

А.Н. Марикин, А.В. Мизинцев

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СООРУЖЕНИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Допущено

*Федеральным агентством железнодорожного
транспорта в качестве учебного пособия для
студентов вузов железнодорожного транспорта*

Москва
2008

УДК 621.331:621.311.4

ББК 39.217

М 26

Авторы: *А.И. Марикин* — глава 5; *А.В. Мизинцев* — главы 1,2,4,6; глава 3 — совместное написание

Рецензенты: зам. начальника Департамента «Электрификации и электроснабжения» ОАО «РЖД» *А.Р. Ранта*; зав. кафедрой «Энергоснабжение электрических ж.д.» МГУПС, д-р техн. наук, профессор *М.П. Бадёр*

Марикин А.И., Мизинцев А.В.

М 26 Новые технологии в сооружении и реконструкции тяговых подстанций: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. — М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. — 220 с.

ISBN 978-5-89035-504-1

В учебном пособии рассмотрены вопросы сооружения и реконструкции тяговых подстанций на основе индустриальных комплектно-блочных технологий, новые схемотехнические и конструктивные решения.

Предназначено для студентов специальности 190401 — «Электроснабжение железных дорог», а также эксплуатационного и ремонтного персонала, работающих с устройствами тягового электроснабжения.

УДК 621.331:621.311.4

ББК 39.217

ISBN 978-5-89035-504-1

© Марикин А.И., Мизинцев А.В., 2008

© ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008

© ООО «Издательский дом «Транспортная книга», 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глава 1. КОМПЛЕКТНО-БЛОЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СООРУЖЕНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ	13
1.1. Описание и общие принципы построения тяговых подстанций	13
1.2. Подсистемы тяговых подстанций	16
1.3. Основные компоненты подсистем.....	35
Глава 2. СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКТНО-БЛОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	42
2.1. Номенклатура подсистем, производимых по технологиям полной заводской готовности	42
2.2. Закрытое распределительное устройство 3,3 кВ постоянного тока	43
2.3. Закрытое распределительное устройство 27,5 кВ переменного тока	55
2.4. Закрытое распределительное устройство 6(10) кВ	66
2.5. Система управления тяговой подстанцией	74
2.6. Компонировочные решения тяговых подстанций	94
Глава 3. НОВОЕ КОММУТАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	103
3.1. Требования, предъявляемые к высоковольтным выключателям переменного и постоянного тока	103
3.2. Физические основы коммутации тока в выключателях постоянного тока	104
3.3. Физические основы коммутации тока в выключателях переменного тока	107
3.4. Вакуумные выключатели	116
3.5. Элегазовые выключатели	129
3.6. Быстродействующие выключатели нового поколения	134
Глава 4. ЛИНЕЙНЫЕ УСТРОЙСТВА ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	149
4.1. Современные пункты группировки на основе вакуумных выключателей	149

4.2. Посты секционирования	155
4.3. Пункты повышения напряжения постоянного тока	159
Глава 5. НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В РАЗВИТИИ СХЕМОТЕХНИКИ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	166
5.1. Распределенные тяговые сети	166
5.2. Управляемые тяговые сети постоянного тока	171
Глава 6. СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ПОЛНОЙ ЗАВОДСКОЙ ГОТОВНОСТИ	181
6.1. Этапы разработки и верификации проекта	181
6.2. Технологическая подготовка производства и производство	190
6.3. Монтажные и пуско-наладочные работы, организация сервисного обслуживания	202
6.4. Единая информационная система для управления проектированием и производством	210
Список литературы	217

Предисловие

Технология — это совокупность знаний о способах и средствах ведения производственных процессов, устойчивая последовательность операций и процессов, определенная по времени, затратам труда, энергии и ресурсов, которая приводит к достижению целевого результата при высоком уровне эффективности [1].

Эффективность — главный критерий оценки высоких технологий, целевой функцией которых являются минимизация затрат труда, времени, энергии и ресурсов на производство.

К началу 90-х годов прошлого века Россия ускоренными темпами перешла от планового принципа построения хозяйственно-экономических связей к рыночному, непременным условием которого является получение прибыли при отсутствии или минимальной финансовой поддержке государства. Бессистемный разрыв сложившихся экономических связей привел к резкому падению объемов промышленного и сельскохозяйственного производства, что в свою очередь значительно снизило потребность в транспортных перевозках. Железнодорожный транспорт, на долю которого приходится более 80 % всех грузовых и 40 % пассажирских перевозок, был поставлен в критическое финансовое, техническое и технологическое положение. С одной стороны, накоплены огромные материальные и интеллектуальные ресурсы, с другой — крайне низкая их востребованность и, как следствие, эффективность.

В значительной степени это коснулось системы тягового электроснабжения электрифицированных железных дорог, протяженность которых к настоящему времени составляет 49,8 % от общей протяженности. Начиная с 1998 г. наметился рост инвестиций в железнодорожную отрасль, которые были направлены на структурную реформу с целью адаптации к новым рыночным условиям; обновление основных фондов, износ которых к 2001 г. превысил 55 %; снижение затрат на перевозки за счет внедрения новых технологий и технических средств. Последнее является главным условием обеспечения конкурентоспособности железнодорожного транспорта.

Основное внимание при этом уделяется реконструкции устройств электроснабжения, включающего в себя:

1. Процесс коренного переустройства действующего производства на базе технического и организационного совершенствования, комплексного обновления и модернизации основных фондов.

2. Полное обновление в целом (тяговые подстанции, посты секционирования и т.п.) основного и вспомогательного электрооборудования и устройств электрифицированных участков общесетевого (федерального) значения (перевод на переменный ток, на более высокое напряжение постоянного тока, внедрение распределенных и управляемых сетей) [1].

Одним из направлений совершенствования хозяйства электроснабжения являются тяговые подстанции, общее количество которых к настоящему времени достигло 1393, для питания различных систем электрической тяги [2]. Благоприятный инвестиционный климат позволил в 2000 г. на базе одного из подразделений ФГУП «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова», входящего в структуру Минатома, создать ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО», задачей которого стала разработка новой концепции сооружения и монтажа тяговых подстанций с последующим производством и поставкой электрооборудования на объекты электроснабжения железнодорожного транспорта.

Существующие к этому времени технологии предполагали следующий цикл сооружения тяговых подстанций: отвод территории под открытую и закрытую части подстанции, строительство капитального здания закрытой части подстанции с прокладкой всех необходимых коммуникаций для тепло- и водоснабжения, а также водоотведения, поставку с различных предприятий России и стран ближнего зарубежья электрооборудования для закрытой и открытой частей, монтаж электрооборудования на объекте, наладку и приемо-сдаточные испытания, сдачу объекта в эксплуатацию.

Такая технология имела следующие недостатки:

- сложная технологическая цепочка взаимодействия предприятий-изготовителей;
- значительные площади, занимаемые под электрооборудование;
- большие сроки ввода в эксплуатацию (8—12 месяцев);
- низкая эксплуатационная надежность;
- большие капитальные и эксплуатационные расходы.

С 2000 г. по заданию Департамента электроснабжения и электрификации с участием ВНИИЖТа, МГУПСа (МИИТ), ПГУПСа, УрГУПСа в ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» начата разработка новой технологии, позволяющей в значительной степени преодолеть существующие проблемы. Эта технология получила название комплектно-блочной. Суть ее заключается в том, что на одном предприятии осуществляется исследование и конструирование, проектирование, производство, испытания, монтаж, наладка, сервисное и гарантийное обслуживание. К этому же времени появились новые технические средства, разработаны новые схемные решения систем электроснабжения тяги поездов (рис. 1).

В основу комплектно-блочных технологий положена концепция создания необслуживаемой подстанции без постоянного эксплуатационного персонала, которая базируется на следующих основополагающих принципах:

- использование при сооружении новых и реконструкции действующих подстанций высоконадежного оборудования, не требующего постоянного присутствия дежурного персонала и техническое обслуживание которого минимально;

- применение средств автоматизации и функциональной диагностики всего оборудования подстанции, что позволяет перейти от обслуживания «по регламенту» к обслуживанию «по необходимости» (по фактическому состоянию).

Кроме реализации этих принципов, при создании подстанций необходимо обеспечить:

- значительное повышение технико-эксплуатационных, энергетических, экономических показателей работы подстанции;

- минимизацию затрат на сооружение (реконструкцию) здания подстанции;

- учет реальных уровней загрузки участков железной дороги;
- обеспечение требований экологичности и электромагнитной совместимости;

- электробезопасность.

Результатом реализации такого подхода является не просто разработка нового комплекса оборудования для подстанций, но и внедрение новых технологий электрификации и реконструкции, охватывающих все этапы: автоматизированное проектирование системы тягового электроснабжения для конкретного участка, изготовление

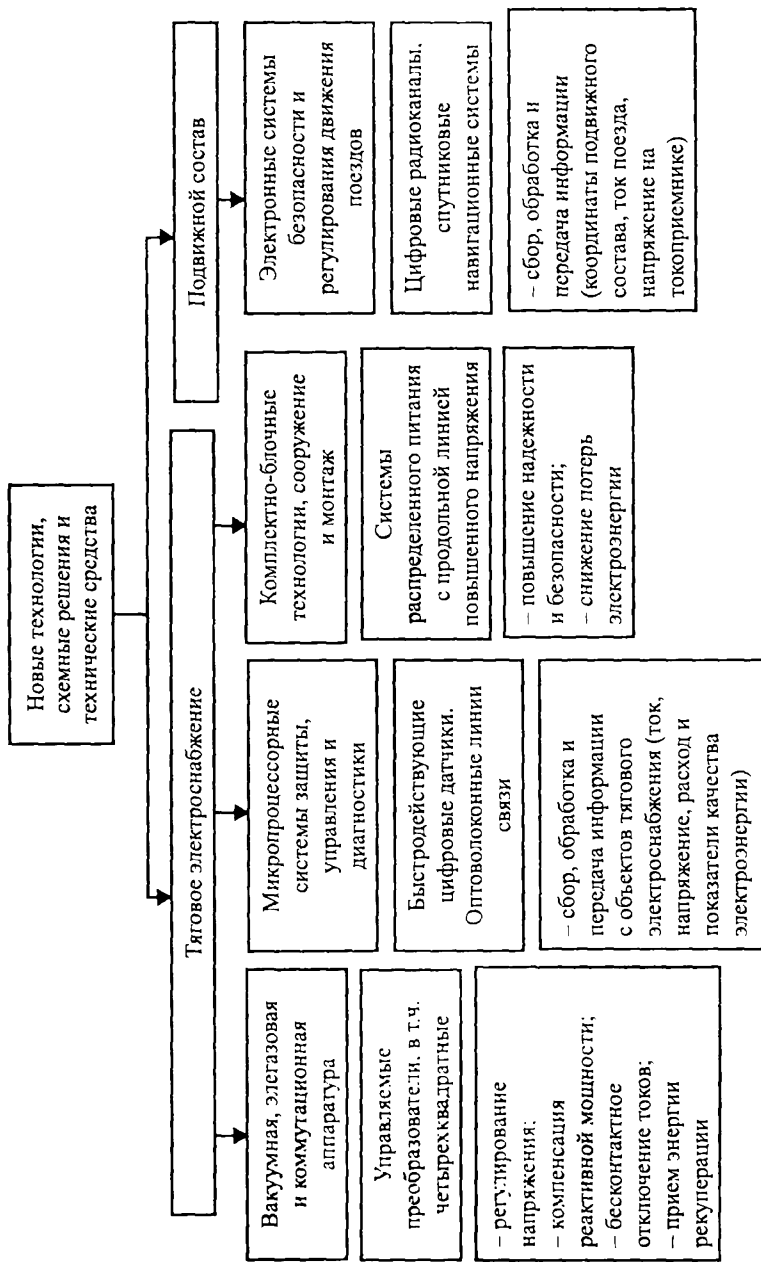


Рис. 1. Новые технические средства и новые схемные решения систем электроснабжения тяги поездов

и наладка оборудования в условиях современного производства, монтаж на месте эксплуатации и минимизация технического обслуживания при эксплуатации.

Для реализации перечисленных целей требуется решение следующих основных технических задач:

1. Внедрение оборудования, не требующего постоянного присутствия дежурного персонала и дающего возможность сосредоточить обслуживание квалифицированным персоналом, оперативное управление в центрах (железнодорожных узлах и крупных населенных пунктах) с развитой инфраструктурой.

2. Упрощение схем главных электрических соединений подстанций, определяющих количество оборудования, режимы его работы и основные энергетические показатели.

3. Определение перечня основных силовых компонентов и их конструктивного исполнения, позволяющего снизить затраты, обеспечить высокие гарантийные сроки и минимизировать или исключить техническое обслуживание.

4. Разработка схем вторичных цепей на основе микропроцессорных фидерных терминалов, выполняющих все функции на данном присоединении, включая диагностику состояния силового оборудования и самодиагностику.

5. Организация высоконадежной системы управления подстанцией, обеспечивающей работу без постоянного дежурного персонала, доступность и достоверность информации о техническом состоянии оборудования.

6. Определение оптимальной технологии проведения всех работ при условии обеспечения бесперебойного электроснабжения.

Решение выше указанных технических задач позволяет:

снизить потери электроэнергии в системе тягового электроснабжения и повысить энергетические показатели системы;

сократить затраты на техническое обслуживание за счет оптимизации трудовых, энергетических и материальных ресурсов;

повысить надежность функционирования всего оборудования и безопасность персонала.

Мировой опыт показывает, что составляющими реализации малополночной технологии являются:

1. Внедрение систем тягового электроснабжения, обеспечивающих минимальное количество опорных подстанций с привязкой их к объек-

там других служб или крупным населенным пунктам. На линии должны оставаться максимально упрощенные электроустановки, не требующие технического обслуживания.

2. Использование высоконадежного оборудования, не требующего планово-предупредительного ремонта в течение установленного срока службы или постоянного присутствия обслуживающего персонала.

3. Максимальная автоматизация процедур обслуживания, которая достигается путем создания автоматизированных систем управления технологическими процессами.

4. Высокоэффективная инфраструктура эксплуатации и технического обслуживания подстанций.

Сегодня, благодаря росту надежности отдельных компонентов электрооборудования и появлению современных материалов, это становится возможным практически.

Применение повторяющихся унифицированных решений для построения отдельных подсистем тяговых подстанций стало возможным в результате минимизации габаритов, стандартизации отдельных составляющих.

Ранее подстанции сооружались на основе использования оборудования, весьма разнородного по степени функциональной за-



Рис. 2. Комплектно-блочная конструкция на объекте

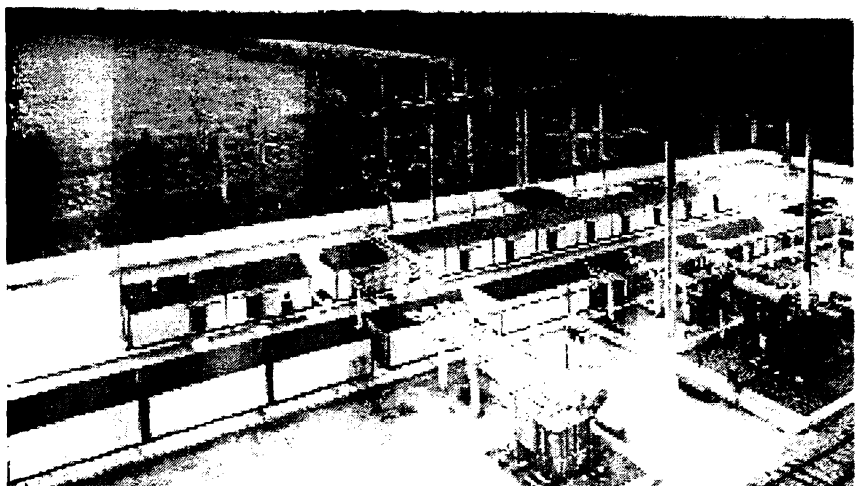


Рис. 3. Тяговая подстанция контейнерного типа



Рис. 4. Компоновка комплектно-блочного оборудования в здании подстанции

вершенности, а также по своим конструктивным, технологическим, эксплуатационным и прочим параметрам. Это создавало много проблем при проектировании и комплектации подстанций, при «стыковке» разнородного оборудования на месте эксплуатации, при техническом обслуживании, ремонте и модернизации и служило косвенной причиной травматизма.

Кардинальное решение этих проблем может быть достигнуто только на основе создания комплекта укрупненных функциональных блоков полной заводской готовности, позволяющего путем агрегатирования соответствующих разновидностей блоков реализовать все требуемые типы подстанций и в то же время учесть особенности конкретных условий в каждом отдельном случае.

В основе требований к конструкции таких блоков должна лежать безопасность их обслуживания.

Комплект функциональных блоков для модернизации и реконструкции подстанций должен, кроме того, удовлетворять следующим требованиям:

– функциональные блоки должны поставляться на монтажную площадку подстанции в полностью смонтированном виде, агрегатирование должно сводиться к монтажу внешних ошиновок, элементы которых также должны поставляться в готовом виде (рис. 2);

– функциональные блоки могут устанавливаться как в отдельных контейнерах (рис. 3), так и в капитальных или быстровозводимых зданиях (рис. 4);

Кроме того, должна быть обеспечена возможность использования контейнеров с функциональными блоками по отдельности (например, для создания временных схем при капитальном ремонте или реконструкции).

Авторы приносят глубокую благодарность доктору технических наук, профессору М.П. Бадёру, заместителю начальника Департамента «Электрофикация и электроснабжение» ОАО «РЖД» А.Р. Ранте, доктору технических наук, профессору Пупышину В.Н. за ценные замечания, сделанные при редактировании рукописи, а также докторам технических наук, профессорам А.Т. Буркову, А.В. Агунову, кандидатам технических наук С.Н. Васильеву и А.П. Самонину, А.Ю. Попову за предоставление информационных материалов и советы.

Глава 1. КОМПЛЕКТНО-БЛОЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СООРУЖЕНИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

1.1. Описание и общие принципы построения тяговых подстанций

Тяговые подстанции предназначены для питания транспортных средств на электрической тяге через тяговую сеть с номинальным напряжением 3,3 кВ постоянного тока или 27,5 кВ переменного тока промышленной частоты железных дорог.

Оборудование, входящее в состав тяговой подстанции, разделено на функционально и конструктивно законченные укрупненные узлы — функциональные блоки (ФБ), которые состоят из сборки ячеек, шкафов, панелей отдельных компонентов, первичных датчиков, микропроцессорных контроллеров, объединенных несущими конструкциями, общим силовым токопроводом и вторичными цепями [3].

Тяговая подстанция сооружается из функциональных блоков, легко механически стыкующихся между собой с набором готовых шин и кабелей для быстрого электрического соединения. Функциональные блоки могут размещаться в любой «оболочке» — в тоннеле, капитальном или быстровозводимом здании, металлическом или бетонном контейнере (модуле) (рис. 1.1).

На открытых площадях подстанций располагаются функциональные блоки распределительных устройств высокого напряжения 110(220) кВ (*I*), которые комплектуются элегазовыми силовыми выключателями, трансформаторами тока и напряжения, разъединителями, гибкими и жесткими шинпроводами. Возможно применение комбинированных устройств с элегазовыми выключателями и элегазовой изоляцией для сокращения площадей ОРУ. В экономически обоснованных случаях РУ высокого напряжения можно выполнять закрытыми с расположением оборудования в здании подстанции.

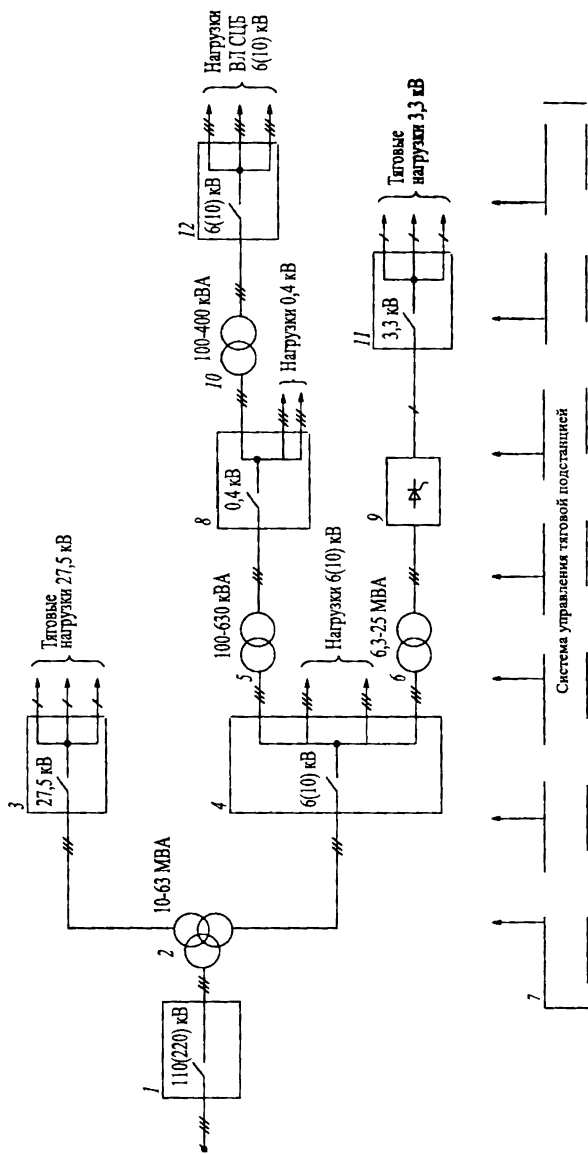


Рис. 1.1. Структурная схема постоянного и переменного тока тяговых подстанций

Масляные понижающие трансформаторы (2) располагают на открытой части подстанции. Тяговые трансформаторы (6), как правило, выполняются также масляными и располагаются на открытой части, но, в зависимости от требуемых мощностей, тяговые трансформаторы до 12 МВА могут выполняться сухими и располагаться как на открытой части подстанции и специальном защитном кожухе, так и в здании. Трансформаторы собственных нужд (5) и трансформаторы ВЛ СЦБ (10) выполняются сухими и располагаются за защитными ограждениями в здании или контейнере тяговой подстанции.

Функциональные блоки распределительных устройств переменного тока 27,5 кВ (3) выполняют закрытыми на базе ячеек с воздушной изоляцией типа КЛ-27,5 кВ или ячеек с элегазовой изоляцией типа 8DA. Оба типа ячеек комплектуются вакуумными выключателями и современным оборудованием силовых и вторичных цепей.

РУ-10 кВ (4) и РУ-10 кВ ВЛ СЦБ 12 выполняют на базе функциональных блоков с ячейками типа КРУ с выкатными элементами или камерами типа КСО со стационарно установленными выключателями. Выбор конкретного типа ячеек определяется проектом подстанции и требуемыми показателями надежности.

Функциональные блоки собственных нужд переменного и постоянного оперативного тока 0,4 кВ (8) выполняются на базе шкафов с вычными или стационарными выключателями.

Функциональные блоки выпрямительных агрегатов (9) содержат современные полупроводниковые управляемые тиристоры или мощные диоды.

Тяговые распределительные устройства постоянного тока 3,3 кВ (11) содержат функциональные блоки на базе ячеек со стационарно установленными или выкатными быстродействующими автоматическими выключателями нового поколения и микропроцессорным управлением и защитой. Типы ячеек определяются проектом подстанции и дополнительными требованиями надежности работы оборудования.

Общеподстанционное управление (7) выполняется двухуровневым на базе микропроцессорных контроллеров. Тяговая подстанция содержит необходимые устройства сопряжения для ее включения в существующую систему телемеханического управления энергоучастком.

Комплектно-блочная технология при сооружении тяговых подстанций обеспечивает следующие преимущества:

- повышение качества изготовления и надежности;
- высокую заводскую готовность оборудования, включая телеуправление и энергоучет;
- сокращение сроков ввода в эксплуатацию (пусковая готовность 3–4 недели после окончания строительных работ);
- возможность использовать набор функциональных блоков в различных сочетаниях в зависимости от требований проекта при реконструкции;
- сокращение сроков и затрат на проектирование, т.к. значительная часть проектной документации входит в состав документации на функциональные блоки;
- простоту установки и монтажа оборудования;
- наличие одного поставщика, гарантирующего работу всех подсистем, входящих в функциональный блок или модуль.

В результате происходит снижение общих затрат на сооружение объекта и эксплуатацию.

Появился новый принцип производства — функциональные блоки, в которых агрегатировано несколько видов оборудования. Сооружение тяговых подстанций стало действительно эффективным от этапа проектирования до сдачи объекта в эксплуатацию.

1.2. Подсистемы тяговых подстанций

Тяговая подстанция рассматривается как комплект электротехнического и вспомогательного оборудования, предназначенных для надежного питания через тяговую сеть. Тяговой подстанцией, как подсистемой тягового электроснабжения электроподвижного состава, называется комплект силового оборудования и оборудования вторичной коммутации, выполненный на базе функциональных блоков и предназначенный для выполнения распределения электрической энергии высокого напряжения 110 или 220 кВ, питания тяговой сети постоянного тока 3,3 кВ или переменного тока 27,5 кВ, преобразования энергии переменного тока одного класса напряжения в другой, преобразования энергии переменного тока в постоянный, распределения энергии среднего напряжения 6(10) кВ и низкого на-

пряжения 0,4(0,23) кВ, обеспечения управления подстанцией и т.д.

Таким образом, в составе тяговых подстанций можно выделить следующие основные подсистемы:

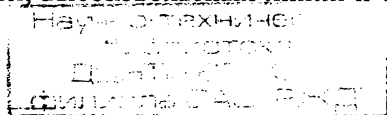
- открытое распределительное устройство 110(220) кВ;
- понижающие трансформаторы, тяговые трансформаторы, трансформаторы СЦБ и собственных нужд;
- распределительное устройство 27,5 кВ переменного тока;
- распределительное устройство 3,3 кВ постоянного тока;
- распределительное устройство 6(10) кВ и распределительное устройство ВЛ СЦБ;
- выпрямительный агрегат;
- собственные нужды и др.

Согласованная и бесперебойная работа всех подсистем обеспечивается с помощью единой системы управления тяговой подстанцией.

В настоящее время многими производителями предлагаются к поставке на тяговые подстанции и другие объекты электроснабжения железных дорог различные по техническим характеристикам, схемному и конструктивному исполнению, качеству и надежности электротехническое оборудование. Наблюдается тенденция все большего использования импортного оборудования, выполненного в соответствии со стандартами Международной электротехнической комиссии (МЭК). Однако такое оборудование требует дополнительного исследования и адаптации при применении на железных дорогах Российской Федерации. Особенно это касается специальных подсистем, отвечающих за бесперебойное электроснабжение подвижного состава.

1.2.1. Открытое распределительное устройство 110(220) кВ

Схемы ОРУ высокого напряжения определяются местоположением подстанции в системе внешнего электроснабжения, а также тем, с какой целью сооружается ОРУ: предназначено ли оно для питания только понижающих трансформаторов и преобразователей, или одновременно используется для питания нетяговых потребителей, высоковольтных линий и трансформаторов района.



Схемные и конструктивные решения ОРУ на 110 и 220 кВ принципиально одинаковы. Исполнения ОРУ классифицируют по типу подстанции: опорная, транзитная, отпасная или стыковочная, и схемам трансформации: одноступенчатая или двухступенчатая.

Сборные шины ОРУ сооружают на железобетонных порталах. Все коммутационное оборудование: высоковольтные выключатели, трансформаторы напряжения, трансформаторы тока, разрядники — размещают на одном уровне. Установка оборудования должна быть выполнена с учетом минимальных расстояний между токоведущими частями, токоведущими частями и заземленными конструкциями, а также минимальных безопасных расстояний до частей, находящихся под напряжением.

В начале электрификации тяговые подстанции комплектовались бакowymi масляными выключателями высокого напряжения, где масло служило изоляционной и дугогасящей средой, по мере развития коммутационной техники выключатели заменялись на маломасляные (где масло служит только дугогасящей средой). На ряде подстанций применялись воздушные выключатели, отделители и короткозамыкатели. В настоящее время масляные, маломасляные, воздушные выключатели, отделители и короткозамыкатели не рекомендуются к применению в схемах главных соединений ОРУ-110(220) кВ. При реконструкции и новом строительстве ОРУ рекомендуется применять элегазовые колонковые выключатели типа ВГТ, ВГУ, ВГГ (Энергомаш, Россия), элегазовые бакowe выключатели ВЭБ, ВГБЭ (Энергомаш, Россия), элегазовые трансформаторы тока ТГ (ABB, Швеция) и напряжения НКФ (также возможно применение новейших оптических трансформаторов тока), разъединители SFG, РДП, с гибкими и жесткими шинопроводами. В обоснованных случаях возможно применение комбинированных устройств с элегазовыми выключателями и элегазовой изоляцией типа PASS (ABB, Швеция) или выполнять РУ-110(220) кВ типа 8DN (Siemens, Германия) с расположением оборудования в здании подстанции или контейнерах.

1.2.2. Понижающие трансформаторы, тяговые трансформаторы, трансформаторы СЦБ и собственных нужд

Масляные понижающие трансформаторы типа ТДТНЖ или ТДТН располагают на открытой части подстанции.

Тяговые (преобразовательные) трансформаторы выполняются масляными типа ТРДП с расположением на открытой части подстанции или сухими типа ТСЗ с расположением на открытой части в защитном кожухе или здании подстанции. Трансформаторы собственных нужд и трансформаторы ВЛ СЦБ рекомендуется выполнять сухими с открытыми обмотками не экранированными твердой изоляцией, с естественным охлаждением типа ТСЗ (Электрофизика, Россия).

Сухие трансформаторы изготавливаются с открытыми обмотками и превосходят трансформаторы с литой изоляцией из компаунда на основе эпоксидной смолы по перегрузочной способности, условиям эксплуатации, экологичности, пожаробезопасности и др. Высокие технические характеристики и эксплуатационные показатели достигаются за счет использования ряда оригинальных технических решений, применения новых материалов и технологий, а также контроля качества на всех этапах изготовления трансформаторов.

В сухих трансформаторах с открытыми обмотками, пропитанных смолой, изготовленной в компании Дюпон методом вакуум-давления с последующей ее полимеризацией при высокой температуре, достигается прочное изоляционное покрытие катушек толщиной до 0,2 мм, которое гарантирует надежный уровень изоляции и защиту от воздействия окружающей среды и одновременно не препятствует эффективному охлаждению. Применение в производстве катушек изоляции типа NOMEX класса нагревостойкости 220 °С определяет высокую стойкость трансформаторов к постоянным перегрузкам.

В качестве главной изоляции используется изоляционный цилиндр из практически негорючего и самозатухающего материала, армированного стекловолокном, на котором расположена высоковольтная обмотка с вертикальными и горизонтальными каналами охлаждения.

Магнитная система трансформатора собрана из тонколистовой (0,3 мм) холоднокатаной анизотропной электротехнической стали по технологии Step-Lap, что обеспечивает уменьшение потерь, тока холостого хода и уровня шума.

Пожаробезопасность обеспечивается применением в конструкции трансформатора в минимальном количестве трудносгораемых и не содержащих токсичных добавок изоляционных материалов.

1.2.3. Распределительное устройство 27,5 кВ переменного тока

Распределительные устройства переменного тока на напряжение 27,5 кВ (РУ-27,5 кВ) используются для питания тяговых сетей переменного тока.

РУ-27,5 кВ служат для приема и распределения напряжения 27,5 кВ от понижающих силовых трансформаторов, передачи напряжения в тяговую сеть, в цепи питания фидеров «два проводарельс», в цепи собственных нужд тяговых подстанций, организации плавки гололеда и профилактического подогрева проводов контактной сети, подключения фильтр-компенсирующих устройств.

Классификация возможных исполнений РУ-27,5 кВ приведена на рис. 1.2.

Различают РУ-27,5 кВ наружной (ОРУ) и внутренней (ЗРУ) установки. ОРУ-27,5 кВ с воздушной изоляцией применяли в начале электрификации на переменном токе. В блоках ОРУ на единой раме устанавливалось силовое оборудование: масляные выключатели, разъединители с моторными и ручными приводами, трансформаторы тока и напряжения, шкафы зажимов, ошиновка, сетчатые ограждения. Монтаж тяговой подстанции заключался в расстановке блоков на специально подготовленной территории с фундаментами и маслоприемниками (в случае применения масляных выключателей), блоки между собой связывались жесткой и (или) гибкой ошиновкой и обеспечивались высоковольтные подключения к понижающим трансформаторам и фидерам на порталах. По мере совершенствования коммутационной техники масляные выключатели заменили вакуумные, где масло выступало лишь защитной средой от внешних климатических воздействий, и не избавляло эксплуатационные службы от необходимости контролировать параметры масла и содержать в своем составе специальные группы и лаборатории масляного хозяйства. В последнее время вакуумные выключатели наружной установки изготавливаются полностью сухими и не содержат в своей конструкции масла. В здании или контейнере подстанции располагается оперативный пункт управления (ОПУ) с блоками ОРУ, который состоит из ряда шкафов с установленными в них устройствами защит, автоматики, управления, сигнализации и измерений в каждом блоке.

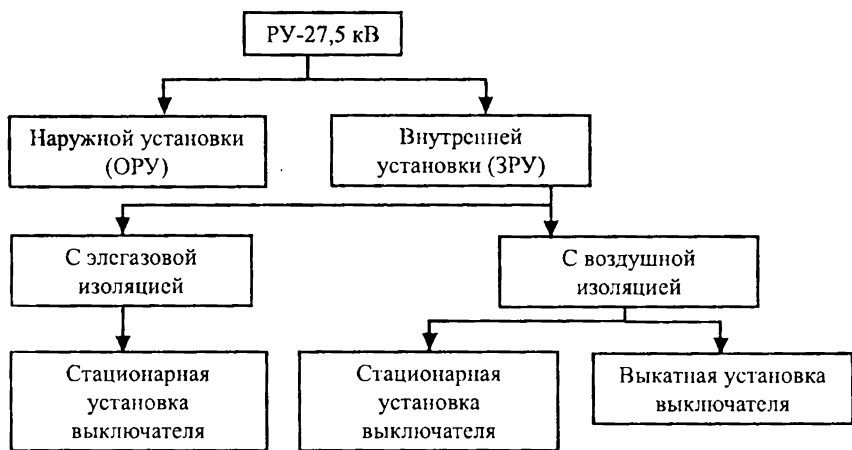


Рис. 1.2. Классификация исполнений РУ-27,5 кВ

Основными достоинствами блоков ОРУ являются простота конструкции, монтажа, наладки, эксплуатации и технического обслуживания, доступность компонентов для проведения ревизий и осмотров. Основными недостатками блоков ОРУ являются большие площади, занимаемые распределительным устройством, воздействие климатических (дождь, снег, гололед) и внешних (загрязненность, запыленность и др.) факторов, дополнительные, достаточно протяженные связи цепей вторичной коммутации силового оборудования и ОПУ, низкая степень электробезопасности эксплуатационного персонала, сложности с оперативной заменой отказавшего силового оборудования, дополнительные затраты энергии на обогрев приводов выключателей и разъединителей, большая потребляемая мощность включающих электромагнитов выключателей ввиду массивности конструкции подвижных частей. Но, несмотря на это, блоки ОРУ обладают достаточной степенью надежности и применяются при расширении действующих РУ-27,5 кВ при наличии необходимых площадей на тяговой подстанции.

В настоящее время при реконструкции или новом строительстве РУ-27,5 кВ впервые предложено выполнять внутренней установки на базе функциональных блоков полной заводской готовности.

Различают ЗРУ-27,5 кВ с элегазовой изоляцией и воздушной изоляцией.

В ЗРУ с элегазовой изоляцией основной изолирующей средой между токоведущими и заземленными частями ячеек является элегаз. Как правило, ячейки ЗРУ с элегазовой изоляцией одностороннего обслуживания. Высоковольтные выключатели в ЗРУ данного типа — вакуумные стационарной установки. Элегаз служит лишь изоляционной средой, не являясь дугогасящей средой при коммутациях и аварийных отключениях энергии, и не может в случае утечки оказывать поражающее действие на эксплуатационный персонал. В элегазе также размещены разъединители с моторными и ручными приводами и трансформаторы напряжения. Как правило, элегазовый объем ячейки отделен от элегазового объема сборных шин. Трансформаторы тока и ограничители перенапряжений выполняются съемными специально исполнения и располагаются вне элегазового объема.

В зависимости от особенностей конструкции различают ЗРУ с пофазной (однополосной) изоляцией токоведущих шин в элегазе, когда каждая из токоведущих шин находится в своем объеме (капсуле), и ЗРУ с трехфазной изоляцией шин в элегазе, когда все три фазы располагаются в одном элегазовом объеме.

Основными достоинствами ЗРУ с элегазовой изоляцией являются небольшие занимаемые площади по сравнению с РУ другого типа, что позволяет значительно снизить капитальные затраты при сооружении тяговой подстанции, высокая надежность работы, минимум требуемого технического обслуживания, высокая степень безопасности за счет размещения токоведущих частей в изолированном объеме.

Основными недостатками ЗРУ с элегазовой изоляцией являются возможность использования только кабельных высоковольтных подключений к РУ с помощью специальных герметичных адаптеров и муфт, необходимость отключения всего РУ при модернизациях и расширениях, применение только специальных трансформаторов тока.

Применение ЗРУ-27,5 кВ с элегазовой изоляцией целесообразно при значительных пространственных ограничениях, например, в крупных городах из-за плотности застройки и большой стоимости земли, в труднодоступных районах, в районах с сильно загрязненной атмосферой, в скальном грунте с ограниченными или трудно осваиваемыми площадями под подстанцией.

Для тяговых подстанций возможно применение следующих ЗРУ-27,5 кВ с элегазовой изоляцией: с пофазной изоляцией —

8DA11/12 (Siemens, Германия), с изоляцией в одном элегазовом объеме — NXPLUS (Siemens, Германия).

В ЗРУ с воздушной изоляцией основной изолирующей средой между токоведущими и заземленными частями ячеек является воздух. Ячейки ЗРУ обеспечивают одностороннее обслуживание. Высоковольтные выключатели в ЗРУ данного типа — вакуумные стационарной или выкатной установки. Ячейки ЗРУ со стационарной установкой выключателей (типа КСО) имеют простую конструкцию, когда на одной раме агрегированы: силовой вакуумный выключатель, разъединители, литые трансформаторами тока и напряжения, жесткая ошиновка, низковольтный отсек с фидерным терминалом. Ячейки типа КСО имеют систему электромагнитных блокировок для предотвращения ошибочных действий эксплуатационного персонала и предназначены для кабельного или шинного высоковольтного подключения.

Основными достоинствами ячеек типа КСО являются: использование минимального количества подвижных частей, доступность компонентов для проведения периодических осмотров и ревизий, отсутствие специальных требований к помещению РУ.

Основными недостатками ячеек типа КСО являются: отсутствие разделения на отсеки с металлическими стенками, что приводит к низкой локализационной способности ячеек при дуговых замыканиях; отсутствие проходных изоляторов и автоматических шторок, что приводит к низкой степени безопасности эксплуатационного персонала; большие габаритные размеры по сравнению с ЗРУ с элегазовой изоляцией и ячейками типа КРУ.

Для тяговых подстанций возможно применение следующих типов ячеек КСО: Sitras ASG25 (Siemens, Германия), С-27,5 (НИИЭФА-ЭНЕРГО, Россия).

Ячейки ЗРУ-27,5 кВ с воздушной изоляцией с выкатными выключателям (типа КРУ) имеют следующую конструкцию: в зависимости от особенностей ячейка разделена на несколько независимых отсеков с металлическими перегородками, устойчивыми к давлению при возникновении дуговых коротких замыканий. Ячейки оборудуются проходными изоляторами и автоматическими шторками для обеспечения высокой степени безопасности эксплуатационного персонала. В низковольтном отсеке ячейки устанавливаются интеллектуальные фидерные терминалы присоединения. Выкатной эле-

менг с расположенным на нем вакуумным выключателем имеет три стандартных фиксированных положения: рабочее, контрольное и ремонтное. Применение выкатного элемента обеспечивает высокую доступность компонентов ячейки для проведения периодических осмотров и ревизий. Ячейки предусматривают возможность выполнения кабельного или шинного высоковольтного подключения.

Основными преимуществами ячеек типа КРУ являются: высокая степень безопасности эксплуатационного персонала за счет системы встроенных механических блокировок и деления ячейки на независимые отсеки; использование надежных стандартных компонентов; меньшие габаритные размеры по сравнению с ячейками типа КСО; быстрая замена тележки с выключателем.

Основные недостатки ячеек типа КРУ: специальные требования к полам помещения; необходимость в проходе для вкатывания и выкатывания элемента с выключателем.

Возможно применение следующих типов ячеек КРУ: ТАС (Balfour Beatty Rail, Великобритания), Unipower (UTU ELEC, Финляндия), Unigear R40 (ABB, Швеция), КЛ-27,5 (НИИЭФА-ЭНЕРГО, Россия), СИГМА (НИИЭФА-ЭНЕРГО, Россия).

1.2.4. Распределительное устройство 3,3 кВ постоянного тока

Распределительные устройства постоянного тока на напряжение 3,3 кВ (РУ-3,3 кВ) используются для питания тяговых сетей постоянного тока.

РУ-3,3 кВ служат для приса выпрявленного напряжения 3,3 кВ от преобразовательных агрегатов, передачи напряжения в тяговую сеть, организации плавки гололеда и профилактического подогрева проводов контактной сети, подключения инверторов, подключения сглаживающих устройств (устройств фильтрации).

РУ-3,3 кВ выполняются на базе функциональных блоков полной заводской готовности.

Классификация возможных исполнений РУ-3,3 кВ приведена на рис. 1.3.

Общемировой практикой является применение на тяговых подстанциях железных дорог ячеек с выкатной установкой одного выключателя в фидере. До настоящего времени на тяговых подстанциях ОАО «РЖД» применяются ячейки со стационарной уста-

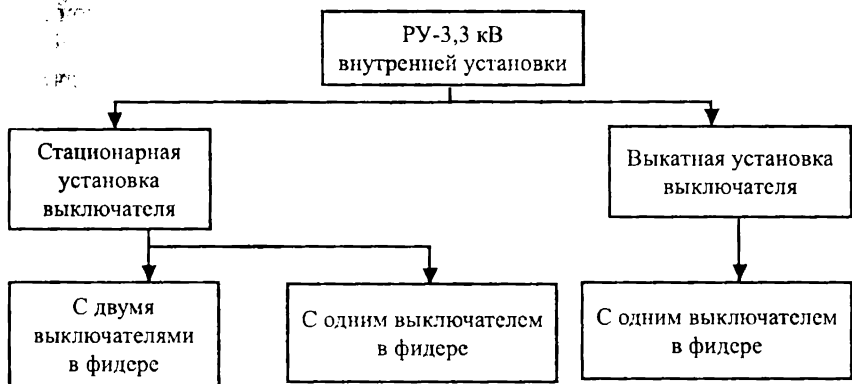


Рис. 1.3. Классификация исполнений РУ-3,3 кВ внутренней установки

новкой двух выключателей в фидере. Это связано со спецификой построения тяговых сетей постоянного тока на российских железных дорогах — применение реакторов отсоса и отсутствие на рынке коммутационных аппаратов выключателя, конструкция которого обеспечивала бы надежное отключение цепей с большой индуктивностью, а также с малыми токами нагрузки фидеров. В настоящее время ведущими научно-исследовательскими и проектными институтами проводятся оптимизации схем тяговых сетей постоянного тока и исследования современных коммутационных аппаратов для определения возможности установки одного выключателя в фидер контактной сети.

Ячейки со стационарной установкой выключателя (типа КСО). Ячейки данного типа использовались с начала электрификации на постоянном токе. Периодически, с появлением нового исполнения коммутационного аппарата или других компонентов, конструкция ячеек незначительно пересматривалась, и вводились новые решения. Достоинствами ячеек данного типа всегда являлись простота и надежность схемно-технических решений, использование в конструкции минимального количества подвижных узлов, хорошая доступность для периодических осмотров и ревизий, высокая степень ремонтпригодности и замены компонентов. Ячейка обеспечивает быстрый монтаж, наладку, удобство подключения силовых и вторичных цепей, не требует специальных знаний и обучения персонала при эксплуатации. В данном классе оборудования ре-

комендуется применять ячейки серии 1С-3,3 с одним выключателем и ячейки серии 2С-3,3 с двумя включенными последовательно выключателями в фидере контактной сети. В данных типах ячеек применяются разъединители с моторными приводами и возможностью дистанционного управления, устройства цифровых защит и автоматики ЦЗАФ.

Возможно, лучшим решением при реконструкции действующих РУ по соотношению «цена-качество» будет замена существующих цепей вторичной коммутации, выполненных на реле и электронных компонентах, на современные устройства цифровых защит типа ЦЗАФ. В данном случае сохраняются установленные на подстанции ячейки КСО с базовой металлоконструкцией, и выполняется дополнительный монтаж шкафов с ЦЗАФ с одновременным переключением цепей защит, управления и автоматики. При необходимости возможна замена ряда элементов силовых цепей ячеек КСО: быстродействующих выключателей, датчиков, ошиновки и др. на более современные.

При использовании коммутационных аппаратов одного типа, по сравнению с выкатными элементами, ячейка КСО обладает двумя недостатками: большой габарит и большее время на оперативную замену выключателей и компонентов при отказах.

Ячейки с выкатной установкой выключателя (типа КРУ). Новейшей разработкой ячеек данного типа является КРУ серии КВ-3,3, выполненное НИИЭФА-ЭНЕРГО по заданию ОАО «РЖД» с выдвижными выключателями.

В ячейках типа КРУ применяется классический принцип выдвижной конструкции, который регламентируется действующими стандартами и нормами безопасности. Он имеет три положения выкатного элемента с быстродействующим выключателем:

а) рабочее — выкатной элемент находится в ячейке, шторки открыты, главные цепи 3,3 кВ и вторичные цепи замкнуты. В соответствии с названием, данное положение является нормальным при эксплуатации, т.е. через цепи 3,3 кВ протекает ток, и ячейка, в зависимости от своего функционального назначения, выполняет электроснабжение подвижного состава железных дорог или обеспечивает ввод напряжения 3,3 кВ на шины РУ;

б) контрольное — выкатной элемент находится в ячейке, шторки закрыты, главные цепи 3,3 кВ разомкнуты, вторичные цепи замкнуты.

ты. Данное положение используется для организации и изменения схем питания сети 3,3 кВ, которые могут выполняться оперативным персоналом непосредственно на подстанции или по команде диспетчера;

в) ремонтное — выкатной элемент находится вне ячейки (выкачен), шторки закрыты на замок, вторичные цепи разомкнуты. В данном положении обеспечивается безопасный доступ к выключателю и узлам ячейки для выполнения осмотра и/или регламентных работ.

Для организации схемы электроснабжения персонал должен совершить последовательно следующие действия:

– закатить выкатной элемент в ячейку — операция выполняется только вручную;

– подключить разъем вторичной коммутации к выкатному элементу — операция может выполняться вручную или автоматически;

– перевести выкатной элемент из контрольного положения в рабочее — операция может выполняться вручную или автоматически;

– включить выключатель — операция может выполняться вручную или автоматически.

Таким образом, для организации схемы необходимо последовательно выполнить четыре операции, три из которых автоматизированы.

Главными достоинствами выдвижной конструкции являются: однотипность, логичность, полная аналогия с выкатными ячейками РУ-6(10) кВ, которые позволяют и персоналу на подстанции, и диспетчеру быстро собирать требуемую схему и обеспечить надежное электроснабжение подвижного состава. Автоматическое соединение вторичных цепей при вкатывании и размыкание при выкатывании тележки с выключателем позволяют упростить конструкцию и повысить надежность работы встроенных блокировок ячейки. Новейшие схемные решения ячеек серии КВ-3,3, размещение изолированных друг от друга шин «плюс 3,3 кВ» и «минус 3,3 кВ» и запасной шины внутри ячеек, установка РУ в одну «линейку» позволяют значительно сократить помещения, занимаемые оборудованием 3,3 кВ. При контейнерном исполнении КРУН-3,3 кВ типовой подстанции занимает три модуля длиной 6 м при шинном вводе от выпрямителей и кабельных выводов на линейные разъединители контактной сети.

Для обеспечения электробезопасности осуществляется секционирование и разделение ячеек на отсеки с помощью проходных изоляторов. Отсек выкатного элемента изнутри обшит изоляционными материалами, которые исключают любую возможность пробоя цепи 3,3 кВ на корпус ячейки. Применение моторных приводов разъединителей и тележек для перемещения выкатного элемента из контрольного положения в рабочее и наоборот позволяют добиться максимальной автоматизации ячеек и производить все переключения и подготовку схем электроснабжения по командам диспетчера, без непосредственного участия персонала. Но, несмотря на высокий уровень автоматизации, в случае возникновения аварийной или нештатной ситуации в РУ-3,3 кВ, например, потери телеуправления, исчезновения напряжения оперативных цепей, возможно немедленное вмешательство эксплуатационного персонала для проведения или завершения всех необходимых коммутаций с помощью специально предусмотренных ручных приводов. Контактные соединения силовых цепей во всех типах оборудования КСО и КРУ не требуют обслуживания за счет применения в местах стыковки высоковольтных шин и аппаратов тарельчатых пружин с нормированным давлением в течение всего срока эксплуатации.

Выдвижная конструкция ячеек типа КМВ (Secheron, Швейцария). Идеология организации выдвижного элемента соответствует требованиям к КРУ, которое имеет три положения: ремонтное, контрольное и рабочее. Особенностью ячеек данного типа является то, что кроме быстродействующего выключателя, на выкатном элементе расположены первичные датчики, оборудование сопряжения, цифровых защит и автоматики, что позволяет упростить конструкцию ячейки, проведение регламентного обслуживания, минимизировать габаритные размеры.

Модульность ячейки и встроенные блокировки позволяют добиться высокой степени безопасности персонала. Недостатком данной ячейки является отсутствие разделения на отсеки с помощью проходных изоляторов, недостаточная автоматизация коммутационных операций, стандартная конструкция только под кабельный ввод 3,3 кВ. Данная ячейка успешно эксплуатируется на многих железных дорогах мира.

Похожие продукты выпускают фирмы Siemens (Германия), EZ (Чехия), Balfour Beatty (Англия), Mont-Ele (Италия) и другие.

1.2.5. Распределительные устройства 6 (10) кВ и распределительные устройства ВЛ СЦБ

Распределительные устройства переменного тока на напряжение 6(10) кВ (РУ-6(10) кВ) используются для питания трехфазных сетей с изолированной или заземленной нейтралью. РУ-6(10) кВ ВЛ СЦБ используются для питания устройств железнодорожной автоматики и связи.

Классификация возможных исполнений РУ-6(10) кВ приведена на рис. 1.4.

Конструкция ячеек типа КСО и КРУ аналогична конструкциям, описанным ранее для РУ-27,5 кВ и РУ-3,3 кВ со всеми присущими им преимуществами и недостатками. РУ-6(10) кВ и РУ ВЛ СЦБ выполняются также на базе функциональных блоков полной заводской готовности.

В последнее время РУ 6(10) кВ стараются минимизировать по габаритам ячеек или камер с высоковольтным оборудованием за счет надежных компонентов (вакуумных выключателей, трансформаторов тока и напряжения), применения новых электроизоляционных материалов.

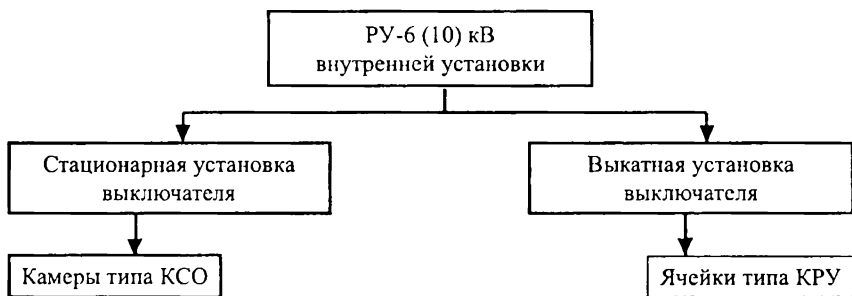


Рис. 1.4. Классификация исполнений РУ-6(10) кВ внутренней установки

1.2.6. Выпрямительный агрегат

Выпрямительный агрегат реализован в виде функционального блока и служит для преобразования переменного тока в постоянный напряжением 3,3 кВ по шести — или двенадцатипульсной схеме выпрямления в системе тягового электроснабжения железных дорог.

В состав выпрямительного агрегата входят две (номинальный ток 1600 А) или четыре (номинальный ток 3200 А) выпрямительные секции с системой управления, защиты и сигнализации.

Конструктивно функциональный блок имеет габаритно-присоединительные размеры, легко обеспечивающие установку выпрямительных блоков в одном ряду с РУ-3,3 кВ с общей системой шин.

Блоки выпрямительных агрегатов обеспечивают двенадцатипульсовую схему выпрямления при выравнивании токов агрегатов за счет согласования характеристик трансформаторов.

Параметры выбранных элементов выпрямительных секций согласованы со специально разработанными для них тепловыми трубами системы охлаждения. Это обеспечивает высокую перегрузочную способность агрегатов при естественном охлаждении.

Сигналы с биметаллических термореле поступают в контроллер для оценки температурного роста.

Защита от сетевых и схемных перенапряжений эпизодического и периодического характера осуществляется с помощью RC-цепей, устанавливаемых параллельно диодам. Класс напряжения полупроводниковых приборов, используемых в агрегате, обеспечивает четырехкратный запас по напряжению и позволяет обеспечить его работоспособность даже при отказе одного из диодов, последовательно включенных в фазе выпрямителя. Для защиты от сетевых и атмосферных перенапряжений (по постоянному и переменному току) использованы нелинейные ограничители.

При замене диодов не требуется применения специального динамометрического ключа, так как используемый прижимной механизм позволяет визуально контролировать сжатие диодного столба с необходимым усилием, обеспечивающим хороший тепловой контакт с охладителем и тем самым надежность работы приборов и агрегата в целом.

1.2.7. Собственные нужды

Собственные нужды тяговой подстанции включают:

- функциональный блок собственных нужд переменного тока;
- функциональный блок собственных нужд постоянного тока.

Функциональные блоки собственных нужд являются законченными изделиями, имеют полную заводскую готовность для по-

ставок «под ключ», и включают в себя аппаратуру коммутации силовых цепей 0,4 кВ, 0,23 кВ, защиты, управления, автоматики, измерения и сигнализации, а также контроллер, входящий в распределенную систему телемеханики подстанции.

Блок собственных нужд переменного тока. Собственные нужды предназначены для приема и распределения электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, который состоит из низковольтных распределительных шкафов 0,4 кВ и шкафа контроллера СН на базе ЦЗА.

Модульная, универсальная структура построения блока позволяет реализовать схемотехническое, функционально законченное решение:

- с одним или двумя шкафами ввода,
- с одним или двумя шкафами резервного ввода,
- с одним или двумя шкафами питания ВЛ СЦБ,
- с любым количеством шкафов отходящих фидеров.

На основных присоединениях блока СН используется аппаратура, позволяющая обеспечить видимый разрыв, проводить безопасный ремонт и обслуживание аппаратуры, шин, кабелей и присоединений. Все основные присоединения имеют режимы управления: как местный, непосредственно с блока СН, так и дистанционный с операторской станции, с индикацией состояния данных присоединений. Стандартизированные схемные и конструктивные решения позволяют повысить надежность и удобство эксплуатации.

В качестве источников основного питания собственных нужд используются трансформаторы собственных нужд (ТСН) мощностью до 630 кВ·А. В качестве источников резервного питания могут использоваться:

- резервные ТСН 1 и (или) ТСН2 мощностью до 250 кВ·А;
- дизель-генератор (ДГА), запускаемый в ручном или автоматическом режиме (по второй степени автоматизации) мощностью до 100 кВ·А;
- источник бесперебойного питания ИБП (трехфазный источник бесперебойного питания) мощностью до 8 кВ·А.

ДГА и ИБП служат для обеспечения надежного питания наиболее важных потребителей, относящихся к особой группе надежности.

В нормальном режиме включен один основной ввод, второй находится в резерве. Возможна также одновременная работа ТСН1 и ТСН2 в параллель (только в местном режиме). Для обеспечения

жизнедеятельности подстанции и питания потребителей особой группы система снабжена схемами АВР, которые позволяют подключать питание от резервных вводов при исчезновении напряжения на основных вводах в аварийных режимах. Схемой предусмотрено электрическое и механическое блокирование, исключающее возможность одновременной работы источников резервного и основного питания.

В схему общеподстанционной сигнализации из блока СН выведен единый сигнал предупредительной сигнализации, объединяющий все сигналы неисправности. Энергоучет осуществляется со стороны основных вводов от ТСН1 и ТСН2 и ВЛ СЦБ по 0,4(0,23) кВ. Для этой цели в шкафах установлены комплекты трансформаторов тока и измерительная колодка для подключения счетчиков электрической энергии. Счетчики электрической энергии установлены в отдельном шкафу энергоучета, входящем в состав тяговой подстанции. Для измерения потребляемого тока в шкафу ввода и питания ВЛ СЦБ установлены амперметры.

Для подключения отходящих фидеров предусматриваются секции сборных шин в зависимости от проекта конкретной подстанции: ШНП (секция шин негарантированного питания, обеспечивающая питание потребителей от источника основного питания), ШГП (секция шин гарантированного питания, обеспечивающая питание потребителей от резервных ТСН), ШДГА (секция шин гарантированного питания, обеспечивающая питание потребителей от ДГА), ШИБП (секция шин гарантированного питания, обеспечивающая питание потребителей особой категории надежности от ИБП).

Силовые шкафы блока СН выполнены с использованием дистанционно управляемых автоматических выключателей. Автоматика, управление и телесигнализация присоединений осуществляются универсальным контроллером, имеющим 32 входных канала ТС, 16 выходных каналов ТУ и 4 канала ТИ.

Управление может осуществляться:

- в местном режиме — кнопками управления, расположенными на двери шкафа или передней панели выключателя;
- в режиме дистанционного управления — командами верхнего уровня по системе АСУ или с пульта дежурного оператора;
- в режиме АВР — командами контроллера и командами верхнего уровня по системе АСУ или с пульта дежурного оператора.

Блок собственных нужд постоянного тока (СН). Блок СН предназначен для питания ответственных потребителей тяговой подстанции (цепи автоматики, управления, защиты). Совместно с аккумуляторной батареей (АБ) и зарядно-выпрямительными устройствами (ЗВУ) блок образует систему бесперебойного питания потребителей постоянным током.

Блок СН постоянного тока обеспечивает измерение:

- напряжения на шинах + ШВ и + ШУ;
- тока заряда — разряда АБ;
- тока потребления цепей + ШУ;
- сопротивления изоляции шин с сигнализацией их состояния.

В качестве защитных элементов используются: автоматические выключатели или предохранители. Для контроля состояния аппаратуры на отходящих фидерах + ШВ применена схема, содержащая параллельно соединенные цепи, образованные включенными последовательно блок-контактами аппаратуры и клеммами с размыкателями.

Блок СН постоянного тока включает в себя:

- шкафы распределительных внешних подключений, в которых размещается вся необходимая коммутационная аппаратура;
- зарядное устройство.

В качестве источника питания используются два ЗВУ. Режим работы ЗВУ: одно — в работе, другое — в резерве. Как правило, устанавливается ЗВУ типа 2НРТ 40х220 (2 ЗВУ в одном шкафу). В нем обеспечивается автоматическое регулирование выходного напряжения подзаряда в зависимости от температуры по сигналам от термодатчиков, установленных в помещении аккумуляторной. На клеммники ЗВУ выведены цепи аварийной сигнализации «Авария ЗВУ» и «Авария АБ».

1.2.8. Система управления тяговой подстанцией

Основой современных автоматизированных систем управления объектами электроснабжения (АСУТП) являются так называемые интеллектуальные терминалы присоединений (ИТП) — это микропроцессорные устройства защит, совмещающие в себе также функции противоаварийной автоматики, местного и дистанционного управления, регистратора аварийных процессов, диагностики обо-

рудования, контроль ценей управления коммутационными аппаратами, передачу текущих и аварийных параметров.

АСУТП является интегрированной системой, которая реализует следующие функции:

- защит и автоматики;
- диагностики оборудования и самодиагностики;
- регистрации аварийных процессов;
- измерения параметров;
- обработки и хранения информации.

АСУТП является двухуровневой распределенной системой с локализацией всех (основных) связей и функций в пределах каждого присоединения и соответствует основным положениям ГОСТ Р МЭК 61850:

– нижний уровень — уровень присоединений — образован ИТП, устанавливаемыми в каждом из основных присоединений подстанции;

– верхний уровень — уровень общеподстанционного управления — содержит контроллер подстанции, узел связи, операторскую станцию и линии связи.

Сбор данных с каждого из микропроцессорных устройств, передача команд телеуправления осуществляется по последовательному каналу связи, к которому подключаются все ИТП и микропроцессорные устройства.

Управление сбором данных в сети, формирование команд управления осуществляется с помощью шкафа управления, входящего в состав блока общеподстанционной сигнализации (ОПС), в котором устанавливается контроллер подстанции, совмещающий в себе функции связного контроллера и операторской станции, решающей задачи дистанционного управления функциональными блоками тяговой подстанции и отображения информации. Он же обеспечивает обмен данными по каналам связи с диспетчерским пунктом.

Система является открытой, в которую могут интегрироваться дополнительные системы диагностирования оборудования.

Локальная сеть на тяговой подстанции выполняется на основе интерфейса RS-485 и с протоколом полевого уровня MODBUS RTU. Скорость передачи данных в сети не менее 19 200 бод.

Связь с энергодиспетчерским пунктом осуществляется по каналам телеуправления и телесигнализации (ТУ/ТС) любой системы телемеханики ЭСТ-62, ЛИСНА, МСТ-95, АСТМУ и по каналам

системы передачи данных. Последние используются для передачи измерительной и диагностической информации, а в случае выделенных каналов системы передачи данных и для оперативного управления.

1.3. Основные компоненты подсистем

Повышение надежности электроснабжения железных дорог в большой степени определяется применением высоконадежных компонентов подсистем и оборудования тяговых подстанций, в первую очередь, тех, которые обеспечивают защитную функцию.

Повышение надежности, увеличение интервалов обслуживания, обслуживание компонентов «по состоянию» позволяет зачастую упростить схемные решения подстанций.

Применение надежных компонентов позволяет существенно упростить схемы тяговых подстанций за счет исключения резервных элементов подсистем, как правило, — высоковольтных выключателей и сопутствующих им высоковольтных разъединителей. Одновременно упрощаются схемы механических и электромагнитных блокировок, что приводит к снижению ошибочных действий при проведении оперативных переключений и коммутаций и повышает уровень безопасности эксплуатационного персонала.

Применение современных высокотехнологичных компонентов позволяет облегчить оборудование, снизить его габариты, оптимизировать компоновку ячеек и за счет этого в одном устройстве объединить несколько выполняемых функций. Например, применение выключателей на выкатных тележках позволяет помимо основной функции отключения аварийной цепи обеспечить и функцию видимого разрыва высоковольтной цепи выключателя при проведении его обслуживания или ремонта. Это, в свою очередь, даст дополнительные возможности по упрощению схем электроснабжения тяговых подстанций и тем самым позволяет уменьшить площади, занимаемые тяговыми подстанциями.

1.3.1. Выключатели переменного тока

В конструкциях современных выключателей переменного тока используются различные методы гашения дуги [4, 5, 6]. Различия определяются средой, в которой производится гашение дуги:

- минеральное масло;
- воздух;
- элегаз;
- газовые смеси.

По мере развития коммутационной техники переменного тока конструкции выключателей, применяемые материалы и технологии постоянно совершенствовались. Сегодня по надежности, экологичности, обслуживанию и эксплуатации, диапазонам номинальных параметров и экономичности наиболее целесообразным являются элегазовые и вакуумные выключатели [6]. Из этих двух типов выключателей наибольшее применение нашли: на средние напряжения (до 35 кВ включительно) — вакуумные, а на высокие напряжения (более 35 кВ) — элегазовые.

Использование элегаза в выключателях переменного тока обусловлено удачным сочетанием в нем высоких изоляционных и дугогасящих свойств и большей эффективностью по сравнению с воздухом и маслом. В элегазовых выключателях применяются разные способы гашения дуги в зависимости от номинального напряжения, тока отключения и жесткости сети [4].

Развитие вакуумной коммутационной техники показало, что внедрение вакуумных выключателей наиболее эффективно в диапазоне средних напряжений [6]. В настоящее время в производство внедрены вакуумные выключатели до номинального напряжения 84 кВ и токи отключения до 100 кА. Постоянно ведутся научно-исследовательские работы и существуют лабораторные экземпляры вакуумных выключателей на напряжение 145 кВ с номинальной отключающей способностью 31,5 кА и на номинальное напряжение 12 кВ с номинальной отключающей способностью 200 кА. За счет применения в конструкциях главных контактов современных материалов и обеспечения малого тока среза при коммутациях, вакуумные выключатели не вызывают перенапряжений, требующих применения ОПН или других специальных мер по координации изоляции.

Из-за огромной распространенности сетей переменного тока различных классов напряжения существует большое количество производителей выключателей переменного тока. Из мировых электротехнических концернов можно отметить — Siemens (Германия), ABB (Швеция), Schneider Electric (Франция) и др. Из российских производителей — Таврида Электрик, Контакт и др.

1.3.2. Выключатели постоянного тока

Выключатели постоянного тока распространены гораздо меньше, чем выключатели переменного тока, это объясняется спецификой использования электрической энергии постоянного тока. Постоянный ток применяется для электроснабжения подвижного состава (железные дороги, метро, городской электрический транспорт) и в специальных отраслях промышленности (прикарьерные разработки руды и т.д.) [32].

В настоящее время возможно использование следующих типов коммутационных аппаратов постоянного тока: быстродействующих автоматических выключателей Gerapid, UR, ВАБ-49, ВАБ-70, ВАБ-77. Принцип действия всех перечисленных аппаратов основан на гашении электрической дуги, возникающей при разведении контактов выключателя, в дугогасительной решетке, состоящей из стальных пластин. Электрическая дуга под действием магнитного поля выдувается в дугогасительную камеру, где разбивается на короткие дуги и гасится. В процессе дугогашения образуются ионизированные газы, которые отводятся из дугогасительной камеры в свободное пространство, объем которого нормируется производителями выключателей.

ВАБ-49 — производства ОАО «УЭТМ» (Россия). Выключатель рассчитан на токи до 5000 А, давно эксплуатируется на объектах железных дорог России и стран СНГ, имеет простую и надежную конструкцию с парой главных и дугогасящих контактов, имеет необходимые сертификаты, обладает хорошей ремонтпригодностью. Выключатель обладает большими габаритными размерами, значительными нормированными расстояниями от дугогасящей камеры до заземленных частей ячеек, требует применения дополнительной комплектующей аппаратуры (реле РДШ, станций управления). После выполнения 30—80 аварийных отключений требуется визуальный осмотр и в случае необходимости — замена пары дугогасящих контактов. Несмотря на давность разработки выключатель можно использовать в ячейках типа КСО.

ВАБ-70, ВАБ-77 — производства ООО «Технос» (Россия). Выключатели рассчитаны на номинальный ток до 3200 А. Конструкция, габариты и принцип действия выключателей аналогичны ВАБ-49, применены современные экологически безопасные ма-

териалы дугогасящей камеры, электронные станции управления. Выключатель сертифицирован и его также можно использовать в ячейках типа КСО.

Gerapid — производства фирмы *General Electric* (Германия). Современный выключатель на токи до 8000 А, имеет большое количество опций (расцепители максимального тока, минимального напряжения и т.д.), встроившую станцию управления, изготавливается из современных композитных экологически безопасных материалов, имеет низкое энергопотребление, механическую защелку, обладает большим коммутационным ресурсом. Выключатель гарантирует надежную работу и минимум требуемого технического обслуживания. После выполнения 300 аварийных отключений требуется лишь визуальный осмотр и в случае необходимости замена пары дугогасящих контактов. Выключатель имеет необходимые сертификаты, испытан во ВНИИЖТе на предельные характеристики, успешно прошел опытную эксплуатацию, где выполнил более чем 1500 отключений рабочих токов и токов КЗ.

UR — производства фирмы *Secheron* (Швейцария). Современный выключатель на токи до 4000 А, имеет большое количество опций (расцепители максимального тока, минимального напряжения и т.д.), но не содержит встроившей станции управления, изготавливается из современных композитных экологически безопасных материалов, имеет низкое энергопотребление, держащую катушку в сочетании с механической защелкой, обладает большим коммутационным ресурсом. Выключатель гарантирует надежную работу и минимум требуемого технического обслуживания. После выполнения 250 аварийных отключений требуется лишь визуальный осмотр и в случае необходимости зачистка силовых контактов. В настоящее время выключатель не имеет сертификатов, не прошел исследований на предельные характеристики, не имеет заключений об опытной эксплуатации.

Если сравнивать *Gerapid* и *UR*, то оба современных выключателя имеют примерно одинаковые технические характеристики. *Gerapid* — полностью сертифицирован, имеет опыт работы в тяжелых условиях. *UR* — в настоящее время проходит сертификацию и испытания. Отсутствие сертификатов и заключений об исследовании на предельные токи сдерживает применение выключателей *UR* в ячейках РУ постоянного тока в России.

Выключатели ВАБ-49, ВАБ-70, ВАБ-77 обладают хорошими техническими характеристиками: имеют меньше встроенных опций по сравнению с Gerapid и UR, но обладают большими габаритными размерами дугогасительной камеры, что затрудняет их применение в выкатных ячейках.

В настоящее время в НИИЭФА-ЭНЕРГО разработан, испытан и готовится к серийному производству автоматический быстродействующий выключатель ВАБ-2006. В выключателе объединены лучшие достижения отечественной и зарубежной мысли в области коммутации энергии постоянного тока.

1.3.3. Цифровые защиты

Цифровые защиты совмещают в себе функции: противоаварийной автоматики, местного и дистанционного управления, регистратора аварийных процессов, диагностики оборудования, контроля цепей управления коммутационными аппаратами, передачу текущих и аварийных параметров присоединения [7].

Цифровые защиты должны обеспечивать:

- адаптацию к условиям конкретного присоединения (аппаратную и программную);
- управление с верхнего уровня (из энергодиспетчерской) и иерархическую систему управления;
- блочно-модульное построение аппаратных и программных средств с возможностью замены на уровне модуля;
- унифицированность, совместимость и преемственность.

Унифицированность обеспечивается применением для всех вторичных цепей единой аппаратной и программной базы.

Совместимость устройств цифровых защит обеспечивается:

- использованием в АСУ контроллеров нижнего уровня и поддержкой протоколов обмена по последовательному каналу связи, которые приняты в электроснабжении железных дорог;
- возможностью организации всех необходимых цепей между присоединениями (УРОВ, ЛЗШ, АЧР и т.д.).

Преемственность означает возможность как полной, так и частичной реконструкции действующих тяговых сетей, включая все типы контролируемых пунктов (тяговых подстанций, постов секци-

онирования, пунктов параллельного соединения). При этом устройства цифровых защит должны:

- легко устанавливаться в старые релейные шкафы (заменяя собой электромеханические и электронные реле) без существенных изменений схемы внешних подключений шкафа, т.е. ИТП должны иметь практически те же входы и выходы, что и соответствующие релейные шкафы;

- обеспечивать работу присоединений и без локальной сети подстанции, реализуя управление от кнопок и традиционных средств телемеханики;

- обеспечивать выдачу сигналов общеподстанционной сигнализации (аварийной, предупредительной и оперативного контроля цепей).

Кроме того, устройства цифровых защит также должны обеспечивать следующие эксплуатационные требования:

- два режима управления: местное/дистанционное (МУ/ДУ), при этом местное управление должно иметь приоритет по команде отключения выключателя (отключение выключателя с местного пульта должно обеспечиваться в любом режиме);

- задание уставок защит в значениях первичных параметров тока и напряжения;

- прием сигналов от внешних устройств защиты РУ и отключение по этим сигналам без выдержки времени;

- контроль цепей управления и сигнализации (на основе обработки двухпозиционных сигналов включенного и отключенного положения силовых коммутационных аппаратов);

- индикацию состояния присоединения (положение всех коммутируемых аппаратов, а также срабатывание отдельных ступеней защит и функций автоматики);

- расчет выработанного коммутационного ресурса выключателя;

- запоминание аварийных событий с их временной привязкой (для терминалов разных присоединений требования различны);

- прием и передачу резервных сигналов телесигнализации, телеуправления и телеизмерений;

- синхронизацию часов терминала с «диспетчерским» временем по каналам телемеханики.

Реализация всех перечисленных требований (функциональных, надежностных и эксплуатационных) определяет особенности

структуры аппаратных и программных средств устройств цифровых защит.

Как правило, терминал цифровых защит, применяемый на объектах железных дорог, конструктивно состоит из ряда функциональных модулей, электрически соединенных через кроссплату (модуль генмонтажный). В состав терминала входят следующие модули:

- модуль аналоговых сигналов;
- модуль аналого-цифрового преобразователя;
- модуль центрального процессора;
- модуль ввода-вывода;
- блок питания;
- пульт;
- модуль генмонтажный.

Все модули, кроме пульта и генмонтажного, соединяются с генмонтажным при помощи разъемов, фиксируются в общей кассете направляющими и крепятся винтами. Такая конструкция обеспечивает простоту и удобство замены модулей.

Все модули, имеющие электрические связи с внешними цепями, обеспечивают гальваническую развязку этих цепей. Таким образом, внутренние цепи терминала полностью гальванически развязаны от внешних цепей, что обеспечивает его помехоустойчивость.

При новом строительстве и реконструкции рекомендуется применять устройства серии ЦЗА (цифровые устройства защиты и автоматики), выпускаемые НИИЭФА-ЭНЕРГО для присоединений РУ-3,3 кВ и РУ-27,5 кВ. Для присоединений РУ-6(10) кВ, СЦБ, фидеров продольной электрификации, РУ-110(220) кВ используются терминалы, широко применяемые на энергетических подстанциях: БМРЗ (Механотроника, Россия), SIPROTEC (Siemens, Германия), Sepam (Schneider Electric, Франция), MICOM (Alstom, Франция) и др.

Контрольные вопросы:

1. Особенности классификации и состав оборудования современных РУ-27,5 кВ.
2. Особенности классификации и состав оборудования современных РУ-3,3 кВ.
3. Особенности классификации и состав оборудования современных РУ-10 кВ.
4. Принципы построения схем собственных нужд тяговых подстанций.

Глава 2. СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДСИСТЕМ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКТНО-БЛОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

2.1. Номенклатура подсистем, производимых по технологиям полной заводской готовности

Современное техническое оборудование, средства и организация изготовления позволяют производить все подсистемы тяговых подстанций по технологии полной заводской готовности.

При разработке и конструировании современных распределительных устройств среднего напряжения принимают во внимание пять основных принципов:

- 1) безопасность при эксплуатации;
- 2) удобство при проектировании, монтаже, наладке и эксплуатации;
- 3) надежность при эксплуатации;
- 4) гибкость при проектировании и эксплуатации;
- 5) экономичность при эксплуатации.

Под безопасностью при эксплуатации понимают:

модульную конструкцию ячейки или шкафа, которая позволяет локализовать аварии внутри каждого отсека;

систему встроенных механических и электромагнитных блокировок, которые исключают ошибочные действия персонала при эксплуатации;

– коммутацию высоковольтных аппаратов при закрытых дверях ячейки или шкафа;

– наличие четкой и понятной мнемосхемы, светодиодной индикации состояния коммутационных аппаратов на лицевой панели ячейки или шкафа, которые позволяют контролировать правильность проведения каждой операции;

– установку устройств индикации наличия напряжения на фидере, которые повышают безопасность при проведении высоковольтных подключений;

– применение быстродействующих заземляющих разъединителей с пружинными приводами, которые повышают безопасность персонала при наложении заземления.

Под удобством при проектировании, монтаже, наладке и эксплуатации понимают:

– большое разнообразие схем главных соединений РУ и большое количество возможных опций;

– возможность подключения к ячейке высоковольтного кабеля или шин в зависимости от требований проекта;

– доступность компонентов при монтаже, наладке и последующей эксплуатации.

Под надежностью при эксплуатации понимают:

– применение на контактных соединениях высоковольтных шин и аппаратов тарельчатых пружин с нормированным давлением в течение всего срока эксплуатации, что не требует периодических осмотров и протяжек;

– использование современных высоконадежных компонентов — вакуумных выключателей, заземляющих разъединителей «мгновенного» действия, устройства цифровых защит и автоматики.

Под гибкостью при проектировании и эксплуатации понимают:

– наличие нескольких исполнений ячеек или шкафов с типовыми габаритами;

– схема главных цепей ячеек или шкафов повторяют существующие аналоги; поэтому не требуется корректировка главных схем РУ;

– габаритно-присоединительные размеры ячеек или шкафов повторяют аналоги.

Под экономичностью при эксплуатации понимают одностороннее обслуживание ячеек или шкафов РУ, что позволяет сократить требуемые площади помещения и минимизировать строительную часть подстанции при новом строительстве.

2.2. Закрытое распределительное устройство 3,3 кВ постоянного тока

Распределительные устройства постоянного тока на напряжение 3,3 кВ (РУ-3,3 кВ) используются для питания тяговых сетей постоянного тока [8].

РУ-3,3 кВ служат для приема выпрямленного напряжения 3,3 кВ от преобразовательных агрегатов, передачи напряжения в тяговую

сеть, организации плавки гололеда и профилактического подогрева проводов контактной сети, подключения инверторов, подключения сглаживающих устройств (устройств фильтрации) и выполняются на базе функциональных блоков полной заводской готовности.

Набор и количество функциональных блоков определяются схемой главных соединений РУ-3,3 кВ и зависят от конкретного проекта подстанции. В настоящее время на действующих тяговых подстанциях РУ-3,3 кВ выполнены с одной рабочей и одной запасной системами шин. Данное решение обусловлено тем, что основным защитным и коммутационным аппаратом для РУ-3,3 кВ является автоматический быстродействующий выключатель. Конструкции разработанных ранее выключателей и применяемые ранее материалы не гарантировали надежную работу аппаратов при отключении токов короткого замыкания и малых токов, выключатели требовали частого вывода в ревизию и ремонта. В настоящее время надежная конструкция современных выключателей позволяет отказаться от запасной шины и запасного выключателя. Небольшие размеры выключателей позволяют установить их на выкатные элементы (тележки) и существенно снизить габариты функциональных блоков и РУ-3,3 кВ в целом.

Типовая классификация функциональных блоков в зависимости от назначения присоединения:

- фидера контактной сети;
- катодного выключателя (подключения выпрямителя);
- секционного разъединителя;
- запасного выключателя;
- подключения инвертора;
- подключения сглаживающего устройства (фильтрующего устройства).

Функциональный блок может состоять из различного количества основных и вспомогательных ячеек и элементов.

Основные ячейки блока предназначены для получения и распределения питания электроэнергии постоянного тока напряжением 3,3 кВ. В зависимости от конструкции, ячейки могут быть со стационарно установленными выключателями (ячейки стационарного типа 2С-3,3) и с выключателями, устанавливаемыми на выкатных элементах (ячейки выкатного типа КВ-3,3).

Вспомогательные ячейки блока предназначены для стыковки существующих ячеек РУ-3,3 кВ или функциональных блоков другого типа (других производителей).

Шкафы внешних подключений предназначены для подключения вторичных цепей функционального блока к цепям вторичной коммутации РУ-3,3 кВ и вторичным цепям тяговой подстанции.

Шинопроводы представляют собой набор медных или алюминиевых шин прямоугольного сечения с воздушной или комбинированной изоляцией в металлической оболочке. Они могут быть трех типов: для связи двух блоков, для организации шинного ввода (вывода) или для стыковки с блоками других типов.

Жгуты межячеечных и междушкафных соединений вторичных цепей служат для соединения вторичных цепей ячеек между собой и шкафом внешних подключений, изготавливаются для каждого функционального блока и РУ-3,3 кВ в зависимости от проекта.

Аппаратура для защиты, управления и автоматики, а также устройства ЦЗАФ-3,3 кВ включаются в цепи вторичной коммутации основных ячеек блока, набор функций защит, управления и автоматики выбираются в зависимости от назначения конкретного присоединения.

Для каждого РУ-3,3 кВ в заводских условиях формируется монтажный комплект. В монтажный комплект могут входить шинопроводы, жгут междушкафных соединений, вспомогательные соединительные элементы, рамы, корпуса, закрытия. При необходимости стыковки функциональных блоков с ячейками или блоками других типов в монтажный комплект могут входить переходные ячейки, шкафы или шинопроводы. Состав монтажного комплекта определяется для каждого проекта индивидуально. Оборудование и материалы, входящие в состав монтажного комплекта, позволяют в кратчайшие сроки осуществить монтажные работы с РУ-3,3 кВ на объекте и передать смонтированное оборудование под пусконаладочные работы.

Схемы главных электрических соединений. Типовые схемы главных электрических соединений ячеек КВ-3,3 приведены на рис. 2.1. В зависимости от требований проекта ячейки могут выполняться с запасной шиной или без нее.

Схема главных соединений РУ-3,3 кВ с рабочей и запасной системами шин на базе функциональных блоков с ячейками КВ-3,3 приведена на рис. 2.2. Рабочую шину «плюс» и запасную шину разделяют разъединителями на три секции. Шину «минус» не секционируют. Напряжение 3,3 кВ подается от полупроводниковых вы-

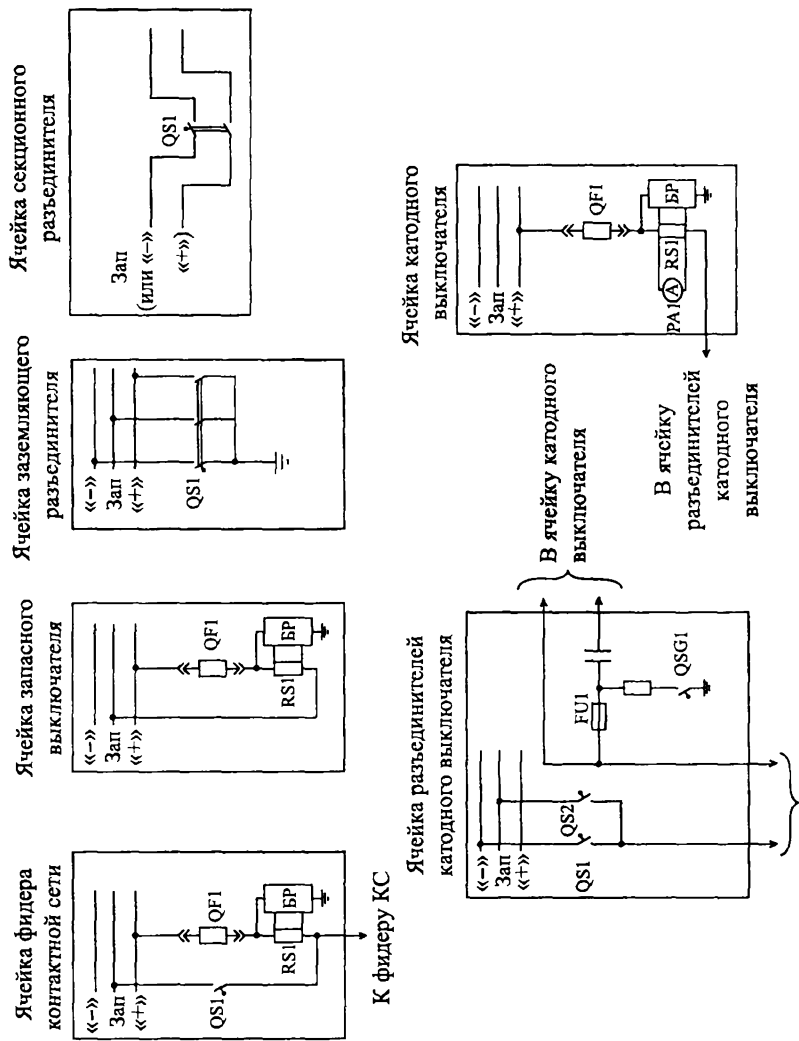


Рис. 2.1. Типовые схемы главных соединений ячеек типа КВ-3.3

прямительных агрегатов ПВА №1 и ПВА №2 к ячейкам катодных выключателей через ячейки №1 и №13, которые оснащаются разъединителями QS2 и QS15 для организации плавки гололеда и оборудованием для организации проведения безопасных осмотров и ревизий РУ-3,3 кВ и выпрямительных агрегатов. Напряжение 3,3 кВ подается на секции шин №1 и №3 через ячейки катодного выключателя №2 и №14, ячейки оборудуются быстродействующими выключателям обратного действия QF1 и QF4 для защиты выпрямительных агрегатов при возникновении в них пробоя полупроводниковых приборов. Напряжение на участки контактной сети подается через ячейки №3, №4, №11 и №12. В типовую ячейку фидера входят выключатель QF2, размещаемый на выкатной тележке, шунт RS1 и блок развязки БР-3,3 А2 для измерения значений тока и напряжения в первичной цепи и передачи данных в устройство ЦЗАФ-3,3 кВ, искатель коротких замыканий (ИКЗ) для организации автоматического повторного включения выключателя QF2 (на рис. не показан), обходной разъединитель QS3, через который контактная сеть может быть соединена с запасной «плюс»-шиной. Роговой разрядник и ОПН FV1 и линейный разъединитель QS3 располагаются вне ячейки на открытой части подстанции. Ячейки заземляющих разъединителей №5 и №10 предназначены для заземления соответствующих секций РУ-3,3 кВ при организации на них необходимых ревизионных и ремонтных работ, предварительно секция должна быть выведена из работы с помощью ячеек секционного разъединителя №6 и №9. Ячейка запасного выключателя №7 позволяет собрать цепь с «плюс»-шины на запасную шину для замены любой ячейки фидера контактной сети РУ-3,3 кВ. Ячейка №8 содержит LC- и C-звенья фильтра сглаживающего устройства и служит также для подключения реактора отсоса тяговой подстанции, который располагается на открытой части. Все разъединители и выкатные элементы ячеек фидера контактной сети, запасного выключателя, подключения ПВА, секционных разъединителей оборудуются моторными приводами с дистанционным управлением и позволяют организовывать цепи перевода на запасной выключатель и плавки гололеда по телеуправлению, без присутствия оперативного персонала на тяговой подстанции.

Выкатной элемент с установленным на нем автоматическим быстродействующим выключателем посредством моторного привода

Ввод от ПВА N1	Катодный выключатель N1	Фидер контактной сети N1	Фидер контактной сети N2	Заземляющий разъединитель N1	Секционный разъединитель N1	Заласной выключатель
1	2	3	4	5	6	7

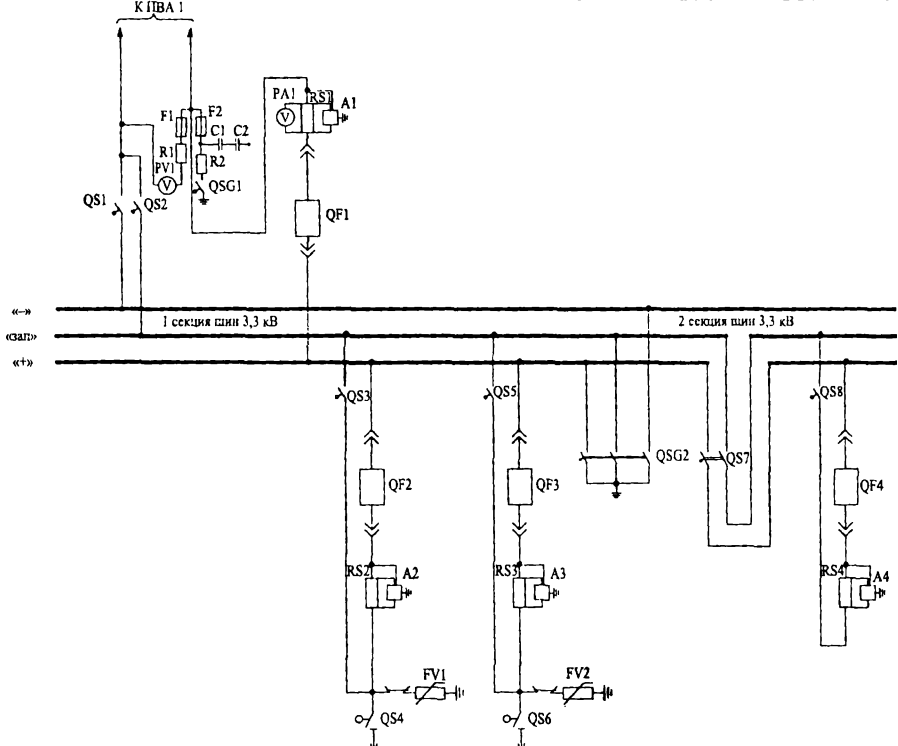
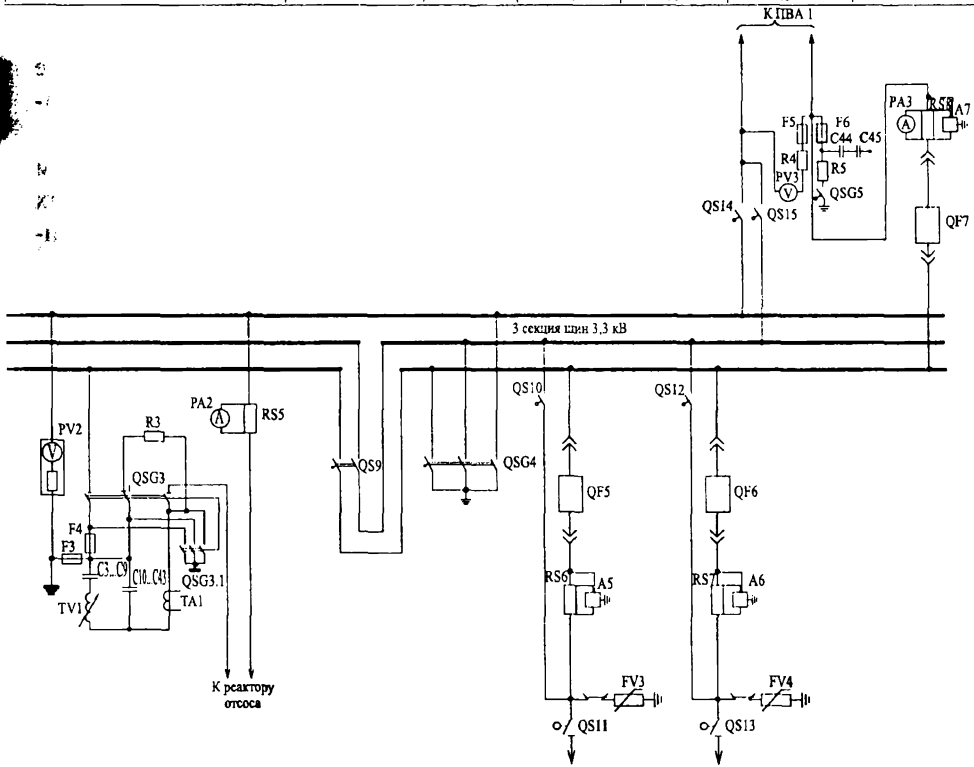


Рис. 2.2. Схема главных соединений РУ-3,3 кВ

Фильтростройство N2	Секционный разъединитель N2	Заземляющий разъединитель N2	Фидер контактной сети N3	Фидер контактной сети N4	Ввод от ПБА N2	Катодный выключатель N2
8	9	10	11	12	13	14



или вручную может быть переведен из контрольного положения в рабочее и наоборот. При перемещении выкатного элемента выключатель отключен. Таким образом, выполняется коммутация силовой цепи 3,3 кВ в бестоковую паузу посредством разъёмных контактов. Присимуществами применения ячеек типа КВ-3,3 для строительства новых и реконструкции существующих РУ-3,3 кВ являются: снижение габаритных и весовых параметров функциональных блоков РУ-3,3 кВ, упрощение цепей блокировок, повышение степени безопасности персонала, снижение возможности ошибочных действий персонала.

Схемы главных соединений ячеек 2С-3,3 аналогичны схемам ячеек КВ-3,3 (рис. 2.1), за исключением того, что функции силовых контактов выполняют разъединители с ручным или моторным приводами и заземляющими ножами.

Основные параметры ячеек типа 2С-3,3 и КВ-3,3.

Сравнительные технические характеристики основных ячеек, входящих в состав функциональных блоков РУ-3,3 кВ, приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Сравнительные технические характеристики ячеек типа 2С-3,3 и КВ-3,3

№ п/п	Наименование параметра	Тип ячейки	
		2С-3,3	КВ-3,3
1	2	3	4
1	Номинальное рабочее напряжение	3,3 кВ	3,3 кВ
2	Номинальный ток главных цепей	до 5000 А	до 5000 А
3	Тип выключателя	ВАБ-2006, 2×ВАБ-49, Gerapid, Secheron или аналогичные	ВАБ-2006, Gerapid, Secheron или аналогичные
4	Условия обслуживания	одностороннее	одностороннее
5	Вид высоковольтных подключений	кабельные, шинные	кабельные, шинные
6	Тип разъединителя	РВР, РВ, РВРЗ, НАЕС	STOL, STOR

1	2	3	4
7	Тип привода разъединителей	ручной, моторный	ручной, моторный
8	Габарит основного шкафа	1810L × 1700B × × 2400H мм	800L × 1700B × 2150H мм
9	Цели защит и автоматики	микропроцессорные терминалы	микропроцессорные терминалы

Компоновка силовых цепей и оборудования выполнена в соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок», Правилами устройства системы тягового электроснабжения железных дорог РФ, технических указаний и нормативных документов ОАО «РЖД» и технической документации на устанавливаемое оборудование. Конструкция ячеек обеспечивает возможность их установки на ровный пол с твердым покрытием.

Ячейки комплектуются надежными современными автоматическими быстродействующими выключателями серии ВАБ-2006, Gerapid, Secheron или аналогичными, а также цифровыми устройствами защит и автоматики ЦЗАФ-3,3, которые выполняют функции управления, защит, автоматики и сигнализации присоединений. Данные выключатели обладают рядом преимуществ:

- высокий коммутационный и механический ресурсы;
- встроенные датчик тока и станция управления;
- экологически безопасные материалы;
- низкое энергопотребление;
- способность работать как в индуктивных, так и в бесиндуктивных цепях.

Для расширения действующих РУ-3,3 кВ, ячейки серии 2С-3,3 также могут комплектоваться выключателями ВАБ-49 или аналогичными.

Оперативное управление автоматическим быстродействующим выключателем осуществляется по каналу телеуправления либо нажатием кнопки на блоке управления ЦЗАФ-3,3 в режиме «местное управление». Также можно включать и отключать выключатель с помощью кнопок, расположенных в отсеке или шкафу управления. Сигнализация о виде управления и положении

выключателя передается по каналу телесигнализации на пульт управления тяговой подстанции и энергодиспетчера. Также существует местная индикация положения выключателя, она реализуется при помощи лампочек, расположенных на лицевой стороне ячейки.

Контактные соединения в ячейках не требуют обслуживания за счет применения тарельчатых пружин с нормированным давлением в течение всего срока эксплуатации в местах стыковки высоковольтных шин и аппаратов.

Разводка вторичных цепей внутри ячейки осуществляется в коробах, проходящих по каркасу. Вторичные цепи, расположенные в высоковольтных отсеках, прокладываются в металлорукавах или пластиковых гофрированных рукавах для защиты проводов от дуги и механических повреждений.

Заземление РУ-3,3 кВ осуществляется после установки и соединения блоков между собой болтовыми соединениями. Заземление ячеек на контур заземления осуществляется сваркой в местах предусмотренных конструкцией ячеек. Затем производится подключение контура заземления РУ-3,3 кВ к контуру заземления тяговой подстанции через специальные реле земляной защиты.

Особенности конструкции ячеек выкатного типа КВ-3,3. Основой ячейки является несущий каркас (рис. 2.3), который изготавливается из оцинкованной стали и используется в качестве внутреннего контура заземления ячейки. Конструктивно ячейка разделена на следующие отсеки: отсек выключателя (3), отсек вторичных цепей (2) и отсек сборных шин и высоковольтных подключений (1). В отсеке выключателя располагается выкатной элемент (8), который представляет собой выкатную тележку с установленным на ней быстросрабатывающим выключателем (7), моторным приводом выкатного элемента, концевыми выключателями. Ячейки могут иметь следующие положения выкатного элемента: ремонтное, контрольное и рабочее положение. Ремонтное положение выкатного элемента: выкатной элемент вне ячейки (выкачен), шторки закрыты, силовые цепи разомкнуты, вторичные цепи разомкнуты. Контрольное положение выкатного элемента: выкатной элемент в ячейке и зафиксирован, шторки закрыты, силовые цепи разомкнуты, вторичные цепи замкнуты. Рабочее положение выкатного элемента: выкатной элемент в ячейке и зафиксирован, шторки открыты, силовые цепи замкнуты,

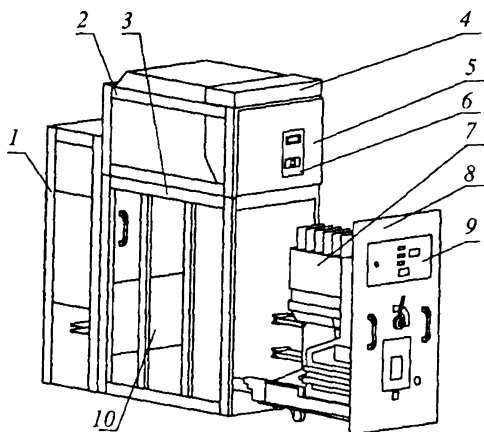


Рис. 2.3. Общий вид ячейки фидера контактной сети типа КВ-3,3

вторичные цепи замкнуты. В отсеке вторичных цепей установлено низковольтное оборудование (блок запит и автоматики, реле, автоматические выключатели, клеммы) для реализации цепей блокировок, сигнализации и управления ячейкой. В отсеке сборных шин и высоковольтных подключений расположены сборные шины, шунт, блок развязки. Запасная (обводная) шина может находиться в ячейке и может быть вынесена за ее пределы. Ввод вторичных цепей в ячейку осуществляется сверху через кабельный короб (4). Перемещение выкатного элемента из контрольного в рабочее и обратно осуществляется при помощи моторного привода либо вручную. Механизм оборудован концевыми выключателями, сигнализирующими о нахождении выкатного элемента в рабочем и контрольном положениях, также осуществляется сигнализация при нахождении выкатного элемента в промежуточном положении на лицевой панели выкатного элемента (9). При ремонтном (выкаченном) положении выкатного элемента, конструкция ячеек обеспечивает безопасный доступ к оборудованию и узлам, предназначенным для периодического осмотра и проверки. Ячейки оборудованы автоматически закрывающимися шторками (10), препятствующими доступу к токоведущим частям при контрольном или ремонтном (выкаченном) положении выкатного элемента. На закрытых шторках предусмотрена возможность установки навесного замка. Конструкция ячеек одного типоразмера обеспечивает взаимозаменяемость выкатных элемен-

при отключении рабочих токов и токов короткого замыкания является специальное масло, требуют частых проверок и замен отработанного масла. В настоящее время надежная конструкция современных вакуумных выключателей позволяет отказаться от обводной (запасной) шины и запасного выключателя. Небольшие размеры вакуумных выключателей позволяют установить их на выкатные элементы и существенно спизить габариты функциональных блоков и РУ-27,5 кВ в целом.

Типовая классификация функциональных блоков в зависимости от назначения присоединения:

- фидера контактной сети;
- фидера трансформатора собственных нужд;
- секционных разъединителей;
- запасного выключателя;
- фидера «два провода-рельс»;
- фидера фильтр-компенсирующего устройства;
- выключателя ввода.

Функциональный блок может состоять из различного количества основных и вспомогательных ячеек и элементов.

Основные ячейки блока предназначены для получения и распределения питания электроэнергии переменного тока напряжением 27,5 кВ. Основные ячейки выполняются на базе ячеек подъемно-выкатного типа КЛ-27,5.

Вспомогательные ячейки блока предназначены для стыковки основных ячеек к РУ-27,5 кВ или функциональным блокам другого типа (других производителей).

Шкафы внешних подключений предназначены для подключения вторичных цепей функционального блока к цепям вторичной коммутации РУ-27,5 кВ и вторичным цепям тяговой подстанции.

Шинопроводы представляют собой набор медных или алюминиевых шин прямоугольного сечения с воздушной или комбинированной изоляцией, в металлической оболочке. Они могут быть трех типов: для связи двух блоков, для организации шинного ввода (вывода) или для стыковки с блоками других типов.

Жгуты межячеечных и междушкафных соединений вторичных цепей служат для соединения вторичных цепей ячеек между собой и шкафом внешних подключений, изготавливаются для каждого функционального блока и РУ-27,5 кВ в зависимости от проекта.

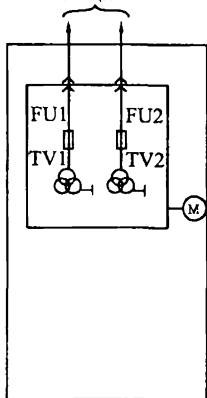
Аппаратура для защиты, управления, автоматики и измерения электроэнергии, а также устройства ЦЗА-27,5 кВ включаются в цепи вторичной коммутации основных ячеек блока, набор функций защит, управления и автоматики выбираются в зависимости от назначения конкретного присоединения.

Для каждого РУ-27,5 кВ в заводских условиях формируется монтажный комплект. В монтажный комплект могут входить шинопроводы, жгут междушкафных соединений, вспомогательные соединительные элементы, рамы, корпуса, закрытия. При необходимости стыковки функциональных блоков с ячейками или блоками других типов в монтажный комплект могут входить переходные ячейки, шкафы или шинопроводы. Состав монтажного комплекта определяется для каждого проекта индивидуально. Оборудование и материалы, входящие в состав монтажного комплекта позволяют в кратчайшие сроки осуществить монтажные работы с РУ-27,5 кВ на объекте и передать смонтированное оборудование под пуско-наладочные работы.

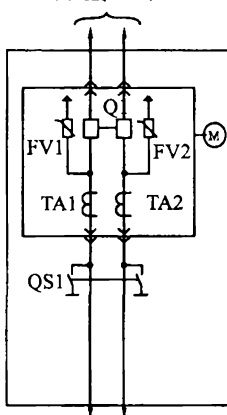
Схемы главных электрических соединений. Типовые схемы главных электрических соединений ячеек КЛ-27,5 приведены на рис. 2.5. В зависимости от требований проекта, ячейки могут выполняться с запасной шиной или без нее.

Схема главных соединений РУ-27,5 кВ с запасной шиной на базе функциональных блоков с ячейками КЛ-27,5 приведена на рис. 2.6. Напряжение 27,5 кВ от тяговых трансформаторов подается на секции №1 и №2 РУ-27,5 кВ через ячейки ввода №1 и №4. Выключатели QF1 и QF7 располагаются на выкатных тележках ячеек. Напряжение на участки контактной сети подается через ячейки №8, №9, №13, №14, №15, №16 и №17. В типовую ячейку фидера входят выключатель QF4, размещаемый на выкатной тележке, трансформатор тока ТА5 для измерения значений тока и напряжения в первичной цепи и передачи данных в устройство ЦЗА-27,5 кВ, ОПН FV12. Разъединитель QS4 с заземляющими ножами QSG4.1, обходной разъединитель QS5, через который контактная сеть может быть соединена с запасной шиной, располагают вне ячейки на открытой или закрытой части подстанции, в зависимости от проекта. Ячейки фидеров ДПР №6 и №7 служат для питания устройств линейного электроснабжения и автоматики на перегонах. Ячейка секционного разъединителя №11 служит для секционирования РУ-27,5 кВ для

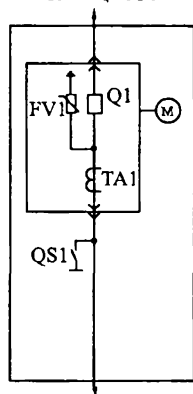
**Ячейка трансформатора
напряжения
К секции РУ**



**Ячейка ввода
К секции РУ**



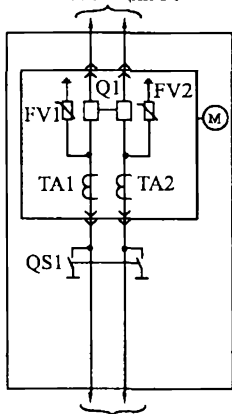
**Ячейка фидера контактной сети
или ячейка запасного выключателя
К секции РУ**



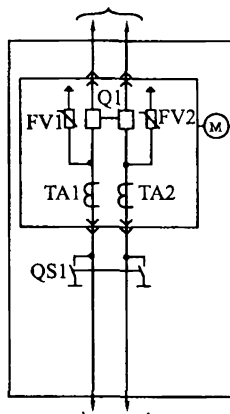
К понижающему
трансформатору

К фидеру контактной сети

**Ячейка фидера ДПП
К секции РУ**



**Ячейка трансформатора
собственных нужд К секции РУ**

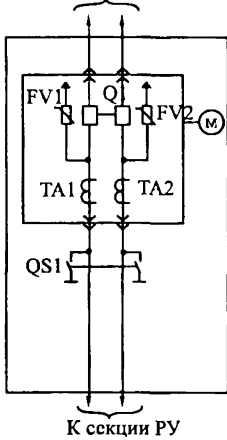


К фидеру ДПП

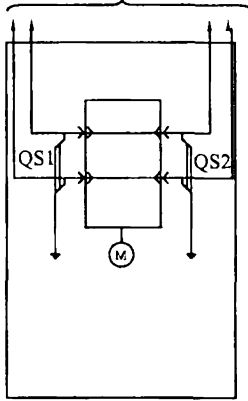
К трансформатору
собственных нужд

Рис. 2.5. Типовые схемы главных соединений ячеек типа КЛ-27,5

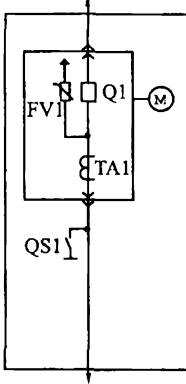
Ячейка секционного выключателя
К секции РУ



Ячейка секционного
разъединителя
К секциям РУ

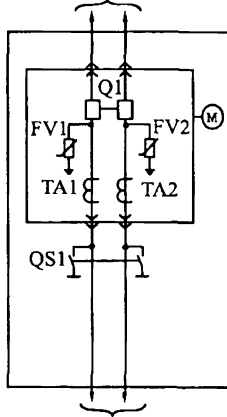


Ячейка выключателя
устройства
фильтрации и компенсации
К секции РУ



К устройству фильтрации
и компенсации

Ячейка плавки гололеда
К секции РУ



К фидеру плавки гололеда

Ввод N 1	Трансформаторы напряжения N1
1	2

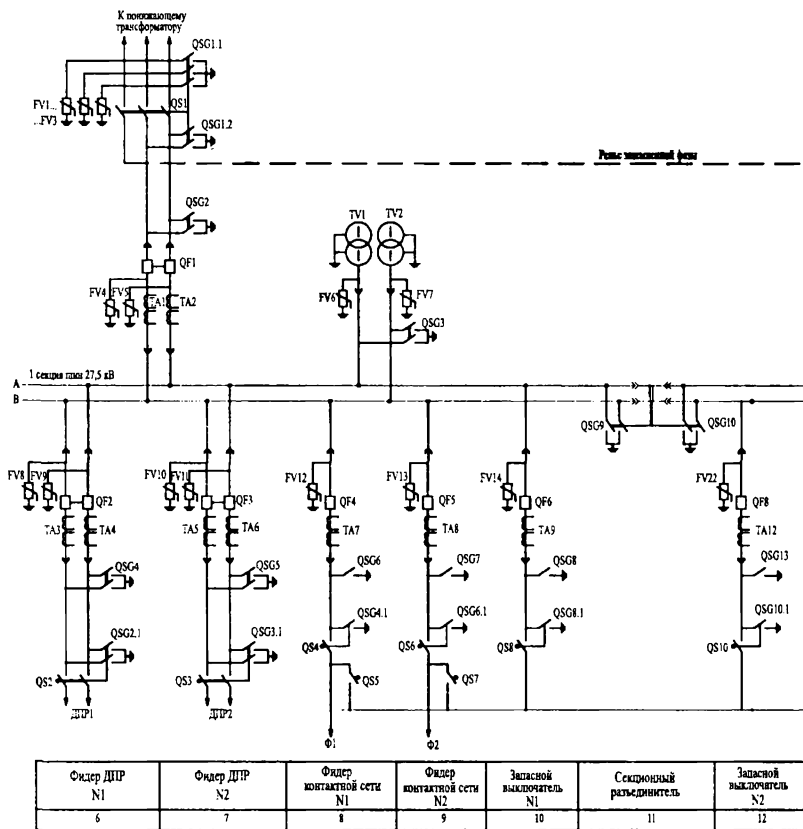
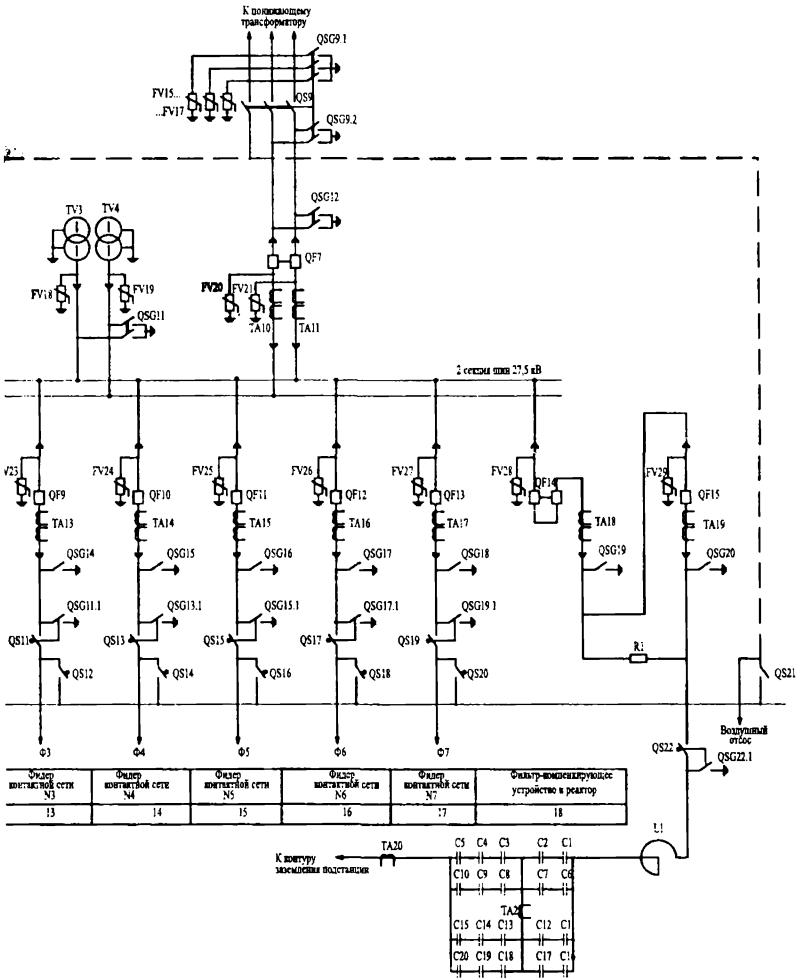


Рис. 2.6. Схема главных соединений РУ-27,5 кВ

Трансформаторы подстанции N2	Вход N2	Подключенные компенсирующие устройства
3	4	5



организации необходимых регламентных и ремонтных работ одной из секций. В ячейках ТН №2 и №3 располагаются трансформаторы напряжения для измерения значений напряжения на шинах секций 27,5 кВ и организации цепей защит присоединений РУ, а также заземляющие разъединители секций РУ с ручным приводом. Ячейки запасных выключателей №10 и №12 позволяют собрать цепь с шин «А» или «В» секций РУ-27,5 кВ на запасную шину для замены любой ячейки фидера контактной сети. Ячейка №5 предназначена для подключения устройства фильтрации и компенсации /8, которое располагается на открытой части подстанции, к шинам РУ-27,5 кВ. Все разъединители и выкатные элементы ячеек фидера контактной сети, запасного выключателя, секционного разъединителя оборудуются моторными приводами с дистанционным управлением и позволяют организовывать цепи перевода на запасной выключатель и плавки гололеда по телеуправлению, без присутствия оперативно-го персонала на тяговой подстанции.

Выкатной элемент с установленным на нем вакуумным выключателем посредством мотор-редукторного привода или вручную может быть переведен из контрольного положения в рабочее и наоборот. При перемещении выкатного элемента выключатель отключен. Таким образом, выполняется коммутация силовой цепи 27,5 кВ в бестоковую паузу посредством разъемных контактов. Преимуществом ячеек КЛ-27,5 является снижение габаритных и весовых параметров функциональных блоков РУ-27,5 кВ, упрощение цепей блокировок, повышение степени безопасности персонала, снижение возможности ошибочных действий персонала.

Основные параметры ячеек типа КЛ-27,5. Компоновка силовых цепей и оборудования выполнена в соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок», Правилами устройства системы тягового электроснабжения железных дорог РФ, технических указаний и нормативных документов ОАО «РЖД» и технической документации на устанавливаемое оборудование. Конструкция ячеек обеспечивает возможность их установки на ровный пол с твердым покрытием.

Ячейки комплектуются надежными современными вакуумными выключателями серии ЗАН или аналогичными. Данные выключатели обладают рядом преимуществ:

- высоким коммутационным и механическим ресурсом;
- экологически безопасными материалами;

– низким энергопотреблением.

Основные технические характеристики ячеек КЛ-27,5 приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Технические характеристики ячейки КЛ-27,5 кВ

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Номинальное рабочее напряжение	27,5 кВ
2	Номинальный ток главных цепей	до 2000 А
3	Тип выключателя	ЗАН или аналогичные
4	Условия обслуживания	одностороннее
5	Вид высоковольтных подключений	кабельные, шинные
6	Габарит основной ячейки	1200(1500)L × 1500В × 2400Н мм
7	Цепи защит и автоматики	микропроцессорные терминалы

Ячейки КЛ-27,5 комплектуются цифровыми устройствами защит и автоматики ЦЗА-27,5. Первичными датчиками для аналоговых сигналов ЦЗА-27,5 являются трансформаторы тока и напряжения, установленные в силовых цепях ячеек, поэтому данное устройство не комплектуется блоком развязки и оптическими кабелями в отличие от ЦЗАФ-3,3. Результаты измерений и вычислений аналоговых сигналов с первичных датчиков трансформаторов тока и напряжения поступают непосредственно в блок БЗА, используются в алгоритмах защит, а также передаются в блок БУ для вывода на дисплей.

Оперативное управление вакуумным выключателем осуществляется по каналу телеуправления либо нажатием кнопки на блоке управления ЦЗА-27,5 в режиме «местное управление». Также можно отключать вакуумный выключатель непосредственно с ячейки. Сигнализация о виде управления и положении выключателя передается по каналу телесигнализации на пульт управления тяговой подстанции и энергодиспетчера. Также существует местная индикация положения выключателя, она реализуется при помощи лампочек, расположенных на лицевой стороне ячейки.

Контактные соединения в ячейках не требуют обслуживания за счет применения тарельчатых пружин с нормированным давлением

ложении выкатного элемента. На закрытых шторках предусмотрено на возможность установки навесного замка (13). Конструкция ячеек одного типа-исполнения обеспечивает взаимозаменяемость выкатных элементов. На лицевой стороне дверей ячеек (5) расположены приборы визуального контроля и управления: цифровое устройство защит и автоматики ЦЗА-27,5, кнопки управления моторным приводом подъемного механизма, кнопка аварийного отключения выключателя, сигнализация положения выкатного элемента.

2.4. Закрытое распределительное устройство 6(10) кВ

Распределительные устройства переменного тока на напряжение 6(10) кВ используются для питания трехфазных сетей с изолированной или заземленной нейтралью. РУ-6(10) кВ ВЛ СЦБ используются для питания устройств железнодорожной автоматики и связи [10].

Набор и количество функциональных блоков определяются схемой главных соединений РУ-6(10) кВ, РУ-6(10) кВ ВЛ СЦБ и зависят от конкретного проекта подстанции.

Типовая классификация функциональных блоков в зависимости от назначения присоединения:

- фидера;
- выключателя ввода;
- секционного выключателя;
- секционного разъединителя;
- трансформаторов напряжения.

Функциональный блок может состоять из различного количества основных и вспомогательных ячеек и элементов.

Основные шкафы блока предназначены для получения и распределения питания электроэнергии переменного тока напряжением 6(10) кВ. Шкафы РУ-6(10) кВ выполняются с выключателями на выкатных элементах (РУ выкатного типа).

Вспомогательные шкафы блока предназначены для стыковки основных шкафов к РУ-6(10) кВ или функциональным блокам другого типа (других производителей).

Шкафы внешних подключений предназначены для подключения вторичных цепей функционального блока к цепям вторичной коммутации РУ-6(10) кВ и вторичным цепям тяговой или трансформаторной подстанции.

Шинопроводы представляют собой набор медных шин прямоугольного сечения с воздушной или комбинированной изоляцией, в металлической оболочке. Они могут быть трех типов: для связи двух блоков, для организации шинного ввода (вывода) или для стыковки с блоками других типов.

Жгуты междушкафных соединений вторичных цепей служат для соединения вторичных цепей шкафов между собой и шкафом внешних подключений, изготавливаются для каждого функционального блока и РУ-6(10) кВ в зависимости от проекта.

Аппаратура для защиты, управления, автоматике и измерения электроэнергии включается в цепи вторичной коммутации основных шкафов блока, набор функций защит, управления и автоматики выбирается в зависимости от назначения конкретного присоединения.

Для каждого РУ-6(10) кВ в заводских условиях формируется монтажный комплект. В монтажный комплект могут входить шинопроводы, жгут междушкафных соединений, вспомогательные соединительные элементы, рамы, короба, закрытия. При необходимости стыковки функциональных блоков со шкафами других типов в монтажный комплект могут входить переходные шкафы или шинопроводы. Состав монтажного комплекта определяется для каждого проекта индивидуально. Оборудование и материалы, входящие в состав монтажного комплекта, позволяют в кратчайшие сроки осуществить монтажные работы с РУ-6(10) кВ на объекте и передать оборудование под пусконаладочные работы.

Схемы главных электрических соединений. Типовые схемы главных электрических соединений шкафов типа «Омега» приведены на рис. 2.8.

Схема главных соединений РУ-10 кВ с секционированием на базе функциональных блоков с ячейками «Омега» приведена на рис. 2.9. Напряжение 10 кВ от понижающих трансформаторов подается на секции №1 и №2 РУ-10 кВ через ячейки ввода №1 и №13. Выключатели QF1 и QF10 располагаются на выкатных тележках ячеек. Напряжение на фидеры 10 кВ подается через ячейки №2, №3, №4, №9, №10, №11 и №12. В типовую ячейку фидера входят выключатель QF2 размещаемый на выкатной тележке, трансформаторы тока ТА6-ТА8, ТА9, ТА10 для измерения значений тока и напряжения в первичной цепи и передачи данных в устройства цифровых защит, ОПН FV4-

FV6, заземляющий разъединитель QSG2. От фидеров 10 кВ питание могут получать преобразовательные агрегаты, трансформаторы собственных нужд тяговой подстанции, линейные устройства электропитания, устройства сигнализации и автоматики, районные потребители. Секционный выключатель №6 и секционный разъединитель №7 предназначены для секционирования шин РУ-10 кВ и обеспечения безопасной работы на одной из секций, когда другая может находиться под напряжением. В ячейках ТН №5 и №8 располагаются трансформаторы напряжения для измерения значений напряжения на шинах секций 10 кВ и организации цепей защит присоединений РУ, а также заземляющие разъединители секций РУ с ручным приводом. Все выключатели ячеек оборудуются дистанционным управлением.

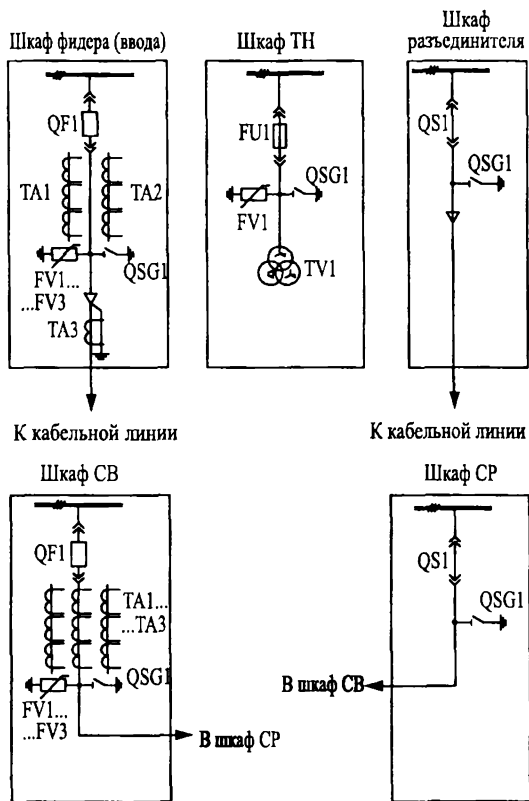


Рис. 2.8. Типовые схемы главных соединений шкафов типа «Омега»

Основные параметры шкафов типа К-99, «Омега» и NXAIR. В зависимости от требований заказчика функциональный блок РУ-6(10) кВ может быть реализован в трех вариантах на базе шкафов РУ с выкатными выключателями:

– К-99 двухстороннего обслуживания, с использованием выключателей серии ВБ или ВВ/TEL с током главных цепей до 1600 А. Обеспечиваются требуемая надежность и безопасность при невысоких затратах;

– «Омега» одностороннего обслуживания, уменьшенного габарита, с использованием выключателей серии ВБ, ВВ/TEL, SION с током главных цепей до 3150 А. Обеспечивается снижение капитальных затрат за счет уменьшения требуемых площадей на подстанции и гарантируются высокая надежность и безопасность;

– NXAIR одностороннего обслуживания, с использованием выключателей серии NXACT с током главных цепей до 2500 А. Обеспечиваются высокие показатели надежности и безопасности.

Сравнительные технические характеристики ячеек РУ-6(10) кВ приведены в табл. 2.3.

Компоновка силовых цепей и оборудования выполнена в соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок», Правилами устройства системы тягового электроснабжения железных дорог РФ, технических указаний и нормативных документов ОАО «РЖД» и технической документации на устанавливаемое оборудование. Конструкция шкафов обеспечивает возможность их установки на ровный пол с твердым покрытием.

Шкафы РУ-10 кВ комплектуются цифровыми устройствами защиты и автоматики БМРЗ, Siprotec, Spac, Seram или аналогичными по требованиям заказчика.

Контактные соединения в шкафах не требуют обслуживания за счет применения тарельчатых пружин с нормированным давлением в течение всего срока эксплуатации в местах стыковки высоковольтных шин и аппаратов.

Разводка вторичных цепей внутри шкафа осуществляется в коробах, проходящих по каркасу. Вторичные цепи, расположенные в высоковольтных отсеках, прокладываются в металлорукавах для защиты проводов от попадания высокого напряжения и снижения электромагнитных помех.

Ввод N1	Фидер N1	Фидер N2	Фидер N3	Трансформатор напряжения N1	Секционный выключатель
1	2	3	4	5	6

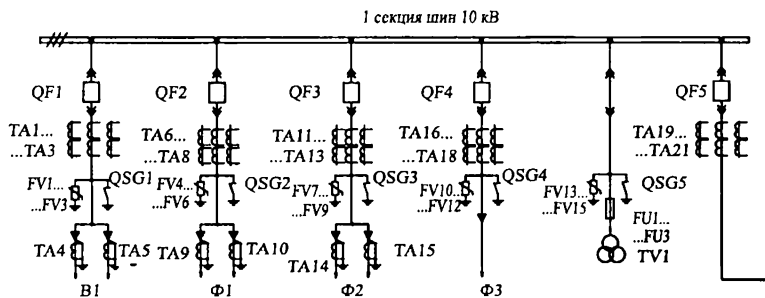
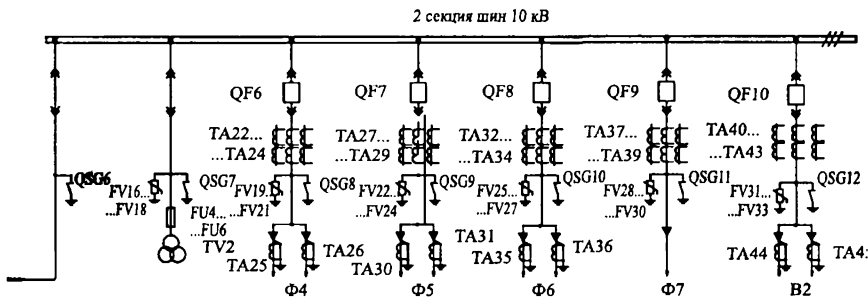


Рис. 2.9. Схема главных соединений РУ-10 кВ

Секционный разъединитель	Трансформатор напряжения N2	Фидер N4	Фидер N5	Фидер N6	Фидер N7	Ввод N2
7	8	9	10	11	12	13



Сравнительные технические характеристики

№ п/п	Наименование параметра	Тип шкафа	
		К-99, «Омега»	NXAIR
1	Номинальное рабочее напряжение	6 или 10 кВ	6 или 10 кВ
2	Номинальный ток главных цепей	До 1600 А До 3150 А	До 2500 А
3	Тип выключателя	Вакуумный ВВ, ВВ/TEL, SION или аналогичные	Вакуумный NXACT
4	Номинальные токи отключения выключателей	До 25 кА	До 25 кА
5	Условия обслуживания	К-99 – двухстороннее «Омега» – одностороннее	Одностороннее
6	Вид высоковольтных подключений	Кабельные, шинные	Кабельные, шинные
7	Степень защиты	IP20	До IP51
8	Габарит основного шкафа	К-99 750L × 1430В × 2300Н мм «Омега» 750(900)L × 1300В × 2100Н мм	800L × 1350В × × 2350Н мм
9	Цепи защит и автоматики	Микропроцессорные терминалы или релейно-контактные	Микропроцессорные терминалы или релейно-контактные

Особенности конструкции шкафов «Омега». Основой шкафа является несущий каркас (2), который изготавливается из оцинкованной стали и используется в качестве внутреннего контура заземления шкафа (рис. 2.10). Шкаф состоит из четырех отдельных отсеков: отсек сборных шин (1), отсек выкатного элемента (9), отсек подключений (11), отсек вторичных цепей (3). Каркас шкафа (2) собирается без применения сварки и является внутренним корпусом заземления шкафа. Конструкция шкафов позволяет произвести быстрый механический монтаж и электрический монтаж силовых, вторичных цепей камер между собой в единый функциональный блок РУ-10 кВ. Все металлические части шкафа гальваниче-

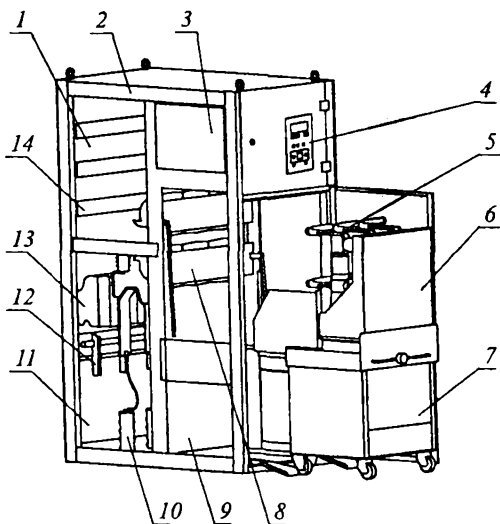


Рис. 2.10. Общий вид шкафа фидера типа «Омега»

ски соединены с каркасами. При помощи болтового соединения к контуру заземления подключены корпуса электрооборудования, аппаратов и приборов. В отсеке (9) установлен шторочный механизм с проходными изоляторами (8). Автоматически закрывающиеся шторы (8) препятствуют доступу к токоведущим частям при контрольном или ремонтном (выкаченном) положении выкатного элемента. На закрытых шторках предусмотрена возможность установки навесного замка. Также в отсеке (9) располагается выкатной элемент (6), который представляет собой выкатную тележку (7) с расположенным на ней вакуумным выключателем (5), ручным приводом выкатного элемента, концевыми выключателями. Механизм оборудован концевыми выключателями, сигнализирующими о нахождении выкатного элемента в рабочем и контрольном положениях, также осуществляется сигнализация при нахождении выкатного элемента в промежуточном положении. При ремонтном положении выкатного элемента конструкция шкафа обеспечивает безопасный доступ к элементам, предназначенным для периодического осмотра и проверки. Конструкция шкафов одного типа-исполнения обеспечивает взаимозаменяемость выкатных

элементов. В отсеке вторичных цепей (3) установлено низковольтное оборудование (блок защит и автоматики (4), реле, автоматические выключатели, клеммы) для реализации цепей блокировок, сигнализации и управления шкафа. В отсеке подключений (11) располагаются шины для высоковольтных кабельных подключений, опорные трансформаторы тока (13), заземляющий разъединитель (12) и ограничители перенапряжений (10). Высоковольтные вводы в шкаф возможны в двух вариантах: кабельное и шинос — в зависимости от требований проекта и конкретного присоединения. Трансформаторы тока (13) служат для измерения значения тока в главных цепях шкафа для работы релейной защиты и измерения электрической энергии. Заземляющий разъединитель (12) предусмотрен для защиты персонала от поражения электрическим током при выполнении регламентных работ с силовым электрооборудованием шкафа. Ограничители перенапряжений (10) предназначены для защиты силовых цепей шкафа от различных перенапряжений, которые возникают в подводящей сети (6) или (10) кВ. В отсеке сборных шин (1) расположены сборные шины шкафа (14) фаз А, В и С, шины соединяются болтовыми соединениями от шкафа к шкафу в пределах блока РУ-10 кВ.

2.5. Система управления тяговой подстанцией

Необходимым условием создания тяговых подстанций без постоянного эксплуатационного персонала является максимальная автоматизация процедур обслуживания, которая достигается путем создания автоматизированных систем управления (АСУ) тяговыми подстанциями. Только применение средств автоматизации и функциональной диагностики оборудования подстанции позволяет перейти от обслуживания «по регламенту» к обслуживанию «по необходимости» (по фактическому состоянию).

Таким образом, основная цель создания АСУ ТП — уменьшение расходов на эксплуатацию подстанций за счет сокращения дежурного и ремонтного персонала. Это реализуется путем:

- перевода подстанций на работу без постоянного дежурного персонала

- перехода на обслуживание и ремонт оборудования и средств релейной защиты и автоматики (РЗА) по фактическому состоянию.

2.5.1. Этапы развития систем управления тяговых подстанций

Объектами телеуправления тягового электроснабжения на электрифицированных железных дорогах являются тяговые подстанции, посты секционирования, пункты параллельных соединений и др. Телеуправление комплексом контролируемых пунктов (КП), представляющим собой «диспетчерский круг», осуществляется с энергодиспетчерского пункта данного круга. При этом объектами управления являются как цепи питания и секционирования контактной сети, продольного электроснабжения и автоблокировки, так и внутренние цепи отдельных КП, в том числе самых сложных из них — тяговых подстанций. В настоящее время для телеуправления указанными объектами используются системы телемеханики разных поколений и типов, наиболее современные из которых выполнены на прогрессивной компонентной базе, в частности на микропроцессорах, и используют цифровые технологии передачи данных.

Однако все системы телемеханики выполняют ограниченный набор функций, а именно:

- формирование и передачу команд телеуправления (ТУ) от диспетчерской к КП;
- передачу сигналов телесигнализации (ТС) об исполнении команд ТУ и возникающих в объекте изменениях состояния бинарных устройств от КП к диспетчерской.

Некоторые системы телемеханики имеют также ограниченное число каналов телеизмерений (ТИ), позволяющих из диспетчерской наблюдать за изменениями определенных медленно меняющихся аналоговых сигналов в объекте.

Однако для реализации тяговых подстанций без постоянного эксплуатационного персонала необходимы системы управления, интеллектуализированные на локальном уровне как по объему и содержанию передаваемой информации, так и по качеству (сочетанию точности и быстродействия) телеизмерений. Должна быть также обеспечена возможность анализа результатов измерений на уровне объекта с передачей диспетчеру обобщенного показателя состояния: «норма», «требуется более частое и детальное наблюдение», «требуется обслуживание». Это позволяет минимизировать время опроса и при необходимости перейти к адресному опросу сигналов ТС и ТИ данного объекта.

С 1996 г. начал выпуск автоматизированной системы телемеханического управления АСТМУ — первой отечественной программно-аппаратной системы с цифровыми протоколами передачи данных [11]. Система имеет высокую информативность, в частности, по количеству и качеству каналов ТИ, адаптивность к изменениям конфигурации объектов управления, надежность и помехозащищенность; ее вариант АСТМУ-А (выпускается с 2001 г.) обладает совместимостью с любыми из используемых систем аналогичного назначения.

На этой базе была разработана система диспетчерского управления АСТМУ — АСУ ТП-Р, предназначенная для участков железных дорог, на которых применены функционально-блочные подстанции. Автоматизированная система централизованного дистанционного управления АСУ ТП-Р, выпускаемая НИИЭФА-ЭНЕРГО, является двухуровневой, имеет локальные программируемые логические контроллеры (ПЛК), встроенные непосредственно во все функциональные блоки подстанции (распределительные устройства РУ-6(10) кВ и РУ-3,3 кВ, преобразовательно-выпрямительные агрегаты и т. д.).

Контроллеры ПЛК работают в локальной сети, использующей интерфейс RS-485; ими управляет контроллер подстанции (микро-ЭВМ), представляющий собой верхний уровень в системе АСУ ТП-Р и средний — в системе диспетчерского управления АСТМУ — АСУ ТП-Р, причем программное обеспечение уровней диспетчерской и подстанции в части управления подстанцией идентично.

При работе подстанции в обслуживаемом режиме (пусконаладочные работы, испытания оборудования и т.п.) к микро-ЭВМ подключается компьютер (например, портативный) с диалоговыми средствами, образуя пульт-щит дежурного по подстанции.

В качестве ПЛК использовались специализированные контроллеры с функциями ТУ, ТС, ТИ. Для реализации функций релейных защит применялись ранее разработанные системы на базе электро-механических и электронных устройств. Связь с диспетчерской по линиям ТУ—ТС выполняет контроллер подстанции через специальный модем АСТМУ.

В целом же до недавнего времени вопросы диспетчерского управления объектами электроснабжения, контроля параметров, диагностики оборудования могли решаться и решались отдельными подсистемами, имеющими различные аппаратные и программные плат-

формы, и, как правило, требовавшие для своего функционирования различные каналы связи.

Такой подход характерен для объектов, имеющих традиционную для тяговой подстанции структуру системы управления, которую можно представить в виде четырех отдельных (функционально и аппаратно) подсистем.

– аппаратура вторичной коммутации, релейная защита и автоматика;

– аппаратура телемеханики;

– подсистема диагностики;

– собственно электротехническое оборудование.

То есть, это традиционные тяговые подстанции, опутанные цепями релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации.

Такая структура эволюционно уступает место техническим решениям следующего поколения. Появление на рынке вычислительной техники микропроцессорных интеллектуальных устройств в энергетике сильно повлияло на релейную защиту, автоматику и управление. Интегрирование функций защиты, управления, мониторинга совместно с техникой локальных сетей и современными телекоммуникационными технологиями в настоящее время широко распространено на подстанциях за рубежом и внедряется при новом строительстве и реконструкции тяговых подстанций.

188
88

2.5.2. Современные требования к АСУ

Основное назначение АСУ — оперативно-диспетчерское и эксплуатационно-техническое управление основным и вспомогательным оборудованием подстанций в нормальных, переходных и аварийных режимах работы.

К средствам АСУ предъявляется множество различных требований как со стороны оборудования тяговой подстанции, так и со стороны служб эксплуатации. Основные из этих требований можно разделить на следующие три группы.

1. Функциональные требования — реализация всех необходимых функций АСУ:

– релейной защиты и автоматики (РЗА);

– управления (местное, дистанционное и телеуправление);

- сигнализации (местная, дистанционная и телесигнализация);
- регистрации аварийных событий (включая цифровое осциллографирование);
- диагностики и самодиагностики;
- связи, интеграции в систему (в соответствии с ГОСТ Р МЭК 61850-3-2005 [12]).

2. Требования к надежности (очевидно, что надежность средств управления и РЗА должна быть выше надежности защищаемого оборудования):

- необходимость обеспечения автономной работы каждого из присоединений независимо от отказов других присоединений и линий связи;
- необходимость минимизации числа самых ненадежных элементов вторичных цепей присоединения — электрических контактов;
- необходимость минимизации числа соединительных проводников (как основных источников и приемников электромагнитных помех);
- возможность использования единого структурно-функционального средства повышения надежности — постоянной самодиагностики всех аппаратных и программных элементов.

3. Технологические (эксплуатационные) требования:

- возможность работы без постоянного дежурного персонала на тяговой подстанции;
- доступность на уровне диспетчерской информации, необходимой для управления, анализа аварийных ситуаций, контроля работы РЗА, а также о необходимости проведения технического обслуживания конкретного оборудования по его состоянию;
- простота и удобство технического обслуживания.

Реализация вышеперечисленных требований приводит к необходимости интеграции функций вторичных цепей в пределах присоединения, т.е. к реализации этих функций с помощью специального класса устройств — «цифровых терминалов» (или интеллектуальных терминалов присоединений).

2.5.3. Цифровые терминалы — основа создания АСУ

Цифровые терминалы [13] — это качественно новый класс изделий, которые, во-первых, заменяют собой целый ряд существующих

щих устройств и, во-вторых, выполняют функции устройств, которых ранее не было на подавляющем большинстве тяговых подстанций, но которые необходимы для перехода на технологию обслуживания без постоянного дежурного персонала.

В настоящее время серийно выпускаются цифровые терминалы серии ЦЗА для фидеров контактной сети постоянного тока напряжением 3,3 кВ (ЦЗАФ-3,3) и для всех присоединений тяговой сети 27,5 кВ (семейство ЦЗАФ-27,5).

Эти терминалы заменяют собой практически все «интеллектуальные» устройства вторичных цепей подстанций. При этом каждая из функций выполняется с лучшими характеристиками и, кроме того, реализуются новые функции, предоставляются новые возможности для обслуживающего персонала. Отметим основные особенности, вносимые терминалами в выполнение «старых» и «новых» функций.

Устройства защит. Терминалы реализуют функции всех ранее существующих устройств защит, обеспечивая при этом лучшую точность и селективность. Например, в существующих электронных защитах фидеров контактной сети переменного тока погрешность дистанционных защит от высших гармоник может достигать 30—60 %. В терминалах, благодаря применению цифровой фильтрации, эта погрешность уменьшена на порядок. Селективность цифровых защит в таких терминалах улучшена за счет, во-первых, определения необходимых параметров только по первой гармонической составляющей тока и напряжения и, во-вторых, использования адаптации уставок защит по коэффициенту гармоник. Первый способ обеспечивает, например, отстройку от бросков токов намагничивания в трансформаторах электровозов, предотвращая, тем самым, ложные отключения фидеров. Вторым способом обеспечивается снижение вероятности ложных срабатываний защиты при наличии электроподвижного состава на линии. При этом производится измерение коэффициента гармоник в токе и, если его величина превышает заданное значение уставки, производит «загрубление» уставок второй и третьей ступеней дистанционных защит (или резервирующих их токовых защит) на 20 %.

Ввод уставок в терминалах серии ЦЗА осуществляется в единицах первичного тока, напряжения и сопротивления в удобной цифровой форме и при этом не требуется применения прогрузочных

устройств (как для некоторых электронных защит). Терминалы позволяют использовать две (или три) группы уставок защит (для нормального и вынужденного режимов) и при необходимости обеспечивают возможность их оперативного переключения по телеуправлению. Терминалы также фиксируют и сохраняют информацию о пусках и срабатываниях всех ступеней защит, а также обеспечивают возможность передачи этой информации по каналам связи.

Таким образом, терминалы без какой-либо дополнительной аппаратуры обеспечивают возможность передачи на верхний уровень информации об аварийных событиях, о работе защит и автоматики (с привязкой к астрономическому времени), дистанционного управления группами уставок и т.д.

Устройства автоматики. Терминалы серии ЦЗА выполняют все необходимые функции автоматики на присоединении. При этом обеспечивается большая гибкость за счет «программных ключей», позволяющих вводить и выводить из действия отдельные функции автоматики и менять их параметры. Управление программными ключами возможно как с лицевой панели терминала, так и по каналу АСУ.

Например, в терминале для фидера контактной сети переменного тока (ЦЗА-27,5-ФКС) специальными ключами могут быть введены дополнительные режимы автоматического повторного включения (АПВ):

- разрешение АПВ только при наличии напряжения на фидере;
- ускорение первого цикла АПВ при наличии напряжения на фидере.

Устройства местного, дистанционного и телемеханического управления. Терминалы осуществляют управление всеми коммутационными аппаратами присоединения как в режиме местного управления, так и телеуправления.

Телеуправление может осуществляться как по последовательному каналу от АСУ, так и через специальные дискретные входы от стойки традиционной телемеханики. Местное управление всеми коммутационными аппаратами в терминалах серии ЦЗА осуществляется с помощью кнопок, расположенных на лицевой панели его блока управления.

Средства сигнализации. Терминалы осуществляют местную, общеподстанционную и телемеханическую сигнализацию с помощью следующих средств:

- светодиодов на лицевой панели;
- цифро-буквенного дисплея;
- релейных выходов;
- последовательных интерфейсов для подключения каналов связи с АСУ и компьютера (для настройки и контроля работы терминала).

При этом обеспечиваются следующие виды сигнализации:

- индикация текущего положения коммутационных аппаратов;
- индикация текущих значений параметров присоединения;
- аварийная сигнализация;
- предупредительная сигнализация;
- сигнализация оперативного контроля цепей;
- сигнализация о неисправности коммутационных аппаратов и их цепей управления;
- сигнализация о неисправности самого терминала;
- индикация значений уставок, внутренних параметров терминала и другой информации.

Фиксаторы-сумматоры токов. В терминалах реализуется расчет выработанного ресурса выключателя, но выполняется он более корректно, чем в существующих фиксаторах-сумматорах токов. Расчет осуществляется табличным методом, в соответствии с регламентированными для конкретного типа выключателя данными по его коммутационной стойкости, которые предварительно заносятся в память терминала. Кроме того, терминал реализует и другие виды функциональной диагностики выключателя (и других коммутационных аппаратов): регистрацию механического ресурса, контроль времени срабатывания, контроль готовности к выполнению очередной операции.

Новые функции, реализуемые цифровыми терминалами серии ЦЗА

Регистрация и хранение параметров аварийных отключений. В состав накапливаемой терминалом информации входят следующие параметры:

- общее количество отключений выключателя;
- количество аварийных отключений;
- ток фидера при последнем отключении;
- напряжение на фидере при последнем отключении;
- выработанный ресурс выключателя.

Просмотр и сброс накопительной информации осуществляются с помощью собственного цифро-буквенного дисплея или по каналу

АСУ. Время хранения накопительной информации при отключенном питании терминала не ограничено. Сброс накопительной информации производится после ввода пароля. Имеется возможность передачи этой информации по каналам связи.

Цифровое осциллографирование аварийных процессов. Терминалы регистрируют и сохраняют от 8 до 16 осциллограмм последних аварийных отключений и информацию об их причинах.

Запись осциллограмм при регистрации производится с интервалом дискретизации не более 1 мс и содержит предысторию аварии (не менее 0,4 с до команды отключения).

По каждому аварийному событию в осциллограммах фиксируется следующая информация:

- мгновенные значения выходного дискретного сигнала отключения выключателя;
- мгновенные значения входных дискретных сигналов положения выключателя (РПО и РПВ);
- мгновенные значения двух обобщенных сигналов срабатывания внешних и внутренних защит;
- перечень защит, выдавших команду на отключение выключателя.

Просмотр осциллограмм осуществляется при помощи подключаемого компьютера и специальной программы. Возможен вариант считывания осциллограмм по каналу АСУ.

Записи осциллограмм позволяют выявить дефекты оборудования, которые раньше оставались незамеченными (например, плохо отрегулированный привод выключателя, частичные пробой вакуумной камеры выключателя и т.д.). Анализ осциллограмм позволяет определить и параметры работы самого терминала в конкретной ситуации (например, быстрдействие защит) и характеристики электрических процессов, происходящих в защищаемом фидере. При этом удастся установить точный тип аварии, причину ее возникновения, ход ее развития и принять меры для предотвращения подобных аварий.

То есть, цифровое осциллографирование аварийных процессов является необходимым, а, зачастую, и единственным инструментом выявления истинных причин аварий и ложных срабатываний. Без такого инструмента невозможен эффективный анализ аварийных ситуаций на тяговой подстанции и контактной сети и, соответственно, — профилактика и предупреждение аварий.

Реализация телеизмерений. Терминалы производят измерение текущих параметров нагрузки и могут быть использованы как измерительные преобразователи для организации телеизмерений. Терминалы серии ЦЗА снабжаются сертификатами калибровки, содержащими их конкретные метрологические характеристики. В части измерения токов и напряжений терминалы имеют погрешность не более 2 %, а по сопротивлению, активной и реактивной мощности — 4 %. Погрешность измерения фазовых углов между векторами тока и напряжения — не более 2°.

Значения электрических параметров сети отображаются на дисплее терминала в первичных величинах (с учетом введенных коэффициентов передачи трансформаторов тока и напряжения). Таким образом, терминалы позволяют наиболее эффективно осуществить контроль качества выполнения основной задачи тяговых сетей — обеспечение заданного уровня напряжения в контактной сети для электроснабжения электроподвижного состава.

Выполнение функций РЗА распределительного устройства и подстанции. Функции РЗА распределительного устройства и подстанции характеризуются необходимостью согласованной работы нескольких присоединений. Такими функциями являются: автоматическое включение (и отключение) резерва, резервирование при отказах выключателя, защита от подпитки коротких замыканий на высокой стороне трансформатора со стороны контактной сети. Кроме того, к таким функциям относится защита шин РУ. Терминалы выполняют необходимую часть этой согласованной работы в пределах своего присоединения так, что функция полностью реализуется совокупностью терминалов и проводных связей между ними.

Терминалы обеспечивают возможность осуществить защиту шин любым из известных способов:

- с помощью защиты минимального напряжения;
- с помощью «логической защиты шин»;
- путем обработки сигналов от внешних устройств «земляной защиты» или «защиты от дуговых замыканий».

Контроль цепей управления коммутационных аппаратов. Терминалы осуществляют двухпозиционный контроль положения коммутационных аппаратов, который позволяет также контролировать целостность их цепей управления, а также их готовности к очередной операции.

Определение места повреждения (ОМП) контактной сети. В терминалах фидеров контактной сети и ЦЗА-27,5-ФКС реализован оригинальный алгоритм ОМП, предложенный специалистами НИИЭФА-ЭНЕРГО. Этот алгоритм позволяет существенно снизить влияние на результат таких факторов, как:

- ток в контактном проводе смежного пути (т.к. большинство линий — двухпутные);
- сопротивление в месте КЗ (переходное сопротивление, сопротивление дуги, троса группового заземления и т.д.);
- ток подпитки места КЗ со стороны смежной подстанции;
- переходные процессы в понижающем трансформаторе и в контактной сети, возникающие при КЗ.

Интеграция в АСУ. Терминал является контроллером нижнего уровня АСУ и не требует дополнительной аппаратуры (устройств сопряжения с объектом, регистрации и передачи данных и т.п.) для передачи всей имеющейся в нем информации по каналу связи с АСУ.

Дополнительные возможности. Благодаря гибкости программного обеспечения терминалы позволяют более эффективно решить традиционные задачи, чем электронные защиты, и экономить оборудование. Например, в однопутных постах секционирования и пунктах параллельного соединения контактной сети переменного тока на один выключатель традиционно использовались по два комплекта защит для двух возможных направлений тока. Теперь для таких случаев достаточно одного терминала, реализующего «зеркальные» характеристики срабатывания дистанционных защит.

Аналогично на фидерах тяговой сети 2×25 кВ использовались по два комплекта защит для контактного и питающего проводов, которые могут быть заменены одним терминалом (ЦЗА-27,5-ФТС).

Самодиагностика терминалов. Терминалы реализуют постоянную фоновую самодиагностику и при отсутствии подтверждения собственной исправности могут подать команду на отключение фидера.

В терминалах осуществляется тест по начальному включению, непрерывный функциональный контроль аппаратных средств, контроль сохранности программного обеспечения и настроек параметров защит и автоматики.

Самодиагностика работы терминала выполняется в течение всего времени работы устройства и обеспечивает выявление одного из трех его состояний:

- «устройство исправно»;
- «частичный отказ устройства» — система диагностики обнаружила неисправность, не влияющую на выполнение основных функций устройства — функций защит;
- «отказ устройства» — система диагностики обнаружила неисправность, препятствующую выполнению функций защит.

Результаты самодиагностики выводятся на его лицевую панель, а также доступны по каналам АСУ. Отказ устройства или длительное (более 1 с) пропадание оперативного напряжения выявляется в АСУ как потеря связи с данным терминалом.

В терминалах также предусмотрен тестовый режим диагностики, позволяющий контролировать работоспособность дискретных входов и выходов, органов управления и индикации.

Сервисные функции. В терминалах обеспечено сохранение в памяти:

- введенных параметров защит и автоматики — в течение срока службы, независимо от наличия напряжения питания;
- информации об аварийных событиях и текущем времени при наличии напряжения питания — не ограничено, при отсутствии напряжения питания — не менее 200 ч.

В терминалах реализована функция календаря и часов времени с индикацией даты, часа, минуты и секунды. Погрешность хода часов за сутки составляет не более ± 3 с (при отсутствии коррекции по каналу АСУ).

В целом терминалы серии ЦЗА разработаны с учетом требований к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики объектов промышленной энергетики [14], в части выбранного конструктива («Евромеханика»), требований по электромагнитной совместимости, метрологическим характеристикам измерительных каналов и других.

Конструктивно устройства ЦЗА состоят из двух основных блоков — блок управления и блок защит и автоматики. В состав устройства ЦЗАФ-3,3 входит третий блок — высоковольтный преобразователь БР-3,3, который подключается к стандартному шунту для измерения тока фидера и имеет в своем составе три делителя напряжения для измерения напряжения на фидере и на контактах быстродействующих выключателей. Информация о токе и напряжениях передается в основной блок ЦЗАФ-3,3 по оптическому кабелю. Внешний вид ЦЗАФ-3,3 показан на рис. 2.11.

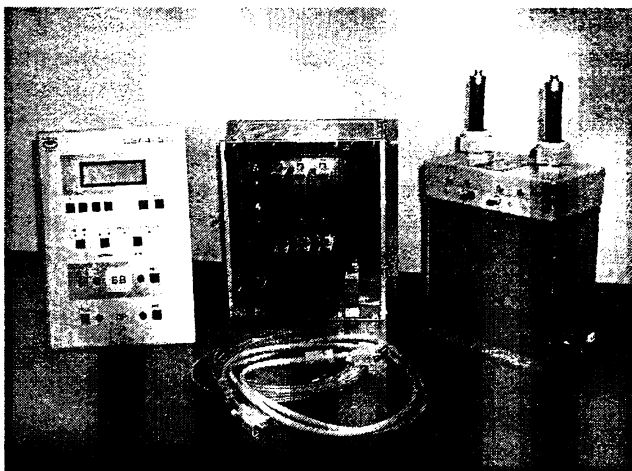


Рис. 2.11. Устройство цифровой защиты и автоматики фидера контактной сети постоянного тока 3,3 кВ (ЦЗАФ-3,3)

На основе текущих измерений, записанных осциллограмм аварийных событий в устройстве ЦЗАФ-3,3 реализована диагностика выключателя постоянного тока, при которой контролируются и вычисляются следующие параметры:

- ток и напряжение фидера;
- коммутационный ресурс;
- механический ресурс;
- энергия отключения;
- время гашения дуги;
- «недовключенное» положение выключателя.

Внешний вид устройства цифровой защиты и автоматики фидера контактной сети переменного тока ЦЗА-27,5-ФКС показан на рис. 2.12. В этом устройстве возможна установка двух наборов уставок защит и оперативная их смена, а также организация частичного резервирования защит смежного фидера, подключенного к той же фазе питающего напряжения.

Функции связи обоих устройств позволяют подключать их к компьютеру (по интерфейсу RS-232) и к АСУ ТП (по интерфейсу RS-485) в качестве подсистемы нижнего уровня.

Терминалы ЦЗА обеспечивают весь необходимый набор функций по управлению, диагностике выключателей 3,3 и 27,5 кВ; они

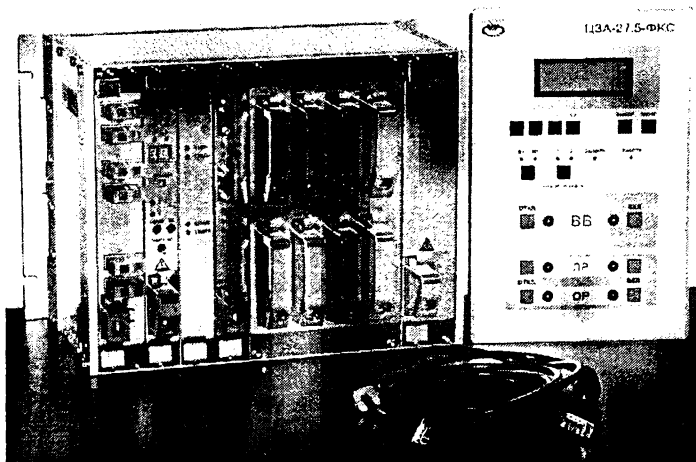


Рис. 2.12. Устройство цифровой защиты и автоматики фидера контактной сети переменного тока 27,5 кВ (ЦЗА-27,5-ФКС)

могут быть использованы и как средство измерения. Для других присоединений тяговой подстанции, в том числе для РУ-6(10) кВ, могут быть использованы терминалы любых производителей. Что касается терминалов для РУ-110(220) кВ, то их применение и типы жестко определяются техническими условиями энергосистемы при реконструкции и строительстве РУ-110(220) кВ.

2.5.4. АСУ ТП на базе цифровых терминалов

Структурная схема распределенной автоматизированной системы управления тяговой подстанцией на базе интеллектуальных терминалов (АСУТП-РИТ) показана на рис. 2.13.

АСУТП-РИТ является интегрированной системой, т.е. помимо функций собственно управления она реализует:

- функции защит и автоматики;
- функции диагностики оборудования и самодиагностики;
- функции регистрации аварийных процессов;
- функции измерения параметров;
- функции обработки и хранения информации.

По своей структуре АСУТП-РИТ является двухуровневой распределенной системой с локализацией всех (основных) связей и

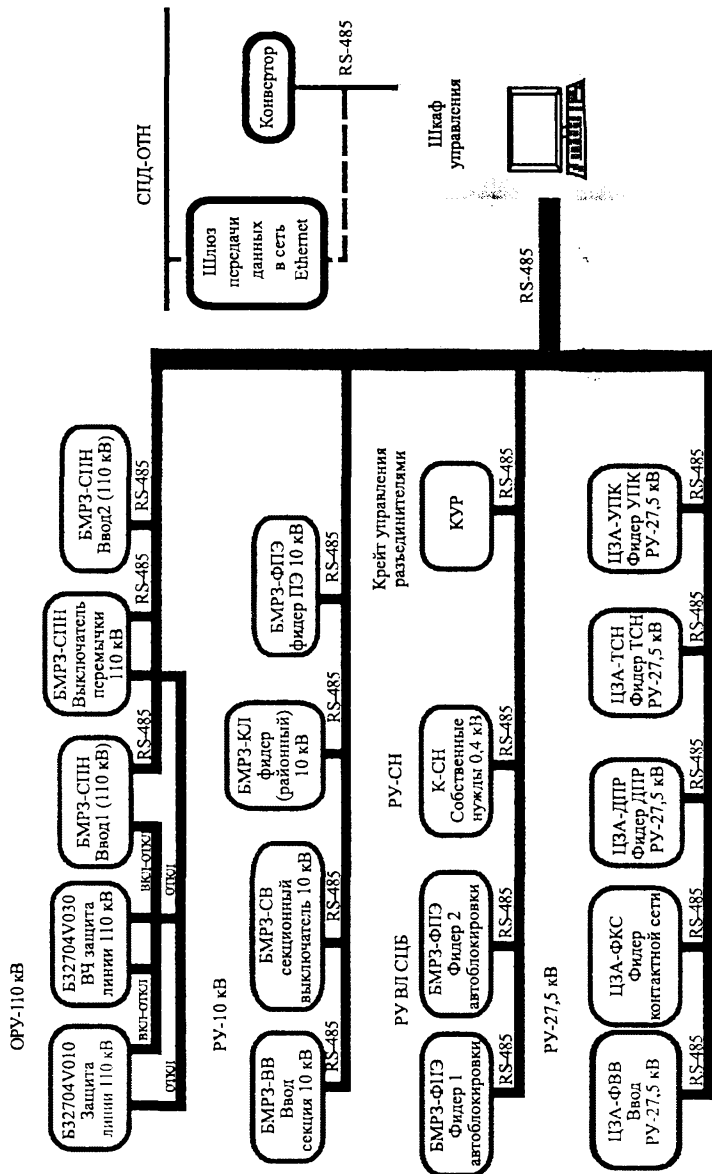


Рис. 2.13. Структурная схема АСУ ТП-РИТ

функций в пределах каждого присоединения и соответствует основным положениям ГОСТ Р МЭК 61850.

Нижний уровень АСУ образует терминалы, локальные контроллеры, крейт (или крейты) управления разъединителями. Сбор данных с каждого из этих микропроцессорных (МП) устройств, передача команд телеуправления осуществляется по последовательному каналу связи, к которому подключаются все терминалы и МП устройства.

Физический интерфейс RS-485. В качестве протокола обмена в сети может быть использован любой из широко распространенных протоколов «полевого» уровня — в частности, MODBUS RTU как наиболее распространенный в подсистемах управления нижнего уровня.

Верхний уровень АСУ — уровень подстанции — образован контроллером подстанции и аппаратурой связи с МП устройствами, с одной стороны, а также с энергодиспетчерской — с другой. На этом уровне осуществляется управление сбором данных в сети, формирование команд управления и отображения информации. Аппаратура этого уровня смонтирована в шкафу управления тяговой подстанцией.

Шкаф управления предназначен для выполнения функций дистанционного и телемеханического управления. В шкаф установлен промышленный контроллер типа MicroPC; монитор с сенсорным экраном, контроллеры общеподстанционной сигнализации и диагностики, источник бесперебойного питания. Дополнительно в шкаф установлены устройства преобразователей интерфейсов RS-232/RS-485 и RS-232/Ethernet, их блоки питания, а также блок питания монитора. Цепи питания защищены устройствами защиты от перенапряжений и помех.

Дистанционное управление подстанцией осуществляется с помощью сенсорного экрана монитора, на котором отображается мнемосхема подстанции. На него же выводятся сигнализация и телеизмерения из контроллеров присоединений.

Телемеханическое управление подстанцией из энергодиспетчерской может осуществляться как по каналам цифровой системы передачи данных (СПД), так и по каналам ТУ-ТС. В последнем случае шкаф управления ТП дополняется узлом связи. В узле связи установлен модем, обеспечивающий информационную совместимость с различными системами телемеханики («АСТМУ», «ЭСТ-62», «ЛИСНА», «МСТ-95» и др.).

Система АСУТП-РИТ является открытой и в нее легко интегрируются дополнительные системы диагностирования оборудования, на котором не устанавливаются терминалы, например, подсистема диагностирования трансформаторов или выпрямительно-преобразовательного агрегата.

Замена существующих устройств релейной защиты и телемеханики на цифровые терминалы, объединенные в АСУ, позволяет получить следующие преимущества:

- повышение надежности электроснабжения путем повышения количества и качества функций защит и автоматики;
- уменьшение расходов на эксплуатацию участка путем перевода всех контролируемых пунктов на работу без постоянного дежурного персонала (с возможностью получения на верхнем уровне полной информации о состоянии на любом пункте);
- сокращение расходов на эксплуатацию путем перехода на обслуживание и ремонт оборудования и средств РЗА по фактическому их состоянию;
- реализация «бесбумажной» технологии эксплуатации энергокруга (автоматизация планирования, отчетности, выдачи информации по фактическому состоянию на любой момент времени и т.д.);
- возможность создания АСУ более высоких уровней (дистанции электроснабжения, дороги), включающих данную АСУ участка в качестве подсистемы нижнего уровня.

Высокоскоростные каналы связи между тяговыми подстанциями и диспетчерскими пунктами также становятся необходимой частью в реализации управляющей системы. Они обеспечивают, во-первых, надежность в передаче информации, т.е. своевременность и достоверность; во-вторых, возможность разделения обработки информации с привлечением более мощных вычислительных средств верхнего уровня; в-третьих, возможность передачи, при необходимости, первичной информации в виде, например, осциллограмм аварийных процессов.

2.5.5. Верхний уровень АСУ

Для функционирования тяговой подстанции без постоянного эксплуатационного персонала АСУ ТП должна быть дополнена более высоким уровнем управления — уровнем энергокруга. Этот уро-

вень АСУ в общем случае должен быть образован следующими четырьмя автоматизированными рабочими местами (АРМ):

- 1) АРМ-энергодиспетчера с традиционными функциями управления, сигнализации и регистрации;
- 2) АРМ-энергоучета;
- 3) АРМ-диагностики оборудования;
- 4) АРМ-РЗА.

Первые два АРМ уже реализованы на некоторых энергокругах и их функции достаточно очевидны; ниже приведены основные требования к следующим двум АРМ.

АРМ-диагностики оборудования должен реализовать функции сбора и накопления информации по состоянию силового оборудования энергокруга. Источником такой информации являются терминалы и технологические контроллеры на подстанции и других контролируемых пунктах. С помощью этого АРМ планируются сроки и объемы технического обслуживания оборудования, ведутся соответствующие базы данных.

При этом АРМ диагностики должен обеспечивать передачу и обработку следующих групп сигналов ТС и ТИ:

- неисправность коммутационных аппаратов и время ее появления;
- текущее значение коммутационного ресурса выключателей;
- сигналы определения места повреждения;
- текущее значение температуры контактного провода;
- сигналы диагностики оборудования (в зависимости от типа оборудования и используемой диагностической аппаратуры).

АРМ-РЗА должен выполнять функции:

- планирования сроков и объемов технического обслуживания средств РЗА;
- контроля уставок и дистанционное (телемеханическое) переключение при необходимости групп уставок на заданных присоединениях;
- отображения результатов самодиагностики всех терминалов, регистрации и архивации неисправностей и отказов всех средств РЗА (по присоединениям и контролируемым пунктам);
- ведения базы данных по техническому состоянию средств РЗА и составления соответствующих статистических отчетов;
- регистрации, отображения и архивации пусков и срабатываний всех защит и функций автоматики (аварийной и накопительной ин-

формации), а также сброса аварийной и накопительной информации терминалов;

– считывания, хранения, обработки и распечатки осциллограмм аварийных процессов;

– контроля результатов автоматического восстановления нормальной схемы питания контактной сети после аварийного отключения и т.д.

2.5.6. Технология модернизации подстанций

Реализация системы управления на цифровых терминалах при новом строительстве, реконструкции тяговой подстанции является основным путем развития информационно-управляющих систем в части аппаратного обеспечения нижнего уровня.

Но даже и при частичной реконструкции подстанции могут быть реализованы решения, максимально отвечающие требованиям сегодняшнего дня и закладывающие фундамент дальнейшей реконструкции.

На рис. 2.14 представлена структурная схема системы управления тяговой подстанцией при реконструкции распределительных РУ-3,3 кВ или РУ-27,5 кВ с применением терминалов ЦЗА и управлением остальными присоединениями от существующего шкафа телемеханики. При этом каналы телеизмерения в РУ-10 кВ и РУ-110 кВ организуются с помощью многофункциональных измерительных преобразователей. Для реконструируемых присоединений при такой схеме АСУ решаются все вышеперечисленные задачи, а для остальных присоединений — телеуправление и контроль параметров. Шкаф телемеханики в самом общем случае может быть от системы телемеханики любого типа: АСТМУ, ЛИСНА, ЭСТ-62, МСТ. Шкаф телемеханики подключается к шкафу управления тяговой подстанцией через специальное согласующее устройство; в свою очередь, шкаф управления подключается к каналам связи и обеспечивает передачу и прием данных по протоколу действующей на данном энергокруге системы телемеханики, а также обеспечивает передачу всей необходимой диагностической информации по каналам системы передачи данных (СПД).

Такое решение при частичной реконструкции позволяет максимально сохранить всю инфраструктуру связей для РУ, не подлежа-

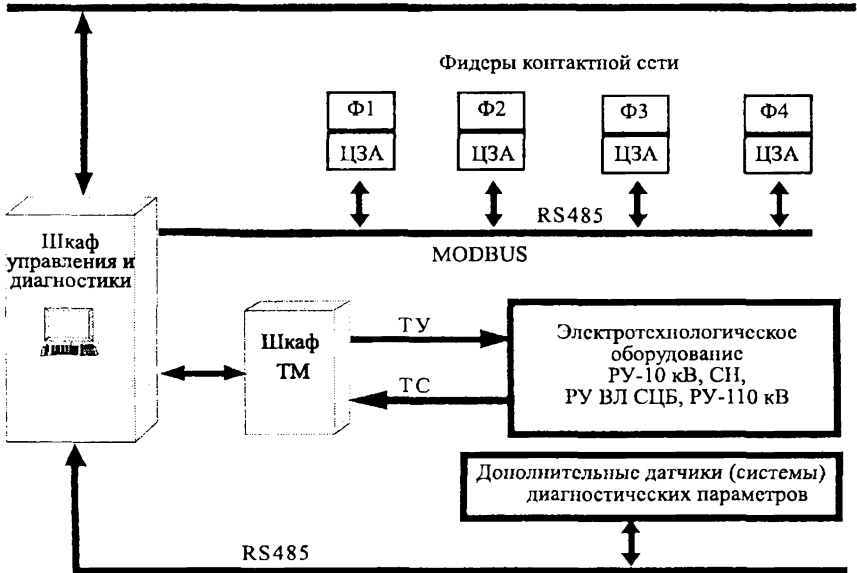


Рис. 2.14. Структурная схема системы управления при реконструкции РУ-3,3 или РУ-27,5 кВ

щих модернизации, а также позволяет перейти к дальнейшей поэтапной модернизации РУ, оснащая их цифровыми терминалами.

Таким образом, необходимо отметить следующее:

1) в настоящее время имеются необходимые компоненты, позволяющие комплексно решать задачи диспетчерского управления, контроля и диагностики оборудования тяговой подстанции. Это — цифровые терминалы, высокоскоростные каналы передачи информации, многофункциональные измерительные преобразователи;

2) в рабочие проекты по новой электрификации, телемеханизации, замене телемеханики, модернизации необходимо закладывать технические решения, обеспечивающие реализацию всех требований к современным системам управления, причем требований не только сегодняшнего дня, но и с перспективой на будущее, и, в том числе, необходимо включать аппаратуру сопряжения с высокоскоростными каналами связи.

2.6. Компонувочные решения тяговых подстанций

Распределительные устройства тяговых подстанций выполняют наружной и внутренней установки. При расположении оборудования на открытом воздухе РУ называют открытыми (ОРУ), при расположении оборудования внутри здания или контейнеров — закрытыми (ЗРУ).

РУ 110-220 кВ тяговых подстанций постоянного и переменного тока обычно выполняют открытыми. В настоящее время для вновь сооружаемых тяговых подстанций РУ-35 кВ, РУ тягового электропитания 3,3 кВ и 27,5 кВ, РУ районного электропитания 6 или 10 кВ, ВЛ СЦБ выполняют закрытыми с расположением оборудования в капитальном здании, быстровозводимом здании или контейнерах. При реконструкции открытых РУ-35 кВ и 27,5 кВ действующих тяговых подстанций их выполняют закрытыми с размещением нового оборудования в контейнерах. Контейнеры размещаются на рельсошпальной решетке. Закрытые РУ надежнее, удобнее, безопаснее. Эксплуатация закрытых РУ не зависит от климатических условий, занимаемая площадь меньше по сравнению с открытыми.

КРУ предъявляют следующие требования:

- надежность работы;
- безопасность и удобство обслуживания;
- высокая пожарная безопасность;
- экономичность;
- возможность дальнейшего расширения.

Соблюдение данных требований позволяет при сооружении новых и реконструкции существующих тяговых подстанций обеспечивать бесперебойное электроснабжение тяговых и нетяговых потребителей.

2.6.1 Компонировка оборудования тяговой подстанции постоянного тока в здании

При сооружении и реконструкции тяговой подстанции постоянного тока в здании размещают функциональные блоки РУ-3,3 кВ, выпрямителей, реакторов, РУ-10 кВ, РУ ВЛ СЦБ, собственных нужд 0,4 кВ, трансформаторы собственных нужд, в отдельных случаях

в здании возможно размещение тяговых сухих трансформаторов мощностью до 12 МВА.

На рис. 2.15 приведена компоновка тяговой подстанции постоянного тока в капитальном здании. Как правило, здание подстанции содержит машинный зал, щитовую, аккумуляторную, помещение с дизельгенератором и другие вспомогательные помещения (служебные, мастерские и т.д.). В машинном зале размещаются функциональные блоки РУ-3,3 кВ (9), выпрямительные агрегаты (5), РУ-10 кВ (7), РУ ВЛ СЦБ (3), сухие трансформаторы собственных нужд (6), повышающий сухой трансформатор ВЛ СЦБ (11). Ввод напряжения от тягового трансформатора осуществляется через проходные изоляторы (4), далее, после выпрямления, напряжение посредством шинных мостов поступает на катодные выключатели РУ-3,3 кВ, подключение линейных разъединителей фидеров РУ-3,3 кВ выполняется через проходные изоляторы (10), подключение отсоса к фильтрующему устройству выполняется через проходной изолятор (8). В помещении щитовой располагаются функциональные блоки собственных нужд переменного (2) и постоянного (15) тока, шкафы управления подстанцией (13) и общеподстанционной сигнализации (1), шкафы учета электроэнергии (12) и рабочее место дежурного по подстанции (14), в случае наличия на подстанции постоянного дежурного персонала. В аккумуляторной размещают блоки со стеллажами необслуживаемых герметичных аккумуляторных батарей (16).

2.6.2. Компоновка оборудования тяговых подстанций постоянного тока в контейнерах

Для тяговой подстанции постоянного тока в контейнерах размещают оборудование функциональных блоков РУ-3,3 кВ, выпрямителей, РУ-10 кВ, РУ ВЛ СЦБ, собственных нужд 0,4 кВ, трансформаторы собственных нужд, тяговые трансформаторы, реакторы. Оборудование РУ-110 или 220 кВ размещают на открытой части подстанции.

На рис. 2.16 приведена компоновка РУ-3,3 кВ тяговой подстанции постоянного тока в контейнерах. Функциональные блоки РУ-3,3 кВ (1), (3) и (5), выполненные на ячейках типа КВ-3,3, располагают в трех контейнерах длиной 6 м, между собой блоки

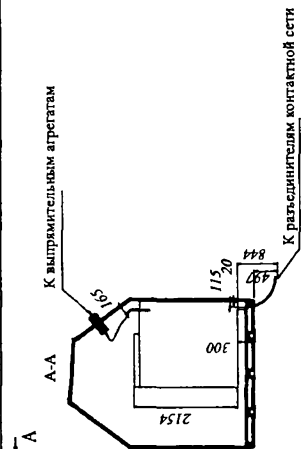
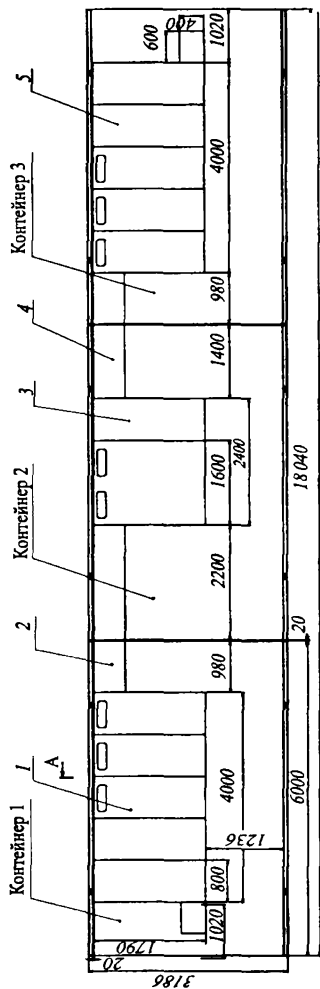


Рис. 2.16. Компоновка оборудования РУ-3,3 кВ тяговой подстанции постоянного тока в контейнерах

соединяются шинопроводами (2) и (4). Подключение выпрямительных агрегатов к блокам (1) и (5) производится шинами через проходные изоляторы. Подключение линейных разъединителей контактной сети выполняется кабелем, в зависимости от токовой нагрузки фидера возможно подключение к ячйке до шести кабелей наружным диаметром до 50 мм каждый. Функциональные блоки выпрямительных агрегатов, РУ-10 кВ, ВЛ СЦБ, собственных нужд постоянного и переменного тока 0,4 кВ, общеподстанционного управления и сигнализации, аккумуляторную и дизель-генератор размещают на территории подстанции в аналогичных контейнерах. Между собой контейнеры объединяются силовыми токопроводами и цепями вторичной коммутации в соответствии с проектом тяговой подстанции.

2.6.3. Компоновка оборудования тяговой подстанции переменного тока в здании

С начала электрификации на переменном токе РУ-27,5 кВ тяговых подстанций выполняли открытыми, в настоящее время для сооружаемых подстанций оборудование РУ-27,5 кВ целесообразнее выполнять закрытым и размещать в проектируемом здании. Также в здании подстанции размещают функциональные блоки РУ-6(10) кВ, РУ ВЛ СЦБ, собственных нужд 0,4 кВ, трансформаторы собственных нужд.

На рис. 2.17 приведена компоновка второго этажа тяговой подстанции переменного тока в быстровозводимом здании. Здание подстанции переменного тока, также как и здание подстанции постоянного тока, содержит машинный зал, щитовую, аккумуляторную и другие вспомогательные помещения (служебные, мастерские и т.д.). Дизель-генератор, сухие трансформаторы собственных нужд, повышающий сухой трансформатор ВЛ СЦБ располагаются на первом этаже здания (на рис. не показано). В машинном зале размещаются функциональные блоки РУ-27,5 кВ (12), РУ-10 кВ (10), РУ ВЛ СЦБ (8) и (9). Проектом подстанции может быть предусмотрено расширение РУ-27,5 кВ (11). Ввод напряжения от понижающего трансформатора в РУ-27,5 кВ, РУ-10 кВ, РУ ВЛ СЦБ и подключения фидеров РУ осуществляются кабелем через первый (кабельный) этаж здания. В помещении щитовой располагаются функцио-

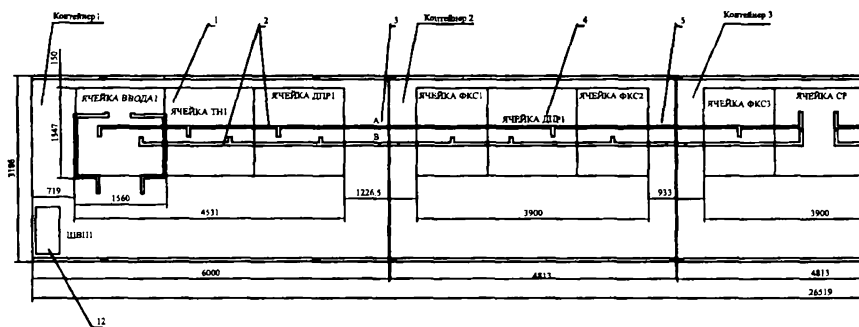
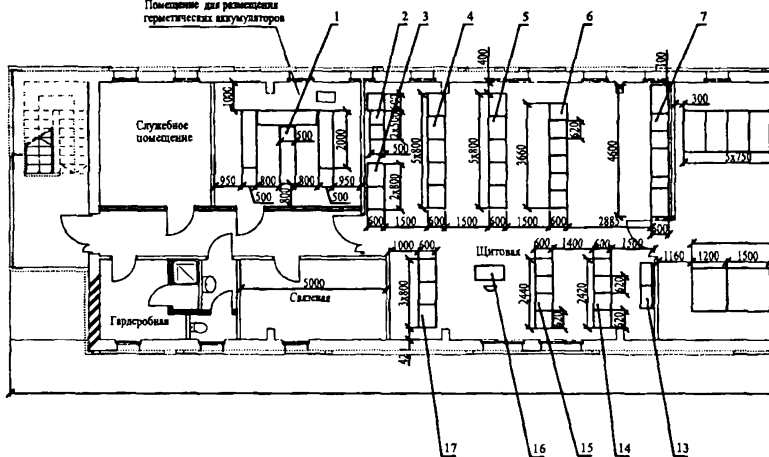
нальные блоки собственных нужд переменного (6), (7) и постоянного (4), (5) тока, шкафы управления подстанцией (17) и общеподстанционной сигнализации (15), шкафы учета электроэнергии (13), шкафы управления разъединителями наружной установки (2), (3) и рабочее место дежурного по подстанции (16), в случае наличия на подстанции постоянного дежурного персонала. В аккумуляторной размещают блоки со стеллажами необслуживаемых герметичных аккумуляторных батарей (1).

2.6.4. Компоновка оборудования тяговой подстанции переменного тока в контейнерах

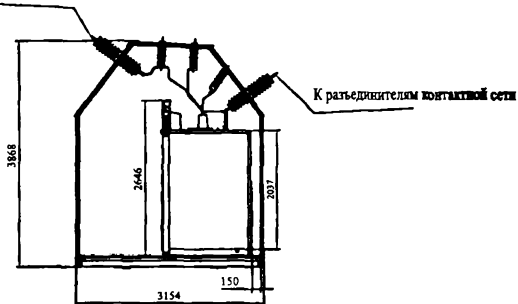
Размещение оборудования тяговых подстанций переменного тока в контейнерах выполняют при реконструкции открытых РУ-27,5 кВ с полной заменой оборудования ОРУ. Такой способ реконструкции позволяет проводить монтажные и пусконаладочные работы нового оборудования на территории подстанции без вывода существующего ОРУ из эксплуатации с минимальным перерывом в электроснабжении потребителей.

На рис. 2.18 приведена компоновка РУ-27,5 кВ тяговой подстанции переменного тока в контейнерах. Функциональные блоки РУ-27,5 кВ (1), (4), (6), (8) и (10), выполненные на ячейках типа КЛ-27,5 кВ, располагают в пяти контейнерах длиной 6 м и 4,8 м, сборные шины А и В (3) проходят над функциональными блоками вдоль всей линейки РУ. В местах стыка контейнеров блоки между собой соединяются шинопроводами (3), (5), (7) и (9). Вводы в РУ от понижающих трансформаторов к блокам (1) и (10) производятся шинами через проходные изоляторы в крыше контейнеров. Подключение линейных разъединителей контактной сети выполняется также шинами через проходные изоляторы. Функциональные блоки РУ-10 кВ, ВЛ СЦБ, собственных нужд постоянного и переменного тока 0,4 кВ, общеподстанционного управления и сигнализации, аккумуляторную и дизель-генератор размещают на территории подстанции в аналогичных контейнерах. Между собой контейнеры объединяются силовыми токопроводами и цепями вторичной коммутации в соответствии с проектом тяговой подстанции.

Помещение для размещения
герметических аккумуляторов



К повышающему трансформатору



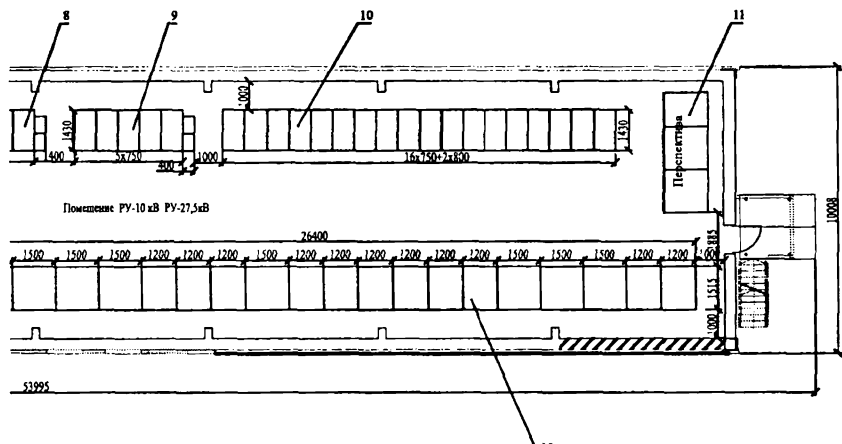


Рис. 2.17. Компонка оборудования подстанции переменного тока в быстровозводимом здании (второй этаж)

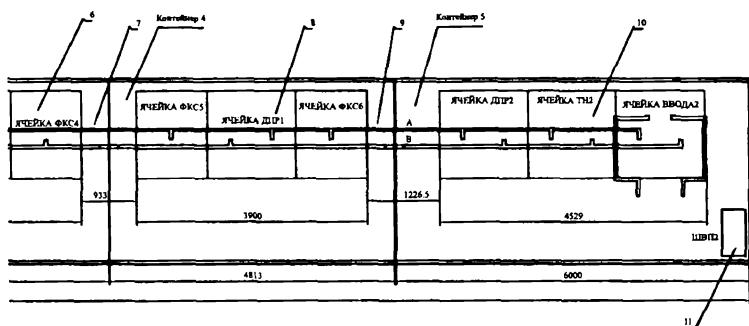


Рис. 2.18. Компонка оборудования РУ-27,5 кВ тяговой подстанции переменного тока в контейнерах

Контрольные вопросы:

1. Принципы конструирования современных распределительных устройств среднего напряжения.
2. Какие основные отличия ячеек КВ-3,3 и 2С-3,3?
3. Особенности конструкции ячеек КЛ-27,5.
4. Особенности конструкции ячеек РУ-27,5 кВ типа «Омега».
5. Принципы построения автоматизированной системы управления тяговыми подстанциями.
6. Компонентные решения тяговых подстанций в контейнерах и здании подстанции.

Глава 3. НОВОЕ КОММУТАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

3.1. Требования, предъявляемые к высоковольтным выключателям переменного и постоянного тока

Выключатели высокого напряжения (ВВ) предназначены для оперативных и аварийных коммутаций в электрических сетях, для выполнения операций включения и отключения отдельных цепей при ручном или автоматическом управлении. Во включенном положении ВВ должен длительно пропускать токи нагрузки и кратковременно — аварийные.

Работа высоковольтных выключателей отличается рядом особенностей:

- нормальным для них считается как включенное положение, когда по ним проходит ток нагрузки, так и отключенное, при котором они обеспечивают необходимую электрическую изоляцию между разомкнутыми участками цепи;

- коммутации цепи при переключении ВВ из одного положения в другое не регулярны, а включение и отключение цепи при имеющемся в ней коротком замыкании (КЗ) крайне редки.

Выключатели должны надежно выполнять свои функции, находясь в любом из указанных положений, и одновременно быть всегда готовыми к мгновенному выполнению любых коммутационных операций, часто после длительного пребывания в неподвижном состоянии.

Наиболее тяжелым режимом для ВВ является режим отключения тока КЗ.

В связи с тем, что российская промышленность поставляет высоковольтные электрические аппараты для районов с различными климатическими условиями, объединение сетей и создание единой энергетической системы связано с повышением технических параметров и ужесточением требований, предъявляемых к электрическим аппаратам высокого напряжения. Эти задачи становятся

трудноразрешимыми при использовании традиционных методов гашения дуги, изоляционных и дугогасительных сред. Широко применяемые в настоящее время масляные и воздушные ВВ имеют свои преимущества и недостатки. Они объясняются свойствами сред, используемых в этих аппаратах для изоляции и гашения дуги. Масло таит опасность пожара и взрыва. Применение воздушных выключателей связано с необходимостью производства, кондиционирования и хранения сжатого воздуха. Затруднительна эксплуатация воздушных и масляных ВВ при низких температурах. Поэтому естественно, что исследователи непрерывно ведут поиски новых принципов коммутации цепей и новых сред, которые сохраняли бы преимущества традиционных сред, но не имели бы их недостатков.

3.2. Физические основы коммутации тока в выключателях постоянного тока

При размыкании контактов аппарата, находящегося в цепи постоянного тока, возникает дуговой разряд. Для гашения возникающей дуги постоянного тока обычно стремятся повысить напряжение на дуге (и ее сопротивление) или путем растяжения дуги, или путем повышения напряженности электрического поля в дуговом столбе, а большей частью — одновременно и тем, и другим путями [5].

Это достигается применением специальных дугогасительных камер в выключающих аппаратах, задача которых состоит в том, чтобы обеспечивать быстрое растяжение дуги и повышение напряжения на ней, с одной стороны, а с другой — ограничивать распространение порождаемого ею пламени и раскаленных газов в приемлемом объеме пространства.

Рассмотрим простейшую цепь постоянного тока, содержащую индуктивность (рис. 3.1).

Баланс напряжений в такой цепи определяется выражением:

$$U = i \times R + L \frac{di}{dt} + U_a .$$

Графически это выглядит так, как показано на рис. 3.2, где совместно со статической вольт-амперной характеристикой (ВАХ) дуги построена прямая $U - iR = f(t)$ (реостатная характеристика).

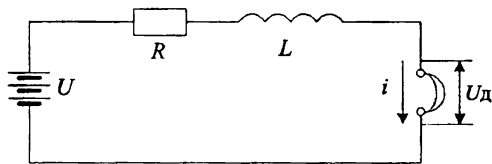


Рис. 3.1. Простейшая цепь постоянного тока

Условием гашения дуги будет являться выполнение неравенства:

$$U_d > U - iR,$$

так как в этом случае скорость нарастания тока будет отрицательной.

Значит, необходимо, чтобы ВАХ дуги лежала выше реостатной характеристики. Например, ВАХ дуги, показанная на рис. 3.3, полностью удовлетворяет условиям гашения дуги при напряжении U и сопротивлении цепи R_1 . Но если при этой же ВАХ, например, увеличится ток короткого замыкания ($R_2 < R_1$), то такая ВАХ уже не будет удовлетворять условиям гашения дуги.

Эти процессы и объясняют то явление, что примерно в 50-х годах прошлого века с ростом мощностей тяговых подстанций электрифицированных железных дорог одиночные выключатели постоянного тока перестали справляться с отключением токов короткого замыкания. В целевой дугогасительной камере ВАХ зависит от множества факторов, таких, как ток в дуге, ширина щели, напряженность поля системы магнитного дутья, скорость движения дуги, материал стенок камеры и его теплопроводность, температура стенок камеры.

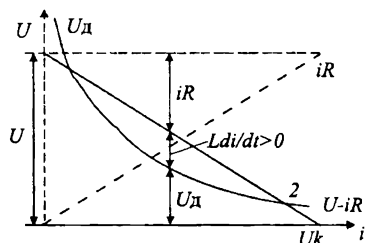


Рис. 3.2. Вольт-амперная характеристика дуги

Причем, при отключении токов в цепях с большой индуктивностью дуга горит длительное время и нагревает стенки камеры, за счет чего ВАХ дуги значительно понижается, что опять же приводит к снижению отключающей способности. Также хуже происходит гашение дуги в случае неуспешного АПВ.

В последнее время в конструкции большинства быстродействующих выключателей постоянного тока применяются дугогасительные камеры с дугогасительными решетками, имеющими кардинально иной принцип дугогашения.

Горящая электрическая дуга (рис. 3.4) имеет 3 зоны: зону катода, ствол дуги и зону анода. При этом сумма приэлектродных падений напряжений практически не зависит от тока в дуге и ее можно считать величиной постоянной. Ее величина в зависимости от различных факторов может составлять от 20 до 30 В. В стволе дуги падение напряжения равно произведению напряженности на длину дуги. Напряженность при этом для дуги, свободно горящей в воздухе, составляет 2000—3000 В/м [15].

При рассмотрении процессов, происходящих в щелевой камере, приэлектродные падения не учитываются, так как они имеют небольшие значения по сравнению с напряжением на стволе дуги. Но если в процессе отключения дуга разбивается на большое количество коротких дуг, то эти процессы начинают иметь решающее значение. При этом ВАХ дуги поднимается на величину суммы приэлектродных падений напряжений, то есть:

$$U_{д} = U_{ств} + n \cdot U_{з},$$

где $U_{д}$ — напряжение на дуге;

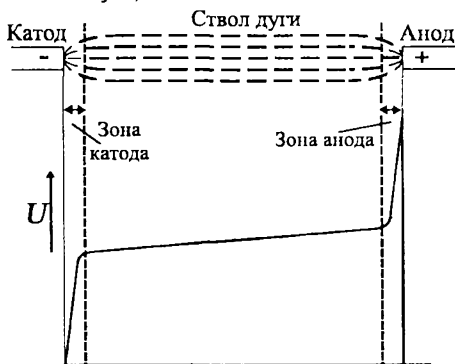


Рис. 3.4. Горение электрической дуги

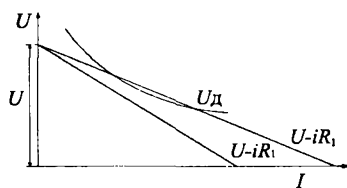


Рис. 3.3. Вольт-амперная характеристика дуги и реакторные характеристики при различных значениях R

$U_{\text{ств}}$ — напряжение на створе дуги;

n — число пластин дугогасительной решетки;

U_3 — сумма анодного и катодного падений напряжений (приэлектродное напряжение на одной пластине).

Именно этот эффект и используется в камерах с дугогасительной решеткой, обеспечивая надежное гашение дуги постоянного тока при практически любых величинах токов короткого замыкания, причем реально ВАХ дуги при этом может быть значительно выше напряжения источника питания U , за счет чего гашение дуги может происходить значительно быстрее. Кроме того, для уменьшения габаритов в такой камере длину створа дуги уменьшают до минимально возможных размеров. Это приводит к уменьшению зависимости напряжения на дуге от тока, то есть напряжение на дуге становится более стабильным.

3.3. Физические основы коммутации тока в выключателях переменного тока

Дуга переменного тока обычно гасится легче, чем дуга постоянного тока. Чтобы погасить дугу постоянного тока, надо насильственно свести к нулю ток цепи путем непрерывного увеличения сопротивления дугового столба (практически до бесконечности). При переменном токе этого делать не требуется: здесь через каждый полупериод ток естественным путем проходит через нулевое значение, и надо лишь воспользоваться этим обстоятельством и создать вблизи перехода через нуль такие условия в межконтактном промежутке, чтобы протекание тока цепи вслед за этим переходом не возобновлялось. Поэтому условия гашения дуги переменного тока следует трактовать иначе, чем условия гашения дуги постоянного тока.

При частоте 50 Гц ток в дуге меняется достаточно быстро, и происходящие в ней процессы необходимо рассматривать с помощью динамической ВАХ. Зависимости изменения тока в дуге и напряжения на ней во времени представлены на рис. 3.5.

Рассмотрим процесс гашения дуги в цепи с большой индуктивностью, см. рис. 3.6 ($\cos \varphi \leq 0.1$). В момент расхождения контактов (МРК) загорается дуга (рис. 3.7), и напряжение на дуге изменяется во времени так же, как на рис. 3.5.

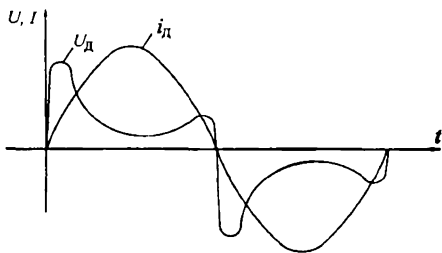


Рис. 3.5. Зависимость изменения тока в дуге и напряжения для цепей переменного тока

В момент времени $t=0$ дуга гаснет. Благодаря процессу деионизации в ДУ электрическая прочность промежутка увеличивается по кривой $a-1$. К промежутку прикладывается восстанавливающееся напряжение на контактах U_B , создаваемое источником. Так как характер цепи индуктивный, в момент погасания дуги ЭДС источника близка к амплитуде.

При этом напряжение на промежутке восстанавливается с большой скоростью. В точке C прочность промежутка ниже восстанавливающегося на нем напряжения и происходит пробой. Дуга горит еще полпериода и снова гаснет в точке O' . В точке C' снова происходит пробой междуконтактного промежутка, так как после момента времени b' кривая электрической прочности $a'-1'$ ниже кривой восстанавливающегося напряжения U'_B . После точки O'' , и снова начинается процесс нарастания электрической прочности (кривая $a''-1''$) и восстановления напряжения U''_B . После точки O'' благодаря эффективному действию ДУ кривая восстанавливающейся электрической прочности $a''-1''$ идет выше кривой восстанавливающегося напряжения U''_B и происходит окончательное гашение дуги.

Существование электрической дуги характеризуется квазиравновесным состоянием, при котором напряжение дуги саморегулируется на уровне, достаточном для поддержания проводимости образующейся плазмы, а диаметр столба дуги сжимается или расширяется в зависимости от изменения величины протекающего тока. Выделяющаяся при этом энергия отдается в окружающую среду посредством теплопроводности, конвекции и излучения. Этот энергетиче-

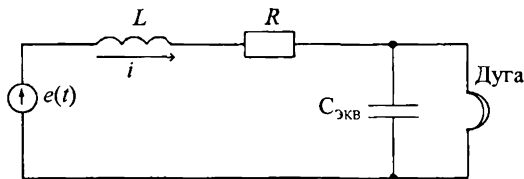


Рис. 3.6. Простейшая цепь переменного тока

плотность тока до ста миллионов ампер на квадратный сантиметр. Огромная плотность тока разогревает металл электрода в катодных пятнах, он кипит и испаряется, давление в этих точках достигает десятков атмосфер, а температура — нескольких тысяч градусов. При таких температурах и давлениях из катодных пятен истекают сверхзвуковые струи плотной, сильно ионизированной плазмы, через которую и замыкается ток на анод.

При наблюдении за катодными пятнами кажется, что они находятся в непрерывном хаотическом движении по поверхности катода. На самом деле эффект движения пятен создается из-за непрерывного процесса исчезновения (отмирания) одних пятен и возникновения других. Каждое пятно имеет ограниченное «время жизни», новые пятна рождаются в месте отмирания «старого» пятна, зачастую новые пятна появляются путем деления уже существующего на два и более пятен. Количество пятен, существующих на катоде в определенный момент времени, определяется амплитудой тока дуги и материалом катода. Так, например, каждое пятно на медном электроде несет ток порядка 100 А. Таким образом, дуга, образуемая на медном электроде током 1000 А создаст примерно 10 катодных пятен.

Если рассматривать полупериод переменного тока (рис. 3.8), то можно заметить, что одновременно с ростом тока будет расти и количество катодных пятен, затем, по мере уменьшения тока, количество пятен будет уменьшаться до тех пор, пока непосредственно перед естественным переходом тока через ноль не останется только одно пятно. При достижении током предельной минимальной величины, которая называется током среза и зависит, в основном, от материала катода, последнее катодное пятно прекращает свое существование, при этом ток через межэлектродный промежуток практически не протекает, а пары металла конденсируются на электродах за время около 10 мкс. После исчезновения тока на разведенных электродах начинает восстанавливаться напряжение сети, этот процесс занимает примерно 50-60 мкс, то есть, к моменту восстановления напряжения носители заряда в межэлектродном промежутке отсутствуют, и он полностью восстанавливает свои диэлектрические свойства.

Вакуумные дуги имеют несколько режимов существования. Для определения режима горения вакуумной дуги используется слово «мода».

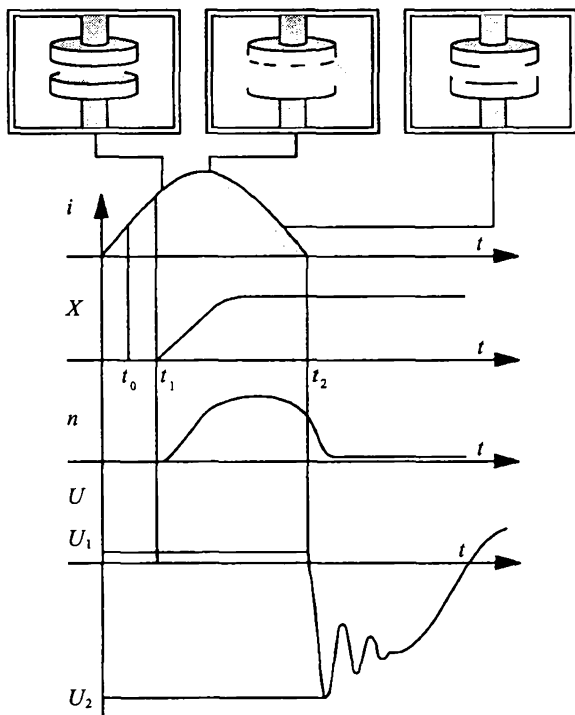


Рис. 3.8 Процесс горения дуги

Проявление вакуумной дуги, ее вид зависят от моды. Мода, в свою очередь, зависит от величины тока и, в известной степени, от размера контактов.

При меньших токах дуга принимает диффузную моду, которая характеризуется наличием одного или нескольких катодных пятен. Остальная часть дуги светится гораздо слабее, контрастируя с ярко светящимися катодными пятнами. Дуга называется диффузной, потому что практически весь объем межэлектродного промежутка равномерно заполнен раскаленными светящимися струями конической формы, берущими начало в катодных пятнах и омывающими анод. По мере роста тока дуга расширяется, светящаяся плазма заполняет практически весь объем камеры.

По сравнению с дугами в газах, напряжение вакуумной дуги довольно низкое, обычно в пределах 20-30 В для токов порядка нескольких сот ампер на медных электродах. Поэтому энергия, вы-

деляемая на электродах в процессе горения дуги, очень невелика. Большая часть падения напряжения дуги приходится на катодную область, чрезвычайно короткий участок, начинающийся у катодного пятна в непосредственной близости к поверхности катода. Почти все остальное напряжение проявляется в анодной области. Таким образом, в целом, объем плазмы характеризуется очень слабым электрическим полем, то есть суммарный заряд электрических частиц в объеме дуги близок к нейтральному.

Наличие катодных пятен жизненно необходимо для существования вакуумной дуги, поскольку они являются источником плазмы, без которой дуга не живет. Анод, в отличие от катода, ведет себя как положительный зонд, вытягивающий из плазмы значительный ток, необходимый для удовлетворения потребностей внешней цепи. Межэлектродная плазма обеспечивает проводящую среду, необходимую для переноса тока от катода к аноду.

При дальнейшем увеличении тока в дуге происходят неожиданные существенные изменения характера дуги. Плазма вместо того, чтобы равномерно омывать анод, как было описано ранее, фокусируется на небольшой области этого электрода. Это анодное пятно, обычно находящееся на остром краю контакта и пребывающее в расплавленном состоянии, обычно играет ключевую роль в пробое промежутка при попытке восстановления напряжения. Катодные пятна при этом имеют тенденцию к группированию, а сама дуга принимает вид ярко светящегося жгута. Такая мода дуги называется контрагированной.

Контрагированная дуга вызывает гораздо большую эрозию обоих электродов, которая в количественном отношении зависит от амплитуды тока и длительности его протекания. Можно утверждать, что в этом режиме эрозия приблизительно на один или два порядка выше, нежели катодная эрозия диффузной дуги.

Выше уже отмечалось, что в газовых выключателях прерывание тока достигается за счет очень быстрого охлаждения остаточной плазмы при достижении током естественного нуля. Продуктами вакуумной дуги являются металлическая плазма и нейтральные пары металла. Плазма истекает из катодных пятен, а пары металла — из окружающих пятна областей с более низкой температурой и капель расплавленного металла. При больших токах анод также разогревается достаточно сильно, чтобы испускать нейтральный металли-

ческий пар. Высокая отключающая способность вакуумных коммутационных аппаратов связана с быстрым рассеянием продуктов горения дуги из-за высоких перепадов их концентрации в направлении от оси камеры к ее оболочке, с одновременной их конденсацией на контактах и экранах.

Весь этот процесс занимает буквально несколько микросекунд. Поскольку к моменту достижения током естественного нуля в межэлектродном промежутке остается очень мало металла, электрическая прочность промежутка восстанавливается настолько быстро, что возможно отключение высокочастотных токов при переходе их через нуль.

Контрагированная мода дуги сопровождается образованием на аноде одного или нескольких очагов расплавленного металла. Это приводит к резкому увеличению количества металлического пара, выбрасываемого в промежуток, что затрудняет отключение тока при переходе его через нуль, так как скорость восстановления электропрочности промежутка в таких условиях уступает скорости нарастания напряжения. Вакуумный зазор вновь пробивается и через него протекает полуволна тока противоположной полярности. Это явление считается отказом отключения тока. Безусловно, вакуумная камера любой конструкции имеет предел отключаемого тока, выше которого отключение невозможно и этот предел напрямую связан с состоянием анода к моменту восстановления напряжения, поскольку он несет основную тепловую нагрузку в процессе горения дуги, а к моменту восстановления напряжения полярность на контактах меняется, и анод становится катодом. Таким образом, создание благоприятных условий для успешного отключения тока заключается в предотвращении возникновения анодных пятен вследствие контрагирования дуги, которое наблюдается уже при уровнях отключаемого тока 8-10 кА. Эта величина является физическим пределом отключения для обычных торцевых контактов, причем увеличение размера (площади) контактов при этом никаких результатов не даст, потому что тепловая нагрузка от контрагированной дуги приходится не на всю поверхность контакта, а лишь на пятно размером 2-3 см².

Из анализа процессов, протекающих внутри вакуумной камеры при отключении больших токов, следует, что для повышения отключающей способности вакуумного выключателя необходимо

совершенствование контактной системы с целью предотвращения возникновения анодного пятна.

В настоящее время в мировой практике получили широкое распространение несколько разновидностей контактных систем, наиболее типичные из которых мы рассмотрим.

Самой простой и технологичной, а, следовательно, и дешевой является контактная система торцевого типа. Изготовленная, как правило, из меди и снабженная контактными накладками из композиции медь-хром для увеличения устойчивости к свариванию и износостойкости, по причинам, изложенным ранее, она не в состоянии отключать токи с действующим значением более 10 кА, однако выпускается многими производителями вакуумных камер для выключателей на токи 8-10 кА, поскольку технологична и проста в изготовлении, а, следовательно, относительно дешева.

Дальнейшие научные исследования и технические разработки позволили создать контактные системы с поперечным (радиальным) магнитным полем (рис. 3.9). В этих системах при протекании по ним тока создается электромагнитная сила (рис. 3.10), заставляющая контрагированную дугу двигаться по поверхности электрода, что позволяет избежать локальных перегревов. При этом дуга неравномерная, сильно шумящая, напряжение горения дуги составляет 60-80 В, процесс характеризуется значительным выделением энергии. Электроды подобного типа широко используют в своих камерах такие известные фирмы как Siemens, Westinghouse, Alstom, а также большинство российских производителей.

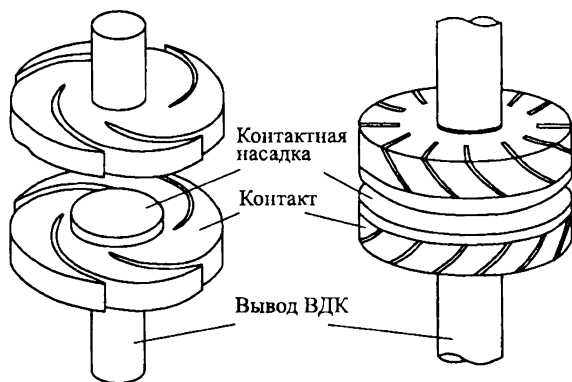


Рис. 3.9. Контактная система с поперечным (радиальным) магнитным полем

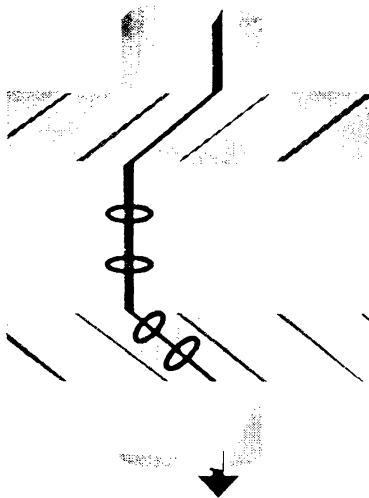


Рис. 3.10. Электромагнитная сила в контактной системе

Применение таких контактных систем позволило увеличить предел отключаемого тока до 30 кА при диаметре электрода 100 мм.

Однако такие контактные системы не лишены недостатков, из которых одним из самых существенных является значительная эрозия электродов, что приводит к быстрому их износу и снижению срока службы выключателя при частых коммутациях.

Дальнейшие исследования поведения вакуумной дуги показали, что наложение продольного (аксиального) магнитного поля на горящую дугу ограничивает движение катодных пятен таким образом, что почти на всех стадиях своего существования дуга не контрагирует, а существует в диффузном режиме (рис. 3.11).

При этом энергия носителей заряда равномерно распределяется по всей поверхности анода, что позволяет избежать локальных перегревов. Поэтому отключающая способность по сравнению с электродами поперечного поля того же диаметра возрастает почти в три раза. Существуют несколько разновидностей конструкций электродов с аксиальным магнитным полем. Электроды такого типа широко используются в камерах, когда необходимо получить высокую отключающую способность в минимальных габаритах. Контактные системы данного типа устанавливают в своих камерах такие фирмы,

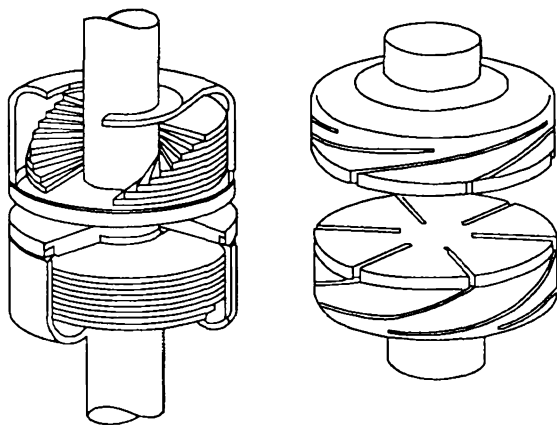


Рис. 3.11. Вакуумная дуга в продольном (аксиальном) магнитном поле

как Toshiba, Holec, Таврида-Электрик. При использовании электродов с продольным магнитным полем напряжение на дуге, а, следовательно, и тепловая нагрузка электродов минимальны, что существенно повышает отключающую способность систем такого типа.

После отключения тока условия в зазоре между контактами вакуумного выключателя уже не такие, как до того. Поверхности контактов «замусорены» продуктами горения дуги, могут оставаться отдельные раскаленные пятна, продолжающие источать пары металла, а в худшем случае эмитировать электроны. По этой причине на сегодня нет проблем создания одноразрывных коммутационных аппаратов для классов напряжения 10 кВ и 35 кВ, однако для более высоких напряжений использование вакуумных технологий пока проблематично.

3.4. Вакуумные выключатели

3.4.1. Конструкция вакуумных камер

Вакуумная камера (рис. 3.12) состоит из пары контактов (4; 5), один из которых является подвижным (5), заключенных в вакуумную оболочку, спаянную из керамических или стеклянных изоляторов (3; 7), верхней и нижней металлических крышек (2; 8) и металлического экрана (6). Перемещение подвижного контакта от-

носителю неподвижного обеспечивается путем применения силффона (9). Выводы камеры (1; 9) служат для подключения ее к главной токоведущей цепи выключателя. Надо отметить, что для изготовления оболочки вакуумной камеры применяются только специальные, очищенные от растворенных газов металлы — медь и специальные сплавы, а также специальная керамика. Контакты вакуумной камеры изготавливаются из металлокерамической композиции (как правило, это медь-хром в соотношении 50%/50% или 70%/30%), обеспечивающей высокую отключающую способность, износостойкость и препятствующей возникновению точек сваривания на поверхности контактов.

Цилиндрические керамические изоляторы совместно с вакуумным промежутком при разведенных контактах обеспечивают изоляцию между выводами камеры при отключенном положении выключателя.

Как указывалось ранее, в процессе коммутации горение дуги сопровождается выделением металлического пара, который распространяется из межконтактной области в радиальном направлении к оболочке вакуумной камеры. Если позволить парам металла свободно конденсироваться на поверхности керамических изоляторов, это довольно быстро приведет к нарушению поверхностной электропрочности изоляторов и выходу камеры из строя. Таким образом, одним из важных компонентов в конструкции современных вакуумных камер является металлический экран, предназначенный для того, чтобы «перехватывать» и адсорбировать на себе образующийся при коммутациях металлический пар, не допуская возникновения налета металла на изоляционных деталях камеры, увеличивая тем самым ее долговечность (коммутационный ресурс). Опыты показали, что наибольшая эффективность экранирования и максимальная отключающая способность камеры достигаются при нахождении экрана под «плавающим» потенциалом относительно ее выводов.

В мировой практике сегодня используется достаточно большое количество разнообразных конструкций вакуумных дугогасительных камер, однако, всем им присущи в том или ином виде технические решения и элементы конструкции, описанные выше.

Уровень вакуума (остаточное давление газов) в современных промышленных дугогасительных камерах обычно составляет 10^{-7} — 10^{-6} Па. В соответствии с теорией электропрочности газов, необхо-

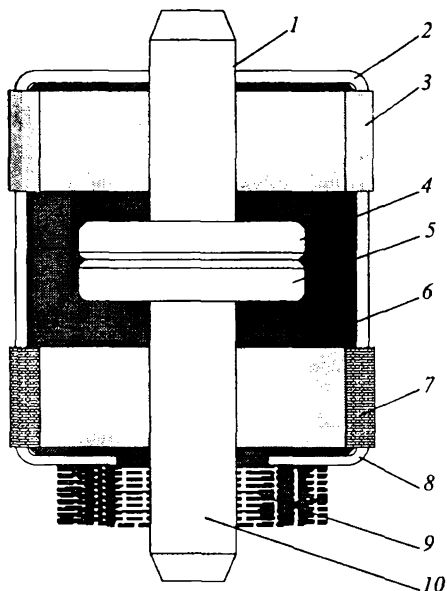


Рис. 3.12. Вакуумная камера

димые изоляционные качества вакуумного промежутка достигаются и при меньших уровнях вакуума (порядка 10^{-3} Па), однако для современного уровня вакуумных технологий создание и поддержание в течение времени жизни вакуумной камеры уровня 10^{-6} Па не составляет проблемы. Это обеспечивает вакуумным камерам запасы электрической прочности на весь срок эксплуатации. Кроме того, в процессе коммутаций уровень вакуума даже несколько повышается за счет поглощения остаточных газов конденсирующимися парами металла.

Видимая на первый взгляд простота конструкции вакуумной камеры весьма обманчива, на самом деле за ней кроется масса научных, технических и технологических решений, затрагивающих конструкцию камеры, подготовку компонентов, технологию изготовления и ее последующее использование. Наиболее важной деталью камеры являются контакты. В вакуумном выключателе кроме выполнения основных функций они также обеспечивают среду горения дуги при переходе выключателя из включенного состояния в отключенное. Учитывая это, можно сформулировать необходимые

качества, которые должны быть присущи контактному материалу для вакуумных камер:

- хорошая электропроводность;
- хорошая теплопроводность для улучшения отвода тепла, выделяющегося при протекании тока по контактам (поскольку вакуум обладает замечательными теплоизолирующими свойствами);
- хорошая отключающая способность при коммутации токов любого уровня;
- способность противостоять возникновению сварок или легко разрывать образовавшиеся точки сварок;
- механическая стабильность при работе в условиях значительных циклических ударных нагрузок;
- хорошая обрабатываемость и технологичность;
- способность поддерживать стабильную дугу при малых токах для предупреждения коммутационных перенапряжений (малые токи среза).

Некоторые из этих характеристик находятся в противоречии друг с другом.

Устойчивость контактов вакуумной дугогасительной камеры к свариванию является одним из важнейших ее качеств. Известно, что металлические детали, прижатые друг к другу в атмосфере вакуума, подвержены холодной сварке, поскольку на их поверхностях не могут образоваться окислы, препятствующие этому процессу. Этот фактор делает неприменимыми в конструкции вакуумной камеры контактов розеточного, пожевого и скользящего типов. К тому же контакты подвергаются воздействию сквозных токов короткого замыкания, расплавляющих металл в отдельных точках поверхности из-за высокой плотности тока в них, вследствие чего в этих точках образуются участки сварки. Эта проблема была одной из причин, задержавших развитие вакуумной коммутационной техники более чем на двадцать лет. В настоящее время проблема сваривания контактов преодолена путем одновременного внедрения нескольких технических решений в конструкциях вакуумной камеры и вакуумного выключателя. Прежде всего, были разработаны специальные металл-керамические контактные накладки, обладающие, с одной стороны, весьма высокой устойчивостью к образованию сварок, а, с другой стороны, зернистой структурой, благодаря которой уже образовавшиеся сварки могли быть легко разорваны приводом выключателя.

чателя. Примером такого материала может служить широко используемая сейчас во всем мире композиция медьхром 70%/30%. Кроме того, были созданы приводы, обеспечивающие довольно значительное (2000-3000 Н) усилие поджатия контактов для предотвращения электродинамического отброса контактов и снижения их переходного сопротивления. И, наконец, приводы были сконструированы так, что создаваемые усилия на разрыв при отключении выключателя достаточны для преодоления возможных сварок контактов и их размыкания. Найденные решения позволили использовать вакуум в качестве среды дугогашения в промышленных выключателях.

3.4.2. Устройство и работа выключателя ВВ/ТЕL

Выключатели предназначены для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в сетях трехфазного переменного тока с изолированной, компенсированной или заземленной нейтралью частоты 50 Гц с номинальным напряжением до 10 кВ, номинальным током до 1600 А, и номинальным током отключения до 25 кА [16].

Гашение дуги переменного тока осуществляется в вакуумной дугогасительной камере (ВДК) при разведении контактов в глубоком вакууме. Носителями заряда при горении дуги являются пары металла. Из-за практического отсутствия среды, поддерживающей горение дуги в межконтактном промежутке, конденсация паров металла в момент перехода тока через естественный ноль осуществляется за чрезвычайно малое время (10^{-5} с), после чего происходит быстрое восстановление электрической прочности ВДК. Электрическая прочность вакуума составляет порядка 30 кВ/мм, что гарантирует отключение тока при расхождении контактов более 1 мм.

В выключателях применяется современная конструкция ВДК с аксиальным магнитным полем. Дуга в таком поле находится все время в диффузионном состоянии, что существенно уменьшает износ, который не превышает 1 мм после исчерпания коммутационного ресурса.

Выключатели состоят из трех полюсов, установленных на металлическом корпусе, в котором размещаются электромагнитные приводы каждого полюса с магнитной защелкой, удерживающей вы-

ключатель неограниченно долго во включенном положении после прерывания тока в катушке электромагнита привода.

Основные узлы выключателей размещаются в закрытом изоляционном корпусе круглого сечения, выполненном из механически прочного и дугостойкого материала, защищающего элементы полюса от механических повреждений. Внешний вид выключателя ВВ/TEL представлен на рис. 3.13. На рисунке условно показан только один полюс выключателя. Два других полюса соединены с ним посредством общего вала. Выключатели на номинальный ток до 1000 А могут работать в любом пространственном положении. Выключатели на номинальный ток 1600 А предназначены для работы в вертикальном положении приводом вниз или вверх.

В состав выключателя входят следующие основные элементы: ВДК (1) с неподвижным (2) и подвижным (3) контактами и сильфоном, гибкая связь (4) токосъемом, тяговый изолятор (5), токоведущие выводы и электромагнитный привод. Привод состоит из кольцевого электромагнита (10), якоря (11), катушки (9), пружин отключения (7) и контактного нажатия (6). Катушки (9) электромагнитов включены в цепь управления параллельно и используются для включения и отключения выключателя.

Полюса механически связаны между собой промежуточным валом (8), на котором установлен кулачок (15) для управления вспомогательными контактами (16), используемыми во внешних цепях (управления, сигнализации и др.). Выключатели, предназначенные для частых коммутационных операций, содержат в своей конструкции усиленный привод и камеру ВДК, которые не влияют на габаритные и присоединительные размеры.

Включение выключателя. В отключенном положении подвижные части выключателя удерживаются силой отключающей пружины (7) независимо от пространственного положения выключателя. Включение и отключение выключателя производится от блока управления (БУ), который является его неотъемлемой частью.

При подаче команды включения БУ подает напряжение на катушку (9) электромагнита.

Протекающий при этом ток создает магнитный поток в зазоре между якорем (11) и кольцевым магнитом (10), под действием кото-

рого якорь втягивается внутрь электромагнита и через тяговый изолятор (5), сжимая пружину отключения (7) и воздействуя на подвижный контакт (3), замыкает контакты ВДК.

Скорость замыкания контактов составляет около 1 м/с. Она является оптимальной для процесса включения и предупреждения дребезга контактов при включении.

Замыкание подвижного контакта с неподвижным происходит в момент, когда между якорем (11) и верхней крышкой (8) электромагнита остается зазор 2 мм. Проходя это расстояние, якорь сжимает пружину контактного нажатия (6) и создает необходимое усилие для надежного контактирования подвижного (3) и неподвижного (2) контактов. После замыкания магнитной системы якорь встает на магнитную защелку и удерживается в этом положении неограниченно долго за счет остаточной индукции кольцевого электромагнита (10).

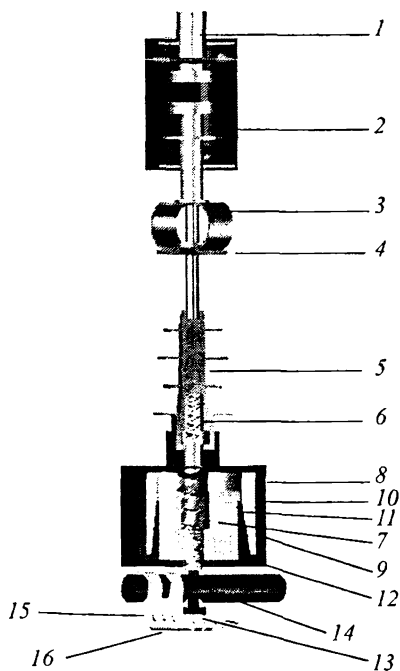


Рис. 3.13. Устройство выключателя ВВ/TEL

Принцип удержания коммутационного аппарата во включенном положении, известный в электротехнике под названием «магнитная защелка», широко применяется в слаботочных аппаратах (поляризованные реле). Современные достижения в области магнитотвердых материалов больших энергий позволили реализовать на этом же принципе силовой коммутационный аппарат. Запас по усилию удержания (сила, необходимая для отрыва якоря от верхней крышки (8) электромагнита, приложенная вдоль оси привода), составляет 450-500 Н для одного полюса выключателя.

В случае обрыва цепи катушки электромагнита одного из полюсов выключатель не фиксируется во включенном положении

и отключается, тем самым предупреждается работа выключателя в неполнофазном режиме.

В процессе включения выключателя якорь (11) посредством винта (13) поворачивает вал (14) и установленный на нем кулачок (15), который управляет контактами вспомогательных цепей (микрорепреключателями).

Длительность подачи напряжения на катушку электромагнита устанавливается блоком управления и составляет 60-80 мс в зависимости от типа БУ. Она выбрана с запасом, поэтому момент размыкания геркона или микропереклювателя в цепи управления включением не влияет на включающую способность привода и не требует наладки и проверки эксплуатационным персоналом.

Источником электрической энергии для включения выключателя служат предварительно заряженные малогабаритные конденсаторы, устанавливаемые в блоке управления или в блоке питания.

Отключение выключателя. При подаче команды отключения БУ подает на катушку электромагнита напряжение противоположной полярности и определенной длительности. При этом электромагнит частично размагничивается и якорь (11) снимается с магнитной защелки. Под действием пружины отключения (7) и пружины контактного нажатия (6) якорь (11) разгоняется и наносит удар по тяговому изолятору (5), соединенному с подвижным контактом (3) вакуумной камеры. Ударное усилие, создаваемое якорем (11) электромагнита, превышает 2000 Н, что позволяет отключать выключатель даже при наличии точечной сварки контактов, которая может иметь место при включении выключателя.

После удара подвижный контакт приобретает высокую стартовую скорость, необходимую для успешного отключения тока КЗ, и под действием отключающей пружины (7) совместно с другими подвижными частями занимает конечное отключенное положение.

Привод с магнитной защелкой требует незначительной энергии для «сброса» защелки. При отключении от источника постоянного напряжения время приложения напряжения обычно ограничивается величиной 10 мс. При этом ток в цепи отключения не превышает 1,5 А при напряжении 220 В.

Ручное отключение. Ручное отключение осуществляется путем воздействия на кнопку ручного отключения, которая через толка-

тель, шарнирно связанный с валом (14), через винты (13) воздействует на якоря (11) электромагнитов и разрывает магнитную систему. Кнопка ручного отключения, связанная с валом (8), может служить указателем положения выключателя.

Автономное включение. Наличие в схеме управления выключателями батареи малогабаритных конденсаторов позволяет осуществлять автономное включение выключателя на обесточенной подстанции с помощью двух стандартных элементов питания напряжением 9В, подключая их к низковольтному входу БУ. Имеющийся в БУ или блоке питания преобразователь повышает напряжение питания до необходимого и заряжает в течение короткого времени (менее 1 мин) батарею конденсаторов, после чего выключатель готов к выполнению операции «В» или «ВО».

Автономное включение может также выполняться с помощью инвентарных переносных блоков автономного включения.

Устройства управления. Устройства управления вакуумными выключателями являются их неотъемлемой частью и изготавливаются в виде отдельных блоков, устанавливаемых в релейных отсеках КРУ, на панелях камер КСО или на выкатных элементах КРУ. Они обеспечивают включение и отключение выключателя от источника постоянного, выпрямленного или переменного оперативного тока, блокировку от повторного включения ВВ, отключение от трансформаторов тока при отсутствии напряжения питания, а также ряд дополнительных функций.

3.4.3. Устройство и работа выключателя ЗАН

Выключатели серии ЗАН предназначены для коммутации электрических цепей в нормальных и аварийных режимах в сетях переменного тока частотой 50 Гц с номинальным напряжением 27,5 или 35 кВ при номинальном токе 1250 или 2000 А, токе отключения 25 или 31,5 кА [17].

Выключатели изготавливаются как трехполюсного, так и однополюсного либо двухполюсного исполнения, что позволяет широко использовать их в электроустановках самого различного назначения.

Принцип работы выключателя основан на гашении электрической дуги, возникающей между контактами, в вакууме. Ввиду высо-

кой электрической прочности вакуумного промежутка и отсутствия среды, поддерживающей горение дуги, время горения дуги минимальное.

Выключатель разработан по модульному принципу, что позволяет сборку и настройку отдельных конструктивных элементов и узлов вести автономно и легко производить замену в эксплуатации дугогасительных камер после выработки коммутационного либо механического ресурса. При этом все типоразмеры выключателей имеют одинаковую конструкцию привода и полюсов.

Управление выключателем осуществляется пружинно-моторным приводом независимого (косвенного) действия. Операция включения осуществляется за счет потенциальной энергии, предварительно запасенной заведенной (растянутой) включающей пружиной. Отключается выключатель за счет энергии, предварительно запасенной отключающей пружиной при операции включения. Следует отметить, что наличие надежного пружинно-моторного привода (механический ресурс привода выключателя не менее 60 000 циклов ВО), позволяет не только значительно снизить ток, потребляемый при включении (не более 1,3 А при оперативном напряжении 110 В, и не более 0,7 А при оперативном напряжении 220 В), но и производить операцию включения в случае отсутствия оперативного напряжения, что зачастую необходимо при электроснабжении некоторых потребителей первой категории.

Полюс выключателя (2) (рис. 3.14) крепится к опорным изоляторам (3), изготовленным из эпоксидной смолы, полюсная пластина (4) — к корпусу привода (5). Вакуумная камера (12) закреплена на верхней опоре полюса (1), в конструкцию которой входит верхний вывод (14). В нижней опоре полюса (9) камера держится на направляющей, позволяющей выполнять осевое перемещение. Распорки из изолирующего материала (13) соединяют обе опоры полюса и вместе с изоляторами (3) и полюсной пластиной образуют прочный каркас. Токпроводящий шток подвижного контакта камеры через гибкую связь (11) соединяется с нижним выводом (10). Кроме того, подвижный контакт камеры подключен к валу выключателя, расположенному в приводном устройстве, посредством шарнирной головки, прямой направляющей, рычага и изолирующей приводной тяги (7). Поджимающая пружина (6) находится на приводной тяге со стороны приводного механизма.

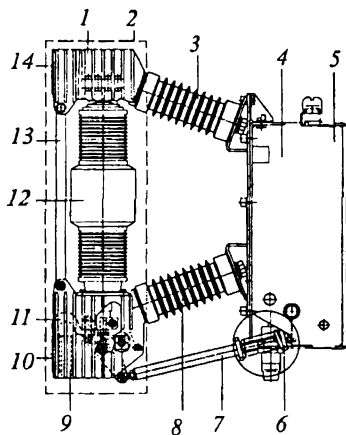


Рис. 3.14. Полюс выключателя ЗАН

Устройство пружинно-моторного привода. В корпусе привода (19) (рис. 3.15) расположены все необходимые для включения и отключения электрические и механические конструктивные элементы и узлы. Корпус привода закрывается съемной крышкой (2) (рис. 3.16). Для элементов управления и индикации в крышке привода предусмотрены отверстия. При нажатии кнопки (3) происходит включение выключателя. При нажатии кнопки (4) выключатель отключается.

При пропадании оперативного напряжения двигателя заводки включающей пружины, завести включающую пружину можно при помощи кривошипной рукоятки. Для этого в крышке имеется отверстие (8), за которым расположена соединительная муфта для сцепления с кривошипной рукояткой. Состояние включающей пружины показывает индикатор (15) (рис. 3.15) через отверстие (7) в крышке привода. Индикатор (14) через отверстие (6) в крышке показывает состояние выключателя. Счетчик (13) через отверстие (5) в крышке показывает количество совершенных коммутационных циклов. Заводская табличка с техническими данными (1) расположена на приводе, табличка видна через отверстие (1) в крышке.

Кроме того, на приводе выключателя могут быть установлены системы электрического оперативного включения и механической блокировки. При исполнении с электрическим оперативным включением, включение выключателя осуществляется от электри-

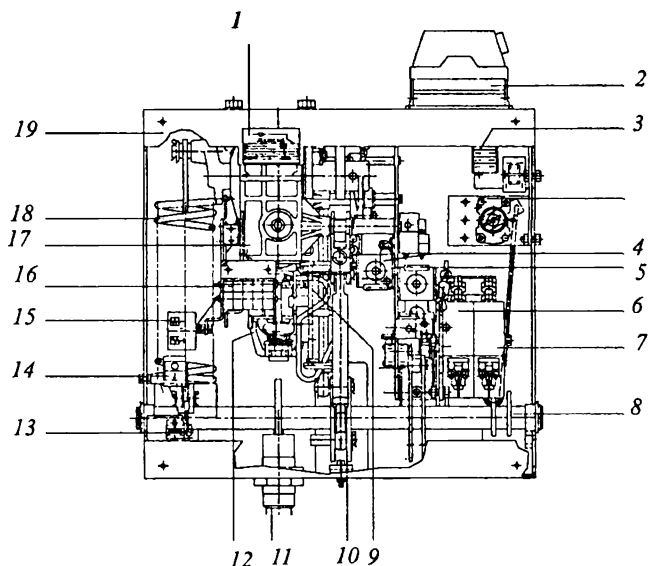


Рис. 3.15. Привод выключателя ЗАН (вид без лицевой панели)

ческого импульса при нажатии на кнопку «I», таким образом, даже при оперативном включении могут быть учтены все необходимые внешние блокировки. Механическая блокировка предназначена для выключателей, устанавливаемых на выкатном элементе ячеек КРУ, и предназначена для предотвращения включения выключателя при нахождении тележки выкатного элемента в промежуточном положении, а также для предотвращения вкатывания и выкатывания выкатного элемента из ячейки при включенном положении выключателя.

Включение выключателя. Включение выключателя возможно только при предварительно заведенной (растянутой) включающей пружине (18) (рис. 3.15). При наличии оперативного напряжения завод пружины выполняется с помощью редуктора (17) двигателем (12), либо, при отсутствии оперативного напряжения, вручную. Включающая пружина посредством передаточного механизма и тяги (10) соединена с валом (8). Включить выключатель можно, нажав кнопку (3) (рис. 3.16) или подав импульс на включающий электромагнит (4) (рис. 3.15). При выполнении команды «В» включающий блок освобождает защелку, запасенная потенциальная энергия

пружины через тягу (10) передается на вал (8). Вал через тягу (7) (рис. 3.14) передает усилие на подвижный контакт вакуумной камеры (12). Подвижный контакт, перемещаясь вверх, замыкает силовую цепь. Пружина (6) сжимается, обеспечивая, таким образом, контактное нажатие силового контакта. Индикатор положения выключателя (14) (рис. 3.15) меняет свое состояние на «I». Счетчик количества коммутаций (13) увеличивает свое показание на единицу. Выключатель включен. При наличии оперативного напряжения двигатель завода включающей пружины автоматически начнет заводить пружину. Рабочая цепь двигателя прерывается с помощью концевых выключателей (16).

Отключение выключателя. Отключающая пружина (9) (рис. 3.15) сжимается в момент включения выключателя и становится на защелку. Выключатель отключается с помощью потенциальной энергии предварительно сжатой пружины (9). Освободить защелку можно вручную, нажав кнопку «О» на лицевой панели привода, или подав импульс тока на один из расцепителей:

- первый независимый расцепитель (5);
- второй независимый расцепитель или расцепитель минимального напряжения (6);
- быстродействующий токовый расцепитель прямого действия (7).

При выполнении команды «О» вал (8) поворачивается и через тягу (7) (рис. 3.14) передаст усилие на подвижный контакт вакуумной камеры (12). Подвижный контакт перемещается вниз, размыкая силовую цепь. Пружина (6) разжимается, обеспечивая, таким образом, дополнительное ускорение при размыкании силового контакта. Индикатор положения выключателя меняет свое состояние на «О». Выключатель отключен.

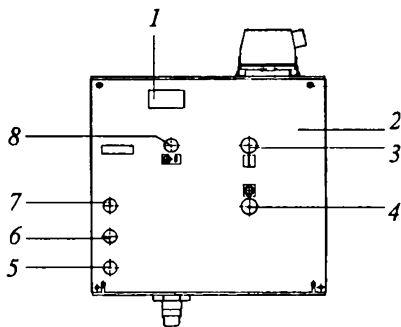


Рис. 3.16. Привод выключателя ЗАН (лицевая панель)

3.5. Элегазовые выключатели

3.5.1. Общие сведения

Современные разработки конструкций выключателей с элегазовыми дугогасителями в настоящее время ведутся в различных направлениях, и, прежде всего в тех, которые дают наиболее эффективное технико-экономическое использование специфических свойств дугогасящей и изоляционной среды. Такими направлениями являются следующие:

- модульные серии выключателей на высокие классы напряжения (100 кВ и выше), предназначенные для отключения предельно больших токов КЗ при наиболее неблагоприятных условиях КЗ;
- выключатели на номинальное напряжение 10-35 кВ в компактном исполнении для электрифицированного подвижного состава и других электрических установок специального назначения;
- выключатели нагрузки на номинальные напряжения 15-100 кВ и выше, предназначенные для отключения индуктивных токов ненагруженных трансформаторов и емкостных токов.

Преимущества элегазовых выключателей:

- взрыво- и пожаробезопасность;
- быстрдействие и пригодность для работы в любом цикле АПВ;
- возможность осуществления синхронного размыкания контактов непосредственно перед переходом тока через нуль;
- высокая отключающая способность при особо тяжелых условиях отключения (отключение удаленных коротких замыканий и др.);
- надежное отключение емкостных токов холостых линий;
- малый износ дугогасительных контактов;
- легкий доступ к дугогасителям и простота их ревизии;
- относительно малый вес (в сравнении с баковыми масляными выключателями);
- возможность создания серии с унификацией крупных узлов;
- пригодность для наружной и внутренней установки.

Недостатки элегазовых выключателей:

- необходимость в наличии устройств для наполнения, перекачивания и очистки шестифтористой серы (SF_6);
- относительная сложность конструкции ряда деталей и узлов, а также необходимость применения высоконадежных уплотнений;

– относительно высокая стоимость дугогасящей среды и выключателя в целом.

Элегазовые выключатели выполняются в двух модификациях: бакового и колонкового типа. Обе модификации имеют достоинства и недостатки [18].

Преимущества баковых выключателей:

– стальной бак является основной несущей конструкцией, к изолированным выводам приложена незначительная нагрузка оттяжения проводов. У колонковых выключателей дугогасящая камера расположена на фарфоровой стойке, которая подвержена значительным динамическим нагрузкам;

– практикой эксплуатации зафиксированы случаи взрывов колонковых выключателей при аварии. Баковые выключатели свободны от такой проблемы;

– повышенная сейсмостойкость;

– возможность применения подогрева элегаза при использовании в районах с холодным климатом;

– большие значения рабочего тока, термической и динамической стойкости к токам КЗ;

– баковые выключатели оснащены встроенными трансформаторами тока, в связи с чем они занимают меньшую площадь, чем комплект «колонковый выключатель — отдельно стоящий трансформатор тока».

Наличие трансформаторов с обеих сторон выключателя позволяет организовывать перекрывающиеся зоны защиты.

Масса и габариты элегазовых баковых выключателей позволяют использовать их вместо любых типов масляных выключателей, находящихся в эксплуатации для уровней напряжения 110, 220 и 500 кВ, с рабочим током до 400 А, термической стойкостью до 63 кА, с трехфазным и пофазным управлением, с пружинным, пневматическим или гидравлическим приводом.

3.5.2. Элегазовые выключатели серии ВГБ

Основные технические характеристики разработанной в НИИ-ВА [18] серии элегазовых баковых выключателей типа ВГБ приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Наименование параметра	ВГБУ-110	ВГБУ-220	ВГБ-330	ВГБ-500	ВГБ-750
1	2	3	4	5	6
Число разрывов на полюс	1	1	1-2	2	2
Номинальное/наибольшее рабочее напряжение, кВ	110/126	220/256	330/363	500/525	750/787
Номинальный ток, А	2000		3150		4000
Номинальный ток отключения, кА	40, 50	40	40-63	40, 50	50
Испытательные напряжения: одноминутное промышленной частоты, кВ грозового импульса, кВ (макс) – между контактами относительно земли	230	440	560	760	950
	520 450	1050 900	1380 1175	1550 1550	2100 2100
Полное время отключения, с, не более	0,055				0,04
Полное время включения, с, не более	0,15				
Допустимое число операций «О/В» в диапазоне от 60 до 100 % $I_{0,ном}$ и $I_{в,ном}$	20/10				18/9
Удельная длина пути утечки внешней изоляции вводов, см/кВ, не менее	2,25				

1	2	3	4
Нижний предел избыточного давления элегаза при 200С, МПа	0,35, 0,6	0,5	0,6

Первым в этой серии стал выключатель ВГБ-110-40/2000 У1 с автономным гидравлическим приводом и встросными трансформаторами тока. Этот выключатель имеет трехфазное управление (один привод на три фазы) и снабжен фарфоровыми крышками вводов «воздух-элегаз». Затем был разработан аналогичный выключатель ВГБУ-110-40/2000 У1, основным отличием которого от прототипа явилось то, что в нем в качестве крышек вводов «воздух-элегаз» используются полимерные изоляторы. На рис. 3.17 приведен разрез этого аппарата.

В выключателе применено одноразрывное дугогасительное устройство автокомпрессионного типа, принцип действия которого основан на интенсивном обдуве возникающей при размыкании контактов дуги особым образом сформированным потоком элегаза, сжимаемого в специально организованном объеме в процессе перемещения подвижной системы.

Конструктивно этот выключатель состоит из трех дугогасительных камер, размещенных в алюминиевых резервуарах, установленных на общей раме. Подвижные системы этих трех устройств через рычаги связаны с одним общим валом, который, в свою очередь, через рычаг и шток связан со штоком привода, установленного на той же общей раме. Таким образом, возвратно-поступательное вертикальное движение штока привода посредством вала и рычагов преобразуется в возвратно-поступательное горизонтальное движение подвижных систем дугогасительных устройств.

Высоковольтный выключатель с автокомпрессионной дугогасительной камерой обеспечивает оптимальное использование термической энергии дуги в дугогасящей камере. Это достигается при помощи автокомпрессионного модуля. Этот принцип дугогашения был запатентован в 1973 г. С тех пор технология автокомпрессионной дугогасительной камеры продолжала развиваться. Одним из технических новшеств является то, что энергия дуги все больше использу-

ется для ее гашения. При отключении токов короткого замыкания энергия, необходимая для отключения, уменьшена до количества, необходимого лишь для механического движения контактов. В результате автокомпрессионные дугогасительные камеры позволяют использовать компактный пружинный привод высокой надежности.

Токовая цепь имеет главный и дугогасительный контакт. В замкнутом состоянии рабочий ток течет по главному контакту. Дугогасительный контакт параллелен ему.

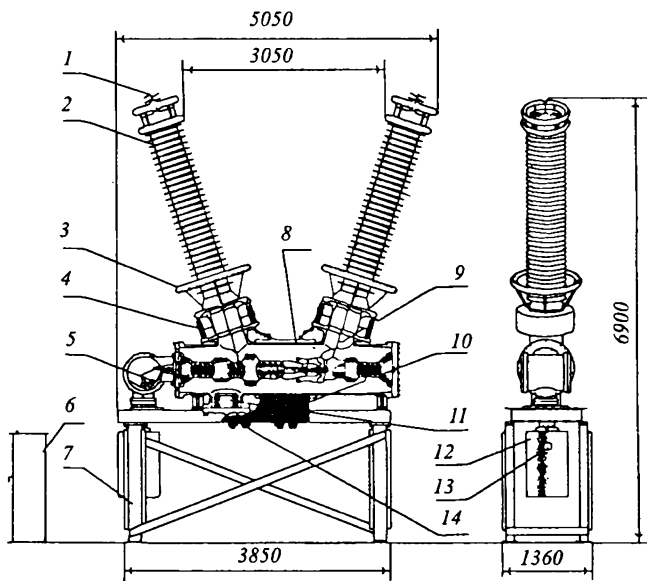


Рис. 3.17. Полюс бокового выключателя с элегазовой изоляцией типа ВГБ-330-40/3150У1:

1 — пластина контактная; 2 — ввод (покрышка ввода полимерная); 3 — экран; 4 — блок трансформаторов тока; 5 — механизм передаточный; 6 — шкаф аппаратный; 7 — рама (входит в комплект поставки); 8 — нагревательный элемент; 9 — устройство гасительное; 10 — шкаф клеммных сборок; 11 — фильтр; 12 — гидропривод; 13 — указатель положения; 14 — разъем для заполнения элегазом

Габаритные размеры и масса:

высота — 6900 мм

ширина — 8530 мм

глубина — 5050 мм

межполюсное расстояние — 3600 мм

масса — 6500 кг

В процессе отключения сначала размыкается главный контакт, и ток течет через остающийся включенным дугогасительный контакт. Впоследствии этот контакт размыкается, и возникает дуга. В то же время контактный цилиндр вдвигается в цоколь, вызывая сжатие находящегося там дугогасящего газа. Газ устремляется в направлении, противоположном движению контактного цилиндра, к дугогасительному контакту и гасит дугу.

3.6. Быстродействующие выключатели нового поколения

3.6.1. Общие сведения

Быстродействующие выключатели предназначены для защиты фидеров контактной сети постоянного тока в аварийных режимах и оперативных переключений под нагрузкой. В настоящее время нельзя удовлетвориться только большой разрывной способностью автоматического выключателя, его динамической и термической устойчивостью.

Если выключатель обладает большой динамической и термической устойчивостью, но медленно работает, то он может защитить агрегат от чрезмерных перегревов, но не в состоянии предотвратить разрушений, вызываемых огромными электродинамическими силами, или воспрепятствовать возникновению кругового огня на коллекторе машины постоянного тока. Разрушения могут быть предотвращены лишь в том случае, если выключатель не только быстро обрывает ток короткого замыкания в цепи, но и ограничивает его до сравнительно небольшой величины в процессе роста.

В книге рассмотрены характеристики трех быстродействующих выключателей: выключатель ВАБ-49 производства ОАО «УЭТМ», выключатель Gerapid, который изготавливается НИИЭФА-ЭНЕРГО по лицензии фирмы General Electric, и выключатель ВАБ-2006, разработанный НИИЭФА-ЭНЕРГО специально для установки в малогабаритных ячейках КРУ.

3.6.2. Технические характеристики и конструктивные особенности выключателя Gerapid

Основные технические характеристики выключателей Gerapid приведены в табл. 3.2. [19].

Таблица 3.2

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Род тока главной цепи	Постоянный, пульсирующий
2	Номинальный ток	4000 А
3	Номинальное напряжение	3300 В
4	Отключающая способность в безиндуктивной цепи	42 000 А
5	Отключающая способность при индуктивности цепи 5-15 мГн, А	35 000 А
6	Количество отключений токов короткого замыкания без осмотра	100
7	Собственное время отключения	Не более 0,008 с
8	Номинальное напряжение цепей управления	=110 В или =220 В
9	Кратковременно потребляемый ток при включении	15 А ($U_{упр} = 110 В$) 7,5 А ($U_{упр} = 220 В$)
10	Масса	Не более 160 кг

Общий вид выключателя показан на рис. 3.18.

Включение выключателя производится включающим электромагнитом. Через изоляционную тягу (10), механизм расцепления (8) и механическую защелку якорь включающего электромагнита воздействует на рычаг подвижного контакта, который, в свою очередь, замыкает подвижный контакт. Для уменьшения переходного сопротивления подвижный и неподвижный контакты имеют серебряные напылки, защищенные от обгара дугогасительным контактом.

Токоведущий контур главной цепи состоит из выводных шин, подвижного (4) и неподвижного (5) контактов, шины расцепителя максимального тока и гибких связей, соединяющих подвижный контакт с шиной расцепителя максимального тока.

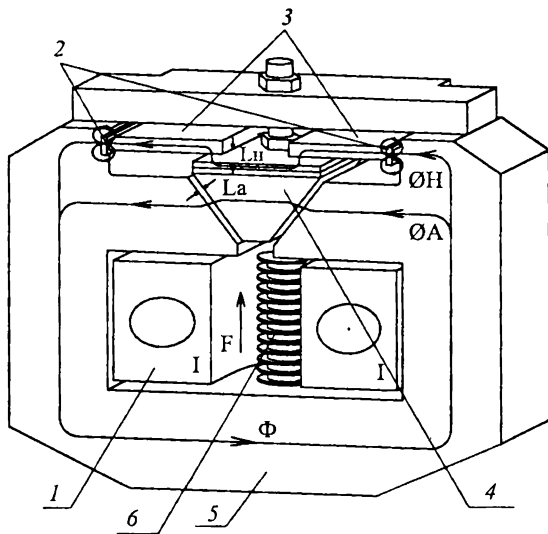


Рис. 3.20. Расцепитель максимального тока

конец рычага подвижного контакта продолжает двигаться, при этом в центральной части он смещается в пазу, еще сильнее сжимая отключающую пружину. Эта же пружина создает контактное нажатие главных контактов. Смещение контактного рычага в пазу на 3-3,5 мм необходимо для обеспечения гарантированного замыкания главных контактов. В конце движения якоря включающего электромагнита механизм расщепления переходит за мертвую точку, и, поджимаемый отключающей пружиной, удерживает контакты в замкнутом положении.

Для отключения выключателя используются различные типы расцепителей.

Когда ток главной цепи достигнет величины выставленной уставки, якорь расцепителя максимального тока приходит в движение и через шток срывает защелку, удерживающую подвижный контакт в замкнутом положении. Под действием отключающей пружины подвижный контакт отключается. Собственное время отключения выключателя при этом в зависимости от параметров цепи главного тока составляет от 5 до 10 мс. Сначала размыкаются главные контакты, затем дугогасительный контакт. Образовавшаяся дуга под действием электродинамических сил контура главной цепи по рогам

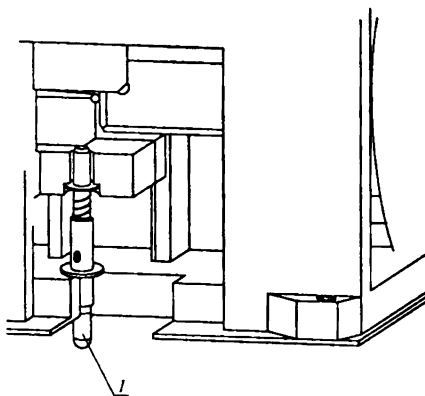


Рис. 3.21. Расцепитель принудительного отключения

заходит в дугогасительную камеру, где разбивается на множество коротких дуг на стальных пластинах, интенсивно охлаждается и гаснет. После размыкания контактов механизм расцепления и якорь включающего электромагнита под действием возвратных пружин переходят в отключенное положение и вводят в зацепление защелку подвижного контакта.

Для быстрого отключения аварийных режимов от внешнего сигнала выключатель может быть оборудован электродинамическим расцепителем. При подаче сигнала на электродинамический расцепитель размыкание контактов выключателя происходит за время не более 5 мс.

Выключатель может быть оборудован либо расцепителем оперативного отключения, либо расцепителем минимального напряжения. Расцепитель оперативного отключения при срабатывании выводит механизм расцепления из мертвой точки, и под действием отключающей пружины выключатель отключается.

Расцепитель минимального напряжения работает следующим образом. Под действием тока в катушке расцепителя удерживается во взведенном состоянии подпружиненный шток. Если напряжение цепей управления падает ниже 10% от номинального значения, расцепитель отпускает шток, который также выводит механизм расцепления из мертвой точки.

На таком же принципе работает расцепитель принудительного отключения, который показан на рис. 3.21. При нажатии на шток (1)

вручную механизм расцепления также выводится из мертвой точки, что приводит к отключению выключателя.

3.6.3. Технические характеристики и конструктивные особенности выключателей ВАБ-49

Выключатели ВАБ-49 бывают линейного (выключатель максимального тока на ток до 5000 А) и катодного исполнения (выключатель обратного тока на ток до 3200 А) [20].

Основные технические характеристики выключателя ВАБ-49 приведены в табл. 3.3

Таблица 3.3

Основные технические характеристики выключателя ВАБ-49

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Род тока главной цепи	Постоянный, пульсирующий
2	Номинальный ток	до 5000 А
3	Номинальное напряжение	3300 В
4	Отключающая способность в безиндуктивной цепи	25 000 А
5	Отключающая способность при индуктивности цепи 5–15 мГн, А	До 50 000 А
6	Количество отключений токов короткого замыкания без осмотра	30
7	Собственное время отключения	Не более 0,008 с
8	Номинальное напряжение цепей управления	110 В или =220 В
9	Кратковременно потребляемый ток при включении	80 А ($U_{упр} = 110 В$) 80 А ($U_{упр} = 220 В$)
10	Масса	Не более 243 кг (одиночное исполнение) Не более 356 кг (сдвоенное исполнение)
11	Масса дополнительной аппаратуры	Не более 61 кг

Устройство и работа выключателя ВАБ-49. Выключатель состоит из полюса, дугогасительной камеры, реле РДШ (кроме ка- тодного выключателя, который не комплектуется реле РДШ). Оперативное управление осуществляется с помощью станции управления. Полюс выключателя ВАБ-49-3200/30-Л-УХЛ4 показан на рис. 3.22 во включенном положении. Он состоит из контактного блока (I) и привода (II). Привод с входящими в него низковольтными цепями (катушкой и блок-контактами) установлен на потенциале земли и изолирован от силовых токоведущих частей изоляторами (2; 24) и тягой (25). Корпус привода имеет заземляющие зажимы (48).

Привод выключателя включает в себя электромагнит, состоящий из магнитопровода (44), катушки (43), главного якоря (45) и якоря свободного расцепления (36), вращающихся на одной оси (42), промежуточного рычага (41), установленного на главном якоре (45) и соединенного с ним осью (35), контактной пружины (27), отключающих пружин (47) и упора (46) главного якоря. Электромагнит закреплен в корпусе (32), на котором установлены с двух сторон блокировочные контакты (28). Механический указатель положения выключателя (34) расположен с торца привода.

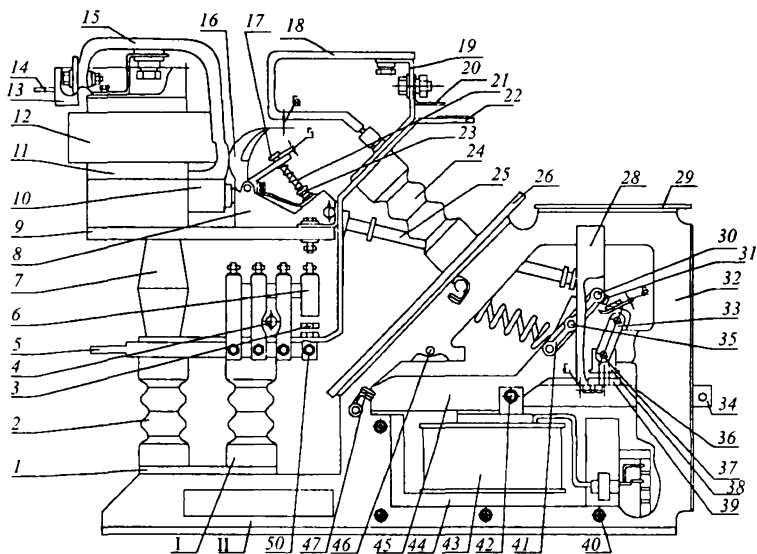


Рис. 3.22. Полюс выключателя ВАБ-49

Контактный блок состоит из катушки магнитного дутья (11) с неподвижным контактом (10), магнитопровода дутья (12), дугогасительного рога (15) неподвижного контакта, подпипника (13) для установки дугогасительной камеры, которые объединены в единый узел и установлены на панели (9). Контактный блок также включает в себя главный подвижный контакт (8), установленный на стальную скобу (22) через ось (4), выводную шину (5), соединенную с подвижным контактом гибкими связями (6), дугогасительный рог (18) подвижного контакта, закрепленный на скобах (19), (22).

На главном подвижном контакте (8) установлен дугогасительный контакт (16) и пружина (21). Узел подвижного контакта соединен с узлом неподвижного контакта изолятором (7). Весь контактный блок соединен с приводом изоляторами (2; 24) и изоляционной тягой (25) с регулировочной втулкой (31), служащей для установки провала главного контакта. Для соединения контактного блока с камерой имеются гибкие связи (14; 20).

Принципиальная электрическая схема выключателя показана на рис. 3.23.

Включение выключателя происходит при замыкании кнопочного выключателя SB2, в результате чего напряжение подается на катушку контактора KM, которая, срабатывая, замыкает свои контакты в цепи держащей катушки L, шунтируя резисторы R1-R5, и по катушке протекает включающий ток. Главный якорь (45) (см. рис. 3.22) притягивается к левому керну магнитопровода (44), а якорь свобод-

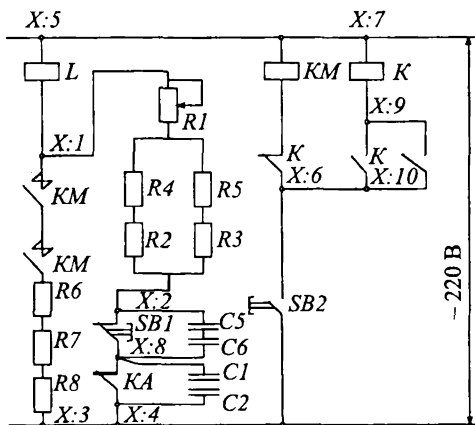


Рис. 3.23. Электрическая схема выключателя ВАБ-49

ного расцепления (36) — к правому, удерживая подвижный контакт (8) через тягу (25), промежуточный рычаг (41) и серьгу (33) в разомкнутом состоянии. Выключатель переходит в предвключенное положение. В результате притяжения главного якоря (45), переключаются блок-контакты (28).

Блокировочный контакт S замыкает цепь катушки реле блокировки К (см. рис. 3.23), которое, срабатывая, размыкает цепь катушки контактора КМ и становится на самоподпитку, шунтируя блок-контакт S. Контактор КМ отключается, и ток в держателе катушки L выключателя снижается примерно до 0,6 А.

Главный якорь (45) остается в притянутом положении, а якорь свободного расцепления (36) отпадет, освобождая контакт (8). Контакты выключателя смыкаются, при этом между планкой, которая приварена к щеткам главного якоря (45) и средним плечом промежуточного рычага (41) образуется зазор δ_2 , обеспечивающий провал главных контактов.

Блокировочное реле К служит для предотвращения многократных включений и отключений выключателя в том случае, когда аварийный ток возникает в защищаемой цепи в момент включения выключателя при нажатом кнопочном выключателе SB2. Реле К, срабатывая, разрывает цепь катушки контактора КМ и не позволяет контактору повторно включиться, если выключатель отключился от аварийного тока.

Для повторного включения выключателя необходимо отпустить кнопочный выключатель SB2 и вновь нажать его.

При оперативном отключении выключателя размыкается кнопочный выключатель SB1 и разрывается цепь держателе катушки L. Под действием пружин (27) и (47) главный якорь приходит в движение и размыкает контакты выключателя. Якорь останавливается упором 46. Блокировочные контакты переключаются.

При коротких замыканиях или перегрузке в защищаемой цепи линейный выключатель (выключатель максимального тока) отключается после размыкания контактов реле РДШ в цепи держателе катушки.

Реле РДШ чувствительно к крутизне нарастания тока: при быстром нарастании аварийного тока в момент короткого замыкания величина уставки реле снижается. Это вызвано тем, что проходящие через магнитопровод 3 (рис. 3.24) токи двух ветвей шины I направлены навстречу друг другу.

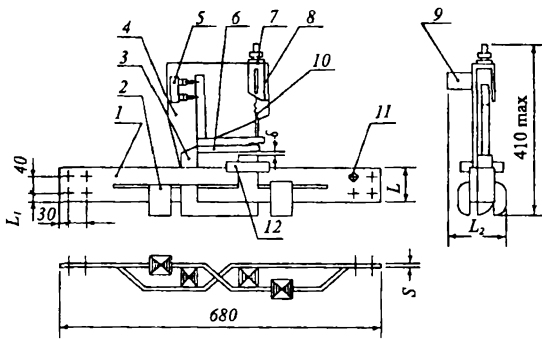


Рис. 3.24. Реле РДЖ

При коротких замыканиях аварийный ток в защищаемой цепи возрастает быстро и соотношение между токами двух ветвей определяется индуктивным сопротивлением. Так как на ветвь меньшего сечения насажены стальные пластины шунта (2), то ее индуктивное сопротивление будет велико. Разность токов возрастает, и реле срабатывает раньше, чем ток достигнет величины статической уставки.

При медленном нарастании тока в защищаемой цепи величина разности токов определяется соотношением активных сопротивлений двух ветвей шины (1). Небольшая разность токов создает магнитный поток, и при появлении в защищаемой цепи тока, равного току уставки реле РДШ, якорь (6) притягивается к магнитопроводу (3), размыкая контакты, расположенные на планке (5).

Параллельно контактам реле РДШ включены конденсаторы С1 и С2 (рис. 3.23). При размыкании контактов РДШ, благодаря наличию конденсаторов, в цепи держащей катушки L возникает колебательный процесс спада тока. За счет его отрицательной полуволны уничтожается остаточная намагниченность магнитопровода (44) (рис. 3.22), что обеспечивает быстрое действие выключателя.

3.6.4. Технические характеристики и конструктивные особенности выключателя ВАБ-206

До последнего времени на фидерах тяговых подстанций железных дорог устанавливались два последовательно включенных выключателя. Это решение было принято в середине про-

шлого века из-за того, что с ростом токов коротких замыканий имеющиеся в то время выключатели не всегда справлялись с отключением этих токов. Даже применение двухполюсных выключателей ВАБ-28 и выключателей ВАБ-43, имеющих сдвоенную щельную камеру, не обеспечивало надежное гашение дуги. Одиночные выключатели продолжили устанавливать только на постах секционирования, пунктах параллельного соединения или на фидерах с небольшими значениями токов короткого замыкания [21].

В конструкции современных выключателей, таких, как ВАБ-49, Gerapid, UR (выключатели фирмы Secheron) применяются дугогасительные камеры с дугогасительными решетками, имеющими кардинально иной принцип дугогашения, описанный выше.

Благодаря этому в настоящее время появилась возможность установки по одному выключателю на любом защищаемом объекте независимо от величины предельного тока короткого замыкания. Проведенные испытания показали, что увеличение предельного тока короткого замыкания (установившегося значения) не влияет на надежность отключения выключателем, имеющим камеру с дугогасительной решеткой. Кроме того, замена двух выключателей на один должна повысить надежность электроснабжения за счет уменьшения общего количества оборудования.

Выключатель ВАБ-206 изначально разрабатывался с целью применения его в малогабаритных ячейках КРУ выкатного типа в качестве одиночного выключателя. Он имеет встроенные реле тока и станцию управления, а также увеличенный раствор между контактами в отключенном положении для облегчения гашения критических токов (токи менее 200 А) [22].

Основные технические характеристики выключателя ВАБ-206 приведены в табл. 3.4

Таблица 3.4

Основные технические характеристики выключателя ВАБ-206

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Род тока главной цепи	Постоянный, пульсирующий
2	Номинальный ток	4000 А
3	Номинальное напряжение	3300 В

№п/п	Наименование параметра	Значение
4	Отключающая способность в безындуктивной цепи	25 000 А
5	Отключающая способность при индуктивности цепи 5-15 мГн, А	50 000 А
6	Количество отключений токов короткого замыкания без осмотра	100
7	Собственное время отключения	Не более 0,008 с
8	Номинальное напряжение цепей управления	=110 В или =220 В
9	Кратковременно потребляемый ток при включении	30 А ($U_{упр} = 110 В$) 20 А ($U_{упр} = 220 В$)
10	Масса	Не более 160 кг

Общий вид выключателя ВАБ-206 показан на рис. 3.25.

Выключатель состоит из полюса (6) и дугогасительной камеры (2). По принципу работы выключатель ВАБ-206 аналогичен выключателю ВАБ-49. Он также во включенном положении удерживается за счет держащего тока электромагнита привода и отключается при обрыве держащего тока. Основное принципиальное отличие состоит в отсутствии внешней комплектующей аппаратуры — станции управления и реле РДШ. Это позволяет устанавливать выключатель на выкатном элементе малогабаритной ячейки КРУ.

Станция управления (5) выполнена на малогабаритных электронных компонентах и встроена в выключатель. За счет применения в схеме управления преобразователя напряжения значительно снижен длительно потребляемый ток, который составляет не более 0,2 А при напряжении цепей управления 110 В и не более 0,1 А при напряжении 220 В. Это дает не только прямую экономию электроэнергии, но и позволяет также значительно снизить емкость аккумуляторных батарей подстанции.

Вместо реле РДШ для выключателя ВАБ-206 специально разработано встроенное реле тока (8). Оно так же, как и реле РДШ, реагирует на скорость нарастания тока и при большой скорости нарастания тока оно срабатывает при токе ниже его статической уставки. За счет оптимизации формы якоря магнитной системы реле удалось добиться значительного уменьшения массы подвижных частей при неизменном электромагнитном усилии, действующем на якорь, благодаря чему значительно улучшены динамические характеристики

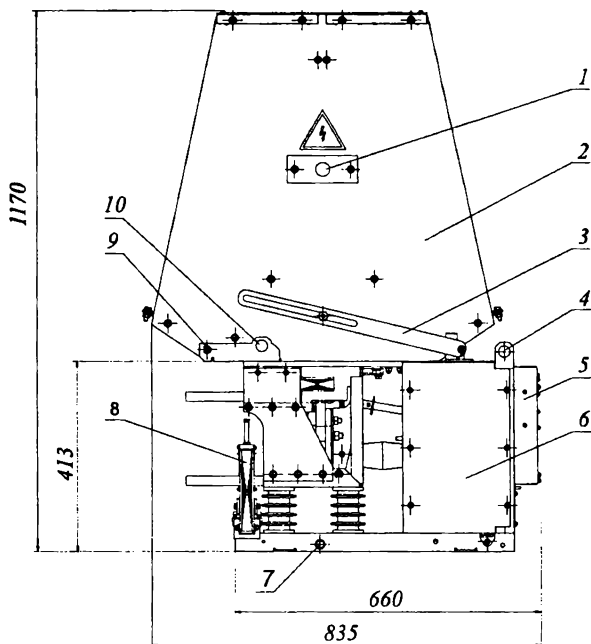


Рис. 3.25. Общий вид выключателя ВАБ-206

реле по сравнению с реле РДШ. При необходимости реле тока можно снять с выключателя без демонтажа самого выключателя и откалибровать отдельно от выключателя. Болт (7) служит для заземления рамы выключателя.

Для удобства обслуживания дугогасительная камера установлена на оси (9) и может откидываться, освобождая зону контактов. Для фиксации камеры в откинутом положении служит направляющая (3).

Отверстия (1; 4; 10) служат для строповки при транспортировании и монтаже выключателя (камера при этом должна быть снята с полюса).

Контрольные вопросы:

1. Какие требования предъявляются к высоковольтным выключателям?
2. Какие особенности горения дуги в вакууме?

3. Для чего предназначен металлический экран в вакуумной камере?

4. В чем заключается принцип удержания коммутационного аппарата во включенном состоянии при помощи «магнитной защелки».

5. Каковы конструктивные отличия вакуумных выключателей ВВ/TEL и ВВЭ-10?

6. Какие преимущества и недостатки имеют элегазовые выключатели бакового и колонкового типа.

7. В чем особенности автокомпрессионных дугогасительных камер?

8. Какие конструктивные отличия имеют выключатели ВАБ-206, Gerapid и ВАБ-49?

Глава 4. ЛИНЕЙНЫЕ УСТРОЙСТВА ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Линейные устройства тягового электроснабжения [23] — это электротехнические устройства, расположенные на межподстанционных зонах (посты секционирования, пункты параллельного соединения, автотрансформаторные пункты), а также пункты группировки станций стыкования и пункты подготовки к рейсу пассажирских поездов.

Линейные устройства тягового электроснабжения также изготавливаются на основе функциональных блоков полной заводской готовности.

4.1. Современные пункты группировки на основе вакуумных переключателей

Пункты группировки предназначены для переключения секций контактной сети на станциях стыкования участков постоянного и переменного тока переключателями с дистанционными приводами, заблокированными с соответствующими стрелками и сигналами [24].

Пункты группировки контейнерного (модульного) типа ПГ-М-3,3/27,5 служат для замены пунктов группировки открытого типа, выработавших установленный срок эксплуатации, а также для вновь строящихся станций стыкования.

Конструкция пунктов группировки ПГ-М-3,3/27,5 отвечает современным техническим и эксплуатационным требованиям и обеспечивает:

- повышение надежности работы пункта группировки;
- сокращение регламентов обслуживания оборудования;
- повышение уровня автоматизации и управления пунктом группировки;
- повышение защищенности оборудования и контактной сети с напряжением 3,3 кВ постоянного тока от попадания на него напряжения 27,5 кВ переменного тока;

– полную заводскую готовность и малый объем строительно-монтажных работ при вводе в эксплуатацию.

Высокие эксплуатационные качества и надежность достигается за счет:

– применения нового типа силового оборудования и конструкций, в том числе:

а) переключателя на вакуумных камерах типа ПСС-В-3,3/27,5;

б) устройства защиты станции стыкования на тиристорнодиодных ключах типа УССП-3,3;

в) ячейки переключателя подъемнывыкатного типа КЛ-ПВ;

– применения серии новых датчиков:

а) датчика исправности цепи заземления;

б) датчиков «нуля» тока нагрузки переключателей;

в) датчиков перегрузки главных цепей и отходящих фидеров;

– сбора и обработки информации (сигналы ТС и ТУ) непосредственно на ПГ с последующей ее передачей по линии связи на пост ЭЦ и энергодиспетчерский пункт.

– изготовления, сборки и наладки оборудования ПГ в заводских условиях.

Базовый пункт группировки выполнен на шести переключателях (рис. 4.1), состоит из контейнера управления и защиты и двух высоковольтных контейнеров. Смонтированный пункт группировки представляет собой единую металлоконструкцию с общим коридором обслуживания (рис. 4.2). Возможно исполнение пункта группировки с девятью или двенадцатью переключателями станции стыкования.

Шестифидерный пункт группировки разделен на три контейнера (рис. 4.1). В контейнере №1 расположено устройство защиты станции стыкования, шкафы управления разъединителям, шкафы питания собственных нужд пункта группировки, высоковольтный ввод 3,3 кВ. В контейнерах №2 и №3 расположены по три ячейки переключателя станции стыкования. В контейнере №3 также расположен заземляющий разъединитель секций постоянного и переменного тока пункта группировки и высоковольтный ввод 27,5 кВ.

Ячейки переключателей подъемнывыкатного типа А1-А6 обеспечивают вкатывание элемента с переключателем Q1 и его механический подъем для соединения с соответствующими ответными силовыми контактами главных цепей. Подъем и опускание выкатного элемента может осуществляться как вручную, так и дистанцион-

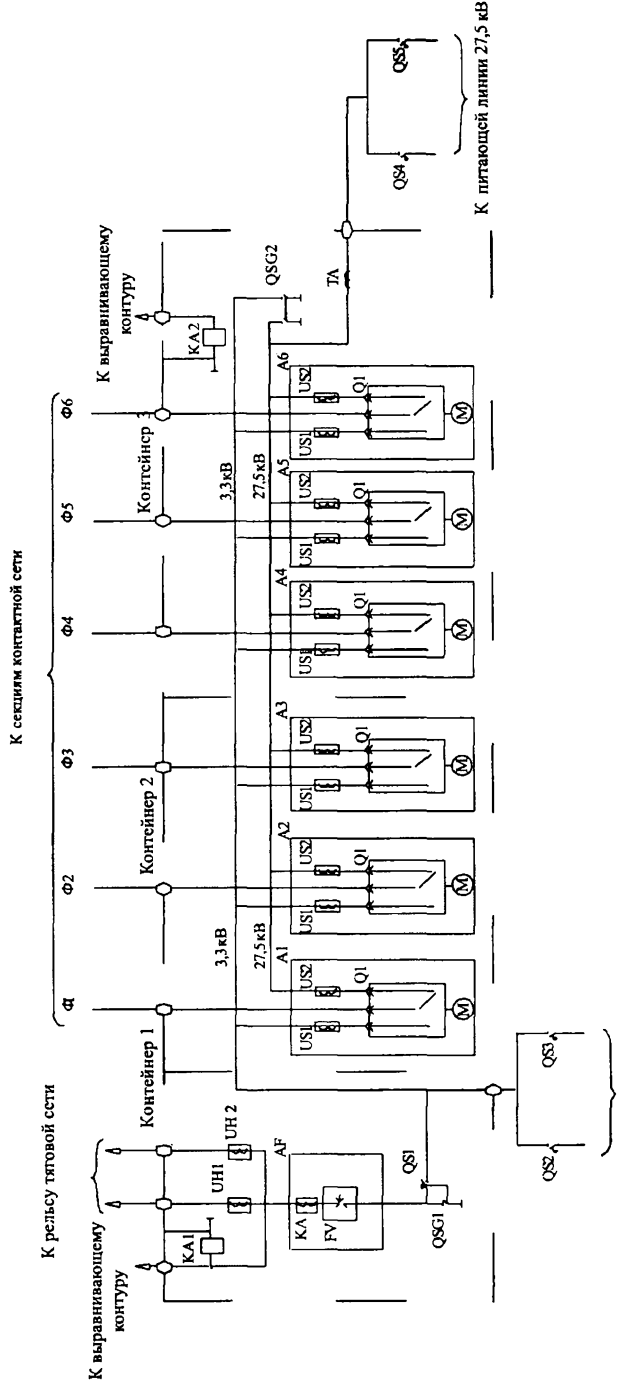


Рис. 4.1. Схема главных соединений шестифидерного пункта группировки контейнерного типа

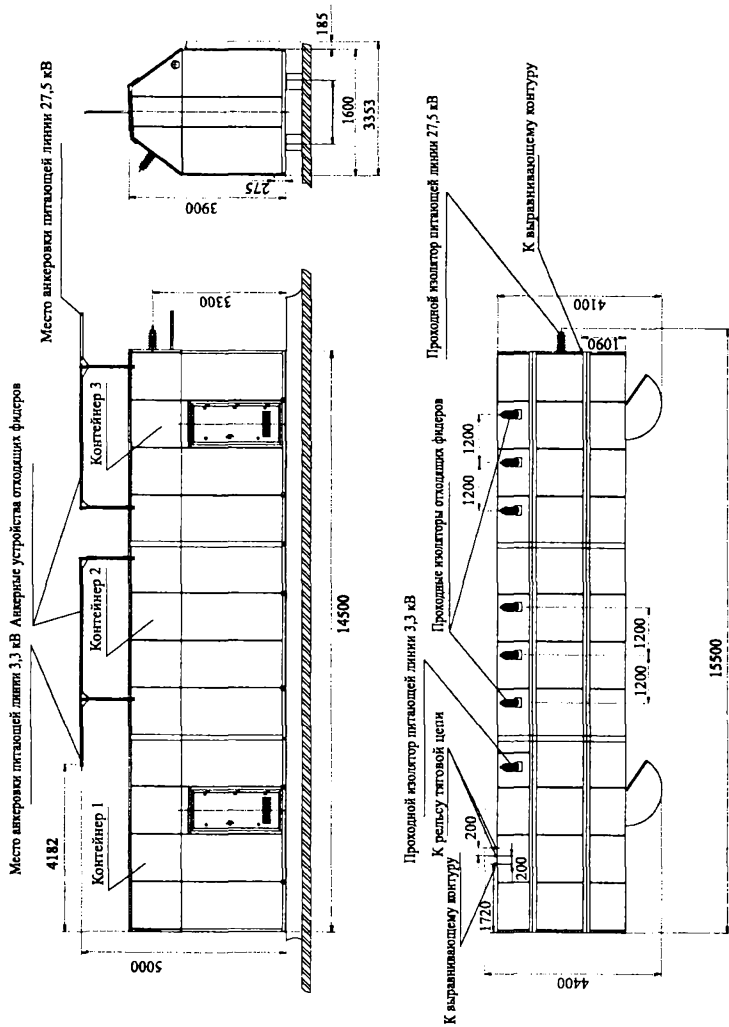


Рис. 4.2. Общий вид шестифидерного пункта группировки контейнерного типа

но при помощи встроенного электропривода. Дополнительно в каждой ячейке установлены датчики перегрузки по постоянному и переменному току US1 и US2, позволяющие идентифицировать конкретный поврежденный участок. По линии ТУ-ТС эта информация передается энергодиспетчеру.

Переклю­ча­тель Q1 обладает малыми габаритами и массой, а также высоким механическим ресурсом переключений без регламентного обслуживания. В качестве силовых коммутирующих элементов переключателя применены вакуумные камеры типа КДВ-2-35-25/1600, а в качестве привода — малогабаритный высоконадежный мотор-редуктор типа 2МРЦТ-63. Установленный механический ресурс переключателя без проведения технического обслуживания составляет не менее 100000 циклов переключений в бестоковом режиме. Переключатель выполнен в виде выкатного элемента с вертикально ориентированными разъемными силовыми контактами. Масса выкатного элемента не превышает 170 кг.

Сочетание высоконадежного переключателя и ячейки подъемно-выкатного типа позволяет реализовать новые функциональные возможности в работе пункта группировки. Так, при возникновении неисправности (короткого замыкания) на одной из секций контактной сети происходит отключение питающих фидеров на тяговой подстанции. Для локализации поврежденной секции в бестоковую паузу необходимо и достаточно по сигналу ТУ отключить соответствующий переключатель пункта группировки, опустив его в ячейке при помощи подъемного механизма. На практике получился эквивалент трехполосного разъединителя с моторным приводом. После выполненного таким образом отключения поврежденной секции контактной сети возможно повторное включение питающих линий на тяговой подстанции. Работа станции стыкования в данном случае прерывается не более чем на 5-10 мин. В комплект поставки пункта группировки входит запасной переключатель на выкатной тележке, установленный в ремонтной зоне контейнера №1. Для проведения технического обслуживания каждый переключатель может быть оперативно (в течение 10-15 мин.) заменен на резервный.

Устройство защиты станции стыкования УССП-3,3 FV расположено в ячейке АФ и предназначено для защиты секций контактной сети и питающих линий постоянного тока 3,3 кВ от попадания на них переменного тока 27,5 кВ. Устройство подключают к

шинам постоянного тока пунктов группировки и непереключаемым участкам контактной сети постоянного тока, примыкающим к участкам переменного тока. При попадании переменного напряжения 27,5 кВ в цепь сети постоянного тока происходит срабатывание устройства, которое обеспечивает замыкание контактного провода на тяговый рельс. Это вызывает отключение быстродействующего автоматического выключателя и вакуумного выключателя соответствующих фидеров тяговой подстанции. УССП-3,3 выполнено на силовых полупроводниковых приборах и позволяет значительно упростить профилактический осмотр и испытания по сравнению с устройством защиты на дуговом коммутаторе, применяемом на действующих пунктах группировки.

Пункт группировки оснащен средствами диагностики, позволяющими по каналу ТУ-ТС контролировать состояние основного оборудования (переключателей и устройства защиты) и исправность цепи заземления.

Основные технические характеристики шестифидерных контейнерных пунктов группировки приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Основные технические характеристики контейнерных шестифидерных пунктов группировки

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Количество вводов питающих линий: переменного тока 50 Гц постоянного тока	1 1
2	Количество отходящих фидеров	6 шт.
3	Номинальное напряжение питающей линии и отходящего фидера переменного тока постоянного тока	1000 А 1400 А
4	Ток термической стойкости главных цепей переменный (за время 3 с) постоянный (за время 1 с)	Не менее 13,9 кА Не менее 35,8 кА
5	Ток электродинамической стойкости главных цепей (амплитуда)	Не менее 37,5 кА
6	Напряжение питания постоянного тока приводов переключателей, управляемых с поста ЭЦ	160–260 В

№ п/п	Наименование параметра	Значение
7	Диапазон регулирования напряжения срабатывания устройства защиты	7-7,5 кВ
8	Время срабатывания устройства защиты	Не более 30 мкс
9	Номинальное напряжение питания собственных нужд (основного и резервного)	3N~50, 380/220 В
10	Мощность питания собственных нужд	Не более 15 кВт
11	Тип аппаратуры телемеханики	АСТМУ-А
12	Количество контейнеров (модулей)	3
13	Климатическое исполнение и категория размещения	У1
14	Габариты	14,5L x 3,1В x 3,9Н м
15	Масса	22000 кг

Конструктивные и схемные особенности функциональных блоков пунктов группировки позволяют располагать оборудование как в капитальном или легковозводимом здании, так и в контейнерах.

Новое силовое оборудование позволяет создать компактную конструкцию пункта группировки, при эксплуатации которого обеспечивается надежность, безопасность и малый объем регламентного обслуживания. Модульный конструктив и разбивка пункта группировки на контейнеры позволяет осуществить быстрый монтаж и ввод в эксплуатацию пунктов группировки на месте установки.

4.2. Посты секционирования

Посты секционирования предназначены для электрического соединения секций контактной сети двухпутных и однопутных участков железных дорог и защиты от токов перегрузки и короткого замыкания [25].

Посты секционирования выполнены в виде контейнеров. Корпус контейнера состоит из жесткого опорного каркаса, обшитого снаружи и изнутри металлическими панелями, промежутки между которыми заполнены теплоизоляционным материалом.

Подключение постов к контактной сети осуществляется через проходные изоляторы и анкерное устройство, закрепленное на крыше контейнера. Ввод в посты кабелей питания собственных нужд и управления производится через отверстие в полу.

Основные технические характеристики постов секционирования постоянного тока приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Основные технические характеристики постов секционирования постоянного тока

№ п/п	Наименование параметра	Тип поста	
		Однопутный	Двухпутный
1	Количество фидеров	2	4
2	Номинальное напряжение	3,3 кВ	3,3 кВ
3	Номинальный ток	до 3 кА	до 3 кА
4	Габарит	5,2L x 3,25B x 3,5H м	7,2L x 3,25B x 3,5H м
5	Масса	не более 5500 кг	не более 8000 кг
6	Климатическое исполнение	У1 (от -45°C до +40°C)	У1 (от -45°C до +40°C)

Таблица 4.3

Основные технические характеристики постов секционирования переменного тока

№ п/п	Наименование параметра	Тип поста	
		Однопутный	Двухпутный
1	Количество фидеров	2	4
2	Номинальное напряжение	27,5 кВ	27,5 кВ
3	Номинальный ток	600 А	600 А
4	Габарит	5,2L x 3,25B x 3,5H м	7,2L x 3,25B x 3,5H м
5	Масса	не более 6000 кг	не более 10000 кг
6	Климатическое исполнение	У1 (от -45°C до +40°C)	У1 (от -45°C до +40°C)

Посты постоянного и переменного тока конструктивно разделены на два отсека: отсек управления и высоковольтный.

В высоковольтном отсеке постов постоянного тока расположены быстродействующие выключатели, датчики тока и датчик напряжения, заземляющий разъединитель, реле земляной защиты, силовой шинопровод. В отсеке управления расположена аппаратура управления быстродействующими выключателями и фидерными разъединителями, продольными и дополнительными разъединителями контактной сети, защиты фидеров контактной сети, телеуправления

и телесигнализации, питания собственных нужд, поддержания температурного режима внутри контейнера.

В высоковольтном отсеке постов переменного тока расположены вакуумные высоковольтные выключатели, измерительные трансформаторы тока и напряжения, ограничители перенапряжений и высоковольтные предохранители, заземляющий разъединитель, силовой шинопровод. В отсеке управления расположены аппаратура управления высоковольтными выключателями и фидерными разъединителями, поддержания заданного температурного режима внутри контейнера, защиты фидеров контактной сети, телеуправления и телесигнализации, питания собственных нужд, управления продольными разъединителями контактной сети.

Посты секционирования постоянного и переменного тока обеспечивают двухступенчатую токовую защиту фидеров контактной сети, защиту по минимальному напряжению, защиту фидеров от тока короткого замыкания, земляную защиту, автоматическое повторное включение выключателей, дистанционное и телеуправление выключателями, приводами фидерных и продольных разъединителей контактной сети, телесигнализацию положения коммутационных аппаратов, телеизмерение токов и напряжений на фидерах в нормальном и аварийных режимах, высокую безопасность при проведении ремонтно-профилактических работ.

На рис. 4.3 приведена схема главных цепей двухпутного поста секционирования постоянного тока. Ввод фидеров контактной сети в пост осуществляется через проходные изоляторы, расположенные на крыше поста. К каждому проходному изолятору через роговый предохранитель (FV1-FV4) подключен ограничитель перенапряжений ОПН-3,3 О1 (FV5-FV8). ОПН заземляется на внешний контур заземления с помощью заземляющего спуска, изолированного от корпуса поста. В силовую цепь каждого фидера последовательно включены выключатель ВАБ-49 (QF1-QF4) и два реле РДШ-3000 (KAW1-KAW8). Такая схема позволяет иметь две различные токовые уставки и возможность выбора одной из них по телемеханике либо вручную.

Внутри поста все фидеры подключены к сборной шине. Для телеизмерения токов в цепь каждого фидера последовательно включен датчик тока (TA1-TA4). Для телеизмерения напряжения к сборной шине через предохранитель (FU5) подключен датчик напря-

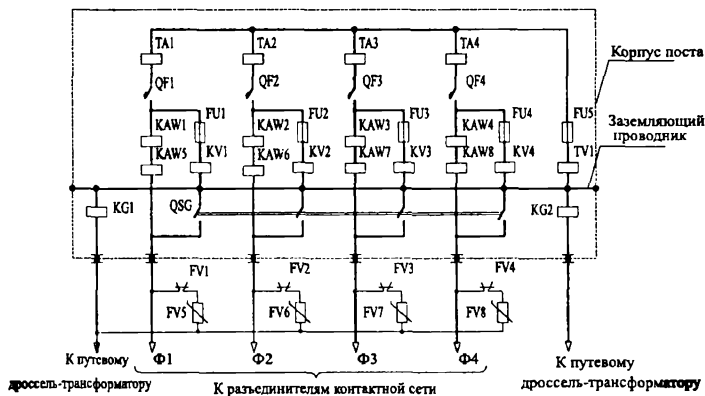


Рис. 4.3. Схема главных соединений двухлутного поста секционирования постоянного тока

жения (TV1). Для фиксации наличия необходимого уровня напряжения на участке контактной сети к каждому фидеру через предохранитель (FU1-FU4) подключено высоковольтное реле напряжения (KV1-KV4). Уставка срабатывания реле напряжения 2 кВ. Для обеспечения земляной защиты выход внутреннего контура заземления осуществляется последовательно через реле земляной защиты (KG1, KG2). Для обеспечения безопасной работы обслуживающего персонала в высоковольтном отсеке установлен четырехполюсный заземляющий разьединитель (QSG1), ручной привод которого расположен в отсеке управления. Также с поста осуществляется управление четырьмя фидерными, двумя продольными разьединителями, двумя дополнительными разьединителями (ВЛ ПЭ и ВЛ СЦБ) и двумя табло «Опусти токоприемник». Пост имеет возможность как местного (из отсека управления), так и телемеханического управления. В нормальном режиме работы поста все выключатели (QF1—QF4) включены, т.е. все участки контактной сети электрически соединены между собой через сборную шину, а заземляющий разьединитель QSG1 разомкнут. При достижении током, протекающим через фидер, величины уставки РДШ, вследствие короткого замыкания или перегрузки на контактной сети, происходит автоматическое отключение фидерного выключателя поста и фидерного выключателя подстанции. После подачи напряжения на отключенный участок контактной сети со стороны тяговой подстанции, что фик-

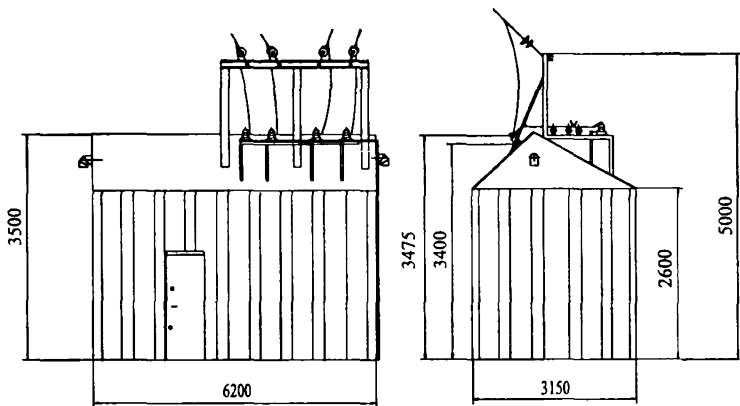


Рис. 4.4. Общий вид двухпутного поста секционирования постоянного тока

сируется высоковольтным реле напряжения, через время от 0,5 до 2 с осуществляется однократное АПВ. Включение выключателей по АПВ осуществляется с опережением по времени, что позволяет исключить перегрузку цепей собственных нужд. В случае пробоя на корпус поста срабатывает реле земляной защиты (KG1, KG2) и вырабатывается команда на одновременное отключение всех четырех выключателей и четырех фидерных разъединителей. Уставка срабатывания реле земляной защиты может регулироваться в диапазоне от 100 до 200 А. Включение поста после срабатывания земляной защиты возможно только после нажатия кнопки «Деблокировка ЗЗ».

Посты поставляются в виде контейнеров полной заводской готовности со смонтированным и налаженным силовым и вспомогательным оборудованием. Габариты контейнера позволяют перевозить его железнодорожным и автомобильным транспортом (рис. 4.4).

4.3. Пункты повышения напряжения постоянного тока

Пункт повышения напряжения (ППН) предназначен для усиления энергоснабжения контактной сети постоянного тока на участках, удаленных от тяговых подстанций и требующих повышенного потребления электроэнергии, обусловленного сложным рельефом местности и увеличением веса подвижного состава [26]. Ста-

билизация напряжения в контактной сети возможна путем установки на напряженных участках дополнительных тяговых подстанций, что требует:

- наличия питающей сети соответствующей мощности;
- значительных капитальных затрат.

ППН позволяет:

- использовать мощность тяговой подстанции при незначительной модернизации;
- существенно снизить капитальные затраты;
- отказаться от оперативного обслуживания и постоянного присутствия эксплуатационного персонала.

При этом модульная система исполнения ППН позволяет обеспечить гибкую адаптацию к месту размещения. Основные технические характеристики ППН приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Основные технические характеристики пункта повышения напряжения

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Номинальная выходная мощность	6000 кВт
2	Номинальное входное напряжение	7500 В
3	Номинальный входной ток	1000 А
4	Номинальное выходное напряжение	3300 В
5	Номинальный выходной ток	2000 А
6	КПД	Не менее 95%
7	Питание собственных нужд	3~50 Гц, 220 В
8	Мощность, потребляемая собственными нуждами	Не более 20 кВА

Система усиления включает в себя два силовых модуля, шесть накопительных дросселей и коммутационную аппаратуру (разъединители). Упрощенная схема представлена на рис. 4.5.

Напряжение 6,6 кВ с тяговой подстанции поступает на разъединитель QS2 и через зарядный резистор Rз на разъединитель QS1, при включении которого происходит заряд конденсаторов фильтра преобразовательного блока. Далее включаются разъединители QS2, QS3 и быстродействующий выключатель QF в коммутационном модуле. Система усиления готова к работе. Включение системы происходит автоматически при снижении напряжения в контактной сети ниже величины 2200 В, отключение — при напряжении в контакт-

ной сети более 3500 В. Защита от коротких замыканий по фидеру 6,6 кВ осуществляется быстродействующим выключателем на тяговой подстанции; от коротких замыканий в контактной сети или в системе усиления защищает быстродействующий выключатель QF, позволяющий отключать токи обеих полярностей.

Для снижения уровня псофометрического напряжения до допустимого значения предусмотрены резонансный фильтр Ст-Lr, установленный в преобразовательном модуле и конденсаторная батарея Сout наружной установки.

Преобразовательный блок (рис. 4.6) выполнен по бестрансформаторной схеме и содержит две фильтровые батареи (Cf1, Cf2), шесть силовых полностью управляемых тиристорных ключей (VS1-VS6) и шесть обратных диодов (VD1-VD6). Тактовая частота работы каждого из силовых ключей составляет 200 Гц. Моменты включения ключей разнесены по времени друг относительно друга на 1/6 периода тактовой частоты, таким образом частота пульсаций выходного тока преобразователя равна 1200 Гц. Величина выходного тока преобразователя регулируется путем изменения интервала проводимости тиристорных ключей.

При включении любого из тиристорных ключей через соответствующий накопительный дроссель протекает ток, имеющий две составляющие:

- ток, протекающий по фидеру 6,6 кВ в нагрузку;
- ток заряда дросселя, протекающий по контуру Cf1 — силовой ключ — дроссель.

При отключении тиристорного ключа ток, существующий в дросселе, замыкается по контуру Cf2 — дроссель — обратный диод. В результате ток на выходе преобразователя превышает ток фидера 6,6 кВ в два раза.

Модуль преобразовательный (рис. 4.7) массой около 10 т необходимо устанавливать на фундамент. Модуль преобразовательный должен опираться на фундамент по восьми опорным площадкам, расположенным по длинным сторонам контейнера. Для обеспечения забора охлаждающего воздуха в днище модуля сделаны три воздухозаборника размером 500×500 мм, а для ввода кабелей питания, управления и контроля — два канала размером 100×100 мм. При установке модуля преобразовательного необходимо обеспечить, чтобы фундамент не перекрывал воздухозаборник и каналы для кабелей. Высо-

Преобразовательный модуль

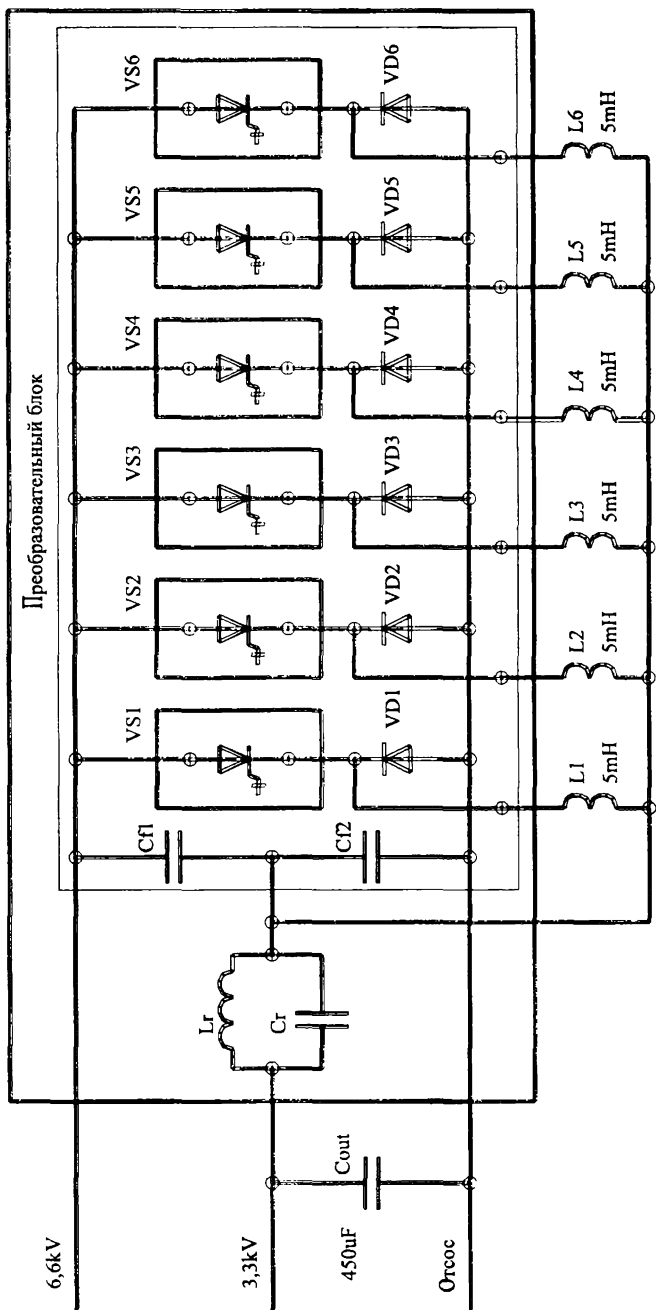


Рис. 4.6. Преобразовательный блок пункта повышения напряжения

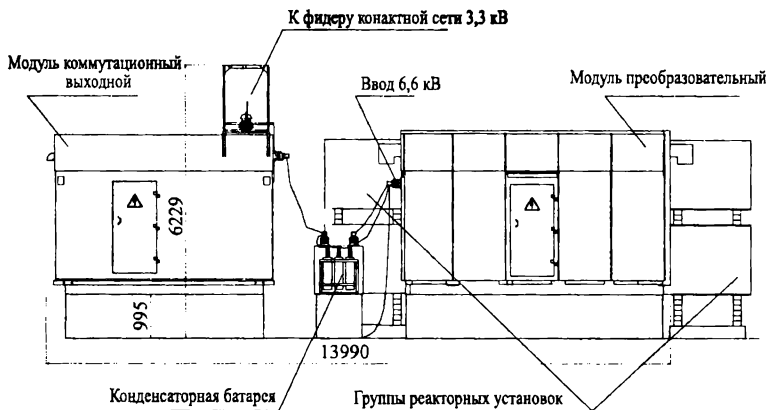


Рис. 4.7. Общий вид пункта повышения напряжения

та фундамента для модуля преобразовательного должна быть выбрана с учетом высоты снежного покрова для той местности, где устанавливается ППН, но должен быть не менее 1 м для обеспечения забора необходимого количества охлаждающего воздуха.

Модуль коммутационный выходной массой около 6 т необходимо устанавливать на фундамент (бетонные блоки). Требования по установке — такие же, как и для преобразовательного модуля.

Три группы реакторных установок необходимо устанавливать на фундамент (на отдельные бетонные блоки или на целиком залитую бетонную площадку). Каждая группа реакторов состоит из двух реакторов, монтируемых один над другим. Фундаменты, на которых устанавливаются три группы реакторов, не должны содержать металлических сеток, штырей, вкраплений и т.д., а также не должны содержать короткозамкнутых металлических витков (например, при прокладывании заземления) для исключения изменения параметров реакторов.

Конструкция реакторов имеет узлы крепления к опорным изоляторам, которые устанавливаются на фундамент. Минимальное расстояние между отдельными группами реакторов должно быть не менее 2000 мм для исключения влияния отдельных групп реакторов друг на друга.

Конденсаторную батарею массой 250 кг необходимо устанавливать на фундамент (на отдельный бетонный блок) с размерами не

менее 670×276 мм. Конденсаторная батарея должна иметь навес, защищающий от прямых солнечных лучей и снежного покрова.

Два однополюсных разъединителя РДЗ.1-35Б/1000НУХЛ1 с приводами ПДЖ-32-1УХЛ1 и два однополюсных разъединителя РДЗ.1-35Б/2000 НУХЛ1 с приводами ПДЖ-32-1УХЛ1 устанавливаются на железобетонных опорных столбах.

Контрольные вопросы:

1. Назначение пунктов группировки постов секционирования и пунктов повышения напряжения.
2. Особенности конструкции электрооборудования пунктов группировки с вакуумными переключателями.
3. Состав электрооборудования и схмотехнические решения пунктов повышенного напряжения и постов секционирования.

Глава 5. НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В РАЗВИТИИ СХЕМОТЕХНИКИ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

5.1. Распределенные тяговые сети

В настоящее время на железных дорогах России в основном применяется централизованная система питания тяговой сети. Вместе с тем имеются возможности применения децентрализованного или распределенного питания. Под распределенной схемой понимают такую схему тягового электроснабжения, при которой [27]:

- потребитель на наиболее нагруженных зонах получает питание не только от ближайших, но и от ряда более удаленных тяговых подстанций;

- участие таких удаленных подстанций в питании других межподстанционных зон получается тем большим, чем меньшую мощность установленных агрегатов имеет тяговая подстанция. Наиболее совершенной является схема с одноагрегатными подстанциями;

- схемы подстанций в таком случае весьма упрощены, тяговые подстанции однотипные, создается условие полной индустриализации их сооружения;

- распределение нагрузки между одноагрегатными подстанциями достигается за счет определенного режима напряжения на их первичной стороне. Все подстанции должны получать питание от одной и той же линии электропередачи, проложенной вдоль железной дороги. Наилучшим является вариант продольной линии постоянного тока высокого напряжения с возможностью регулирования;

- резерв достигается не путем установки дополнительных агрегатов, а в виде запаса мощности отдельной подстанции, выбранной так, чтобы выпадение из работы любой подстанции не вызывало необходимости вводить какие-либо ограничения по питанию. По существу может быть отключена не одна, а несколько подстанций на линии, но при условии, если между двумя выбывшими останутся не менее двух работающих подстанций.

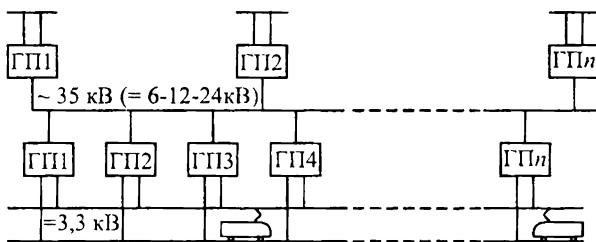


Рис. 5.1. Схема распределенной системы электроснабжения

Общая схема распределенной системы электроснабжения показана на рис. 5.1. Главные подстанции (ГП) преобразуют напряжение питающей системы в напряжение продольной линии 6-12-24 кВ постоянного тока или 35 кВ переменного тока. В свою очередь пункты питания (ПП) осуществляют преобразование напряжения питающей линии в напряжение тяговой сети, обеспечивая распределение мощности по длине межподстанционной зоны.

Применение распределенной схемы питания позволит:

- использовать провода контактной сети меньшего сечения;
- снизить потери напряжения в контактной сети и обеспечить качество электротягового обеспечения;
- уменьшить потери электроэнергии в контактной сети;
- облегчить защиту от токов короткого замыкания в контактной сети;
- уменьшить потенциалы рельсов относительно земли, а, следовательно, снизить опасность электрокоррозионного разрушения подземных сооружений;
- снизить мешающее электромагнитное влияние на смежные коммуникации;
- уменьшить расходы на развитие внешнего электроснабжения;
- перейти на полностью автоматическое управление тяговыми подстанциями.

Наиболее перспективной системой для тяговой сети постоянного тока 3,3 кВ является схема с продольной линией 24 кВ постоянного тока, так как в этом случае на опоры контактной сети устанавливается только один питающий провод.

На рис. 5.2 представлены существующие и перспективные способы реконструкции (усиления) тягового электроснабжения постоянного тока.

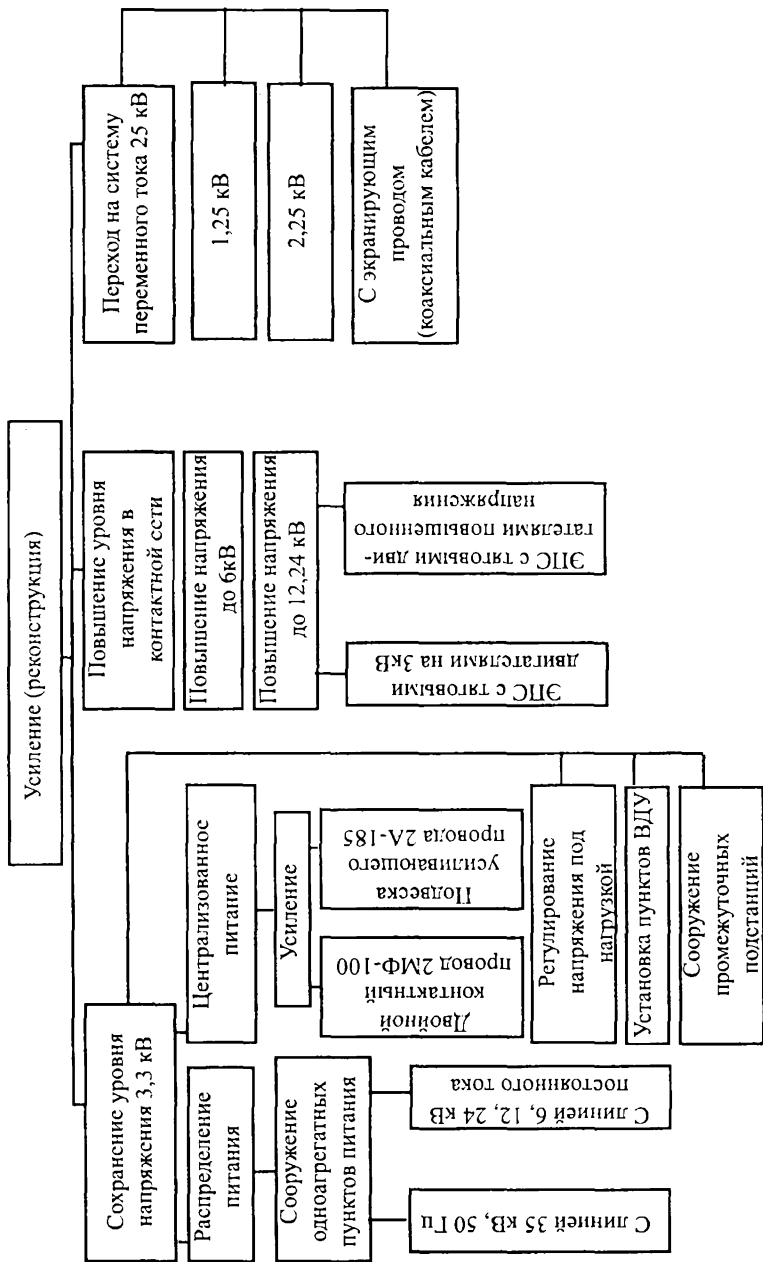


Рис. 5.2. Существующие и перспективные способы реконструкции (усиления) тягового электроснабжения постоянного тока

5.1.1. Вариант распределенного электроснабжения с продольной линией 35 кВ трехфазного тока

Вариант распределенного питания контактной сети одноагрегатными пунктами питания с продольной линией электропередачи 35 кВ представлен на рис. 5.3. Тяговые подстанции условно названы главными тяговыми подстанциями (ГТП) для отличия их от других типов тяговых подстанций [33].

На ГТП устанавливаются понижительные трехобмоточные трансформаторы с обмотками первичного напряжения, напряжения 10 кВ для питания выпрямительных агрегатов самой подстанции и нетяговых потребителей и напряжения 35 кВ для питания продольной ВЛ35кВ. Между ГТП по опорам контактной сети прокладывается ВЛ 35 кВ, секционированная в продольном направлении в местах присоединения к ней пунктов питания.

К продольной ВЛ 35 кВ присоединяются одноагрегатные пункты питания (ПП), осуществляющие преобразование трехфазного переменного тока 35 кВ в постоянный ток 3,3 кВ. Мощность выпря-

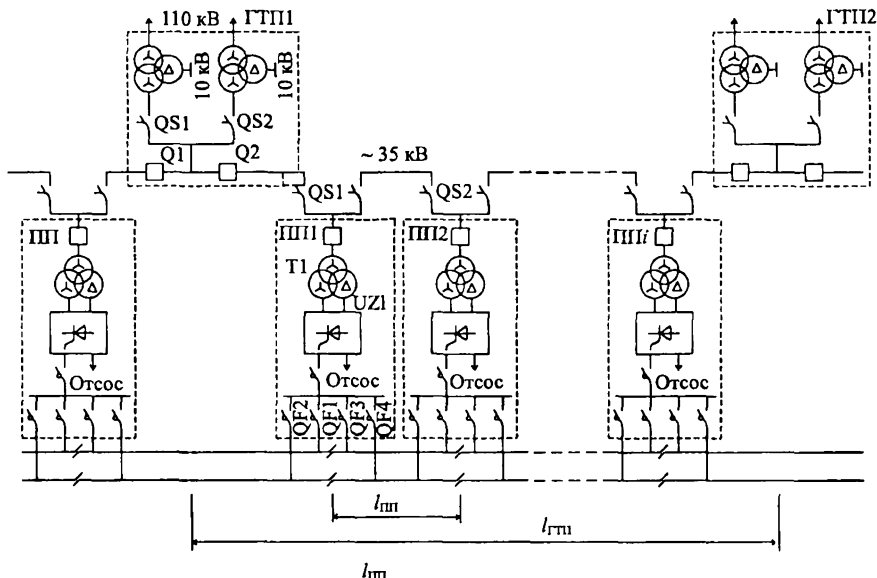


Рис. 5.3. Вариант распределенной системы тягового электроснабжения с продольной линией 35 кВ переменного тока

мительного агрегата ПП принимается равной половине мощности выпрямительного агрегата ГТП, а их число на одной межподстанционной зоне оптимизируется в результате электрических расчетов с учетом возможности размещения большего числа ПП на отдельных пунктах.

Продольная ВЛ 35 кВ присоединяется к средним обмоткам понижающих трансформаторов Т1, Т2 на ГТП по полумостиковой схеме с разъединителями QS1, QS2 с помощью высоковольтных выключателей Q1 на ГТП2 и Q2 на ГТП1, чем обеспечивается двухстороннее питание линии. Схема предусматривает возможность организации двухстороннего питания ВЛ 35 кВ при выпадении одной из ГТП. Продольное секционирование ВЛ 35 кВ осуществляется разъединителями QS1-QS6 с моторным приводом. Пункты питания присоединяются к ВЛ 35 кВ по схеме неполного моста с помощью высоковольтных выключателей Q. Схема обеспечивает требуемую надежность питания контактной сети при отключении одной из ГТП и нескольких ПП на участке при условии, если между ними остаются в работе два ПП.

5.1.2. Вариант распределенного электроснабжения с продольной ВЛ 24 кВ постоянного тока

Данный вариант реализуется аналогично варианту распределенного питания с продольной ВЛ 35 кВ. На ГТП устанавливаются специальные трансформаторы с четырьмя обмотками [34]. Кроме первичной обмотки и обмотки 10 кВ для выпрямительных агрегатов UZ1 и UZ2, питающих тяговую сеть при напряжении 3,3 кВ, и нетяговых потребителей, имеются две обмотки напряжением 10 кВ, от которых питаются выпрямители UZ3 и UZ4, на выходе которых подключена ВЛ постоянного тока 24 кВ.

Схема одной межподстанционной зоны при распределенном питании с продольной ВЛ 24 кВ приведена на рис. 5.4. Сама ВЛ 24 кВ выполнена в однопроводном исполнении (плюс 24 кВ) и размещается на опорах контактной сети. На ГТП линия подключена разъединителями QS1 и QS2.

В местах, где по схеме распределенного питания с ВЛ 35 кВ установлены ПП, при системе распределенного питания с ВЛ 24 кВ предусмотрены автоматические питающие пункты (АПП), на которых с

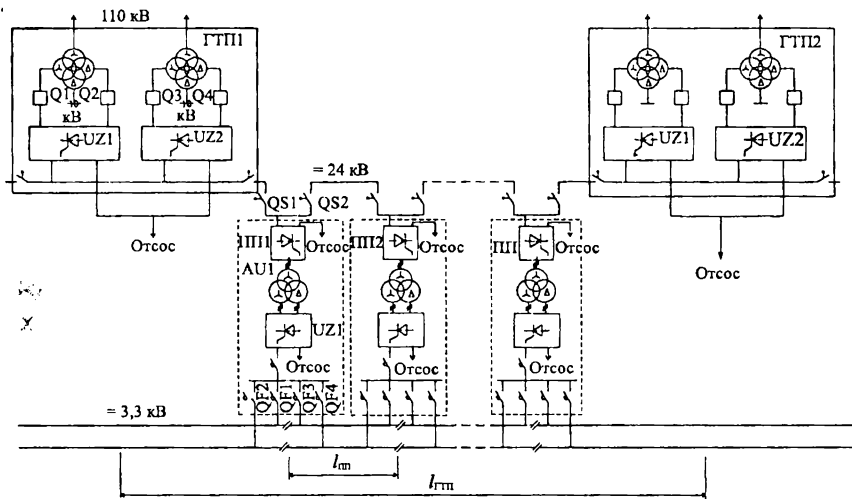


Рис. 5.4. Схема тягового электроснабжения с продольной линией 24 кВ постоянного тока

помощью инверторов UZ1 и выпрямительных агрегатов UZ2 напряжение постоянного тока 24 кВ преобразуется в напряжение 3,3 кВ постоянного тока, подаваемое в тяговую сеть. Сами АПП присоединены к ВЛ 24 кВ разъединителями QS1-QS6, обеспечивающими продольное секционирование линии.

Отсасывающие линии 24 кВ на ГТП и 3 кВ на ГТП и АПП присоединены к средним точками путевых дроссельтрансформаторов.

По надежности питания тяговой сети распределенное питание с ВЛ 24 кВ постоянного тока аналогично системе с ВЛ 35 кВ.

5.2. Управляемые тяговые сети постоянного тока

Принципы построения управляемого тягового электроснабжения с применением математических моделей.

Наряду с распределенным тяговым электроснабжением существует возможность повысить эффективность централизованных систем питания за счет регулирования напряжения на шинах тяговых подстанций при помощи тиристорных установок.

Участок тягового электроснабжения при взаимодействии с подвижным составом представляет собой сложную нелинейную ди-

намическую систему, поэтому целесообразно воспользоваться методом декомпозиции, представляя межподстанционную зону как элементарную подсистему [28].

Объектом управления в каждой подсистеме является тяговая сеть, управляющим устройством — тиристорные установки тяговых подстанций, возмущающее воздействие на тяговую сеть оказывает подвижной состав и окружающая среда.

Тактическая задача управления состоит в нахождении закона изменения напряжения на шинах смежных тяговых подстанций, обеспечивающего требуемый уровень напряжения на токоприемниках подвижного состава.

Стратегической задачей управления является обеспечение оптимальных уровней напряжения на токоприемниках поездов всего участка.

Интервал попутного следования скоростных поездов не менее 10 минут, поэтому достаточно решить тактическую задачу при перемещении поезда с одной межподстанционной зоны на другую, при этом возможны следующие способы управления:

- стабилизация напряжения на шинах смежных тяговых подстанций;
- стабилизация напряжения на посту секционирования;
- стабилизация напряжения на токоприемниках поездов.

При построении системы автоматического управления на этапе проектирования необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ эффективности различных способов управления;
- осуществить синтез автоматического регулятора с гарантирующим управляющим воздействием;
- разработать технические средства для реализации системы автоматического управления.

При сравнительной оценке эффективности способов управления следует иметь в виду, что тяговые расчеты выполняются для напряжения на токоприемнике подвижного состава $U_{\Sigma} = 3000\text{В}$, поэтому систему управления, стабилизирующую напряжение на токоприемнике подвижного состава на уровне, близком к расчетному, следует считать наиболее эффективной, обеспечивающей график движения поездов с расчетным значением мощности и минимальными суммарными потерями в контактной сети и подвижном составе. В этом

смысле критерием эффективности является стабильность напряжения на токоприемнике подвижного состава, характеризующаяся среднеквадратичным отклонением и коэффициентом вариации. Расчеты выполнены для межподстанционной зоны в наиболее тяжелом случае встречного движения скоростных поездов четного и нечетного направления. В модели приняты следующие допущения:

- тяговая сеть содержит только активные сопротивления;
- возмущающее воздействие на ОУ оказывает подвижной состав, представленный в виде идеальных источников тока;
- тяговая подстанция — регулируемый источник напряжения с постоянным активным внутренним сопротивлением;
- движение поездов осуществляется в режиме тяги;
- воздействие окружающей среды отсутствует.

На рис. 5.5 показана расчетная схема замещения для межподстанционной зоны двухпутного участка при одновременном движении до 4-х поездов.

Пользуясь законами Кирхгофа можно составить систему уравнений для определения вектора потенциалов в узлах цепи объекта управления, которые в матричной форме выглядят следующим образом [2]:

$$AYA^T U = -A(J + YE), \quad (1)$$

где AYA^T – квадратная матрица узловых проводимостей 7-го порядка;

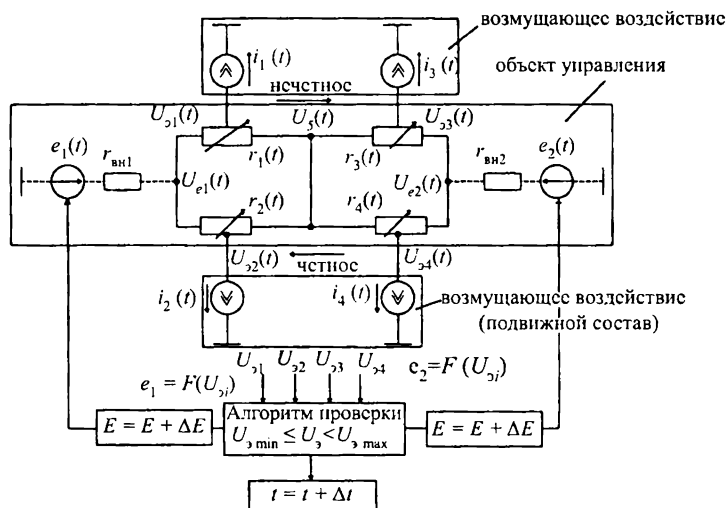


Рис.5.5. Расчетная схема замещения

$-A(J+YE)$ — матрица-столбец, элементами которой являются токи поездов и фидеров тяговой подстанции.

Решение системы управлений в матричной форме имеет вид:

$$U = -(AYA^T)^{-1} A(J+YE) \quad (2)$$

Исходными данными для расчета являются:

$r_{уд}$ — активное удельное сопротивление тяговой сети;

L — длина межподстанционной зоны;

$r_{вн}$ — внутреннее сопротивление тяговой подстанции;

T — время хода по межподстанционной зоне;

$U_{тп\ min}$, $U_{тп\ max}$ — допустимые пределы изменения напряжения на шинах тяговых подстанций;

$U_{з\ min}$, $U_{з\ max}$ — допустимые пределы изменения напряжения на токоприемниках подвижного состава;

ΔU — шаг изменения напряжения на шинах подстанции;

t_0 — начальное время;

Δt — шаг изменения времени.

Ставится задача определения оператора $E1$, связывающего входной сигнал $E(t)$ с его выходными сигналами $U_з(t)$ так, чтобы выполнялось условие $U_{з\ min} < U_з < U_{з\ max}$.

Алгоритм построения автоматического регулятора. На рис. 5.6 показан алгоритм решения задачи для варианта стабилизации напряжения на токоприемниках при встречном движении двух поездов [35, 36].

На каждом временном интервале выполняются следующие процедуры:

– задаются токи и координаты поездов, полученные в результате предварительно выполненных тяговых расчетов;

– проверяется условие $U_{тп\ min} < U_{тп} < U_{тп\ max}$. Если условие выполняется, то рассчитываются напряжения на токоприемниках; если нет, то выводится сообщение «Решений нет»;

– проверяется условие $U_{з\ min} < U_з < U_{з\ max}$. Если условие выполняется, то проверяется условие $t \leq T$ и процедура расчета повторяется для следующего интервала времени $t = t + \Delta t$. В противном случае изменяется напряжение на шинах тяговой подстанции с шагом ΔU до тех пор, пока не будет выполнено условие $U_{з\ min} < U_з < U_{з\ max}$.

На рис. 5.7—5.8 показаны результаты расчета на математической модели зависимостей напряжений на токоприемниках поездов четного и нечетного направления $U_з(t)$ и напряжения на шинах тяговых подстанций при регулировании на межподстанционной зоне при встречном движении скоростных поездов для одного из участ-

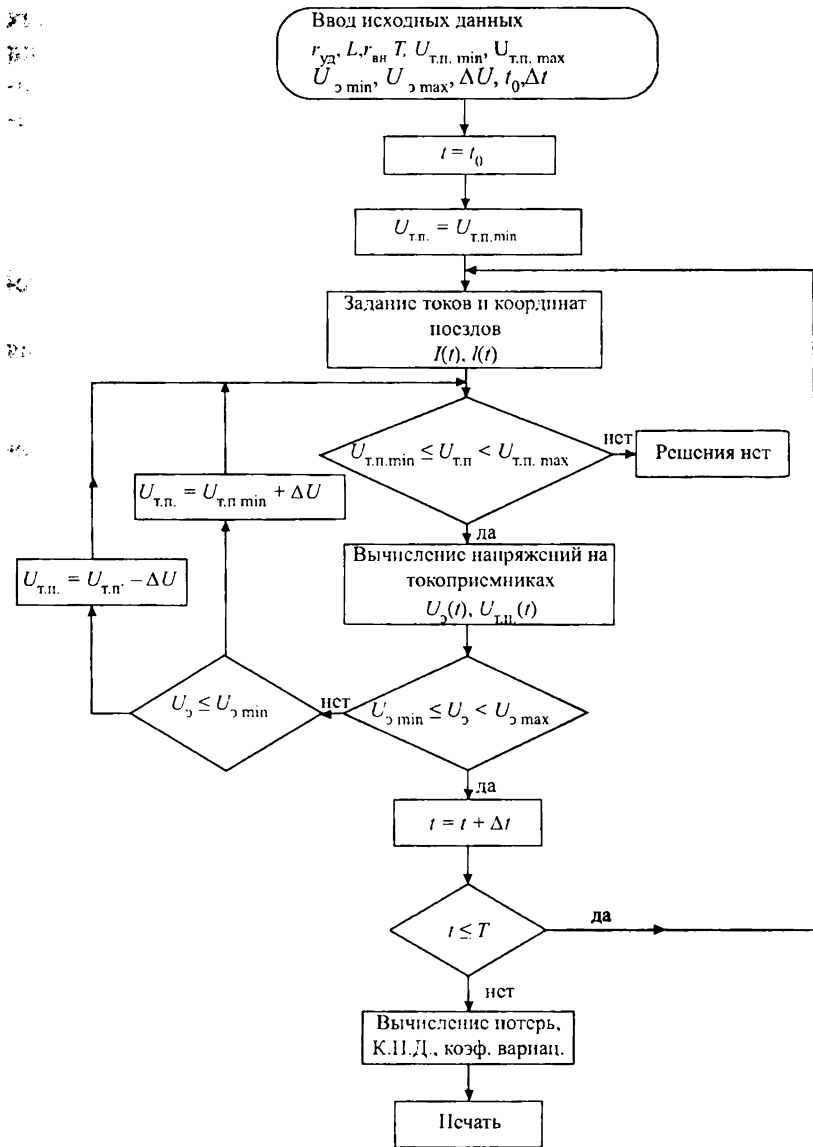


Рис.5.6. Алгоритм оптимизации напряжения на токоприемниках поездов

ков линии Санкт-Петербург — Москва при различных вариантах управления. Алгоритмы оптимизации для вариантов стабилизации напряжения на шинах тяговых подстанций и посту секционирования получаются из алгоритма (рис.5.6) путем соответствующего изменения условий по напряжению.

На рис. 5.7—5.8 обозначены:

- 1 — напряжение на шинах тяговых подстанций $U_{тп}(t)$;
- 2 — напряжение на посту секционирования $U_{пс}(t)$;
- 3 — напряжение на токоприемнике поезда нечетного направления $U_{эн}(t)$;
- 4 — напряжение на токоприемнике поезда четного направления $U_{эч}(t)$;
- 5 — функция регрессии управляющего воздействия $E1(t)$.

Анализ зависимостей показывает, что при отсутствии регулирования напряжения выполнить условие $U_3 \geq 2900$ В не удастся. Для выполнения условия необходимо уменьшить расстояние между подстанциями в два раза, т.е. требуется сооружение дополнительной подстанции в середине зоны. Следует отметить, что стоимость со-

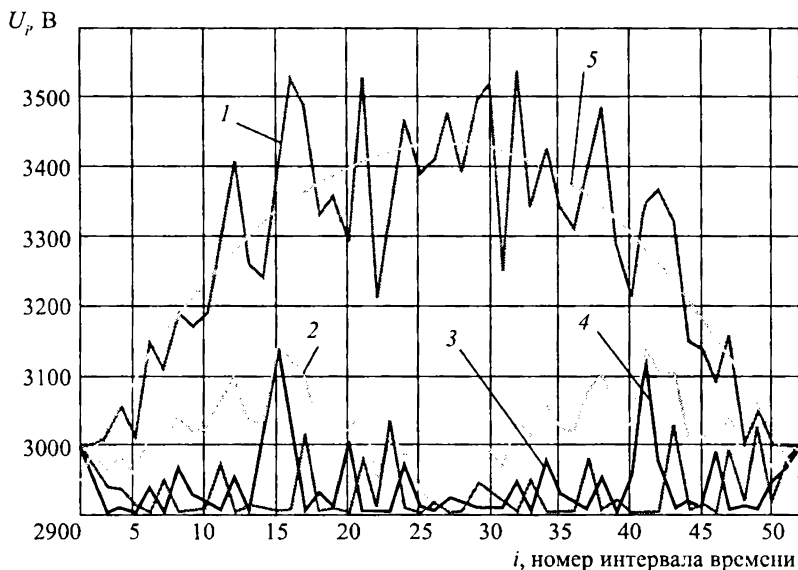


Рис.5.7. Диаграммы напряжений на межподстанционной зоне при стабилизации на токоприемниках поездов

временной тяговой подстанции составляет в среднем 300 — 400 млн рублей.

В табл. 5.1 приведены основные характеристики стабильности напряжения на токоприемниках поездов для различных способов управления напряжением на тяговых подстанциях.

Таблица 5.1

Характеристики стабильности напряжения для различных способов управления напряжением в тяговой сети

Режим питания	Среднее квадратичное отклонение, В от $U_{\text{доп min}}$ (2900 В)		Коэффициент вариации, % от $U_{\text{доп min}}$ (2900В)	
	четное	нечетное	четное	нечетное
Без регулятора	412	418	14,4	14,2
Стабилизация у токоприемников	52	66	1,79	2,18
Стабилизация на посту секционирования (пост в середине зоны)	125	127	4,32	4,4
Стабилизация на посту секционирования (пост смещен от середины)	210	211	7,26	7,3
Стабилизация на подстанциях	323	320	11,1	11,6

Наименьшему коэффициенту вариации по отношению к расчетному значению напряжения на токоприемнике подвижного состава соответствует система управления, построенная на принципе стабилизации напряжения на токоприемнике поезда (рис. 5.7). Близкими характеристиками обладает стабилизация на посту секционирования, если он находится в середине межподстанционной зоны (рис. 5.8). Наименее эффективной по значению коэффициента вариации является стабилизация напряжения на шинах тяговых подстанций. Вместе с тем, по сложности технической реализации эти способы располагаются в обратном порядке. Выбор той или иной системы должен осуществляться в соответствии с технологическими возможностями и техникоэкономическими расчетами.

Структурная схема управления напряжением тяговой сети постоянного тока. При построении структурной схемы используется принцип обучающейся модели [29]. Текущее состояние объекта

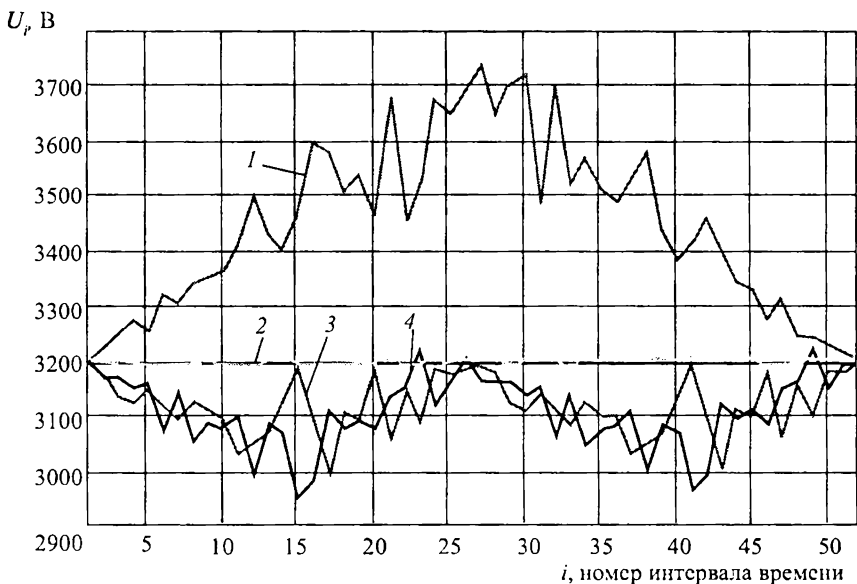


Рис. 5.8. Диаграммы напряжений на межподстанционной зоне при стабилизации на посту секционирования

управления (тяговой сети) характеризуется следующими переменными:

- токами фидеров и линий $i = i(t)$;
- напряжениями в узловых точках $u = u(t)$;
- координатами поездов $r = r(t)$ (сопротивлениями тяговой сети до поезда).

Подвижной состав и окружающая среда воздействуют на тяговую сеть, изменяя состояние объекта управления и, тем самым, соответствующие переменные (рис. 5.9).

Идентификатор на основе информации о действительных значениях напряжений в узловых точках и токов поездов по уравнениям (1) рассчитывает координаты нагрузок и действительные сопротивления участков тяговой сети, которые поступают на эталонную цифровую модель, выполненную в соответствии с алгоритмом оптимизации. В модели осуществляется настройка (корректировка) передаточной функции управления. Точность идентификации зависит от погрешности измерений и временного интервала (шага)

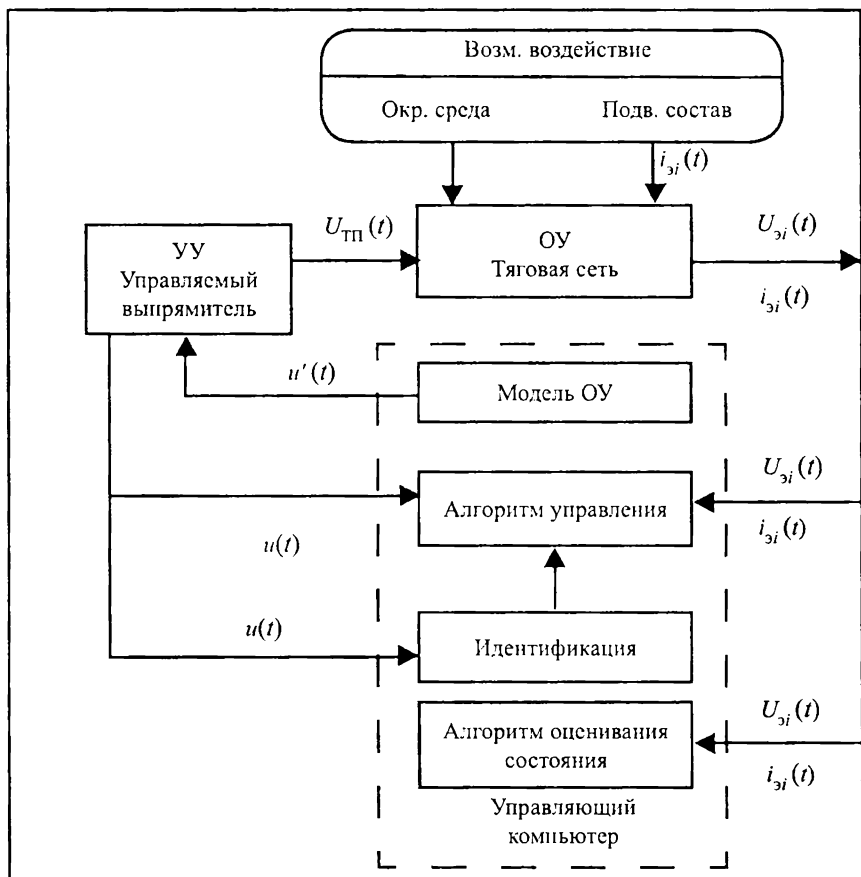


Рис. 5.9. Структурная схема управления напряжением в тяговой сети на межподстанционной зоне

расчета. Полученные оптимальные значения управляющего воздействия переносятся на управляющее устройство.

Для распределенной системы электроснабжения строится новая топология схемы замещения. Расчет осуществляется по аналогичному алгоритму с учетом продольной линии и пунктов питания.

Контрольные вопросы:

1. В чем основные отличия централизованных и распределенных систем питания тяговых сетей?

2. Какие перспективные направления существуют для усиления тяговой сети постоянного тока?

3. Каковы основные принципы построения управляемого тягового электроснабжения?

4. Какие достоинства и недостатки имеют различные варианты построения автоматического регулятора напряжения в тяговой сети (стаб. на подстанции, на посту секционирования и на токоприемнике подвижного состава)?

Глава 6. СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ ПОЛНОЙ ЗАВОДСКОЙ ГОТОВНОСТИ

6.1. Этапы разработки и верификации проекта

Для проектирования, разработки и конструирования оборудования подстанций любой степени сложности в НИИЭФА-ЭНЕРГО используется система автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства.

Система автоматизированного проектирования построена на основе сетевого комплекса персональных компьютеров с установленным на них программным пакетом Pro/ENGINEER фирмы Parametric Technology Corporation.

Процесс проектирования начинается с проработки общей компоновки конкретного объекта, причем данная система позволяет выполнять процесс компоновки путем построения трехмерной математической модели объекта. Модель строится в реальных размерах с учетом системы допусков и посадок и возможностей технологии изготовления, то есть модель практически полностью заменяет этап изготовления опытного образца. Поскольку модели являются параметрическими и полностью интегрированными во все приложения, исключается ошибка при передаче данных между этапами разработки. Кроме того, каждое изменение, внесенное на любом этапе проектирования и в любом приложении, отражается на всех рабочих местах.

Специальный модуль регламентирует доступ к моделям различных пользователей в зависимости от этапа разработки и обеспечивает сохранение версий разработки. При необходимости выпуска бумажной документации для построения чертежа используется трехмерная модель, размеры которой на чертеже «снимаются» непосредственно с модели. Спецификации, ведомости покупных изделий, ведомости кабельной и проводниковой продукции, электронная структура изделий, необходимые отчеты и перечни формируются

автоматически. Весь комплекс средств позволяет исключить большую часть ошибок, связанных с человеческим фактором.

Возможность параллельной работы различных специалистов над одной и той же разработкой и безбумажная технология проектирования сокращают время от начала разработки до изготовления изделия и постановки его на серийное производство.

Использование системы автоматизированного проектирования позволяет оптимизировать конструкцию, улучшить общее качество разработки, снижает количество ошибок разработчика, и при использовании прямого выхода на автоматизированный производственный комплекс повышает точность изготовления и снижает количество брака в производстве.

Процесс реализации новых объектов начинается, как правило, с создания общего проекта. При этом информационные потоки по формированию заказа, разработке необходимой документации, комплектации оборудования, организации взаимодействия, производства, проведения необходимых испытаний, подготовке к отгрузке требуют задействования многих различных служб предприятия или нескольких предприятий. Комплектноблочная технология производства упрощает поставку оборудования, но требует хорошей организации работ для обеспечения требуемого качества выпускаемого оборудования, исключения затрат на хранение из-за несвоевременного изготовления отдельных компонентов. Поэтому для решения задач поставки комплектного оборудования с максимальной степенью заводской готовности, для обеспечения сокращения времени на монтаж и ввод в эксплуатацию необходимо разделение зон ответственности за отдельные составляющие общего проекта при его реализации.

Общий ход и последовательность разработки и верификации проекта с выдачей соответствующих комплектов конструкторской и технической документации (КД и ТД) для изготовления продукции приведена на рис. 6.1. Вся процедура разделена на ряд типовых процессов, которые имеют свои входные и выходные документы и информацию.

После принятия решения о проектировании и поставке продукции при получении государственного и муниципального заказа, заказа, финансируемого из федерального бюджета и (или) бюджета субъектов Российской Федерации или по инициативе самого пред-

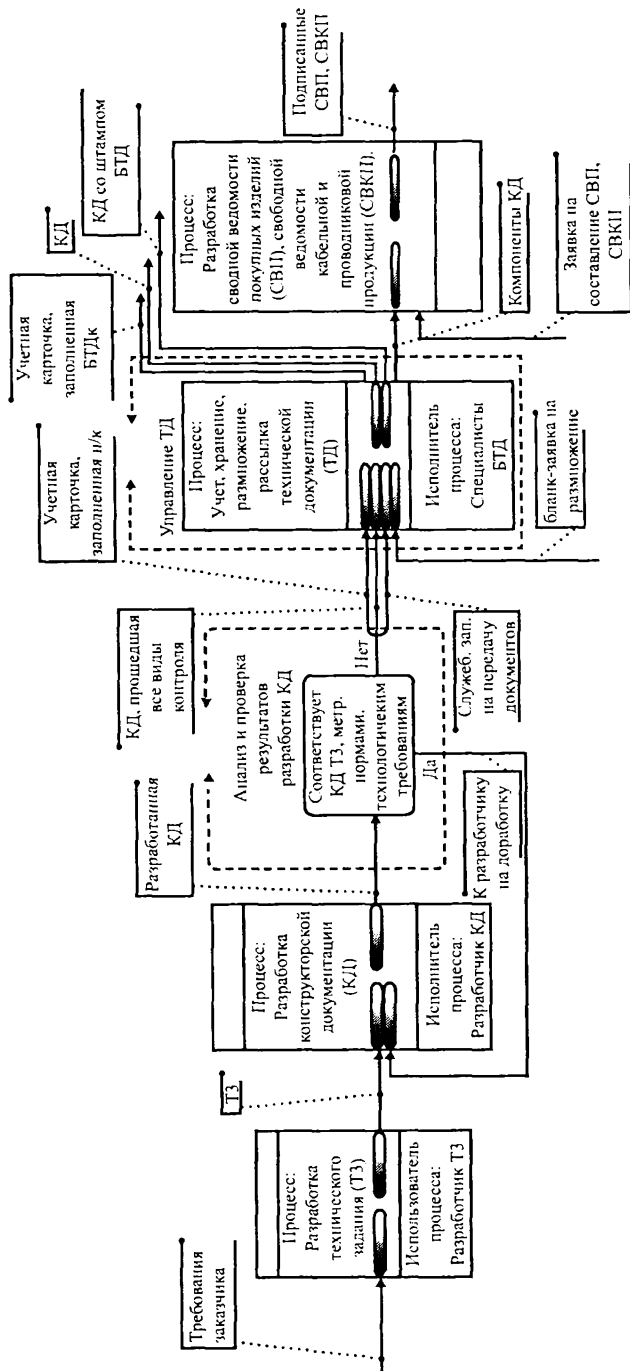


Рис. 6.1. Разработка проекта (начало)

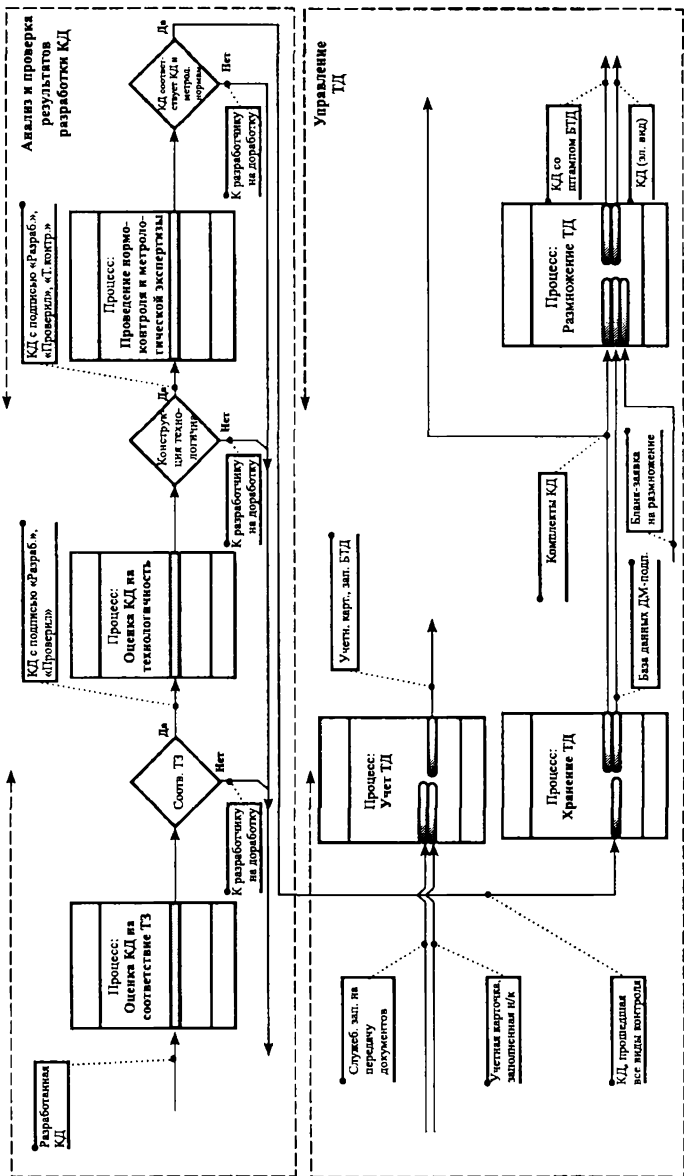


Рис. 6.1. Разработка проекта (окончание)

приятия, производится анализ требований заказчика и инициируется процесс «Разработка технического задания (ТЗ)».

При этом созданию продукции по госзаказу и заказу конкретного потребителя предшествует заключение договора на выполняемую работу, а при принятии решения о разработке продукции в инициативном порядке с учетом маркетинговых исследований рынка сбыта открывается внутренний заказ, финансируемый из средств предприятия.

В любом случае продукция, подлежащая разработке, должна удовлетворять требованиям заказчика, обеспечивать возможность эффективного ее применения потребителем и возможность экспорта. Кроме того, при проектировании продукции необходимо обеспечить:

– соблюдение обязательных требований законодательных и нормативных актов, в частности, требования безопасности, охраны здоровья и окружающей среды, в том числе стабильность этих показателей в процессе эксплуатации продукции;

– ресурсосбережение;

– устойчивость к внешним воздействиям;

– взаимозаменяемость и совместимость составных частей и продукции в целом.

ТЗ является основным исходным документом для разработки конструкторской и технической документации для выпуска продукции.

ТЗ разрабатывается на основе исходных требований заказчика, заявки, с учетом результатов НИР, экспериментальных работ, научно-прогнозного прогнозирования, маркетинговых исследований, работ по анализу контрактов, анализа передовых достижений отечественной и зарубежной техники, изучения патентной документации. Техническое задание должно содержать: входные проектные требования к продукции, определяющие ее потребительские свойства и эффективность применения, требования к подготовке и освоению производства, обязательные требования по безопасности, охране окружающей среды и т.д. В ТЗ определяются виды и формы выходных проектных документов, способы их проверки и подтверждения, перечень документов, требующих совместного рассмотрения, стадии проектирования. ТЗ разрабатывается в соответствии с разделом 5 ГОСТ Р 15.201-2000 и проходит метрологическую экспертизу и нормоконтроль.

После формирования и получения ТЗ начинается процесс «Разработка конструкторской документации».

Для сокращения сроков разработки, как правило, применяется двухстадийное проектирование (с учетом использования заделов по ранее проведенным разработкам): эскизный проект, рабочая документация.

Рекомендуемые стадии разработки и этапы выполнения работ приведены в табл. 6.1

Таблица 6

Рекомендуемые стадии разработки и этапы выполнения работ

Стадия разработки	Этапы выполнения работ
Эскизный проект	Разработка эскизного проекта с присвоением документам литеры «Э». Изготовление и испытание макетов (при необходимости) Рассмотрение и утверждение эскизного проекта
	Разработка конструкторской и технологической документации, предназначенной для изготовления и испытания опытного образца, без присвоения литеры Изготовление и предварительные испытания опытных образцов
Рабочая документация	Корректировка конструкторской и технологической документации по результатам изготовления и предварительных испытаний опытных образцов с присвоением документам литеры «О».
	Присмочные испытания опытных образцов. Корректировка конструкторской и технологической документации по результатам изготовления и присмочных испытаний опытных образцов с присвоением документам литеры «О1».
	Изготовление и испытание установочной серии по документации с литерой «О1». Корректировка конструкторской и технологической документации по результатам изготовления и квалификационные испытания установочной серии, а также оснащение технологического процесса изготовления изделия, с присвоением документам литеры «А».

Эскизный проект разрабатывают с целью установления принципиальных (конструктивных, схемных и др.) решений изделия, дающих общее представление о принципе работы и (или) устройстве

изделия, когда это целесообразно сделать до разработки рабочей документации в соответствии с ГОСТ 2.119-73.

В комплект документов эскизного проекта включают конструкторские документы в соответствии с ГОСТ 2.102-2006 и предусмотренные ТЗ.

Эскизный проект после рассмотрения и утверждения в установленном порядке служит основанием для разработки рабочей КД.

Необходимость изготовления и испытаний макетов определяется в ТЗ (договоре, контракте).

На стадии «Рабочая документация» выполняется разработка конструкторских и технологических документов, предназначенных для изготовления, контроля, приемки, поставки, эксплуатации и ремонта изделия.

В комплект документов стадии «Рабочая документация» включают конструкторские документы, в соответствии с ГОСТ 2.102-2006 и предусмотренные ТЗ.

Текстовые документы КД выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.106-96. Общие требования к текстовым документам определены ГОСТ 2.105-95. Эксплуатационная документация разрабатывается по ГОСТ 2.601-2006.

При разработке комплексных объектов зачастую для унификации решений стремятся использовать типовые наработанные конструкции. Это позволяет повысить качество изделий, а за счет серийности и существенно снизить затраты на производство, и тем самым повысить конкурентоспособность изделий.

Формирование общего проекта и решение о необходимости проведения разработки новых видов изделий для комплектно-блочной поставки оборудования принимается в проектно-отделе предприятия. Здесь же формируются и дополнительные требования к типовым решениям в случае необходимости адаптации их к реальным условиям эксплуатации.

После формирования общих требований к комплексному объекту и к его составляющим они согласовываются с отделами-разработчиками соответствующих видов продукции внутри предприятия или осуществляется поиск разработчика вне предприятия в случае невозможности проведения разработки своими силами.

По завершении разработки документация проходит процесс «Анализ и проверка результатов разработки конструкторской доку-

ментации». Данный процесс содержит несколько последовательно выполняемых подпроцессов:

- оценка КД на соответствие ТЗ;
- оценка КД на технологичность;
- проведение нормо-контроля и метрологической экспертизы.

По окончании каждого подпроцесса КД либо возвращается разработчику на доработку (при наличии замечаний), либо проходит на следующую стадию.

Оценка КД на соответствие ТЗ проводится на технических совещаниях с обязательным участием представителей подразделений, участвующих в разработке, а также представителей заказчика (при выполнении разработки по договору или контракту).

При проверке возможно:

- выполнение альтернативных расчетов;
- сопоставление выполненной разработки с аналогичной разработкой, уже проверенной на практике;
- проведение испытаний и подтверждение результатов;
- анализ документов по проверяемым стадиям разработки до их выпуска.

При проверке проводят оценку:

- выполнения требований к безопасности и надежности;
- пригодности к монтажу, легкости сборки и требуемых условий хранения;
- требований к внешнему виду и критериев приемки;
- удовлетворения требований потребителя (заказчика);
- обеспечения требований к производству и техническому обслуживанию, а также оцениваются требования к маркировке, этикетированию, идентификационным обозначениям, прослеживаемости.

При оценке качества разработок назначают оппонентов, либо создают экспертные комиссии. Оппонентами и членами экспертной комиссии назначают высококвалифицированных специалистов различного профиля, способных всесторонне оценить качество результатов разработки. В результате рассмотрения разработки на совещании дают оценку соответствия разработки требованиям ТЗ, отмечают выявленные недостатки, указывают пути их устранения и дают общую оценку качества разработки.

Результаты рассмотрения работ фиксируются в протоколе совещания. Протокол является документом, содержащим оценки каче-

ства выполненных работ и предложения по их дальнейшему проведению с целью устранения выявленных недостатков.

После устранения недостатков выполняется процесс «*Оценка КД на технологичность*». В ходе данного процесса выполняется технологический контроль КД.

Технологический контроль КД проводится в соответствии с ГОСТ 14.206-73.

Технологический контроль КД на детали в общем виде заключается в контроле формы, размеров, допусков и требований по обработке. Форма детали по возможности должна быть упрощенной. Размеры должны проставляться от технологических и конструкторских баз. Допуски должны быть максимально возможными при заданных требованиях к сборке и к работе детали, сборочной единицы и изделия в целом.

Технологический контроль единиц, получаемых сборкой, заключается в проверке:

- правильности расчленения изделий на составляющие сборочные единицы;
- наличия сборочных баз;
- наличия грузозахватывающих приспособлений;
- возможности механизации сборочных работ.

На процесс «*Нормоконтроля и метрологической экспертизы*» конструкторская документация предъявляется комплектно.

Предъявляемая на нормоконтроль КД должна иметь подписи в графах основной надписи «Разработал», «Проверил» и «Т. контроль». Предъявляемые на нормоконтроль технические условия, программы и методики испытаний должны быть согласованы с испытательной лабораторией.

Эксперт-метролог также проводит метрологическую экспертизу документации и направляет вместе с перечнем замечаний и предложений нормоконтролеру. Целью проведения метрологической экспертизы документации является обеспечение эффективности контрольно-измерительных операций на стадиях разработки, изготовления, испытаний, эксплуатации и ремонта продукции.

Изменения и исправления, указанные нормоконтролем, которые связаны с нарушением или отступлением от действующих нормативных документов, должны быть внесены в документы в обязательном порядке, другие замечания и предложения вносятся в документы по

согласованию с разработчиком этих документов. Документация после разработки не может быть подвергнута изменению.

По завершению анализа и проверки результатов разработки КД инициируется процесс «Учет, хранение, размножение и рассылка технической документации».

КД поступает в специальное хранилище – бюро технической документации (БТД), задача которого обеспечить учет, хранение и размножение документации по заявкам подразделений предприятия, участвующих в жизненном цикле изготовления и поставки продукции. Оригиналы документации в формате пакета-источника и, в случае необходимости, дубликаты на бумажном носителе сдаются на хранение в БТД. Переданная на хранение техническая документация регистрируется, и оригиналы вносятся в базу данных.

При обращении соответствующих служб предприятия по их заявкам формируются и передаются необходимые комплекты технической документации в бумажном и (или) электронном видах, при необходимости поддерживается их актуальность и вносятся соответствующие изменения.

При наличии заказа для закупки необходимых комплектующих, кабельной и проводниковой продукции, необходимых для изготовления оборудования, инициируется процесс «*Разработка сводных ведомостей покупных изделий (СВП) и сводных ведомостей кабельной и проводниковой продукции (СВКП)*». Сформированные спецификации поступают в отдел снабжения, задача которого в установленные сроки обеспечить необходимыми комплектующими изделиями для изготовления продукции производственные службы предприятия.

6.2. Технологическая подготовка производства и производство

После сдачи КД установленным порядком в БТД в технологической службе предприятия проводится технологическая подготовка производства (ТПП).

Целью ТПП является оптимизация по срокам и ресурсам, обеспечение технологической готовности производства к изготовлению изделий в соответствии с требованиями заказчика. ТПП проводится на протяжении всего жизненного цикла изготовления изделия от опытного образца до его серийного производства.

ТПП осуществляется в соответствии с **технической документацией** на основании планов производства.

Основными задачами ТПП является:

- оценка конструкции изделия на технологичность;
- определение потребностей производства в основных и вспомогательных материалах;
- определение сроков подготовки производства и производство;
- определение производственных мощностей предприятия для выполнения заказа в установленные сроки;
- определение потребности в дополнительных средствах технологического оснащения;
- определение необходимости или целесообразности размещения отдельных работ на других предприятиях;
- обеспечение соблюдения правил и норм по охране труда и производственной санитарии при разработке и внедрении технологических процессов.

Разработка сборочных единиц и деталей изделия производится с учетом имеющихся на предприятии средств технологического оснащения и типовых технологических процессов. На основе результатов технологической проработки КД разработчики КД совместно с технологами уточняют и корректируют определяющие технологические решения по производству изделия. ТПП изделий предусматривает выполнение следующих основных работ:

- проверяется комплектность КД;
 - открывается заказ на изготовление опытных образцов;
 - разрабатываются технологические инструкции, технологические процессы, маршрутные карты, карты эскизов, технологические карты на изготовление деталей и сборочных единиц изделия;
 - составляется заявка на разработку технологических процессов;
 - КД проверяется на правильность построения геометрии;
 - проводится подготовка геометрии деталей к разработке подпрограмм обработки для станков с ЧПУ;
 - разрабатываются подпрограммы обработки;
 - проводится рациональное размещение деталей на листах;
 - разрабатываются групповые (типовые) и единичные технологические подготовки;
 - разрабатывается сводная ведомость требуемых материалов.
- Обеспечение технологичности конструкции изделия является

одной из стадий подготовки производства, предусматривающей взаимосвязанное решение конструкторских и технологических задач. Обеспечение технологичности конструкции изделия направлено прежде всего на:

- достижение требуемого уровня унификации и стандартизации изделия;

- достижение показателей качества, надежности и ремонтпригодности продукции при оптимальных затратах;

- повышение производительности труда;

- сокращение времени на производство продукции, в том числе на монтаж, техническое обслуживание и ремонт.

Обеспечение технологичности конструкции изделия производится в соответствии с ГОСТ 14.201-83 и включает:

- обработку конструкции изделия на технологичность на всех стадиях разработки изделия и при технологической подготовке производства;

- совершенствование условий выполнения работ при производстве, эксплуатации и ремонте изделий и фиксации принятых решений в технологической документации;

- количественную оценку технологичности конструкции изделия (при необходимости);

- технологический контроль КД в соответствии с ГОСТ 14.206-73;

- подготовку и внесение изменений в КД по результатам технологического контроля.

Отработка конструкции изделия на технологичность производится совместно разработчиками конструкторской и технологической документации. При проведении отработки конструкции на технологичность необходимо учитывать:

- степень новизны и сложности изделия;

- перспективность изделия, объем его выпуска;

- оптимальные условия производства.

Основными мероприятиями по отработке конструкции изделия на технологичность являются:

- конструкторские мероприятия;

- технологические мероприятия;

- эксплуатационные мероприятия.

Конструкторские мероприятия включают в себя:

- простоту компоновки сборочных единиц и изделия в целом;

- расчленение изделия на сборочные единицы, допускающие не-

зависимую сборку, контроль и испытания;

- выбор простейших форм деталей;
- рациональный выбор материалов;
- обоснованный выбор допусков и шероховатости поверхностей деталей;

– обеспечение взаимозаменяемости без подгонной сборки;

– унификацию материалов, сборочных единиц и элементов конструкций.

Технологические мероприятия включают в себя:

- сокращение сроков подготовки и освоения производства;
- использование современных процессов;
- сокращение расхода материалов;
- применение рациональных методов контроля;
- обеспечение точности изготовления, рациональной организации изготовления и сборки, контроля и испытаний сборочных единиц и изделия в целом;

– сокращение номенклатуры специальной оснастки.

Эксплуатационные мероприятия включают в себя:

- обеспечение надежности и долговечности изделия;
- обеспечение простоты обслуживания и ремонта изделия;
- сокращение расхода запасных частей.

Основными техническими направлениями при отработке конструкции деталей и сборочных единиц на технологичность являются следующие.

По деталям, изготавливаемым методом листовой штамповки:

- правильность выбранных форм детали для обеспечения рационального раскроя и снижения отходов металла;
- унификация размеров (радиусы гибки, размеры фасок и отверстий), определяющих возможность использования универсальной оснастки;
- наличие и достаточность радиусов переходов в местах сгибов;
- правильность применения марок материалов в зависимости от конструктивной формы детали.

По деталям, получаемым обработкой резанием:

- возможность соблюдения единства баз для обработки и измерений;
- правильность линейных размеров и допусков на них в зависимости от предполагаемых способов обработки;
- правильность взаиморасположения обрабатываемых поверхно-

стей (отверстий, внутренних канавок и т.п.) для обеспечения доступности подхода и уменьшения возможности вылета инструмента;

– правильность выбора требуемой точности и шероховатости обработки поверхностей.

По сборочным единицам, изготавливаемыми сваркой:

– правильность выбора материала деталей, входящих в сварную конструкцию;

– возможность выполнения заданных допусков на линейные и угловые размеры без дополнительной обработки;

– выбор линейных размеров и допусков деталей, входящих в сварную конструкцию, обеспечивающий размеры и допуски на сварную конструкцию;

– правильность размещения сварных швов и сварочных точек для устранения короблений и напряжений шва, а также для обеспечения доступности подхода к месту сварки;

– правильность выбора метода сварки и соответствующих материалов.

По термически обработанным деталям:

– соответствие марок материалов заданным требованиям по твердости и механическим свойствам после термической обработки;

– возможность замены недостаточно экономичных методов термической обработки более экономичными;

– наличие, при необходимости, указаний о размерах и твердости переходных зон.

По изделиям с защитными покрытиями:

– правильность выбора вида, толщины, количества слоев покрытий и цветов покрытий;

– возможность использования различных видов покрытий, применяемых на предприятии.

По единицам, получаемым сборкой:

– правильность расчленения изделий на составляющие сборочные единицы;

– наличие сборочных баз;

– наличие грузозахватывающих приспособлений;

– возможность механизации сборочных работ.

При этом проверка решений на технологичность конструкций и соответствие ТЗ проводится на различных стадиях разработки. На этапе разработки эскизного проекта обеспечивается:

- принятие решения о вариантах конструкции с учетом номенклатуры используемых материалов, габаритных размеров и конструкции сборочных единиц;
- сопоставление вариантов конструкции изделия для дальнейшей разработки;
- выбор вариантов конструкции изделия для дальнейшей разработки.

Проводятся проверки:

- отработки компоновки и оптимальность варианта конструкции изделия с учетом условий производства;
- правильности выбора схемы конструкции, обеспечивающей простоту компоновки изделия и его технологичность;
- возможности использования имеющегося основного и вспомогательного оборудования для обеспечения качественного изготовления изделия;
- необходимости приобретения средств технологического оснащения;
- необходимости реконструкции существующих производственных участков или создание новых.

На этапе разработки рабочей документации для изготовления и испытания опытного (головного) образца обеспечивают:

- выбор рациональных способов фиксирования, центрирования и регулирования сборочных единиц изделия;
- доступность и легкосъемность сменных и требующих технического обслуживания и ремонта сборочных единиц изделия;
- возможность унификации сборочных единиц, деталей и их конструктивных элементов;
- проверку применяемости нормативных рядов размеров;
- принятие окончательных конструктивных решений.

В необходимых случаях также проводится поэлементная отработка конструкции деталей и сборочных единиц на технологичность с учетом особенностей единичного и мелкосерийного производства, а также проверка:

- а) возможности обеспечения требуемого качества изготовления составных частей изделия по существующей или вновь разработанной технологии;
- б) возможности использования ранее изготовленной оснастки или обеспечение своевременного изготовления новой;

в) оптимальности выбора точности обработки и шероховатости поверхностей деталей с учетом заданных требований и технологической целесообразности;

г) соответствия заданной точности изготовления изделия техническим данным средств технологического оснащения;

д) возможности использования конструкторских баз в качестве технологических и при необходимости обеспечивают их увязку;

е) возможности сокращения обрабатываемых поверхностей;

ж) технологичности сборки;

и) возможности технического контроля.

Для ускорения реализации проектов опытных образцов предусмотрена специальная процедура упрощенного запуска образцов в производство.

Опытные образцы изготавливаются на стадии «Рабочая КД» по технической документации без литеры. В процессе изготовления опытных образцов разработчик КД в случае необходимости проводит оперативные изменения в экземплярах КД, находящихся в производстве.

Опытные образцы продукции после их изготовления, сборки и приемки отделом технического контроля (ОТК) на соответствие требованиям конструкторской и технологической документации подвергаются предварительным испытаниям. Предварительные испытания проводятся с целью предварительной оценки соответствия опытного образца требованиям ТЗ, КД, а также для определения готовности опытного образца к приемочным испытаниям. Объем предварительных испытаний определяется соответствующей программой и методикой испытаний. В качестве предварительных испытаний могут быть зачтены и предварительные, приемочные, квалификационные, периодические и типовые испытания аналогичной продукции. В процессе предварительных испытаний опытных образцов разработчик КД обычно проводит необходимые изменения в экземплярах КД, находящихся в производстве. По результатам изготовления и предварительных испытаний производится корректировка КД без оформления извещения об изменении (ИИ). Откорректированной документации присваивается литера «О». Далее КД проходит нормоконтроль, технологический контроль и метрологическую экспертизу. А уже на основании КД, имеющей литеру «О», выпускается технологическая документация, которой присваивает-

ся литера «О». Опытный образец, доработанный или изготовленный вновь по КД и ТД с литерой «О», предъявляется на приемочные испытания.

Окончательную оценку выполненной разработки и принятие решения о производстве продукции производит приемочная комиссия.

На приемочную комиссию представляют:

- техническое задание;
- проект технических условий (ТУ);
- КД и ТД, требующие совместного рассмотрения;
- результаты испытаний и другие материалы, подтверждающие соответствие разработанной продукции этим документам и удостоверяющие ее технический уровень и конкурентоспособность;
- эксплуатационную и ремонтную документацию (если такая разработка предусмотрена);
- заключения органов, осуществляющих надзор за безопасностью, охраной здоровья и природы, если это оговаривается в ТЗ.

Приемочной комиссии представляют опытные или экспериментальные образцы продукции, а если их изготовление не было предусмотрено — головной образец. По результатам работы комиссия составляет акт, который означает окончание разработки, прекращение действия ТЗ, а также согласование представленных ТУ и технической документации. После корректировки по результатам приемочных испытаний КД присваивается литера «О1». На основании КД, имеющей литеру «О1», технологической документации присваивается литера «О1».

После этого производится постановка изделия на серийное производство. На этапе подготовки производства выполняются работы, обеспечивающие технологическую готовность предприятия к изготовлению продукции в требуемые сроки и в заданных объемах (рис. 6.2).

После принятия решения об изготовлении изделий инициируется процесс «Разработка графика изготовления оборудования» и в производство поступает необходимый комплект КД для изготовления оборудования.

График оформляется на основании набора работ, который ежемесячно разрабатывается соответствующими подразделениями предприятия, и содержит следующие сведения:

- наименование изделия (объекта);

- номер, под которым договор, в рамках которого открывается заказ в производстве, зарегистрирован в финансовом отделе (если такой договор есть), либо иное обоснование для оформления заказа;
- срок отгрузки изделия;
- ведущий инженер заказа;
- количество изделий;
- перечень и срок передачи необходимой для изготовления документации (обязательно со схемой деления изделия).

В процессе «Регистрация заказов. Оформление заявок на изготовление управляющих программ (УП). Оформление технологических карт (ТК), маршрутных карт (МК)» выполняется обработка документации в соответствии с графиком изготовления текущего месяца, наличием КД и приоритетами, определяемыми руководством предприятия.

- Обработка заказа заключается в выполнении следующих процедур:
- оформление технологической карты (ТК);
 - заполнение разделов ТК, относящихся к КД заказа, а так же к технологии процесса изготовления (операции, детали, узлы);
 - выборка номеров чертежей деталей, изготовление которых планируется на станках с ЧПУ, занесение их в заявку на разработку управляющих программ;
 - выпуск маршрутных карт (МК) на входящие в ТК детали;
 - размножение чертежей на одну и ту же деталь в случае окраски их в разные цвета, с указанием в МК цвета детали, с обязательной регистрацией копий в журнале.

Технологические карты составляются по принципу включения в них документации одного заказа.

При выполнении процесса «Разработка управляющих программ (УП), создание сводных материальных ведомостей (СМВ)» на основании поступивших заявок и с учетом графика изготовления оборудования и его изменений загрузки станков с ЧПУ разрабатываются управляющие программы на детали, входящие в заявки к ТК в рамках одного заказа. Управляющие программы оформляются в виде укрупненного сменного задания. По мере готовности укрупненные сменные задания передаются комплектно непосредственно для изготовления деталей.

Обработка заказа в данном процессе заключается в выполнении следующих процедур:

- разработка управляющих программ для станков с ЧПУ;
- составление укрупненных сменных заданий;
- составление СМВ.

В процессе обработки заказа соответствующим подразделениям предприятия передаются:

- отработанный вариант заявки на разработку управляющих программ;
- укрупненные сменные задания, разработанные на основании заявок в пределах одного заказа и конструкторской документации;
- СМВ;
- полный комплект КД заказа, использованный при составлении СМВ, если изделие изготавливается впервые.

В процессах «Определение трудозатрат и расчет себестоимости» и «Анализ себестоимости затрат» определяются трудозатраты по заказу и определяется себестоимость на изготовление по заказу. Результатом процесса является калькуляция себестоимости по заказу, которая включается в ежемесячный отчет производства.

В процессе «Присвоение порядкового номера рабочим планам. Размещение или изготовление изделия на других участках или предприятиях» плановораспределительное бюро (ПРБ) выполняет следующие процедуры:

- оформляет заявки на приобретение материалов, крепежа, расходных материалов и комплектации;
- оформляет заявки на изготовление деталей, узлов в сторонних организациях (процесс «Составление сводных заявок на МР и на изготовление изделий в сторонней организации»);
- готовит файлы для изготовления табличек и наклеек;
- выдает КД и контролирует прохождения заданий подразделениям производства (процессы «Изготовление деталей из листового материала» и «Изготовление деталей из листового материала»);
- передает экономическому отделу копии счетов на изготовление деталей в сторонних организациях для расчетов себестоимости изготовления.

Изготовленные детали, покупные изделия, кабельная и проводниковая продукция поступают на сборочные участки предприятия, где происходит окончательная сборка и приемосдаточные испытания готовой продукции.

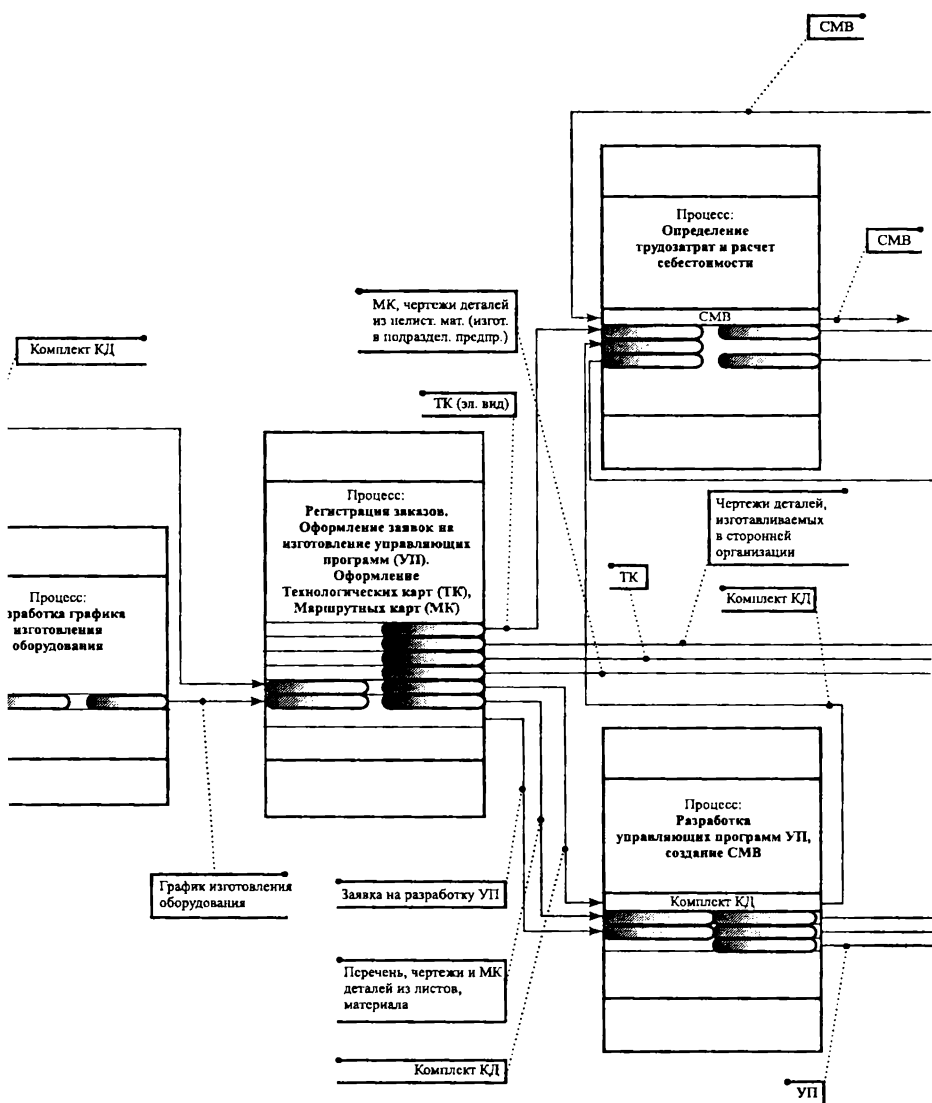
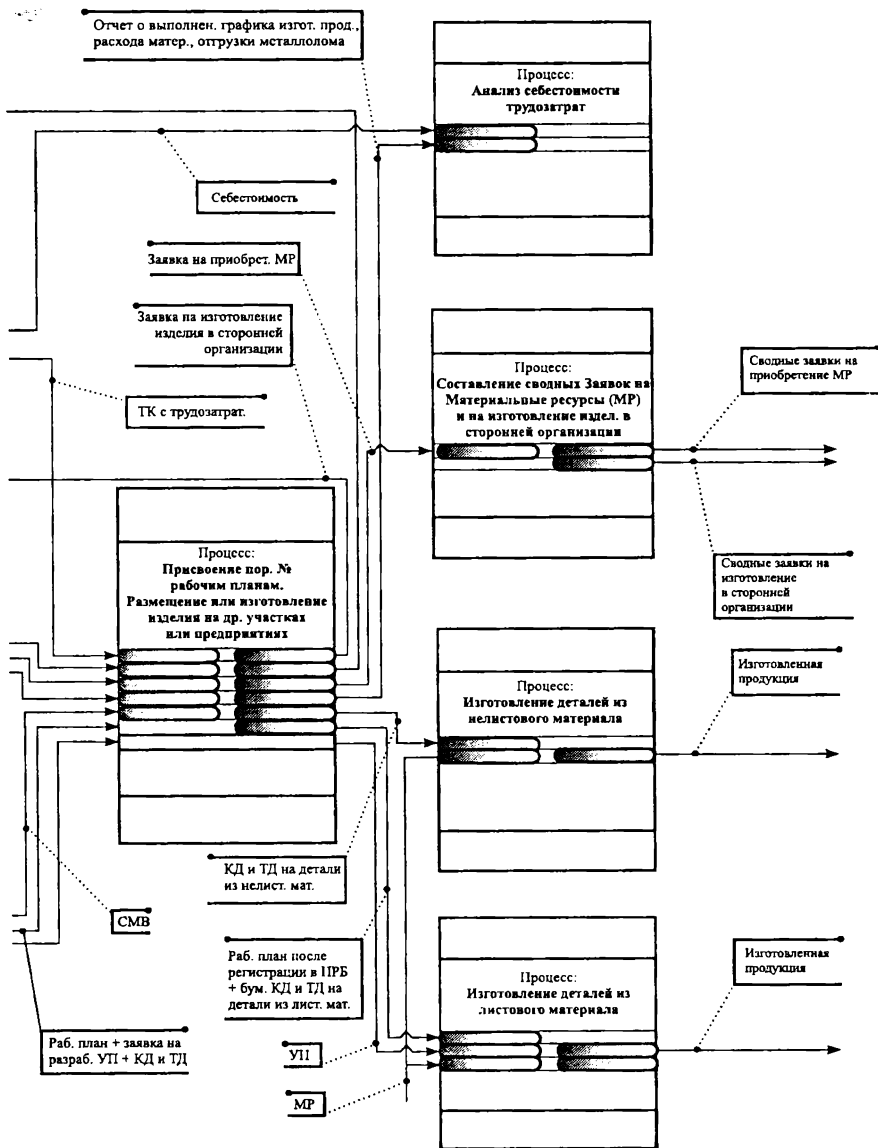


Рис. 6.2. Технологическая подготовка производства и производство



Подготовка производства считается завершенной, если проведены следующие работы:

- разработана и внедрена актом ТД на изготовление продукции;
- опробованы и отлажены средства технологического оснащения и технологические процессы;
- подготовлен персонал, занятый при изготовлении, испытаниях и контроле продукции.

На этапе освоения производства:

- изготавливается установочная серия по КД и ТД, имеющим литеру «О1»;
- проводятся квалификационные испытания.

При положительных результатах квалификационных испытаний освоение производства считается законченным. Конструкторской и технологической документации, откорректированным по результатам квалификационных испытаний, присваивается литера «А».

На всех этапах проектирования, изготовления опытных образцов, подготовки производства разрабатываются инструкции для вспомогательных служб, ответственных за финансы, закупку материалов, комплектующих, отгрузку на объект для выпуска продукции в заданные сроки и с требуемым качеством.

6.3. Монтажные и пуско-наладочные работы, организация сервисного обслуживания

Установку, сборку и монтаж электротехнического оборудования на территории подстанции осуществляет предприятие-изготовитель или организация, имеющая на это разрешение предприятия-изготовителя.

Для начала монтажных работ при реконструкции подстанции или новом строительстве необходимо подготовить строительную часть подстанции. Для оборудования, размещаемого на открытых площадях — необходимые фундаменты, порталы, маслоприемники для понижающих трансформаторов, подъездные пути — определить порядок доставки и последующей расстановки. Для контейнерных устройств — подготовить облегченный фундамент и подъездные пути. Для оборудования, размещаемого в капитальном или быстровозводимом здании, должны быть подготовлены необходимые монтажные проемы, помещения в соответствии с предъявляемым к ним

требованиям (ровность пола, наличие кабельного этажа или плит с проходными изоляторами).

Основанием к проведению подготовки к монтажным и наладочным работам является наличие утвержденного плана работ, в котором отражены сроки и объемы выполняемых работ.

Подразделения или предприятия, ведущие монтаж и наладку, разрабатывают планграфик монтажных и наладочных работ по каждому объекту в соответствии с проектно-сметной документацией и протоколами разделения работ по монтажу и наладке. В планграфике указываются виды и этапы работ, а также временные затраты в чел./днях по этапам работ и сроки их выполнения.

При выполнении наладочных работ несколькими подрядными организациями составляется протокол разделения наладочных работ:

- по силовому оборудованию;
- по силовому маслонаполненному оборудованию;
- по цепям релейной защиты и автоматики;
- по цепям энергоучета;
- по цепям освещения;
- по цепям отопления;
- по цепям резервного питания собственных нужд;
- по высоковольтным кабелям;
- по дистанционному управлению разъединителями.

При проведении монтажных и наладочных работ в действующих электроустановках их подготовка с необходимыми мерами безопасности проводится в соответствии с ПОТ РМ 016-2001.

Организация монтажа оборудования на открытой части подстанции при реконструкции или новом строительстве

Для доставки оборудования на тяговую подстанцию предусматривают железнодорожные подъездные пути — один или два в зависимости от массы понижающих трансформаторов и оборудования открытой части подстанции. Трансформаторы располагают вдоль железнодорожных путей и устанавливают краном. Оборудование открытой части расставляют в соответствии с планом подстанции, монтируют гибкую или жесткую ошиновку на порталах для подключения к системе внешнего электроснабжения. Выводные шины с понижающих трансформаторов подключают к проходным изоляторам здания или контейнеров в случае внутренней установки оборудования, или к порталам тяговых трансформа-

торов и блоков открытых распределительных устройств в случае наружной установки.

Высоковольтные кабели и кабели вторичной коммутации прокладываются в специальных кабельных лотках.

При расстановке оборудования подключается к устройствам заземления подстанции.

Организация монтажа тяговых подстанций с расположением оборудования в капитальном или быстровозводимом здании при новом строительстве. Функциональные блоки оборудования, расположенного в здании, доставляются в предназначенные для них помещения через монтажные проемы. Для перемещения оборудования внутри здания используются специальные такелажные тележки или ролики, в случае доступности рекомендуется применять кран. Расстановку оборудования в помещении необходимо начинать с наиболее удаленного блока от монтажного проема, при монтаже используют план расположения оборудования в соответствии с проектом подстанции. Блоки устанавливаются на утопленные до уровня пола закладные швеллеры, параллельные фасаду оборудования и соединенные с контуром заземления тяговой подстанции. Как правило, отклонение опорной поверхности швеллеров от горизонтальной плоскости допускается не более 10 мм на длине 10 м.

После установки функциональных блоков выполняется монтаж между собой их силовых и вторичных цепей, который сводится к простому соединению силовых цепей жесткими или гибкими шинами, а вторичных цепей — разъемами. Далее выполняются внешние высоковольтные и низковольтные подключения. Высоковольтные — через проходные изоляторы или кабельный этаж, низковольтные (цепи управления, сигнализации, питания) — через клеммные разъемы шкафов внешних подключений. Вторичные цепи прокладываются по зданию в специальных лотках.

Организация монтажа контейнерных тяговых подстанций и устройств электроснабжения при реконструкции и новом строительстве. Технология строительства и монтажа подстанции в контейнерном (модульном) исполнении существенно проще традиционной технологии. Контейнеры между собой и отдельно стоящим оборудованием соединяются шинопроводами с жесткой ошиновкой и гибкими компенсаторами в необходимых местах. Прокладка кабелей вне

контейнеров осуществляется в наземных лотках. Кабельные соединения между контейнерами выполняются с помощью разъемов. Все это позволяет обеспечить пусковую готовность 20-30 дней.

Контейнерные конструкции с использованием термостатированных металлических оболочек наиболее широкое применение нашли на железной дороге. Отдельные посты секционирования полностью смонтированные доставляются к месту использования, и после подключения к высоковольтной питающей сети готовы к работе. Контейнеры тяговых подстанций объединяются в общие конструкции, соединяются соответствующими ошиновками. Технология использования контейнеров нашла широкое использование при необходимости капитального ремонта электрооборудования (рис. 6.3).

При этом оборудование контейнерной подстанции монтируется вблизи подстанции, требующей капитального ремонта. Производится переключение оборудования на питание от контейнерной подстанции (рис. 6.4).

После капитального ремонта подстанции производится обратное переключение. Контейнерная подстанция высвобождается и может быть использована для других объектов.

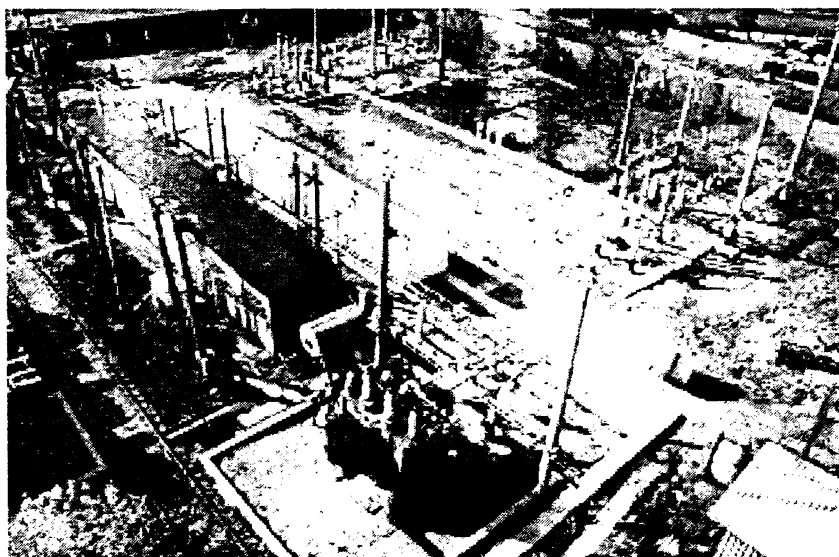


Рис. 6.3. Замена оборудования на ТП «Сортировочная»

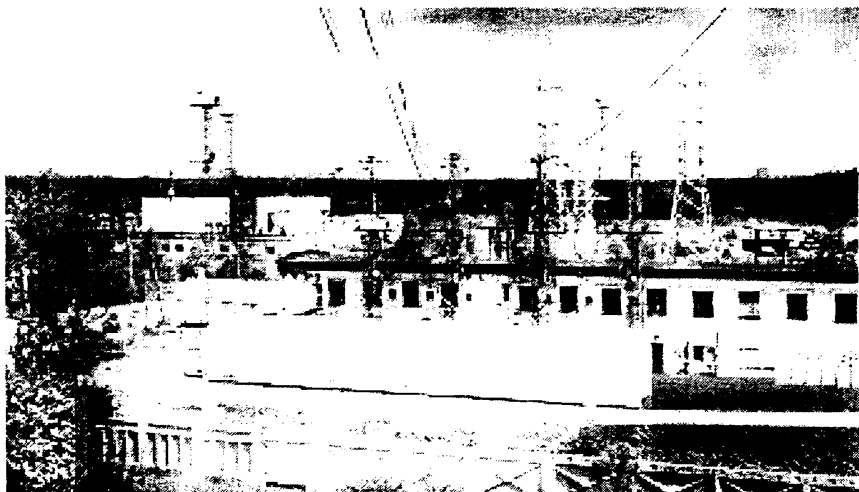


Рис. 6.4. Переключение оборудования на питание от контейнерной подстанции «Крюково»

Поставка состыкованных, испытанных и налаженных контейнеров и блоков существенно сокращает объем монтажа, необходимых проверок при подготовке и пуске оборудования в работу, резко снижает влияние человеческого фактора.

Монтаж единичных контейнерных устройств. При монтаже данного оборудования необходимо обеспечить подъезд к месту монтажа автомобильным транспортом с учетом негабаритности или выделить окна для монтажа оборудования с железнодорожных путей.

При массе контейнера 5-8 т для обеспечения необходимой маневренности при монтаже удобнее пользоваться автокраном грузоподъемностью 25 т. Для исключения порчи лакокрасочного покрытия предпочтительнее применять синтетические стропы длиной 6 м. Подъем контейнеров автокраном производится с четким соблюдением схемы строповки. После размещения контейнера на фундаменте производится установка демонтированных на время транспортировки узлов (проходных изоляторов, траверс крепления шлейфов контактной сети) и подключение контейнеров в соответствии с проектом к контуру заземления, линиям основного и резервного питания 0,4 кВ, приводам разъединителей, линиям связи телемеханического управления и к шлейфам контактной сети.

Монтаж групповых контейнерных устройств. Монтаж групповых контейнерных устройств начинается с разработки плана поставки контейнеров на объект в привязке к последовательности их расстановки на фундаменте. Обычно расстановку начинают с контейнеров, наиболее удаленных от подъездных путей, если это не противоречит очередности их ввода в эксплуатацию. На этапе расстановки контейнеров должны быть демонтированы закрытия, установленные на сопрягаемые торцы контейнеров. Между торцами соединяемых контейнеров с помощью специальных втулок выдерживается технологический зазор 2 см.

После расстановки полной линейки контейнеров приступают к монтажу закрытий (нащельников) в местах их соединений. Наружные нащельники монтируются на штатных креплениях, внутренние — с помощью саморезов на внутренней обшивке контейнеров. По всему периметру стыка контейнеров для утепления закладывается пенополиуретановый герметик (монтажная пена). Стыки пола по коридору обслуживания закрываются профнастилом. Все необходимые узлы и материалы для данных работ учтены в поставляемом с оборудованием монтажном комплекте. Стыковка контейнеров производится в соответствии с прилагаемыми монтажными чертежами.

Для исключения перемещений, сдвигов в перпендикулярном направлении к подпятникам оснований контейнеров привариваются упоры. При количестве контейнеров в линейке пять и более для придания направленности тепловым перемещениям от середины к краям производится анкеровка центрального контейнера к фундаменту. Анкеровка может проводиться сваркой. Для удобства входа-выхода у дверей контейнеров на болтовом соединении монтируются входные лестницы.

На основании контейнеров со стороны фасада имеются специальные скобы для установки металлических коробов под прокладку контрольных кабелей. При заказе контейнеров с комплектом таких коробов укладка железобетонных лотков вдоль контейнеров не требуется.

Перед началом работ внутри контейнеров к щиткам собственных нужд модулей по постоянной или временной схеме должно быть подключено питание цепей освещения, а при необходимости — питание цепей обогрева. Обогрев, прежде всего, необходим для исключения

возможности выпадения конденсата. Инфракрасные обогреватели, входящие в состав некоторых типов контейнеров, транспортируются в демонтированном виде и должны устанавливаться после расстановки контейнеров на объекте.

Монтаж ошиновки системы сборных шин, монтаж демонтированных на время транспортировки проходных изоляторов производится с применением шинных компенсаторов. Болтовые соединения ошиновок выполняются динамометрическим ключом с усилием затяжки, указанным в монтажных чертежах. Сборка ошиновок внутри контейнеров заканчивается установкой соответствующих экранов и кожухов.

Ввод силовых и контрольных кабелей в контейнеры производится через специальные окна в основании контейнеров. Для доступа к некоторым окнам, а также для доступа к внутренним кабельканалам контейнеров демонтируются съемные элементы пола. Силовые кабели обычно прокладываются с противоположной стороны контейнера по отношению к контрольным. После завершения прокладок кабелей соответствующие окна герметизируются.

При заказе контейнера аккумуляторной батареи аккумуляторы поставляются отдельно в тарных ящиках. Аккумуляторы могут быть герметичного исполнения, либо с пробками рекомбинации водорода. Аккумуляторы поставляются в заряженном состоянии. На объекте требуется сборка аккумуляторной батареи внутри контейнера.

РУ-3,3 кВ постоянного тока поставляется с демонтированными камерами автоматических выключателей. Распакованные камеры перед высоковольтными испытаниями выдерживаются в специальном контейнере для просушки.

Конденсаторы контейнера фильтрующего устройства постоянного тока также поставляются отдельно в тарных ящиках. Их монтаж в соответствии с прилагаемой документацией производится на объекте. Превышение усилия затяжки при подключении конденсаторов приводит к повреждению их выводов и разгерметизации.

Для квалифицированного проведения монтажа рекомендуется прослушать специальные курсы или привлекать шефмонтажника.

Организация пуско-наладочных работ. Предприятие, ведущее наладку, получает комплект технической документации, достаточный для проведения наладочных работ на объекте, а также:

- однолинейную схему объекта электроснабжения — в проектной организации;
- утвержденные уставки защит — в организации, эксплуатирующей электроустановку;
- руководства по эксплуатации и другую документацию на покупное оборудование — от предприятия-изготовителя;
- проект АСУ с оперативной схемой, альбомом схем и описаниям — в проектной организации.

При пусконаладочных работах выполняют:

- проверку монтажа силовых цепей и цепей вторичной коммутации;
- апробирование нормальных и аварийных режимов работы оборудования;
- высоковольтные испытания блоков и компонентов с оформлением соответствующих актов испытаний;
- параметрирование блоков цифровых защит и ввод уставок;
- пробное включение подстанции.

Окончание пусконаладочных работ оформляется актом и принимается эксплуатирующей организацией.

Организация сервисного обслуживания. До настоящего времени оперативное обслуживание тяговых подстанций осуществлялось следующими методами: с круглосуточным дежурством, с дежурством на дому, кустовое обслуживание или обслуживание без дежурного персонала.

В соответствии с правилами, нормами и инструкциями на тяговых подстанциях выполнялись следующие виды ремонтно-ревизионных работ: периодические осмотры, текущий ремонт, капитальный ремонт и профилактические испытания.

Современные методы и технологии позволяют добиться качественного повышения технико-эксплуатационных, энергетических, экономических показателей работы подстанции, ее подсистем и компонентов, минимизировать затраты на обслуживание и перейти от графика планово-предупредительного ремонта к ремонту «по состоянию», т.е. обеспечивается возможность работы тяговой подстанции без постоянного обслуживающего персонала и с минимизацией объема процедур технического обслуживания, требующих временного присутствия персонала. Эта технология получила название малолюдной технологии обслуживания тяговых подстанций.

Мировой опыт показывает, что малолюдная технология реализована на основе следующих составляющих:

– использование высоконадежного оборудования, не требующего планово-предупредительного ремонта в течение установленного срока службы или постоянного присутствия обслуживающего персонала;

– максимальная автоматизация процедур обслуживания, которая достигается путем создания автоматизированных систем управления технологическими процессами энергообъектов, энергоучастков и т.д.;

– высокоэффективная инфраструктура эксплуатации и технического обслуживания тяговых подстанций участка (дистанции электроснабжения).

В общем случае такая инфраструктура подразумевает наличие некоторых центров, в которых сосредоточены следующие мобильные комплекты средств:

– средства функциональной диагностики и технического контроля, которые по результатам диагностики определяют необходимость технического обслуживания или срок очередного контроля;

– средства технического обслуживания всех типов оборудования тяговых подстанций;

– запасные части и принадлежности, а также необходимые для ремонта приспособления.

Сегодня при применении для реконструкции и новостроительства подстанций функциональных блоков полной заводской готовности позволяет сооружать действительно «необслуживаемые» (малообслуживаемые) подстанции, под которыми понимаются тяговые подстанции без постоянного дежурного персонала.

6.4. Единая информационная система для управления проектированием и производством

Единая информационная система является инструментом системы управления предприятием.

Интегрированная система управления предприятием обеспечивает достижение целевых значений ключевых факторов в следующих областях:

1. Финансы:

- повышение прибыльности, сокращение прямых и косвенных затрат;

- использование активов (запасы, оборудование), оптимизация складских запасов.

2. Внутренние бизнес-процессы:

- скорость проектирования и быстрая адаптация к изменению требований заказчика и условиям конкуренции;

- количество ошибок при проектировании изделий и сборке изделий;

- время изготовления заказа.

3. Персонал:

- ритмичность выполнения заказов;

- эффективность использования персонала и рост оплаты труда.

Гибкость и управляемость в этих областях достигнута путем усовершенствования или реорганизации бизнес-процессов и автоматизации управления бизнес-процессами, исключает неоправданные затраты материальных ресурсов и энергии сотрудников и улучшения информационного обеспечения менеджеров, обеспечивающего «прозрачность» бизнес-процессов и контроль за ходом выполнения заказов на всех стадиях разработки и изготовления изделий.

Интегрированная система управления предприятия затрагивает ключевые бизнес-процессы:

- разработка и верификация проекта;

- технологическая подготовка производства и производство;

- обеспечение производства материально-техническими ресурсами;

- поставка продукции.

Система управления удовлетворяет следующим требованиям:

- гибкое приспособление к организационным изменениям;

- информационная интеграция процессов и систем;

- создание интегрированной системы автоматизированного проектирования;

- коренное улучшение планирования производства;

- создание механизмов, обеспечивающих выполнение утвержденных планов

Изменение рыночных условий, рост предприятия требуют постоянной работы по поиску наилучшей производственной и управленческой структуры.

Гибкое приспособление системы управления к организационным изменениям обеспечивается простым изменением параметров описания производственной среды и организации отделов в САПР и ERP.

В зависимости от особенностей изделий при проектировании обеспечивается разработка изделий методами «сверху–вниз» или «снизу–вверх». Деление изделия на составные части учитывает организацию сборочных процессов.

Разработка и верификация проекта ведется с учетом технологических и производственных возможностей предприятия, возможностей обеспечения производства материально-техническими ресурсами. Это обеспечивается прямым доступом конструкторов к производственной базе данных.

В производстве обеспечиваются следующие производственные стратегии:

- «проектирование и изготовление на заказ»;
- «изготовление на заказ»;
- «сборка на заказ»;
- «производство на склад» (для изготовления отдельных составных частей изделий).

Применение различных производственных стратегий для разных групп изделий и их составных частей позволяет наилучшим образом приспособлять предприятие к изменениям внешней среды.

Повышение результативности и эффективности деятельности предприятия обеспечивается нацеливанием принятия решений во всех процессах на достижение конечных стратегических целей предприятия.

Система решений и программное обеспечение обеспечивают возможность развития системы в рамках концепций:

- PLM (Product Lifecycle Management — управление жизненным циклом изделий);
- DFM (Design For Manufacturability — проектирование с учетом возможностей производства) при возможном изменении организации производства (переход от изготовления на заказ к сборке на заказ) и организации управления предприятием (от существующей организационной структуры к дивизиональной).

Информационная интеграция процессов предприятия достигнута созданием единого источника данных для всех пользователей системы.

Единый источник данных состоит из следующих баз данных:

- единый справочник;
- электронное хранилище технической документации;
- производственная база данных.

Единый справочник представляет собой иерархическую структуру каталогов и папок, в которых хранятся записи и таблицы. База содержит:

- ГОСТы по стандартным покупным изделиям (болты, винты, гайки и т.п.);
- базу по материалам и сортаментам, настраиваемую под ограничительный перечень предприятия;
- полный список технологических операций;
- модели оборудования с паспортными данными, задействованными при выборе и расчете режимов обработки;
- широкую базу данных по стандартизованной оснастке;
- более 10 000 типов аппаратов, внесенных из промышленного каталога Информэлектро и каталогов зарубежных фирм.

Электронное хранилище технической документации обеспечивает ведение и хранение электронного архива технической документации (TDM — Technical Data Management), при этом поддерживаются групповые документы (например, групповые спецификации). На каждое изделие можно посмотреть всю выпущенную документацию, информацию о разработчиках документов, дополнительную информацию. Архив обеспечивает возможность хранения документов разнотипных конструкторских моделей (на базе AutoCAD и ProEngineer) и общих результатов — КД и структуры изделия в стандартах ЕСКД и ERP.

Производственная база данных представляет собой хранилище всех данных, необходимых для управления предприятием. В базе данных хранятся данные обо всех изготавливаемых изделиях, покупных материалах, стандартных и прочих изделиях и услугах, субподрядных работах с параметрами, необходимыми для планирования и выполнения процессов производства, закупок и продаж. В этой базе хранятся технологические маршруты, нормативы времени на выполнение операций, данные о запасах в складах, незавершенном производстве, поставщиках и заказчиках, контрактах, выполняемых заказах, финансовые данные и данные бухгалтерского учета и другая информация.

При вводе и изменении информации в базы данных используется принцип *однократного ввода информации*. Обмен информации между базами обеспечивается электронными интерфейсами.

Использование единого источника данных существенно сокращает число ошибок в документации и сроки разработки документации за счет формализации обмена информацией между специалистами, работающими в рамках одного или нескольких бизнес-процессов.

Интегрированная система автоматизированного проектирования представляет собой не только автоматизированные рабочие места конструкторов, технологов и других технических специалистов, но и правильно выстроенные связи между ними. Эти связи позволяют получить такие преимущества, как:

- использование всеми техническими специалистами одних и тех же данных, что снижает вероятность ошибок на всех этапах разработки изделия;
- свободное общение между техническими специалистами, находящимися в разных помещениях или зданиях;
- согласование, утверждение и управление изменениями в документации и изделиях.

Применение такого подхода позволяет получить ряд таких преимуществ, как:

1. Быстрая отдача от молодых специалистов (много информации в системе, принцип «делай, как я»). Молодым специалистам проще набираться опыта, имея перед глазами образцы документации и возможность брать их за прототип, дорабатывать, и получать новый комплект документации на разработанное изделие.

2. Информационная независимость предприятия. Система открыта для развития, при этом стратегия дальнейшего развития ясна. Обученные специалисты предприятия способны сами наполнять базу данных и ограничительный перечень, без навыков программирования, при помощи простых форм и работы в диалоговом режиме.

3. Отсутствие затрат времени на многократный ввод в систему основной информации и использование ее всеми заинтересованными подразделениями и специалистами.

4. Единство классификации обозначения изделий для всего предприятия, автоматический контроль уникальности присвоенных обозначений.

5. Снижение числа ошибок в документации и сроков разработки документации за счет упрощенного общения между специалистами, находящимися в разных помещениях или зданиях.

6. Возможность на этапе разработки оценивать затраты на производство изделия и выбирать оптимальный вариант конструкции и технологии по различным критериям.

7. Обеспечение всех заинтересованных специалистов и технических служб актуальной информацией о текущей структуре изделия, документации на все варианты изделия и выпускавшиеся извещения.

8. Возможность работы разнотипных конструкторских модулей (на базе AutoCAD и ProEnginner) на общий результат — создание КД и структуры изделия.

Коренное улучшение планирования производства достигается использованием современных методов планирования — развитого объемного и календарного планирования производства (APS), планирования потребностей в материальных ресурсах (MRP) и планирования потребностей в мощностях (CRP).

Базой для выполнения плановых расчетов служит база данных производства, формируемая с помощью передачи данных из электронного хранилища технической документации.

Формирование графика выпуска годовой продукции производится с учетом требуемых сроков поставки продукции, ограничений ресурсов производства и возможных сроков обеспечения производства материально-техническими ресурсами (МТР).

Графики запуска–выпуска изделий по производственным участкам рассчитываются на основании утвержденного графика выпуска годовой продукции, информации о составе изделий, технологических нормативов, состояния незавершенного производства.

Планирование закупок для обеспечения производства МТР осуществляется на основании потребностей в МТР для запуска изделий в производство, нормативов расхода МТР на единицу продукции и информации о запасах МТР на предприятии. Планирование позиций, характеризующихся относительно равномерным потреблением, производится на основе прогноза потребления.

Автоматическое поддержание актуальности состава изделий в производственной базе данных на всех этапах выполнения проекта обеспечивает возможность планирования закупок для покупных из-

делий с длительными циклами закупки, не дожидаясь момента полного утверждения конструкторской документации. При этом система постоянно контролирует соответствие плана закупок и текущей версии состава изделия.

Такое построение планирования позволяет:

- формировать напряженные, но выполнимые планы работ для производства с учетом загрузки производства;
- согласовать работу производства и обеспечения материально-техническими ресурсами;
- принимать обоснованные решения по численности персонала и режиму работы;
- оперативно корректировать планы производства и закупок при изменении состава изделий в процессе разработки и модификации;
- быстро перепланировать производство и закупки с учетом изменения внешних условий.

На основании полученных планов осуществляется управление выполнением заказов на закупки, формируются задания на подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ и определяется оптимальная очередность выполнения операций на рабочих местах производственных участков.

Планирование является необходимой предпосылкой для развития системы в части управления движением денежных средств.

Обеспечение выполнения утвержденных планов достигается автоматизацией процедур выдачи заданий в производство, сбором информации о движении производства, подготовкой отчетов о выполнении производственных планов и оценок работы производственных участков.

Контрольные вопросы:

1. Какие основные отличия сооружения тяговых подстанций по традиционной и комплектно-блочной технологии?
2. Содержание и назначение этапов проектирования тяговых подстанций полной заводской готовности.
3. Понятие технологичности конструкции изделия. Основные мероприятия по обеспечению технологичности.
4. Назначение и элементы эскизного проекта и конструкторской документации.
5. Какое назначение имеют опытные образцы изделия. Содержание испытаний опытного образца.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Научные основы прогрессивной техники и технологии/Марчук Г.И., Образцов И.Ф., Серов Л.И. и др. —М.: Машиностроение, 1986. —376 с.
2. Технология, механизация и автоматизация путевых работ: Учебник для вузов / Воробьев Э.В., Дьяков К.Н., Максимов В.Г. и др. Под ред. Воробьева Э.В., Дьякова К.Н. —М.: Транспорт, 1996.—375 с.
3. *А.В. Мизинцев.* Технология сооружения тяговых подстанций метрополитена с использованием комплектно-блочного оборудования. — Метроинвест, №2 —2006, с. 25—33.
4. Электрические аппараты высокого напряжения / Под ред. Г.Н. Александрова. — СПб.: СПбГТУ, 2000. — 503 с.
5. *Бей Ю.М., Мамошин Р.Р., Пупынин В.Н., Шалимов И.Г.* Тяговые подстанции / Учебник для вузов ж.-д. транспорта. —М.: Транспорт, 1986. —319 с.
6. *Евдокушин Г.А., Тилер Г.* Современная вакуумная коммутационная техника для сетей среднего напряжения. — СПб.: Изд-во. Сицова М.П., 2002. — 148 с.
7. Защита электротяговых сетей переменного тока на основе ин-теллектуальных терминалов: Учебное пособие / А.И. Бурьяноватый, Кондаков А.Д., Мизинцев А.В., Попов А.Ю., Ячкула Н.И. — СПб.: ПГУПС, 2003 — 111 с.
8. «Устройство комплексное распределительное постоянного тока на напряжение 3,3 кВ». Руководство по эксплуатации ВЕ004-00-000-00РЭ — 20 с.
9. «Устройство комплексное распределительное 27,5 кВ серии КЛ». Руководство по эксплуатации ЕЕ015-00-000-00РЭ — 45 с.
10. «Устройство комплексное распределительное 6 (10) кВ серии ОМЕГА». Руководство по эксплуатации DF078-00-000-00РЭ — 45 с.
11. *Герасимов В.П., Гордин В.И., Мизинцев А.В., Саморуков А.В.* Автоматизированные системы телемеханического управления объектами тягового электроснабжения и их комплексами // Железные дороги мира. 2003, № 4.

12. ГОСТ Р МЭК 61850-3-2005 Сети связи и системы в подстанциях. Часть 3. Общие требования // М.: Стандартиформ, 2006, 14 с.
13. Герасимов В.П., Кондаков А.Д., Мизинцев А.В., Саморуков А.В. Цифровые терминалы для систем электроснабжения российских железных дорог // Железные дороги мира. 2007. № 1.
14. РД 34.35310-97 Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем (с Изменением № 1 1998) // М.: ОРГРЭС, 1997, 19 с.
15. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. Учебник для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1988.
16. «Выключатели вакуумные серии ВВ/ТЕL». Руководство по эксплуатации ИТЕА674152.003РЭ — 28 с.
17. «Выключатели высоковольтные вакуумные серии ЗАН». Руководство по эксплуатации ЕС008-00-000-00РЭ — 47 с.
18. Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией / Под ред. Ю.И. Вишневого. — СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 2002. — 728 с.
19. «Выключатели автоматические быстродействующие Gerapid». Руководство по эксплуатации ВС009-00-000-00РЭ — 44 с.
20. «Выключатели автоматические быстродействующие ВАБ-49». Руководство по эксплуатации ОБП.463.185. — 46 с.
21. Сердюнов С.М. Повышение надежности устройств электрооборудования электрифицированных железных дорог. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1985. — 301 с.
22. «Выключатели автоматические быстродействующие ВАБ-206». Руководство по эксплуатации ВС013-00-000-00РЭ. — 41 с.
23. Правила устройств системы тягового электроснабжения железных дорог Российской Федерации. ЦЭ-462.-М.: МПС РФ, 1997. — 78 с.
24. Каталог. Пункты группировки модульного типа. НИИЭФА-ЭНЕРГО, 2006. — 18 с.
25. «Пост секционирования постоянного тока ПС-3,3У1». Руководство по эксплуатации 1А.417.603-01РЭ. — 40 с.
26. Каталог. Пункт повышения напряжения. НИИЭФА-ЭНЕРГО, 2006. — 20 с.
27. Бурков А.Т., Маринин А.Н. Управление напряжением в контактной сети на скоростных участках. Журнал «Железнодорожный

транспорт» № 10, 2006 г., с. 55—57.

28. *Кантор И.И.* Высокоскоростные железнодорожные магистрали, 2004. — 51 с. (5037003)

29. *Коптев А.А.* Сооружение, монтаж и эксплуатация устройств электроснабжения. Словарь-справочник терминов и понятий. 2004. — 335 с. (503100)

30. Листок-каталог. Выключатель элегазовый серии ВГБ. Екатеринбург: Уралэлектротяжмаш, 1993. — 19 с.

31. Анализ работы хозяйства электроснабжения в 2005 году. М.: Департамент электрификации электроснабжения, 2006. — 135 с.

32. *Пупынин В.Н., Дарчиев С.Х.* Сравнение фидерных выключателей постоянного тока 2×ВАБ-49-3200/30-Л и GE Rapid 4207 2×4. — Железные дороги мира, № 5, 2006, с. 64—71.

Учебное издание

Александр Николаевич Марикин
Александр Витальевич Мизинцев

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СООРУЖЕНИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Учебное пособие

Редактор *Т.М. Скрипова*
Корректоры *С.С. Антонов, А.В. Щемелинина*
Компьютерная верстка *П.С. Чижков, П.С. Романов*

Подписано в печать 16.05.2008
Формат 60×84 ¹/₁₆. Печ. л. 13.75 Тираж 1500 экз. Заказ № 3670.
ГОУ «Учебно-методический центр по образованию
на железнодорожном транспорте»
107078, г. Москва, Басманный пер., д. 6
Тел.: +7(495) 262-12-47
e-mail: marketing@umczdt.ru
<http://www.umczdt.ru>

ООО «Издательский дом «Транспортная книга»
109202, г. Москва, Перовское шоссе, д. 9, стр. 1

Отпечатано в ОАО «Ивановская областная типография».
153008, г. Иваново, ул. Типографская, 6.
E-mail: 091-018@rambler.ru