p>
<p>Схема</p>	
<p>Номер</p>	<p>9Н</p>
<p>Название</p>	<p>Схема с одной секционированной системой сборных шин и с подключением трансформаторов через развилку из выключателей</p>

<p>Схема</p>	
<p>Номер</p>	<p>9АН</p>
<p>Название</p>	<p>Схема с одной секционированной системой сборных шин и с подключением ответственных присоединений через полуторную цепочку</p>
<p>Схема</p>	
<p>Номер</p>	<p>12</p>
<p>Название</p>	<p>Схема с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин</p>

<p>Схема</p>	
<p>Номер</p>	<p>12H</p>
<p>Название</p>	<p>Схема с одной секционированной системой сборных шин и с обходной системой шин с подключением трансформаторов через развилку из выключателей</p>
<p>Схема</p>	
<p>Номер</p>	<p>13</p>
<p>Название</p>	<p>Схема с двумя системами сборных шин</p>

<p>Схема</p>	
<p>Номер</p>	<p>13Н</p>
<p>Название</p>	<p>Схема с двумя системами сборных шин и обходной системой шин</p>
<p>Схема</p>	
<p>Номер</p>	<p>14</p>
<p>Название</p>	<p>Схема с двумя секционированными системами сборных шин и обходной системой шин</p>

2.2. Алгоритм выбора вариантов схемы распределительного устройства напряжением 35 кВ [4]

Начальным этапом выбора схемы является задание начальных условий, а именно класс напряжения РУ, является ли оно РУ высшего либо среднего напряжения на данном объекте (вид РУ), число присоединений n и число ЛЭП L , в котором учтены как питающие, так и транзитные линии. Число ЛЭП на распределительном устройстве необходимо задать именно на этапе формулировки начальных условий, так как данный алгоритм является началом работы программы «ОРУ САД». Далее эта переменная учитывается при автоматизированной отрисовке схемы РУ.

Дальнейший ход алгоритма определяется уровнем напряжения распределительного устройства (рис. 2.1).

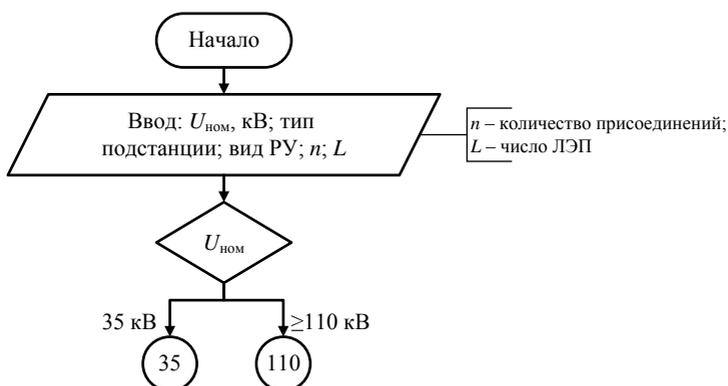


Рис. 2.1. Алгоритм автоматизированного выбора схемы распределительного устройства напряжением 35-220 кВ (начало)

Предложенный авторами алгоритм выбора схемы РУ напряжением 35 кВ показан на рис. 2.2. В соответствии с ним первым проверяется условие равенства числа присоединений на подстанции двум. Такому условию соответствуют только тупиковые и ответвительные подстанции. Для ответвительной подстанции в программе предусмотрена возможность ввода дополнительных условий: наличие ответвительных подстанций на питающей ЛЭП (n_o) и возможность передачи сигнала релейной защиты на выключатель с питающего конца ЛЭП (r_z). Если $n_o=1$, т.е. на питающей ЛЭП есть ответвительные подстанции, то предлагается вариант схемы ЗН «Блок (линия-трансформатор) с выключателем». В противном случае проверяется условие $r_z=1$, т.е. есть возможность передачи сигнала релейной защиты. Если $r_z=1$, то выбирается схема 1 «Блок (линия-трансформатор) с разъединителем», иначе – схема ЗН. Для ответвительной подстанции с двумя присоединениями также предлагается схема ЗН. Если число присоединений задано равным двум, а тип подстанции не

соответствует ни тупиковой ни ответвительной, то выдается сообщение об ошибке «Неверно задан тип подстанции» (метка F).

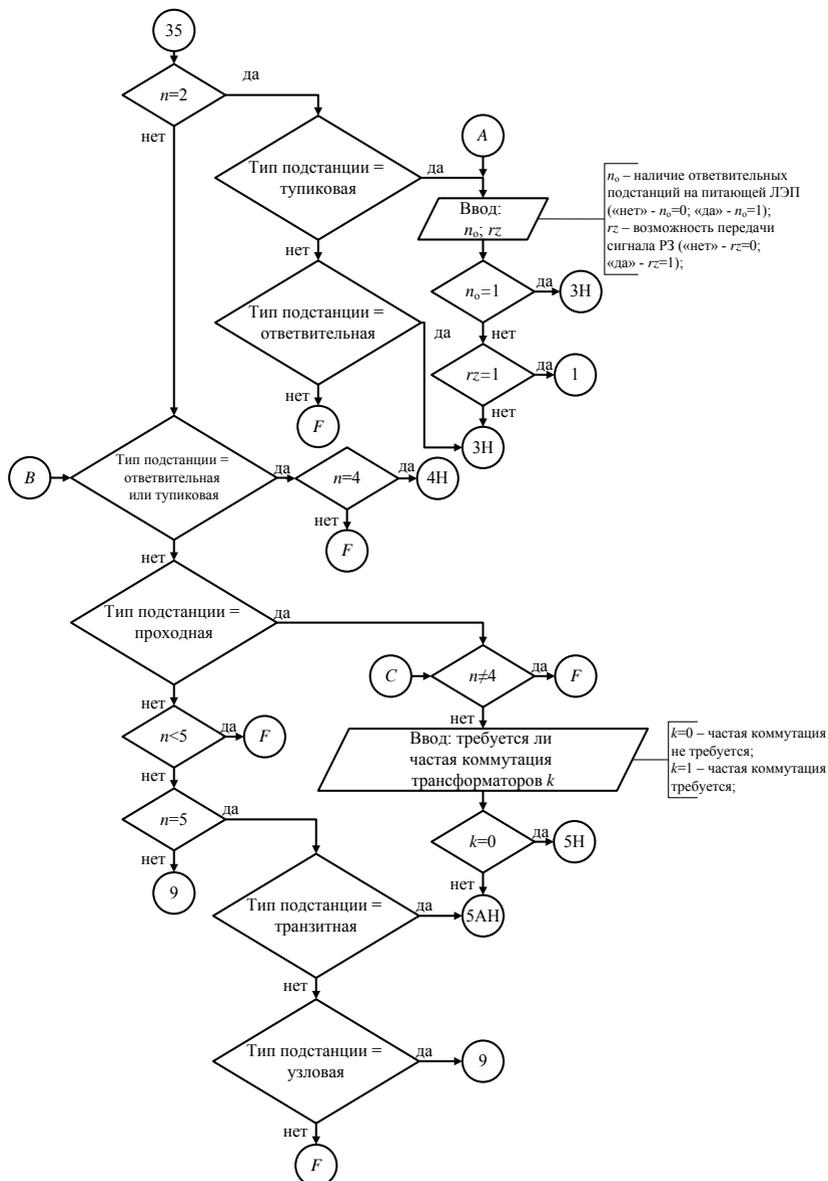


Рис. 2.2. Продолжение алгоритма автоматизированного выбора схемы РУ (для РУ напряжением 35 кВ)

Если $n \neq 2$, то проверяется условие соответствия типа подстанции ответвительной или тупиковой. При его выполнении дополнительно проверяется равенство числа присоединений 4. Если $n=4$, то предлагается схема 4Н «Два блока с выключателями и неавтоматической ремонтной перемычкой со стороны линии», иначе выдается сообщение об ошибке (метка F).

Если предыдущие условия не выполнены, то проверяется соответствие типа подстанции проходной. При выполнении этого условия и равенстве числа присоединений 4 появляется возможность для пользователя указать, требуется ли на подстанции частая коммутация трансформаторов. Если требуется, то переменной k присваивается значение «1», иначе – «0». При $k=0$ предлагается схема 5Н «Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линии», при $k=1$ – схема 5АН «Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов». Если для проходной подстанции задано число присоединений не равное 4, то выдается сообщение об ошибке.

Если подстанция не проходная и число присоединений на ней равно пяти, то она должна быть либо транзитной, либо узловой. Для транзитной предлагается схема 5АН, а для узловой – схема 9 «Одна рабочая секционированная выключателем система шин». При числе присоединений на транзитной подстанции большем пяти предлагается схема 9. Если все указанные выше условия не выполняются, то выдается сообщение об ошибке и пользователю необходимо скорректировать тип подстанции.

2.3. Алгоритм выбора вариантов схемы распределительного устройства напряжением 110 и 220 кВ [4]

Для РУ напряжением 110 и 220 кВ также первым выполняется проверка условия «Тип подстанции». Алгоритм выбора схемы для данных РУ показан на рис. 2.3.

Для тупиковых подстанций осуществляется переход по меткам A (при числе присоединений равно 2) или B (при ином числе присоединений) в алгоритм выбора схемы РУ 35 кВ, так как в данном случае условия и предлагаемые варианты схем аналогичны.

Для ответвительных подстанций при двух присоединениях предлагается схема 3Н, при четырех – схема 4Н. Если пользователь задал иное число присоединений, то выдается сообщение об ошибке.

Если подстанция является проходной, то дальнейший выбор схемы определяется числом присоединений на РУ. Так при трех присоединениях предлагается схема 6Н «Треугольник», при шести – схема 6 «Заход-выход», а при четырех присоединениях осуществляется переход по метке C в алгоритм, показанный на рис. 2.3, где выбор схемы осуществляется аналогично РУ напряжением 35 кВ. При ином числе присоединения программой выдается сообщение об ошибке.

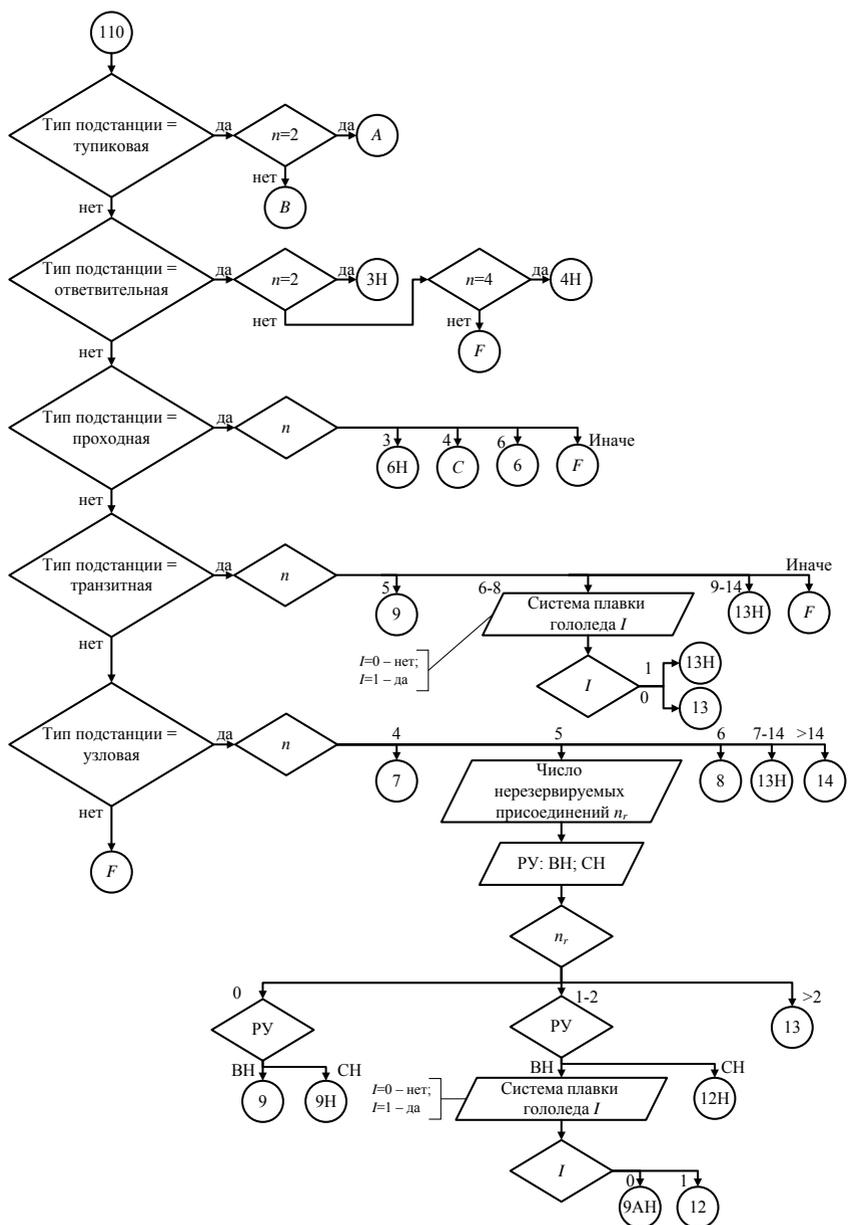


Рис. 2.3. Продолжение алгоритма автоматизированного выбора схемы РУ (для РУ напряжением 110 и 220 кВ)

Если пользователем выбран тип подстанции «Транзитная», то при пяти присоединениях на РУ предлагается схема 9. Если число присоединений находится в интервале от 6 до 8, то необходимо дополнительно указать будет ли РУ включено в схему плавки гололеда. Для этого вводится переменная I , которая принимает значение 0 (если плавки гололеда нет) и 1, если она требуется. При равенстве этой переменной 0 будет выбрана схема 13 «Две рабочие системы шин», а если она равна 1, то схема 13Н «Две рабочие и обходная системы шин». Схема 13Н предлагается также для РУ с числом присоединений от 9 до 14, независимо от необходимости включения РУ в систему плавки гололеда.

Для узловой подстанции при числе присоединений на РУ равном четырем будет выбрана схема 7 «Четырехугольник». Для РУ узловой подстанции с пятью присоединениями пользователь должен дополнительно указать число нерезервируемых присоединений n_r и является ли проектируемое РУ частью высшего или среднего напряжения. Если нерезервируемые присоединения отсутствуют, то для РУ высшего напряжения выбирается схема 9, а для РУ среднего напряжения – схема 9Н «Одна рабочая секционированная по числу трансформаторов система шин, с подключением трансформаторов к секциям шин через развилку выключателей». При одном или двух нерезервируемых присоединениях для РУ среднего напряжения предлагается к проектированию схема 12Н «Одна рабочая секционированная выключателями и обходная системы шин с подключением трансформаторов к секциям шин через два выключателя». Для РУ высшего напряжения при том же числе нерезервируемых присоединений будет выбрана схема 9АН «Одна рабочая секционированная система шин с подключением ответственных присоединений через полуторную цепочку» если система плавки гололеда не требуется, либо схема 12 «Одна рабочая секционированная выключателем и обходная системы шин», если РУ будет включено в схему плавки гололеда. При большем числе нерезервированных присоединений к проектированию предлагается схема 13. Для узловой подстанции с шестью присоединениями на РУ независимо от прочих условий будет предложена схема 8 «Шестиугольник», при 7-14 присоединениях – схема 13Н, а для РУ с большим числом присоединений – схема 14 «Две рабочие секционированные выключателями и обходная системы шин с двумя обходными и двумя шиносоединительными выключателями».

Предложенный таким образом вариант схемы РУ будет полностью удовлетворять требованиям действующих нормативных документов, однако не позволит подобрать вариант схемы с учетом фактора надежности и его экономических показателей. Для этого кроме схемы, выбранной по алгоритму, показанному на рис. 2.4, программа предлагает пользователю варианты, подходящие по классу напряжения распределительного устройства и числу присоединений на нем для дальнейшей оценки пока-

зателей их надежности и приведенных затрат. Предлагаемые программой варианты, приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Варианты схем, предлагаемые к технико-экономическому сравнению

Класс напряжения, кВ	Число присоединений на РУ	Предлагаемые к сравнению схемы
35	2	1; 3Н
	4	1; 3Н; 4Н; 5Н; 5АН
	≥ 5	9
110 220	2	1; 3Н
	4	1; 3Н; 4Н; 5Н; 5АН
	5	9; 9Н; 9АН; 12; 12Н
	6	6; 8; 13; 13Н
	7-14	13; 13Н
	≥ 15	14

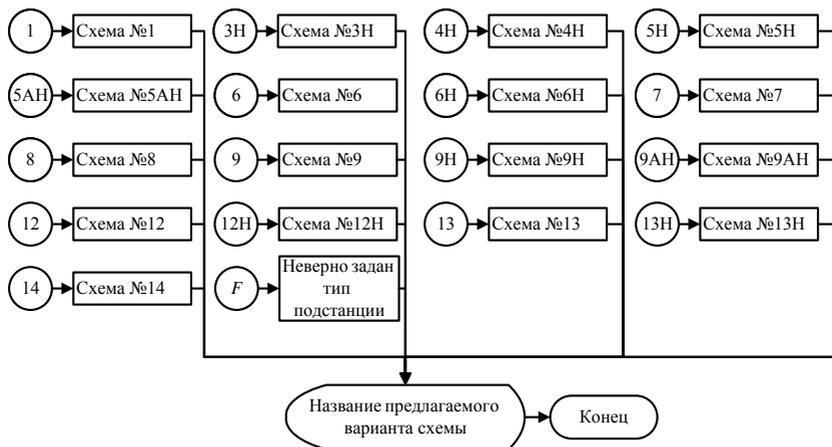


Рис. 2.4. Окончание алгоритма автоматизированного выбора схемы РУ

В качестве примера рассмотрим проектируемую транзитную подстанцию с высшим напряжением 110 кВ и шестью присоединениями на распределительном устройстве высшего напряжения. Линии, питающие подстанцию и отходящие от нее, должны быть включены в схему плавки гололеда. В соответствии с предложенным алгоритмом (см. рис. 2.3) рекомендуемым вариантом схемы РУ 110 кВ является схема 13Н, однако, для дальнейшего сравнения по критерию экономичности и надежности предлагаются в соответствии с табл. 2.2 предлагаются также схемы 8, 6 и

13. Очевидно, что обеспечить плавку гололеда на воздушных линиях электропередачи позволят только компоновки схем 8, 6 и 13Н, поэтому вариант схемы РУ 13 для дальнейшего рассмотрения не принимается. Таким образом разработанный алгоритм позволяет проектировщику с минимумом временных затрат выбрать типовой вариант схемы РУ, а также несколько нетиповых вариантов, из которых в последствии можно определить оптимальный по критерию минимума затрат и обеспечивающий необходимый уровень надежности.

2.4. Работа с САПР проектирование схем распределительных устройств

2.4.1. Назначение программного обеспечения. Описание основных характеристик и особенностей программного обеспечения

Разработанный программный продукт сокращает время, необходимое на проектирование схем открытых распределительных устройств 35-220 кВ, также позволяет составлять спецификации на основании выбранного оборудования. С использованием стоимостных характеристик осуществляется расчет технико-экономических показателей. Программа предназначена для использования в качестве рабочего места инженера-проектировщика электротехнического отдела проектной организации и при реализации курсового и дипломного проектирования обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника».

2.4.2. Языки программирования, на которых написано программное обеспечение

Программа написана на языке C++. С использованием программы BorlandDeveloperStudio. Также используется язык манипуляции с базами данных SQL.

C++, BorlandDeveloperStudio, SQL.

2.4.3. Инструкция по установке программного обеспечения

Требования к техническим средствам

Приложение предназначено для использования на персональных компьютерах типа IBM PC, работающих под управлением русскоязычных (локализованных) либо корректно русифицированных операционных (MSWindows 10, MSWindows 8 и выше, MSWindows 7 SP1 и выше). Обязательным условием работоспособности и конфигураций является поддержка центральным процессором инструкций SSE2. По остальным параметрам минимально возможная конфигурация компьютера для уста-

новки и запуска программы соответствует минимальным системным требованиям для соответствующих операционных систем.

Программное обеспечение, необходимое для функционирования программы

SQL Server 2014, «Компас-3D».

Этапы установки программного обеспечения

1. Установка *SQLServer* 2014
2. Присоединение базы данных к серверу.
3. Установка «Компас-3D»

Краткое руководство пользователя

1 Запуск программного обеспечения. Описание действий по настройке программного обеспечения

Двойным щелчком по иконке CADORU.exe запустить программу.

2 Описание пользовательского интерфейса

При запуске программы, появляется форма с тремя вкладками: «Общая характеристика подстанции» (активная) (рис. 2.5), «Оборудование для измерения и защиты» (рис. 2.6), задание исходных данных для построения схем закрытых распределительных устройств (рис. 3.1-3.3) и «Технико-экономический расчет» (рис. 4.6). Каждая вкладка состоит из нескольких GroupBox.

Рис. 2.5. Вкладка «Общая характеристика подстанции»

Общая характеристика | Оборудование для измерения и защиты

Трансформатор тока

Ином, А: 40
 Тип: ТОМ
 Завод-изготовитель: Свердловский зав

Ограничитель перенапряжения

Уном, кВ: 110
 Тип: ОПН
 Завод-изготовитель: ЗАО «ФЕНИКС-8»

Трансформатор напряжения

Уном, кВ: 110
 Тип: ЗНОМ
 Завод-изготовитель: Раменский электр

Разъединитель

Ином, А: 1000
 Тип: РГД
 Завод-изготовитель: Электроаппарат

Сохранить

Рис. 2.6. Оборудование для измерения и защиты

На первой вкладке 3 GroupBox: «Общая характеристика подстанции» (содержит 6 полей для ввода данных $U_{ном}$, количество присоединений, тип подстанции, схема подстанции, грунт климатическая зона), «Данные о трансформаторе» (4 поля для ввода данных мощность, тип, количество, завод-изготовитель), «Выключатель» (3 поля для ввода данных $I_{ном}$, тип, завод-изготовитель).

На второй вкладке 4 GroupBox: «Трансформатор тока» (3 поля для ввода данных $I_{ном}$, тип, завод-изготовитель), «Трансформатор напряжения» (3 поля для ввода данных $U_{ном}$, тип, завод-изготовитель), «Ограничитель перенапряжения» (3 поля для ввода данных $U_{ном}$, тип, завод-изготовитель), «Разъединитель» (3 поля для ввода данных $I_{ном}$, тип, завод-изготовитель).

2.5. Пример выбора схемы распределительного устройства 35 кВ и выше

Осуществим проектирование однолинейных схем открытых распределительных устройств 110 кВ с использованием разработанного программного обеспечения по заданным исходным данным, приведенным в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Исходные данные для проектирования блочных и мостиковых схем

№	Тип подстанции	Число ответвительных подстанций на питающей ЛЭП	Возможность передачи сигналов РЗ на отключение в питающей ЛЭП	Число присоединений	Система плавки гололеда на ВЛ (есть/нет)
1	Тупиковая	0	есть	2	нет
2	Тупиковая	>1		2	нет
3	Тупиковая	0	нет	2	нет

В результате работы САПР – получены следующие результаты, приведенные в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Результаты для проектирования с использованием САПР

Вариант	Номер схемы	Однолинейная схема	Примечание
1	110-1	Рисунок 2.7	Блок (линия-трансформатор) с разъединителем
2	110-3Н	Рисунок 2.8	Блок (линия-трансформатор) с выключателем
3	110-3Н	Рисунок 2.8	Блок (линия-трансформатор) с выключателем

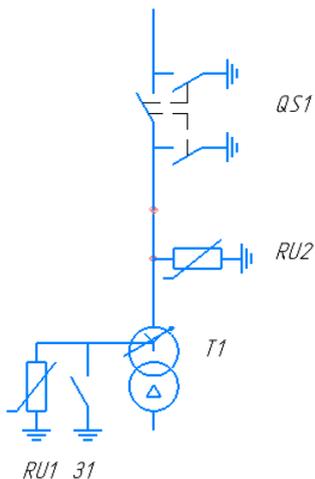


Рис. 2.7. Схема 110-1

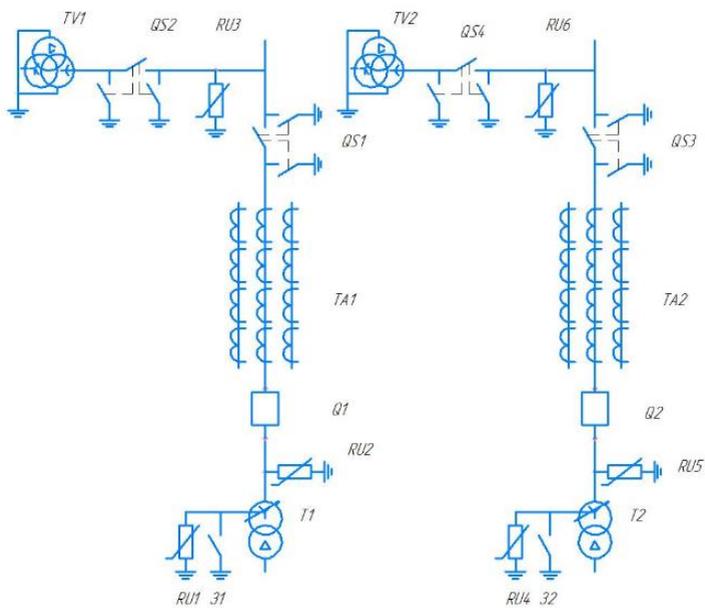


Рис. 2.8. Схема 110-3Н

3. ФОРМИРОВАНИЕ СХЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 6-10 кВ

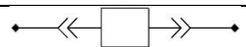
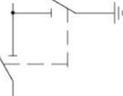
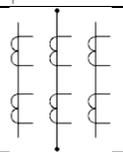
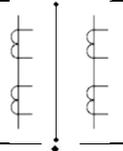
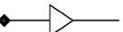
3.1. Формирование отдельных присоединений схем распределительных устройств в САПР

На основании ряда нормативных документов, таких как: правила устройства электроустановок, правила технической эксплуатации электроустановок потребителей, руководящий документ РД-34.0-20.527-98, были отрисованы элементы распределительного устройства 6-10 кВ в графическом редакторе КОМПАС-3D.

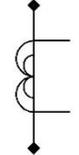
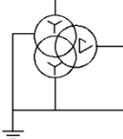
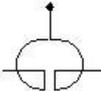
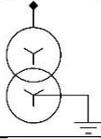
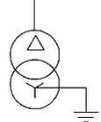
Графическое изображение и буквенное обозначение элементов распределительного устройства 6-10 кВ, представлены в табл. 3.1. В приложении П1 приведены выдержки из ГОСТ с требованиями к условным графическим и буквенным обозначения элементов электрических схем.

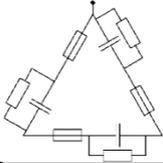
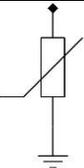
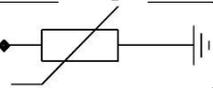
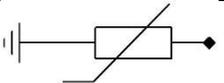
Таблица 3.1

Элементы распределительного устройства 6-10 кВ

Название элемента	Графическое изображение	Буквенное обозначение
1	2	3
Выключатель		<i>Q</i>
Выключатель		<i>Q1</i>
Выключатель		<i>Q2</i>
Разъединитель, один комплект, с заземляющим ножом		<i>QS1</i>
Трансформатор тока		<i>TA</i>
Трансформатор тока		<i>TA1</i>
Трансформатор тока нулевой последовательности		<i>TAN</i>
Кабельная линия		<i>KL</i>

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
Кабельная линия		<i>KL1</i>
Трансформатор тока нулевой последовательности с подмагничиванием		<i>KL2</i>
Трансформатор напряжения		<i>TV</i>
Заземляющий нож		<i>QSG</i>
Реактор		<i>L1</i>
Сдвоенный реактор		<i>L2</i>
Асинхронный двигатель		<i>M</i>
Синхронный двигатель		<i>MG</i>
Трансформатор собственных нужд (звезда-звезда)		<i>T5</i>
Двухобмоточный трансформатор		<i>T6</i>

1	2	3
Конденсаторные установки		CB
Ограничитель перенапряжения		RU1
Ограничитель перенапряжения		RU2
Ограничитель перенапряжения		RU3
Шина		Шина
Предохранитель плавкий		FU
Втычные контакты		K1
Втычные контакты		K2

На основе табл. 3.1 были разработаны и отрисованы присоединения для алгоритма формирования распределительного устройства 6-10 кВ.

Присоединения для алгоритма формирования распределительного устройства 6-10 кВ представлены в табл. 3.2.

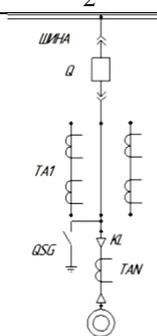
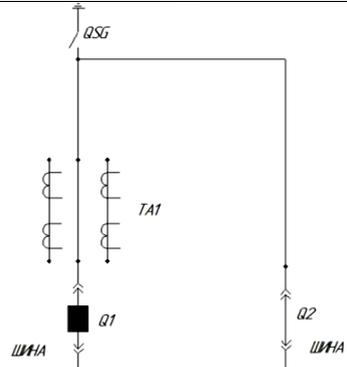
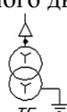
Каждому присоединению была присвоена своя формула, для дальнейшего упрощения формирования однолинейной схемы распределительного устройства 6-10 кВ.

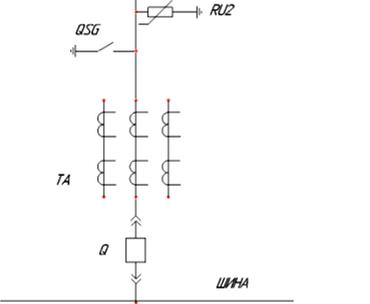
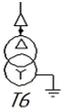
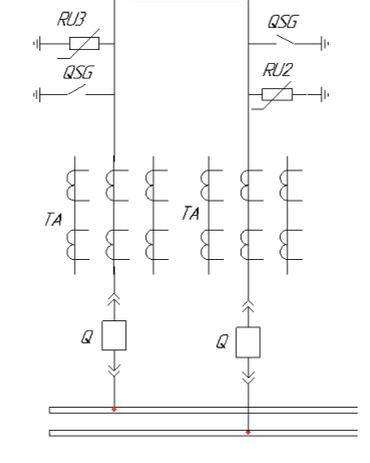
В соответствии с требованиями нормативных документов приняты следующие схемы соединений трансформаторов тока:

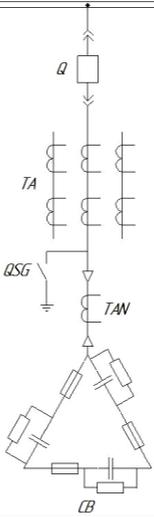
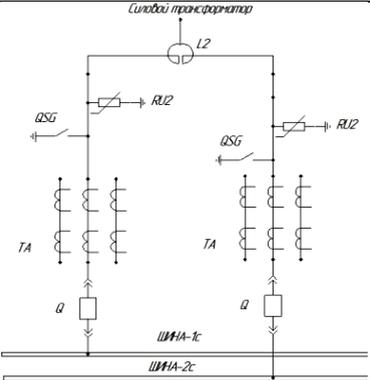
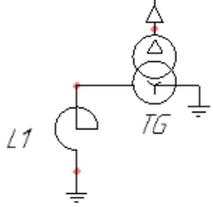
- схема полной звезды: вводная ячейка, ячейка компенсирующего устройства;
- схема неполной звезды: остальные присоединения.

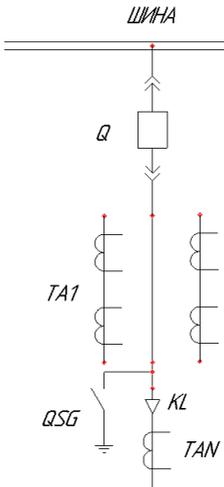
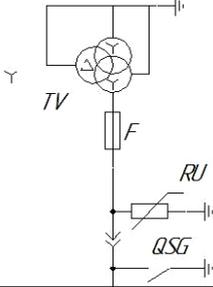
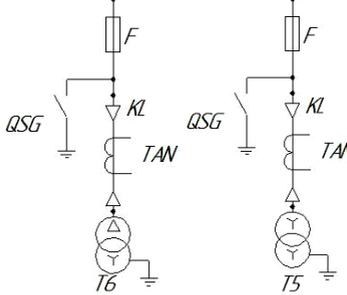
Таблица 3.2

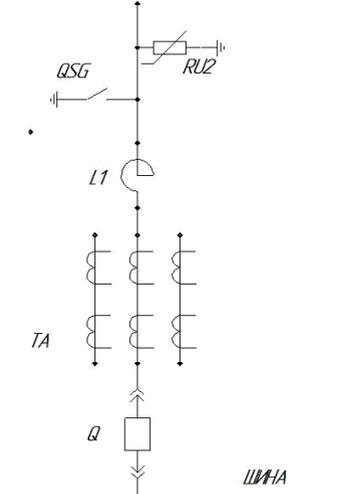
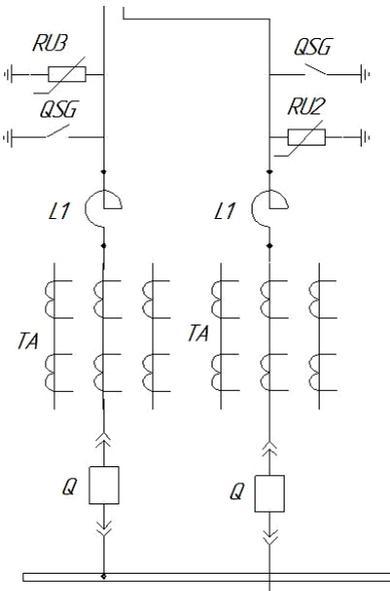
Присоединения для алгоритма формирования распределительного устройства 6-10 кВ

Название	Графическое изображение	Формула присоединения
<p>1</p> <p>Асинхронный двигатель</p>	<p>2</p> 	<p>3</p> <p>ШИНА-Q-TA1-QSG-KL-TAN-M</p>
<p>Секционный выключатель</p>		<p>ШИНА-Q1-TA1-QSG-Q2-ШИНА</p>
<p>К ТСН (звезда-звезда)</p>	<p>См. начало отрисовки присоединения в примере для асинхронного двигателя</p> 	<p>ШИНА-Q-TA1-QSG-KL-TAN-T5</p>

1	2	3
<p>Синхронный двигатель</p>	<p>См. начало отрисовки присоединения в примере для асинхронного двигателя</p> 	<p>ШИНА-Q-TA1-QSG-KL-TAN-MG</p>
<p>От силового трансформатора</p>		<p>Силовой трансформатор-RU2-QSG-TA-Q-ШИНА</p>
<p>К ТСН (треугольник-звезда)</p>	<p>См. начало отрисовки присоединения в примере для асинхронного двигателя</p> 	<p>ШИНА-Q-TA1-QSG-KL-TAN-T6</p>
<p>От силового трансформатора с расщеплением</p>		<p>Силовой трансформатор-RU2-QSG-TA-Q-ШИНА</p>

1	2	3
КУ		ШИНА-Q-TA-TAN-(QSG)-CB
Сдвоенный реактор	<p style="text-align: center;"><i>Силовой трансформатор</i></p> 	Силовой трансформатор-L2-RU2-QSG-TA-Q-ШИНА
Реактор	См. начало отрисовки присоединения в примере для асинхронного двигателя 	ШИНА-Q-TA1-QSG-KL-TAN-T5-L1

1	2	3
Отходящая линия		ШИНА-Q-TA1-QSG-KL-TAN
Трансформатор напряжения		ШИНА-QSG-RU-F-TV
ТСН с предохранителем (ТСН с предохранителем (звезда-звезда))		Силовой трансформатор-F-QSG-KL-TAN-T6 (T5)

1	2	3
<p>Токоограничивающий реактор от силового трансформатора</p>	<p><i>Силовой трансформатор</i></p> 	<p>Силовой трансформатор р-<i>RU2-QSG-L1-TA-Q-ШИНА</i></p>
<p>Токоограничивающий реактор от силового трансформатора с расщеплением</p>	<p><i>Силовой трансформатор</i></p> 	<p>Силовой трансформатор р-<i>RU2-QSG-L1-TA-Q-ШИНА</i></p>

3.2. Алгоритм формирования однолинейной схемы распределительного устройства 6-10 кВ

Для построения однолинейных схем распределительного устройства 6-10 кВ был создан алгоритм, по которому происходит выбор тех или иных присоединений, представленных ранее в табл. 3.2.

Изначально задается тип подстанции, низкое напряжение на её шинах, тип трансформатора, количество отходящих линий, количество асинхронных двигателей, количество синхронных двигателей, количество конденсаторных установок. Если трансформатор на подстанции имеет расщепленную обмотку НН, то расчет количества секций для такого вида присоединения ведется по формуле (3.1):

$$N_{\text{сек}} = N_{\text{T}} \cdot 2, \quad (3.1)$$

где N_{T} – количество трансформаторов.

Если же трансформатор не имеет расщепленную обмотку НН, то проверяется наличие сдвоенного реактора за трансформатором, если реактор отсутствует, то расчет количества секции ведётся как:

$$N_{\text{сек}} = N_{\text{T}}. \quad (3.2)$$

После того, как будут рассчитано количество секций, определяется количество трансформаторов собственных нужд. Число трансформаторов собственных нужд принимается равным числу трансформаторов:

$$N_{\text{ТСН}} = N_{\text{T}}. \quad (3.3)$$

Если общее число отходящих линий нечетное, то запускается цикл по числу секций. Исходя на какой секции происходит вычисление, производит округление либо до ближайшего наименьшего, либо до ближайшего наибольшего.

Далее исходя из типа трансформатора проверяется наличие реактора, и отрисовывается то или иное присоединение. Затем задаются данные к какой секции принадлежит то или иное присоединение. После запускается цикл по числу секций, где определяется количество присоединений на секцию по формуле:

$$N_{\text{сек}} = N_{\text{отх},i} + N_{\text{дв},i} + N_{\text{КУ},i} + N_{\text{ТСН},i}, \quad (3.4)$$

где i – номер секции;

$N_{\text{дв},i}$ – количество двигателей, принадлежащих секции;

$N_{\text{КУ},i}$ – количество конденсаторных установок, принадлежащих секции;

$N_{\text{ТСН}i}$ – количество трансформаторов собственных нужд, принадлежащих секции.

В зависимости от того, к какой секции это присоединение принадлежит, отрисовывается это присоединение. При этом присоединение трансформатора напряжения отрисовывается сразу на каждую секцию. Исходя из количества секций определяется число секционных выключателей. Если секция одна, то:

$$N_{\text{с.в.}} = 0. \quad (3.5)$$

Если две секции, то количество секционных выключателей принимается двум.

$$N_{\text{с.в.}} = 1. \quad (3.6)$$

Если секций четыре или три, то количество секционных выключателей принимается равным двум: При числе секций равным шести, количество секционных выключателей принимается равным четырем. С помощью цикла по числу секционных выключателей отрисовывается присоединение секционного выключателя.

3.3. Автоматизированное создание однолинейных схем в разработанной САПР

Для того чтобы программа работала согласно предложенному алгоритму формирования однолинейных схем распределительного устройства напряжением 6–10 кВ, была разработана структура диалоговых окон для ввода пользователем программы исходных данных.

При открытии программы пользователю представляется возможность ввести самостоятельно исходные данные, такие как: количество конденсаторных установок, количество асинхронных двигателей, количество синхронных двигателей, количество прочих отходящих линий и количество трансформаторов собственных нужд.

Вид данного диалогового окна представлен на рис. 3.1.

После ввода исходных данных, нужно распределить каждое присоединение по секциям. Исходя из типа установленного трансформатора с помощью разработанного алгоритма для формирования однолинейной схемы РУ 6–10 кВ, программа определяет число секций. Пользователю даётся возможность выбора на какую секцию будет подключено то или иное присоединение.

Далее формируется и отрисовывается в графическом редакторе КОМПАС 3D однолинейная схема РУ 6–10 кВ.

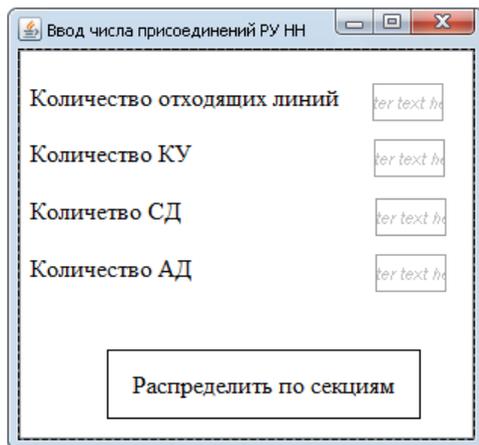


Рис. 3.1. Окно «Ввод исходных данных»

3.3.1. Примеры создания однолинейной схемы РУ 6–10 кВ с помощью отрисованных визуальных элементов

С помощью отрисованных визуальных элементов (см. табл. 3.1 и 3.2), для построения однолинейной схемы распределительного устройства напряжением 6–10 кВ, была проверена работа алгоритма. Для примера было взято два разных типа трансформаторов: трансформатор с расщепленной обмоткой НН и двухобмоточный трансформатор.

В качестве первого примера рассмотрим подстанцию с двумя трансформаторами с расщепленной обмоткой низшего напряжения. Отходящими присоединениями будут 4 кабельные линии, 4 компенсирующих устройства, 2 синхронных двигателя. Ввод указанных исходных данных представлен на рис. 3.2.

Исходя из того, что трансформатор с расщепленной обмоткой НН количество секций рассчитывается по (3.1):

$$N_{\text{сек}} = 2 \cdot 2 = 4.$$

Далее по (3.3) рассчитывается количество трансформаторов собственных нужд для данного примера:

$$N_{\text{тсн}} = 2.$$

После ввода исходных данных, появляется окно «Распределение отходящих линий по секциям». Пример распределения представлен на рис. 3.3.

Количество отходящих линий	4
Количество КУ	4
Количество СД	2
Количество АД	0

Распределить по секциям

Рис. 3.2. Ввод исходных данных для двух трансформаторов с расщепленной обмоткой НН

С помощью цикла по числу трансформаторов отрисовывается на вторую секцию присоединение трансформатора собственных нужд. Проверяется наличие реактора. Установка реатора проектом не предусмотрена, следовательно, отрисовывается присоединение от силового трансформатора с расщепленной обмоткой НН. Так как, в данном примере рассмотрено два трансформатора, то цикл проходит второй круг и отрисовывается присоединений трансформатора собственных нужд также и на третью секцию.

Трансформаторы напряжения расставляются на каждую секцию.

Далее запускается цикл по числу секций. По порядку, представленному на рис. 3.3, проверяется принадлежность присоединения к данной секции. Если условие выполняется, то присоединение отрисовывается на однолинейной схеме РУ НН, если нет, то происходит возврат в цикл. Таким образом, к первой секции принадлежат, присоединение отходящей линии, присоединение конденсаторной установки 1, присоединение синхронного двигателя 1. Ко второй секции принадлежат, присоединение трансформатора собственных нужд 1, присоединение конденсаторной установки 2.

К третьей секции относятся: присоединение отходящей линии 2, присоединений трансформатора собственных нужд 2, присоединений конденсаторной установки 3, присоединение синхронного двигателя 2. К четвертой секции относятся: присоединения отходящих линий 3 и 4, присоединение конденсаторной установки 4.

Так как в данном примере 4 секции, то будет отрисованно два секционных выключателя с помощью цикла по числу секционных выключателей.

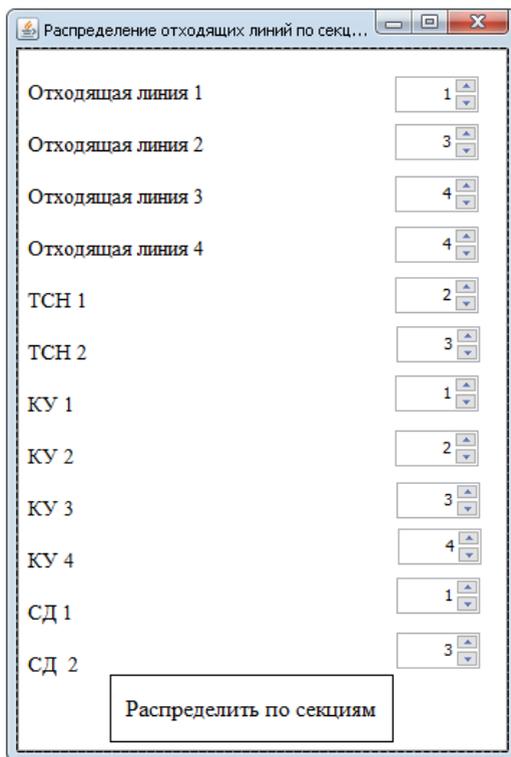


Рис. 3.3. Распределение отходящих линий по секциям для примера с двумя двухобмоточными трансформаторами с расщепленной обмоткой НН

Однолинейная схема отрисованная, по алгоритму, представленному в п. 3.2, для примера с двумя трансформаторами с расщепленными обмотками НН представлена на рис. 3.4.

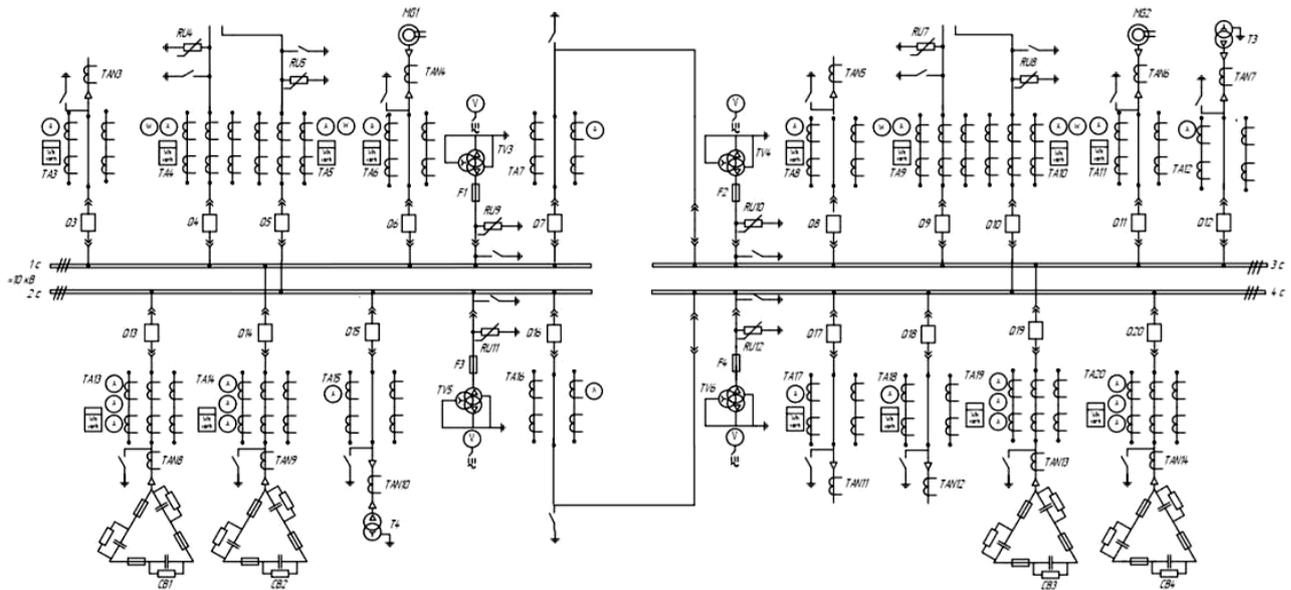


Рис. 3.4. Однолинейная схема РУ НН для двух трансформаторов с расщепленной обмоткой НН

4. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРАВНЕНИЯ ВАРИАНТОВ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Основной целью расчетов эффективности развития электрических сетей является выбор оптимальной схемы сети при заданных нагрузках, размещении источников и потребителей.

В практике проектирования электрических сетей для выбора предпочтительного варианта развития сети используется критерий приведенных дисконтированных затрат при условии, что сравниваемые варианты обеспечивают одинаковый энергетический эффект.

Экономическая оценка вариантов сети осуществляется посредством определения приведенных народнохозяйственных затрат по формуле [5]:

$$Z = p_n \cdot K + I + U, \quad (4.1)$$

где p_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (для объектов электроэнергетики принимается 0,12);

K – первоначальные капитальные вложения в электрическую сеть, тыс. руб.;

I – ежегодные издержки на эксплуатацию сети, тыс. руб.;

U – народнохозяйственный ущерб от возможных перерывов электроснабжения потребителей, тыс. руб.

Критерием для выбора варианта развития сети, ее части или отдельного объекта является минимум суммарных дисконтированных приведенных затрат [6].

4.1. Первоначальные капитальные вложения

Капитальные вложения (K), т.е. расходы для сооружения сетей, станций, энергетических объектов – это важнейший технико-экономический показатель.

Величина капитальных вложений в подстанцию определяется по сметным данным, либо по укрупненным показателям стоимости (УСП) элементов [6].

Капитальные вложения в строительство подстанции напряжением 35 кВ и выше определяются по формуле:

$$K = ((K_{тр} + K_{яч} + C_{па} + C_{пз}) \cdot k_{зон} + C_{стр.пс} + C_{зем.уч}) \cdot k_{инф}, \quad (4.2)$$

где $K_{\text{тр}}$, $K_{\text{яч}}$ – стоимость силовых трансформаторов и ячеек выключателей ВН и НН, тыс. руб.;

$C_{\text{па}}$, $C_{\text{пз}}$ – стоимость противоаварийной автоматики и постоянная часть затрат, тыс. руб.;

$k_{\text{зон}}$ – повышающий зональный коэффициент;

$C_{\text{стр.пс}}$, $C_{\text{зем.уч}}$ – стоимость строительства подстанции и постоянного отвода земельного участка, тыс. руб.;

$k_{\text{инф}}$ – коэффициент инфляции относительно цен укрупненных стоимостных показателей.

4.2. Ежегодные эксплуатационные издержки производства

Вторым важным технико-экономическим показателем являются эксплуатационные издержки, необходимые для эксплуатации энергетического оборудования в течение одного года. Ежегодные эксплуатационные издержки производства представляют собой сумму всех отчислений и расходов, связанных с эксплуатацией данной электроустановки [6].

$$И = И_{\text{эксп}} + \Delta И_3, \quad (4.3)$$

где $И_{\text{эксп}}$ – годовые эксплуатационные расходы по ПС, тыс. руб.;

$\Delta И_3$ – стоимость годовых потерь электроэнергии, тыс. руб.

4.3. Оценка народнохозяйственного ущерба от нарушения электроснабжения

Ущерб, наносимый потребителю в результате перерыва электроснабжения, определяется по формуле [7]:

$$У = y_0 \cdot W, \quad (4.4)$$

$$У = y_0 \cdot P_{\text{потр}} \cdot T_{\text{в}}, \quad (4.5)$$

где y_0 – удельный ущерб от недоотпуска потребителям 1 кВт·ч электроэнергии, руб./кВт·ч;

W – количество недополученной электроэнергии за время перерыва электроснабжения, кВт·ч;

$P_{\text{потр}}$ – потребляемая предприятием мощность, кВт;

$T_{\text{в}}$ – годовая продолжительность аварийных отключений, ч.

Величина удельного ущерба зависит от сферы деятельности предприятия и определяется по справочным данным [8].

Годовая продолжительность аварийных отключений рассчитывается для системы электроснабжения одним из методов приведенных ниже и является показателем надежности электрической сети.

Под надежностью электрической сети понимают способность осуществлять передачу и распределение требуемого количества электроэнергии от источников к потребителям при нормативных уровнях напряжения и в соответствии с заданным графиком нагрузки. Надежность участка сети определяется надежностью и параметрами входящих в ее состав элементов (трансформаторов, коммутационной аппаратуры, линий электропередачи и др.) и схемой их соединения. Нарушение работоспособности объекта называется отказом. В случае отказа отдельных элементов сети может произойти (в зависимости от схемы соединений) отказ участка сети, приводящий к нарушению электроснабжения потребителей: полному прекращению питания, частичному ограничению нагрузки, отклонению напряжения от допустимых нормами пределов.

В качестве показателей, количественно характеризующих надежность участка сети и ее элементов, принимаются [7]:

- параметр потока отказов (среднее количество отказов в год), ω , 1 / год;
- частота плановых ремонтов, ω_n , 1 / год;
- среднее время восстановления (средняя продолжительность послеаварийного ремонта или замены объекта в долях года), T_v , лет;
- среднее время простоя при преднамеренных отключениях, T_p , лет;
- коэффициент готовности (вероятность работоспособного состояния объекта в промежутках между плановыми простоями), K_g , о. е.;
- вероятность вынужденного простоя (вероятность неработоспособного состояния объекта в промежутках между плановыми простоями), K_n , о. е.

Перечисленные показатели надежности являются техническими характеристиками надежности и позволяют сопоставлять между собой надежность нескольких объектов, а также проверять соответствие рассматриваемых вариантов схем требуемому уровню надежности, если он задан количественно.

Основной задачей расчета надежности является определение вероятности безотказной работы всей системы, длительности восстановления, вероятности появления и интенсивности отказа того или иного события по известной структуре однолинейной схемы с известными показателями надежности отдельных элементов. Ниже рассмотрены три метода оценки надежности.

4.3.1. Аналитический метод расчета надежности электроснабжения

Применяется в тех случаях, когда анализируется надежность сложной системы, состоящей из большого числа элементов, вся информация о показателях известна [9].

В качестве исходных данных также должны быть приведены структурные и функциональные взаимосвязи отдельных элементов системы.

С целью унификации расчета такие объекты заменяются структурной схемой (схемой замещения) надежности, состоящей из n -ого числа элементов, функционально или структурно связанных между собой и находящихся в одном из двух состояниях, либо работоспособности, либо неработоспособности.

Порядок составления структурной схемы:

1) схема составляется отдельно для каждого узла нагрузки;

2) схема состоит в одном из двух режимов:

– режим оперативных переключений или режим кратковременных отключений. В схему включаются только те элементы, отказ которых вызывает немедленное автоматическое отключение данного присоединения устройствами РЗА. В такую схему не включаются резервные источники, все элементы между собой соединяются последовательно, т.е. отказ любого элемента приведет к отказу всей цепи.

– режим длительных отключений или режим восстановительного ремонта. В схему такого режима включаются все элементы (резервные источники, секционные выключатели, поперечные связи), отказ которых в самом тяжелом случае может быть ликвидирован только путем проведения восстановительного ремонта. При этом в структурную схему не включаются цепочки, состоящие из трех и более параллельно соединенных резервных элементов.

Основные преобразования структурных схем.

Последовательное соединение элементов:

– вероятность безотказной работы и вероятность отказа системы

$$P_{\text{эКВ}} = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_N, \quad (4.6)$$

$$Q_{\text{эКВ}} = Q_1 + Q_2 - Q_1 \cdot Q_2. \quad (4.7)$$

– интенсивность потока отказов

$$\omega_{\text{эКВ}} = \omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_N. \quad (4.8)$$

– время восстановления

$$T_{\text{в.экв}} = \frac{T_{\text{в}1} \cdot \omega_1 + T_{\text{в}2} \cdot \omega_2 + \dots + T_{\text{в}N} \cdot \omega_N}{\omega_{\text{экв}}}. \quad (4.9)$$

Параллельное соединение элементов:

– вероятность безотказной работы и вероятность отказа системы

$$P_{\text{экв}} = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 \quad (4.10)$$

$$Q_{\text{экв}} = Q_1 \cdot Q_2 \quad (4.11)$$

– интенсивность потока отказов

$$\omega_{\text{экв}} = \omega_1 \cdot \omega_2 \cdot (T_{\text{в}1} + T_{\text{в}2}) \quad (4.12)$$

– время восстановления

$$T_{\text{в.экв}} = \frac{T_{\text{в}1} \cdot \omega_1 + T_{\text{в}2} \cdot \omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad (4.13)$$

При наличии в схеме поперечных связей (мостиков, секционных выключателей) можно использовать приближенные формулы преобразований:

а) преобразование «звезды» в «треугольник» и обратно (рис. 4.1):

Основным условием при этом является равенство характеристик надежности цепей, соединяющих одноименные точки в схеме до и после преобразования.

Так как вероятности безотказной работы обычно близки к единице, а погрешность расчетов пропорциональна размерности учитываемых показателей, то для снижения этой погрешности в качестве характеристик надежности используются вероятности отказов элементов:

$$\begin{aligned} Q_{12} &\approx \sqrt{Q_1 \cdot Q_2 / Q_3}; & Q_{31} &\approx \sqrt{Q_3 \cdot Q_1 / Q_2}; & Q_{23} &\approx \sqrt{Q_2 \cdot Q_3 / Q_1}; \\ Q_1 &\approx Q_{12} \cdot Q_{31}; & Q_2 &\approx Q_{12} \cdot Q_{23}; & Q_3 &\approx Q_{23} \cdot Q_{31}. \end{aligned} \quad (4.14)$$

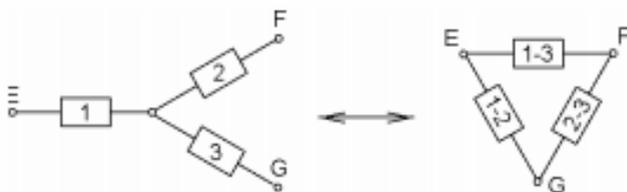


Рис. 4.1. Схема преобразования «звезда» – «треугольник»

б) схема с поперечными связями (рис. 4.2):

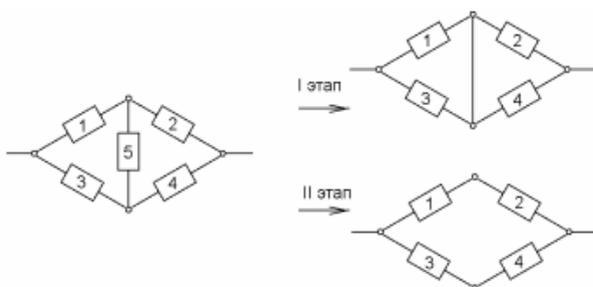


Рис. 4.2. Схема исключения поперечной связи

Расчет проводится в два этапа. На первом этапе считается, что перемычка является абсолютно надежным элементом и составляется структурная схема (рис. 4.2, I этап). Вероятность безотказной работы определяется по формуле:

$$P_I = (P_1 + P_3 - P_1 \cdot P_3) \cdot (P_2 + P_4 - P_2 \cdot P_4) \quad (4.15)$$

На втором этапе считается, что перемычка абсолютно ненадежна и составляется структурная схема (рис. 4.2, II этап). Вероятность безотказной работы определяется по формуле:

$$P_{II} = P_1 \cdot P_2 + P_3 \cdot P_4 - P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \quad (4.16)$$

Результирующая вероятность безотказной работы системы определяется по формуле:

$$P_{\text{эkv}} = P_{\text{min}} + (P_{\text{max}} - P_{\text{min}}) \cdot P_5 \quad (4.17)$$

Параллельно с определением вероятности безотказной работы на

каждом этапе определяется длительность восстановления, параметр потокоотказов в качестве эквивалентного значения этих показателей принимается наибольшее.

4.3.2. Логико-вероятностный метод расчета надежности электроснабжения

Данный метод основан на применении законов теории вероятности к функциям алгебры логики. Каждое элементарное событие заменяется либо истинным выражением, соответствующее значению «1», либо ложным соответствующее «0» [9].

Для оценки надежности составляется функция алгебры логики, которое представляет собой сложное логическое высказывание, состоящее из нескольких соединений между собой следующими логическими операторами:

- дизъюнкция (логическое сложение), обозначается как «или», « \vee »;
- конъюнкция (логическое умножение), обозначается как «и», « \wedge »;
- логическое отрицание, обозначается как «не», « \bar{X} ».

В расчетах надежности элементарными событиями считаются режимы, в которых элементы не работоспособны (отказ, планово-предупредительный ремонт). Сочетание данных событий, включая безотказную работу элементов и системы, позволяет составить функцию алгебры логики. На основании которой составляется алгебраическое выражение относительно величины параметра потокоотказа, с использованием эквивалентного значения которого, определяют вероятность безотказной работы и время восстановления. Сама функция алгебры логики составляется на основании дерева отказов.

Построение дерева отказов начинается сверху вниз. В верхней части двойной рамке записывается искомое логическое высказывание, при помощи логических операторов искомое выражение делится на два или три глобальных события, каждое из которых раскрывается через ряд более мелких причин, таким образом, чтобы в конце дерева отказов числились простейшие события, такие как отказ или планово-предупредительный ремонт.

Каждое из этих событий раскрывается через соответствующие показатели надежности, либо через параметр потокоотказов, либо через интенсивность восстановления, либо через интенсивность ППР. Данные величины принимаются по справочным таблицам и записываются в основании дерева в круглых блоках.

После построения дерева отказов логическое условие реализации конечного события или состояния записывается в форме функции отказа (ФО) путем выполнения указанных в дереве отказов операций логическо-

го сложения и умножения над символами элементарных событий и состояний, начиная с нижнего уровня.

Логико-вероятностный метод расчета надежности с использованием дерева отказов является дедуктивным методом и применяется в тех случаях, когда число различных видов отказов системы невелико. Этот метод широко распространился при исследованиях надежности технологических систем АЭС, включая схемы надежного питания установок собственных нужд.

4.3.3. Структурно-аналитический метод расчета надежности электроснабжения

Для расчета показателей надежности электроснабжения нагрузочного узла анализируется схема замещения сети на участке между источником питания и рассматриваемым узлом [7]. В схеме последовательно соединяются элементы, отказ любого из которых вызывает простой всей данной ветви, а параллельно соединяются ветви, отключение любой из которых не приводит к отключению других. В последовательную цепь кроме элементов данной ветви вводятся такие смежные выключатели, повреждение которых с развитием аварии приведет к отключению участков сети, например выключатели всех присоединений секций шин, к которым подключается анализируемая цепь.

При проектировании для расчета надежности сети может составляться структурная схема надежности, состоящая только из воздушных линий, трансформаторов и выключателей.

Для расчета других показателей вначале необходимо определить коэффициенты вынужденного и преднамеренного (планового) простоев:

$$K_{\text{в}} = \omega \cdot T_{\text{в}} ; \quad (4.18)$$

$$K_{\text{п}} = \omega_{\text{п}} \cdot T_{\text{п}} , \quad (4.19)$$

где ω – параметр потока отказов, отказ/год;

$\omega_{\text{п}}$ – средняя частота преднамеренных отключений, простой/год;

$T_{\text{в}}$ – среднее время восстановления, год/отказ;

$T_{\text{п}}$ – среднее время преднамеренных отключений, год/простой.

Кроме того могут потребоваться такие показатели, как коэффициенты ограничения мощности:

$$\varepsilon_{\text{в}} = \frac{P_{\text{а.откл}}}{P_{\text{мах}}} ; \quad (4.20)$$

$$\varepsilon_{\Pi} = \frac{P_{\text{п.откл}}}{P_{\text{max}}}, \quad (4.21)$$

где $P_{\text{а.откл}}$, $P_{\text{п.откл}}$ – отключаемая часть нагрузки на время устранения аварийных повреждений и при проведении плановых ремонтов электрических сетей;

P_{max} – наибольшая потребляемая мощность.

При полном перерыве электроснабжения $\varepsilon_{\text{в}} = \varepsilon_{\Pi} = 1$.

Элементы системы электроснабжения могут соединять последовательно, параллельно и смешанно.

При последовательном соединении элементов:

$$\omega = \sum_{i=1}^n \omega_i, \quad (4.22)$$

$$K_{\text{в}} = \sum_{i=1}^n K_{\text{в}i}, \quad (4.23)$$

$$K_{\Pi} = \max\{K_{\text{п}i}\}, \quad (4.24)$$

где $i=1, 2, \dots, n$ – порядковый номер элементов сети в последовательной цепочке.

При определении K_{Π} следует полагать, что плановые ремонты элементов, включенных в последовательную цепь, выполняются одновременно.

Поскольку отказ любого элемента цепи приводит к полному отключению потребителей, то в этом случае $\varepsilon_{\text{в}} = \varepsilon_{\Pi} = 1$.

Коэффициент готовности для последовательной цепи определяется:

$$K_{\Gamma} = \frac{1 - (K_{\Pi} + K_{\text{в}})}{1 - K_{\Pi}}. \quad (4.25)$$

Вероятность безотказной работы в течение года по выражению:

$$P(t) = e^{-\omega}. \quad (4.26)$$

При параллельном соединении элементов:

$$\omega = \omega_1 \cdot K_{B2} + \omega_2 \cdot K_{B1}. \quad (4.27)$$

$$K_B = K_{B1} \cdot K_{B2} + K_{B1} \cdot K_{П2} + K_{B2} \cdot K_{П1}. \quad (4.28)$$

При отсутствии ограничений пропускной способности в параллельных цепях, т.е. когда каждая цепь рассчитана на максимальную нагрузку, $K_{П} = 0$, $\varepsilon_{П} = 0$, то

$$K_B = K_{B1} \cdot K_{B2}. \quad (4.29)$$

Коэффициент готовности:

$$K_G = 1 - K_B. \quad (4.30)$$

Вероятность безотказной работы в течение года по выражению:

$$P(t) = e^{-\omega}. \quad (4.31)$$

Смешанное соединение элементов выглядит следующим образом (рис. 4.3).

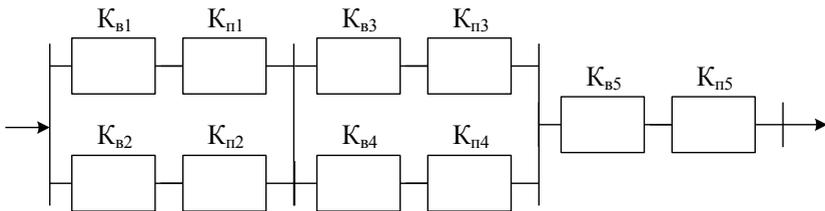


Рис. 4.3. Структурная схема надежности при смешанном соединении элементов

Примем исходное условие: параллельные элементы взаимно резервируют друг друга. В этом случае $K_{П1} = K_{П2} = K_{П3} = K_{П4} = 0$ и $\varepsilon_{П} = 0$.

Коэффициенты вынужденного простоя для параллельных элементов будут определяться по формулам:

$$K_{B6} = K_{B1} \cdot K_{B2}; \quad K_{B7} = K_{B3} \cdot K_{B4}. \quad (4.32)$$

Коэффициент вынужденного простоя для схемы рис. 4.4. определяется по выражению:

$$K_{\text{в}} = K_{\text{в6}} + K_{\text{в7}} + K_{\text{в5}}. \quad (4.33)$$

При рассмотрении двухцепных линий электропередачи могут возникнуть различные ситуации, связанные с возможным выходом из строя обеих цепей. Кроме того на некоторых участках сети может оказаться множество параллельных ветвей. Вероятность выхода из строя такого участка не велика, и он может быть исключен из рассмотрения.

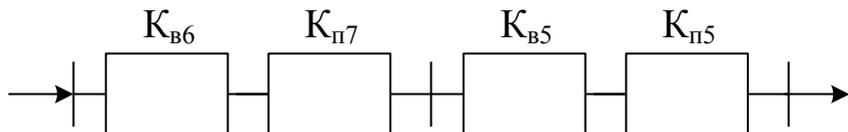


Рис. 4.4. Структурная схема надежности при смешанном соединении элементов

4.4. Методика технико-экономическое сравнение вариантов проектируемых или реконструируемых электрических сетей

4.4.1. Определение капитальных вложений

Капитальные вложения (K), как и все экономические показатели сравниваемых вариантов должны определяться в прогнозных ценах одного уровня и по источникам равной достоверности.

Расчеты капитальных вложений при отсутствии сметных данных могут приниматься по аналогам или укрупненным показателям стоимости линий и ПС с применением индексов пересчета на дату разработки проектных материалов.

Исходные данные для расчета предполагают:

- ручной ввод типа и количества силовых трансформаторов (n) и ячеек выключателей ВН (m) и НН (k);
- ручной ввод местоположения подстанции (региональная принадлежность), главной схемы РУ и номинального напряжения.
- ручной ввод индекса цен по капитальным вложениям объекта электроэнергетики на год проектирования ПС по отношению к уровню цен 2000 г.

Определение стоимости силовых трансформаторов и ячеек выключателей ВН и НН осуществляется по формулам (4.34) – (4.36), исходя из количества и типа оборудования. Источником стоимостных показателей является база данных электрооборудования.

$$K_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^n K_i, \quad (4.34)$$

где $K_{\text{тр}}$ – капитальные вложения в силовые трансформаторы, тыс. руб.;
 K_i – стоимость i -го силового трансформатора, тыс. руб.;
 n – количество силовых трансформаторов.

$$K_{\text{я.вн}} = \sum_{j=1}^m K_j, \quad (4.35)$$

где $K_{\text{я.вн}}$ – капитальные вложения в ячейки выключателей стороны ВН, тыс. руб.;
 K_j – стоимость j -ой ячейки выключателя стороны ВН, тыс. руб.;
 m – количество ячеек выключателей стороны ВН.

$$K_{\text{я.нн}} = \sum_{p=1}^k K_p, \quad (4.36)$$

где $K_{\text{я.нн}}$ – капитальные вложения в ячейки выключателей стороны НН, тыс. руб.;
 K_p – стоимость p -ой ячейки выключателя стороны НН, тыс. руб.;
 k – количество ячеек выключателей стороны НН.

Определение стоимости оборудования подстанции осуществляется сложением результатов блока 2, 3 и 4 по формуле (4.37).

$$K_{\text{обор}} = K_{\text{тр}} + K_{\text{я.вн}} + K_{\text{я.нн}}. \quad (4.37)$$

Для определения стоимости строительства подстанции с ВН 220 кВ и выше должны быть учтены затраты на организацию противоаварийной автоматики. Источником стоимости противоаварийной автоматики является база данных УСП.

Стоимость постоянной части затрат по ПС учитывает подготовку и благоустройство территории, ОПУ, устройство СН ПС, систему оперативного постоянного тока, компрессорную, внутриплощадочное водоснабжение, канализацию и подъездные дороги, средства связи и телемеханики, наружное освещение и ограду. Постоянная часть затрат принимается с учетом схемы электрических соединений и высшего напряжения ПС. Источником стоимости постоянной части затрат является база данных УСП.

Определение капитальных вложений в электрооборудование ПС осуществляется по формуле (4.38) с учетом повышающего зонального коэффициента к базисной стоимости электросетевых объектов. Значение повышающего зонального коэффициента зависит от региональной принадлежности подстанции.

$$K_{\Sigma} = (K_{\text{обор}} + C_{\text{па}} + C_{\text{пчз}}) \cdot K_{\text{зон}}, \quad (4.38)$$

где K_{Σ} – капитальные вложения в оборудование подстанции, тыс. руб.;

$K_{\text{обор}}$ – стоимость оборудования подстанции, тыс. руб.;

$C_{\text{па}}$ – стоимость противоаварийной автоматики, тыс. руб.;

$C_{\text{пчз}}$ – стоимость постоянной части затрат, тыс. руб.;

$K_{\text{зон}}$ – повышающий зональный коэффициент, тыс. руб.

Стоимость строительства подстанции зависит от уровня напряжения, на которое сооружается подстанция и определяется по формулам (4.39)–(4.40). Для строительства подстанций с высшим напряжением 220 кВ и выше:

$$C_{\text{стр.пс}} = K_{\Sigma} \cdot 1,21, \quad (4.39)$$

где K_{Σ} – капитальные вложения в оборудование ПС, тыс. руб.

Для строительства подстанций с высшим напряжением 35, 110 кВ:

$$C_{\text{стр.пс}} = K_{\Sigma} \cdot 1,23. \quad (4.40)$$

Стоимость постоянного отвода земельного участка для ПС принимается с учетом расчетных значений площади земельного участка под ПС, определяется по формуле (4.41). Площадь постоянного отвода земельного участка зависит от схемы электрических соединений и напряжения сооружаемой подстанции. Стоимость отчуждаемых земельных участков принимается на основе «Нормативов стоимости освоения новых земель взамен изымаемых сельскохозяйственных угодий для несельскохозяйственных нужд», утвержденных постановлением Правительства РФ от 28.01.1993 г. № 77 (с изменениями от 07.05.2003 г.).

$$C_{\text{зем.уч}} = (m \cdot S_{\text{вн}} + 0,5) \cdot C_{\text{земли}}, \quad (4.41)$$

где $C_{\text{зем.уч}}$ – стоимость постоянного отвода земельного участка, тыс. руб.;

m – количество ячеек выключателей стороны ВН;

$S_{\text{вн}}$ – площадь постоянного отвода земельного участка, м²;

$C_{\text{земли}}$ – стоимость отчуждаемых земельных участков, тыс. руб./м².

Суммируя капитальные вложения в электрооборудование, стоимость строительства подстанции и стоимость постоянного отвода земельного участка под строительство, получаем необходимый объем капитальных вложений на строительство подстанции. После чего производим пересчет стоимости затрат на строительство ПС в индексах цен текущего года по формуле (4.42).

$$K_{\text{ПС}} = (K_{\Sigma} + C_{\text{стр.пс}} + C_{\text{зем.уч}}) \cdot k_{\text{инф}}, \quad (4.42)$$

где K_{Σ} – капитальные вложения в оборудование подстанции, тыс. руб.;

$C_{\text{стр.пс}}$ – стоимость строительства подстанции, тыс. руб.;

$C_{\text{зем.уч}}$ – стоимость постоянного отвода земельного участка, тыс. руб.;

$k_{\text{инф}}$ – коэффициент инфляции относительно 2000 г.

4.4.2. Определение эксплуатационных издержек

Ежегодные эксплуатационные издержки производства представляют собой сумму всех отчислений и расходов, связанных с эксплуатацией данной электроустановки.

Исходные данные для расчета предполагают:

- ручной ввод типа и количества силовых трансформаторов (n);
- ручной ввод мощности нагрузки трансформатора;
- ручной ввод числа часов использования наибольшей нагрузки и стоимости потерь электроэнергии.

Определение общих годовых эксплуатационных расходов по ПС в зависимости от уровня напряжения осуществляется по (4.43)–(4.44).

Для подстанций с высшим напряжением 220 кВ и выше:

$$I_{\text{эксп}} = K_{\text{обор}} \cdot (4,9 + 6,7) / 100, \quad (4.43)$$

где $K_{\text{обор}}$ – капитальные вложения в оборудование ПС, тыс. руб.;

4,9 – отчисления на обслуживание и ремонт в процентах от первоначальных капитальных вложений в оборудование подстанции с высшим напряжением 220 кВ;

6,7 – отчисления на амортизацию в процентах от первоначальных капитальных вложений в оборудование подстанции.

Для подстанций с высшим напряжением 35 и 110 кВ:

$$I_{\text{эксп}} = K_{\text{обор}} \cdot (5,9 + 6,7) / 100, \quad (4.44)$$

Определение потерь холостого хода трансформаторов осуществляется по формуле (4.45). Источником потерь активной мощности в трансформаторе при холостом ходе является база данных электрооборудования.

$$\Delta P_{\text{хх}} = \Delta P_{\text{хх.тр}} \cdot n, \quad (4.45)$$

где $\Delta P_{\text{хх}}$ – суммарные потери холостого хода трансформаторов, кВт;

$\Delta P_{\text{хх.тр}}$ – потери активной мощности в трансформаторе при холостом ходе, тыс. руб.;

n – количество силовых трансформаторов.

Определение нагрузочных потерь трансформаторов осуществляется по формуле (4.46). Источником потерь активной мощности в трансформаторе при коротком замыкании является база данных электрооборудования.

$$\Delta P_{\text{нагр}} = \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{кз.тр}} \cdot \left(\frac{S_{\text{нагр}}}{S_{\text{ном.тр}}} \right)^2, \quad (4.46)$$

где $\Delta P_{\text{нагр}}$ – суммарные нагрузочные потери трансформаторов, кВт;

$\Delta P_{\text{кз.тр}}$ – потери активной мощности в трансформаторе при коротком замыкании, кВт;

$S_{\text{нагр}}$ – суммарная мощность нагрузки трансформаторов, кВА;

$S_{\text{ном.тр}}$ – номинальная мощность трансформаторов, кВА.

Определение времени наибольших потерь осуществляется по формуле (4.47).

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\text{нб}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760, \quad (4.47)$$

где τ – время наибольших нагрузок, ч;

$T_{\text{нб}}$ – число часов использования наибольшей нагрузки, ч.

Определение стоимости годовых потерь электроэнергии осуществляется по формуле (4.48).

$$\Delta И_3 = b \cdot \left(\Delta P_{\text{хх}} \cdot 8760 + \Delta P_{\text{нагр}} \cdot \tau \right), \quad (4.48)$$

где b – стоимость потерянной электроэнергии, руб./кВт·ч.

Суммируя общие годовые эксплуатационные расходы по ПС и стоимость годовых потерь электроэнергии получим эксплуатационные издержки, которые определяются по формуле (4.49).

$$И = И_{\text{эксп}} + \Delta И_3. \quad (4.49)$$

4.4.3. Определение экономического ущерба от нарушения электроснабжения

Экономический ущерб, наносимый потребителю в результате перерыва электроснабжения, зависит от потребляемой мощности, годовой продолжительности аварийных отключений, а также удельного ущерба от перерыва электроснабжения конкретных потребителей осуществляется по выражению (4.5).

4.4.4. Методика технико-экономического сравнения вариантов схем

Методика автоматизированного выбора схемы открытого распределительного устройства основана на определении суммарных приведенных затрат для всех возможных вариантов схем.

Методика технико-экономического сравнения вариантов стоимости строительства подстанций с ВН 35 кВ и выше и НН 6-10 кВ приведен на рис. 4.5.

Исходные данные для расчета (блок 1, рис. 4.5) предполагают:

- ручной ввод типа и количества силовых трансформаторов (n) и ячеек выключателей ВН (m) и НН (k);
- ручной ввод местоположения подстанции (региональная принадлежность), главной схемы РУ и номинального напряжения.
- ручной ввод индекса цен по капитальным вложениям объекта электроэнергетики на год проектирования ПС по отношению к уровню цен 2000 г.
- ручной ввод мощности нагрузки трансформатора;
- ручной ввод числа часов использования наибольшей нагрузки и стоимости потерь электроэнергии.
- ручной ввод типа предприятия.

Определение капитальных вложений в строительство подстанции (блок 2, рис. 4.5) осуществляется по алгоритму, приведенному в пункте 4.1. Определение стоимости издержек на обслуживание и эксплуатацию подстанции (блок 3, рис. 4.5) осуществляется по алгоритму, приведенному в пункте 4.2. Определение ущерба, наносимого потребителю в результате перерыва электроснабжения (блок 4, рис. 4.5) осуществляется по алгоритму, приведенному в пункте 4.3. Определение приведенных затрат на строительство и обслуживание подстанции (блок 5, рис. 4.5) осуществляется по формуле (4.1). Определение наилучшего варианта схемы (блок 6, рис. 4.5) осуществляется методом прямого перебора по критерию минимума приведенных затрат. Вывод (блок 7, рис. 4.5) рассчитанных значений осуществляется в *MSExel*.



Рис. 4.5. Блок-схема методики технико-экономического сравнения вариантов схем открытых распределительных устройств 35 кВ и выше

4.5. Работа с САПР

В разработанном САПР существует возможность расчета технико-экономических показателей (рис. 4.6). На вкладке 3 Group Box, содержащая поля максимальная мощность нагрузки ($S_{\text{нарг}}$), коэффициент инфляции ($k_{\text{инф}}$), стоимость потерь электроэнергии (β), время наибольших нагрузок ($T_{\text{нб}}$), число часов работы трансформатора ($t_{\text{раб}}$); срок окупаемости проекта (T).

Скриншот интерфейса программы САПР «Открытые распределительные устройства». Активная вкладка «Технико-экономический расчет» содержит следующие поля:

- Общая характеристика подстанции:**
 - Уном, кВ: 110
 - Схема подстанции: [выпадающий список]
 - Региональная принадлежность: [выпадающий список]
 - Индекс цен по отношению к 2000 г: [поле ввода]
 - Число часов использования наибольшей нагрузки: [поле ввода]
 - Стоимость потерь электроэнергии: [поле ввода]
 - Мощность предприятия: [поле ввода]
 - Тип предприятия: [выпадающий список]
- Данные о трансформаторе:**
 - Мощность, кВА: [выпадающий список]
 - Тип: [выпадающий список]
 - Количество: [выпадающий список]
- Выключатель:**
 - ВН: Тип: [выпадающий список]
 - Количество: [выпадающий список]
 - НН: Тип: [выпадающий список]
 - Количество: [выпадающий список]

Рис. 4.6. Вкладка «Технико-экономический расчет»

Существует возможность переключения между вкладками с помощью кнопок «Далее», «Назад».

Имеется вкладка меню, с помощью которой можно узнать характеристику каждой из существующих схем.

4.6. Пример расчета

Рассчитаем приведенные народнохозяйственные затраты в строительство подстанции с определением наилучшего варианта схемы открытого распределительного устройства. Ниже приведены три примера с технико-экономическим сравнением вариантов схем открытых распределительных устройств 35 кВ и выше.

Пример. Рассчитаем приведенные затраты в строительство подстанции 220/10 кВ.

Техническое задание на проектирование

1. Месторасположение ПС – Поволжье.
2. Мощность трансформаторов – 63 МВА.

3. Тип и количество трансформаторов – 2×ТРДЦН-63000/220.
 4. Количество присоединений на стороне ВН - 8.
 5. ЗРУ-10 кВ – 2-х секционное, рассчитанное на установку 38 ячеек вакуумных выключателей.
 6. ПА принята при количестве присоединений 110 кВ более двух.
 7. Мощность нагрузки трансформатора – 86 МВА.
 8. Число часов использования наибольшей нагрузки – 4600 ч.
 9. Стоимость потерь электроэнергии – 2,82 руб./ кВт·ч.
 10. Тип потребителя – Черная металлургия.
- Расчет затрат сведем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

Расчет затрат на строительство ПС (в базисных ценах 2000 г.)

Составляющие затрат	Величина затрат, тыс. руб.	
	Вариант 1	Вариант 2
Стоимость силовых трансформаторов	29400	
Стоимость ячеек 220 кВ	100000	112500
Стоимость ячеек 10 кВ	3230	
Стоимость оборудования ПС	132630	145130
Противоаварийная автоматика	1200	
Постоянная часть затрат	52000	
Капитальные вложения в оборудование ПС	185830	198330
Стоимость строительства ПС с учетом сопутствующих затрат	224854,3	239979,3
Стоимость постоянного отвода земельного участка (ОРУ и ЗРУ)	532000	596000
Капитальные вложения на строительство ПС	756854,3	835979,3
С учетом коэффициента инфляции на 2019 г.	4010949	4430272
Издержки на обслуживание и ремонт	15385,08	16835,08
Издержки на потерю электроэнергии	4288,286	
Эксплуатационные издержки	19673,37	21123,37
Годовая продолжительность аварийных отключений, ч	20,76	12,14
Ущерб от нарушения электроснабжения	99962,95	58464
Приведенные народнохозяйственные затраты	600950,2	611220
Экономически-целесообразный вариант	схема с двумя рабочими система шин	

В результате технико-экономического сравнения в качестве варианта схемы заданного распределительного устройства подстанции принимается схема с двумя рабочими система шин.

Результаты работы позволяют осуществить сравнительный расчет технико-экономических показателей возможных вариантов схем распределительных устройств подстанций. Разработанный подход позволяет быстро и эффективно оценить наилучший вариант схемы внешнего электроснабжения и тем самым сократить возможный ущерб потребителей от перерыва электроснабжения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрены вопросы автоматизированного выбора схем распределительных устройств и создания их однолинейных схем.

В пособии приведены требования, предъявляемые к схемам распределительных устройств. Описан алгоритм автоматизированного выбора технических реализуемых вариантов схемы. Приведен алгоритм автоматизированного создания однолинейных схем для выбранного варианта. Описана структура САПР «ОРУ САД» и приведена инструкция по его использованию. Особое внимание уделено экономической оценке предлагаемых САПР вариантов схемы и оценке их надежности.

Каждый раздел сопровождается примерами использования САПР.

Все рассмотренные в пособии вопросы входят в тематику выпускных квалификационных работ и затрагивают практически все виды практической деятельности выпускников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Фурсанов, М.И.** Основы автоматизированного проектирования электрической сети промышленного района [Текст] / М.И. Фурсанов, И.И. Дуль // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2012. – С. 18-24.

2. **Околович, М.Н.** Проектирование электрических станций: учебник для вузов [Текст] / М. Н. Околович. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312 с.

3. **СТО 56947007-29.240.30.047-2010.** Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35-750 кВ [Электронный ресурс]. – Введ. 2010-06-16. – Режим доступа: <http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.047-2010.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

4. **Панова, Е.А.** Алгоритм автоматизированного выбора схем электрических соединений открытых распределительных устройств напряжением 35-750 кВ в САПР «ОРУ САД» [Текст] / Е.А. Панова, А.В. Варганова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2018. – Т. 18. – № 3. – С. 52-60.

5. **Веников, В.А.** Электрические системы. Электрические сети: учеб. для электроэнерг. спец. вузов [Текст] / В.А. Веников, А.А. Глазунов, Л.А. Жуков и др.; под ред. В.А. Веникова, В.А. Строева– 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1998 – 511 с.

6. **Карапетян, И.Г.** Справочник по проектированию электрических сетей [Текст] / И.Г. Карапетян, Д.Л. Файбисович, И.М. Шапиро; под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.

7. **Хорольский, В.Я.** Техничко-экономические расчеты распределительных электрических сетей: учеб. пособие [Текст] / В.Я. Хорольский, М.А. Таранов, Д.В. Петров. – М: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2015. – 96 с.

8. **Непомнящий, В.А.** Экономические потери от нарушения электроснабжения потребителей [Текст] / В.А. Непомнящий – М.: изд-во дом МЭИ, 2010 – 188 с.

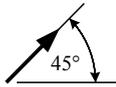
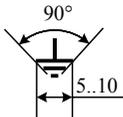
9. **Шеметов, А.Н.** Надежность электроснабжения: учебное пособие для студентов специальности 140211 «Электроснабжение» [Текст] / А.Н. Шеметов. – М.: изд-во Магнитогорск. ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006. – 141 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ П1

УСЛОВНО-ГРАФИЧЕСКИЕ И БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

Таблица П1.1

Выдержка из ГОСТ 2.721-74 ЕСКД. Обозначения условные графические
в схемах. Обозначения общего применения

Наименование	Графическое обозначение
1	2
Обозначения линий механической связи	
Линия механической связи в электрических схемах	- - -
Обозначения регулирования, саморегулирования и преобразования	
Линейное регулирование, задействованное органом управления	
Саморегулирование, вызванное физическими процессами (нелинейное)	
Обозначения заземления и возможных повреждений изоляции	
Заземление	
Защитное заземление	
Электрическое соединение с корпусом	 или 
Короткое замыкание	
Обозначения электрических связей, проводов, кабелей и шин	
Линия электрической связи	—

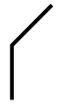
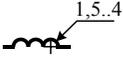
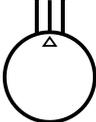
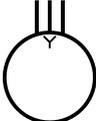
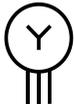
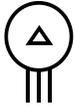
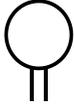
1	2
Линия электрической связи с ответвлением	
Графический излом линии электрической связи: под углом 90°	
под углом 135°	
Шина	
Шина с ответвлением	
Отпайки от шины	
Линия электрической связи, выполненная гибким проводом	
Обозначение рода тока и напряжения	
Постоянный ток	—
Полярность постоянного тока:	
положительная	+
отрицательная	-
Переменный ток	~
Обозначения видов обмоток в изделиях	
Однофазная обмотка с двумя выводами	
Трехфазная обмотка V-образного соединения двух фаз в открытый треугольник	∨
Трехфазная обмотка, соединенная в звезду	Y
Трехфазная обмотка, соединенная в звезду, с выведенной нейтралью	Y _n
Трехфазная обмотка, соединенная в звезду, с выведенной заземленной нейтралью	Y _n ⊥
Трехфазная обмотка, соединенная в треугольник	Δ
Трехфазная обмотка, соединенная в разомкнутый треугольник	Δ _o

Таблица П1.2

Выдержка из ГОСТ 2.722-68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические

Наименование	Графическое обозначение
1	2
Обмотка	
Статор	
Статор с трехфазной обмоткой, соединенной в треугольник	
Статор с трехфазной обмоткой, соединенной в звезду	
Ротор	
Ротор с распределенной обмоткой трехфазной, соединенной в звезду	
Ротор с распределенной обмоткой трехфазной, соединенной в треугольник	
Ротор с распределенной обмоткой однофазной или постоянного тока	
Ротор с распределенной обмоткой короткозамкнутый	
Генератор трехфазный	

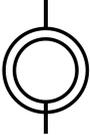
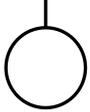
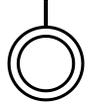
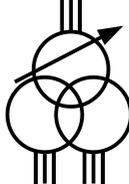
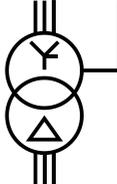
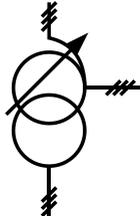
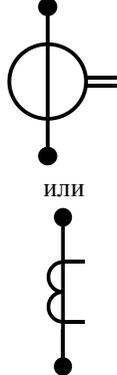
1	2
Двигатель асинхронный с фазным ротором	
Двигатель асинхронный с короткозамкнутым ротором	 <p style="text-align: center;">или</p> 
Двигатель синхронный	

Таблица П1.3

Выдержка из ГОСТ 2.723-68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители

Наименование	Графическое обозначение
1	2
Обмотка трансформатора	
Реактор	
Трансформатор однофазный с ферромагнитным магнитопроводом	

1	2
Трансформатор трехфазный с РПН	
Трансформатор трехфазный с расщепленной обмоткой низшего напряжения с РПН	
Трансформатор трехфазный с ферромагнитным магнитопроводом, соединение обмоток звезда с выведенной нейтральной точкой – треугольник	
Автотрансформатор силовой со встроенным РПН	
Трансформатор тока измерительный (одна вторичная обмотка)	

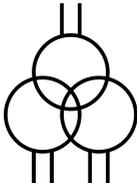
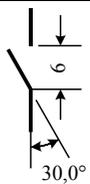
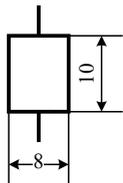
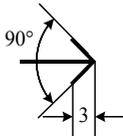
1	2
Трансформатор напряжения измерительный	
Трансформатор напряжения измерительный с двумя вторичными обмотками	

Таблица П1.4

Выдержка из ГОСТ 2.755-87 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения

Наименование	Графическое обозначение
1	2
Квалифицирующие символы	
Функция контактора	◄
Функция выключателя	×
Функция разъединителя	
Функция выключателя-разъединителя	◄
Автоматическое срабатывание	◻
Функция путевого или концевого выключателя	◄ ▽
Самовозврат	◄ ▽
Отсутствие самовозврата	○
Дугогашение	⚡
Контакты коммутационных устройств	
Замыкающий контакт	

1	2
Разъединитель	
Заземляющий разъединитель	
Выключатель	 <p style="text-align: center;">или</p> 
Выключатель нагрузки	
Выключатель автоматический	
Контакты и контактные соединения	
Штырь	 <p style="text-align: center;">или</p> 

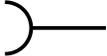
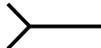
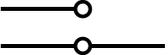
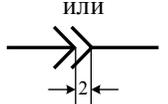
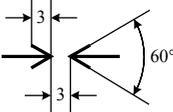
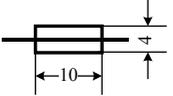
1	2
Гнездо	 или 
Разборное соединение	
Неразборное соединение	
Соединение контактное разъемное	 или 

Таблица П1.5

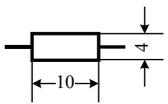
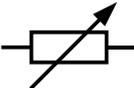
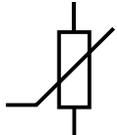
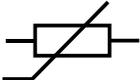
Выдержка из ГОСТ 2.727-68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Разрядники, предохранители

Наименование	Графическое обозначение
1	2
Искровой промежуток	
Предохранитель плавкий (общее обозначение)	
Разрядник (общее обозначение)	
Разрядник трубчатый	
Разрядник вентильный	

1	2
Выключатель-предохранитель	
Предохранитель пробивной	
Автоматический выключатель с предохранителем	

Таблица П1.6

Выдержка из ГОСТ 2.727-68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы

Наименование	Графическое обозначение
1	2
Резистор постоянный	
Резистор переменный	
Ограничитель перенапряжения: в вертикальной цепи в горизонтальной цепи	 

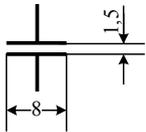
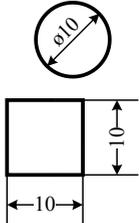
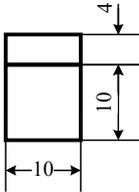
1	2
Конденсатор постоянной емкости	
Конденсатор переменной емкости	

Таблица П1.7

Выдержка из ГОСТ 2.727-68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электроизмерительные

Наименование	Графическое обозначение
1	2
Прибор электроизмерительный: показывающий регистрирующий	
интегрирующий (например, счетчик электрической энергии)	
При необходимости изображения нестандартизованных электроизмерительных приборов следует использовать сочетания соответствующих основных обозначений, например, комбинированный прибор, показывающий и регистрирующий.	

1	2
<p>Для указания назначения электроизмерительного прибора в его обозначение вписывают условные графические обозначения, установленные в стандартах ЕСКД, а также буквенные обозначения единиц измерения или измеряемых величин, которые помещают внутри графического обозначения электроизмерительного прибора:</p> <p>а) амперметр б) вольтметр в) вольтметр двойной г) вольтметр дифференциальный д) вольтамперметр е) ваттметр ж) ваттметр суммирующий з) варметр и) микроамперметр к) миллиамперметр л) милливольтметр м) омметр н) мегаомметр о) частотомер п) волномер р) фазомер: измеряющий сдвиг фаз измеряющий коэффициент мощности с) счетчик ампер-часов т) счетчик ватт-часов у) счетчик вольт-ампер-часов реактивный</p>	<p><i>A</i> <i>V</i>  ΔV <i>VA</i> <i>W</i> ΣW <i>var</i> μA <i>mA</i> <i>mV</i> Ω <i>M\Omega</i> <i>Hz</i> λ φ <i>cos\varphi</i> <i>Ah</i> <i>Wh</i> <i>varh</i></p>
<p>3. В обозначения электроизмерительных приборов допускается вписывать необходимые данные согласно действующим стандартам на электроизмерительные приборы.</p>	
<p>Вольтметр с цифровым отсчетом</p>	
<p>вольтметр с непрерывной регистрацией (самопишущий)</p>	

1	2
Синхроноскоп	
Токовая обмотка измерительных приборов	
Напряженческая обмотка измерительных приборов	

Таблица П1.8

Буквенные обозначения элементов электрических схем

Наименование	Буквенное обозначение
Генератор	<i>G</i>
Двигатель асинхронный	<i>M</i>
Двигатель синхронный	<i>MG</i>
Реактор	<i>LR</i>
Трансформатор, автотрансформатор	<i>T</i>
Трансформатор тока измерительный	<i>TA</i>
Трансформатор напряжения измерительный	<i>TV</i>
Устройство коммутационное	<i>S</i>
Разъединитель	<i>QS</i>
Заземляющий разъединитель	<i>QSG</i>
Выключатель	<i>Q</i>
Выключатель нагрузки	<i>QW</i>
Выключатель автоматический	<i>QF</i>
Короткозамыкатель	<i>QN</i>
Отделитель	<i>QR</i>
Разрядник	<i>FV</i>
Предохранитель	<i>F</i>
Резистор	<i>R</i>
Конденсатор	<i>C</i>
Ограничитель перенапряжения	<i>RU</i>
Приборы измерительные	<i>P</i>
Амперметр	<i>PA</i>
Частотомер	<i>PF</i>
Счетчик активной энергии	<i>PI</i>
Счетчик реактивной энергии	<i>PK</i>
Вольтметр	<i>PV</i>
Ваттметр	<i>PW</i>
Варметр	<i>PVA</i>

Учебное текстовое электронное издание

**Варганова Александра Владимировна
Панова Евгения Александровна**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ:
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СОЗДАНИЕ СХЕМ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ
НАПРЯЖЕНИЕМ 6-220 кВ ПОНИЗИТЕЛЬНЫХ
ПОДСТАНЦИЙ**

Учебное пособие

Издание 2-е

1,61 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2021 год
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Кафедра электроснабжения промышленных предприятий
Центр электронных образовательных ресурсов и
дистанционных образовательных технологий
e-mail: ceor_dot@mail.ru