

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО  
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН

Монтаж и наладка электрооборудования

Учебник для студентов специальности бакалавриатуры 5310200 –  
Электроэнергетика (водного хозяйства)

Ташкент 2014 г.

УДК 62J.75.

Музафаров Ш.М., Батырова Л.А.

Монтаж и наладка электрооборудования: Учебник для студентов специальности бакалавриатуры 5310200 – Электроэнергетика (водного хозяйства)- Т. 2014.— 478с.

В учебнике рассмотрены вопросы монтажа и наладки электрооборудования. В том числе организация работ по монтажу и наладке внутренних электрических сетей, кабельных и воздушных линий электропередачи напряжением до 110 кВ, распределительных устройств и трансформаторных подстанций, защитного заземления, электродвигателей и аппаратов управления, контроля, защиты, наладки и испытания электрооборудования.

Muzafarov Sh.M., Batirova L.A.

Assembling and repairing electrical equipments of manufacture and installation. Text book for the bachelor's students of speciality 5310200 – Electric power engineering (water economy) – Т. 2013. – 478 p.

Matters of assembling and repairing electrical equipments of manufacture were discussed in this text book. Organization works in assemblage and repair internal electrical circuit. Cable and air lines of electricity transmission with voltage till 110 kV, arranging mechanism and transformer substations, protecting earthing, electric engine and apparaters of management, control, protection, repairing and testing of electrical equipments were also discussed here.

Музафаров Ш.М., Батырова Л.А.

Электрускуналарни монтаж ва созлаш: дарслик 5310200 – Электроэнергетика (сув хўжалигида) бакалавриат мутахассислиги учун.- Т. 2013.— 478 в.

Дарсликда электрускуналарни монтаж ва созлаш масалари кўриб чиқилган. Шу жумладан ички электр тармоқларни, кучланиши 110 кВ гача кабел ва ҳаво тармоқларни, таксимлаш мосламаларни ва трансформатор подстанцияларни, ҳимоя ерлашни, электр двигателларни, бошқариш, назорат қилиш, ҳимоялаш буйича монтаж ва созлаш, электр ускуналарни синаш ишларни ташқил қилиш ва бажариш.

## ВЕДЕНИЕ

Одним из основных факторов технического прогресса является повышение степени электрификации всех отраслей промышленности, транспорта, связи, сельского хозяйства. Важное значение имеет расширение применения электроэнергии в быту. От того, насколько грамотно и технически обоснованно будет выполняться монтаж и эксплуатация электрооборудования и электроустановок, во многом зависит успешное решение задач технического прогресса, полноценной работы технологического оборудования, экономии энергии вообще и электрической энергии в частности.

В научно-исследовательских организациях, на промышленных предприятиях, в отделах и цехах, ведающих монтажом, эксплуатацией и ремонтом электрооборудования, работают высококвалифицированные специалисты.

Электромонтажные работы в настоящее время ведутся на высоком уровне инженерной подготовки, с максимальным переносом этих работ со строительных площадок в мастерские монтажно-заготовительных участков и на заводы электромонтажных организаций. Электромонтажные, проектные и научно-исследовательские организации совместно с электротехнической промышленностью ведут большую работу по изготовлению электрооборудования крупными блоками и узлами. В практику электромонтажных и ремонтных работ внедряются современные механизмы, приспособления, инструменты, средства малой механизации, в том числе на основе применения пиротехники. В работе электромонтажных организаций широко используются рационализаторские предложения рабочих, инженеров и техников, направленные на повышение производительности труда и качества монтажных и ремонтных работ, а также на повышение уровня эксплуатации электрооборудования и электрических сетей. В области эксплуатации электрооборудования накоплен и обобщен большой опыт.

Монтаж и обслуживание современного электрооборудования и электрических сетей требуют глубоких знаний физических основ электротехники,

конструкций электрических машин, аппаратов, знания материалов. Современная техника постоянно совершенствуется, изменяется, поэтому работающему специалисту в любой отрасли сельского и водного хозяйства необходимо, не ограничиваясь усвоенными в процессе обучения знаниями, постоянно пополнять свои профессиональные знания.

Испытательно-наладочные работы выполняются как в период изготовления оборудования (заводские типовые и контрольные испытания), так и в процессе монтажа (приемо-сдаточные испытания и наладка), а также последующей эксплуатации (профилактические испытания, испытания после капитальных ремонтов и т. п.).

Вопросы наладки электроустановок широко освещены в ведомственных директивных материалах, инструкциях, периодической литературе и учебных пособиях. Требования по объемам и нормам испытаний изложены в соответствующих правилах («ПУЭ», «ПТЭ электростанций и сетей», «ПТЭ электроустановок промышленных предприятий» и др.). Методические указания по проведению испытательно-наладочных работ многих видов электроустановок и их элементов содержатся в специальных ГОСТах, в серии инструкций БТИ треста ОРГРЭС и в других источниках.

Необходимость значительной переработки справочника вызвана появлением в последние годы новых ГОСТов на электрическое оборудование, условных обозначений, а также новых образцов аппаратуры, применяемой в электротехнических установках.



# **РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ. МОНТАЖ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

## **I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МОНТАЖА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

### **1.1. Организация строительства и структура электромонтажных организаций**

При сооружении новых и реконструкции действующих предприятий из-за специфики отдельных видов работ кроме общестроительных трестов создаются специализированные монтажные и другие организации. Работы ведутся главным образом подрядным способом, когда генеральным подрядчиком является общестроительный трест, а специализированные организации работают по договорам с этим трестом в качестве субподрядчиков. При заключении субподрядных договоров и их выполнении стороны руководствуются «Правилами о договорах подряда на капитальное строительство», «Правилами финансирования строительства», «Положением о взаимоотношениях организаций», действующим законодательством, а также «Особыми условиями», являющимися неотъемлемой частью субподрядных договоров. В этих условиях определяются взаимные обязательства сторон по отдельным вопросам, не предусмотренным Инструкцией о порядке заключения и выполнения субподрядных договоров.

Субподрядчик наряду с генподрядчиком несет ответственность за своевременную сдачу заказчику объектов, законченных строительством.

В нашей стране электромонтажные организации, как правило, объединяются Управлениями по производству электромонтажных работ, которые включают в себя монтажные тресты, проектные и научно-исследовательские организации и промышленные предприятия, изготавливающие необходимые для электромонтажных работ изделия и конструкции, не выпускаемые промышленностью. Электромонтажные тресты, как правило, организуются по территориальному признаку.

В состав треста входят монтажные и пусконаладочные управления как самостоятельные первичные производственные единицы. В исключительных случаях в непосредственное подчинение треста могут входить хозрасчетные

монтажные участки на самостоятельном балансе, а также Управления производственно-технологической комплектации, базы механизации, лаборатории, учебные пункты. Монтажные и пусконаладочные управления включают в себя: монтажные участки, возглавляемые старшими производителями работ (начальниками участков), участок подготовки производства, мастерские электромонтажных заготовок (МЭЗ). На некоторых крупных промышленных предприятиях в целях расширения производства, его реконструкции и капитального ремонта (вплоть до строительства небольших новых цехов) создаются собственные электромонтажные участки, а иногда и монтажные управления в составе электроцехов или собственных общестроительных организаций. В этом случае работы ведутся так называемым хозяйственным способом, когда заказчик одновременно является и подрядчиком.

## **1.2. Инженерная подготовка производства**

Для выполнения работ электромонтажными организациями в заданные сроки с меньшими затратами труда и материальных ресурсов, ввода в эксплуатацию объектов в срок и досрочно с хорошим качеством выполнения работ, в целях совершенствования подготовки производства работ и проведения их на основе научной организации труда в монтажных управлениях создаются службы инженерной подготовки производства — участок подготовки производства, сметно-договорный отдел, мастерские электромонтажных заготовок и участок комплектации, складирования и транспорта (рис. 1.1).

В участок подготовки производства (УПП) входят:

**Группа перспективной подготовки производства (ГППП)**, осуществляющая получение, учет, хранение проектно-сметной документации, ее изучение, выявление в ней недоработок, устранение их, а также внесение в проект совместно с проектными организациями в случае необходимости изменений. При этом имеют в виду унификацию и типизацию монтажных узлов и блоков с

учетом максимальной индустриализации работ и применения электромонтажных модулей, изготавливаемых промышленностью и заводами электромонтажных организаций, и подготовку документации к передаче ее монтажникам для производства работ. Кроме того, ГППП совместно со сметно-договорным отделом (СДО) проверяет сметную документацию на весь объем работ, выявляет и устраняет (через проектные организации) в ней дефекты; осуществляет разработку проектов производства работ (ППР) при участии группы текущей подготовки производства (ГТПП) и СДО; определяет объемы работ по отдельным видам и объектам, включенным в план монтажного управления на последующие годы; составляет ведомости на изделия,

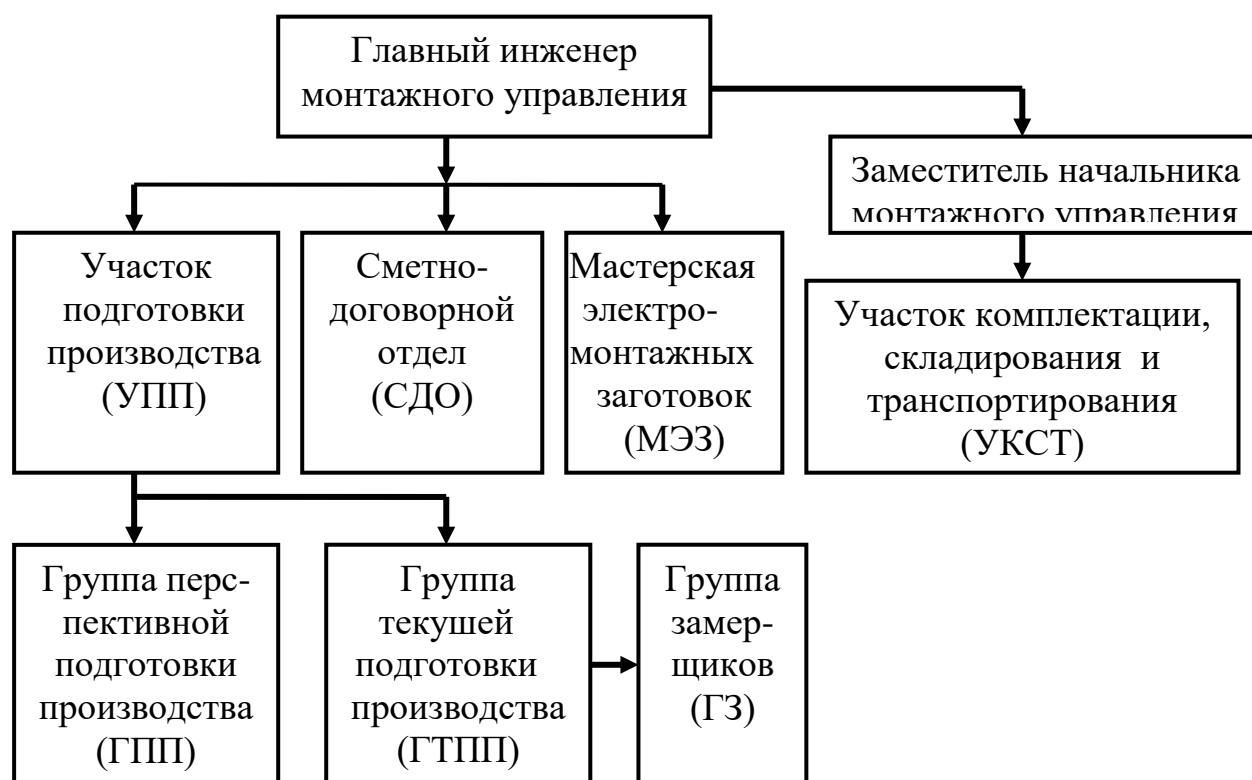


Рис. 1.1. Структурная схема службы подготовки производства монтажного управления

оборудование и материалы, необходимые для выполнения работ, и определяет очередность их поставок на основании графиков строительства объектов по согласованию с заказчиком; определяет по предполагаемым объемам и видам работ численность электромонтажного персонала и его квалификацию, а также потребность в механизмах, приспособлениях и инструменте; совместно с СДО

участвует в подготовке субподрядных договоров, уточняя объемы работ, сроки ввода в эксплуатацию объектов, поставок заказчиком и генподрядчиком оборудования и материалов, особые условия.

**Группа текущей подготовки производства (ГТПП)**, которая осуществляет получение набора работ от монтажных участков, составляет план работ, обеспечивающий в соответствии с ППР изготовление в МЭЗе изделий и блоков (до начала монтажных работ на объекте), разрабатывает для этого эскизы и чертежи узлов и блоков, подготавливает соответствующие заказы с калькуляциями на изделия, предусмотренные заказом, и осуществляет контроль за качеством их выполнения; разрабатывает лимитные карты и комплектующие ведомости на материалы и оборудование для монтажного участка по объектам и циклам работ; готовит приемо-сдаточную документацию; осуществляет авторский надзор за выполнением ППР на объектах строительства и в МЭЗе; производит необходимые замеры и привязки на месте для составления эскизов и чертежей.

**Сметно-договорный отдел (СДО)**, производящий подготовку, оформление субподрядных договоров с генподрядчиками, субподрядными и другими организациями на объекты. Они включены в план работы монтажного управления: согласование сметной документации с разбивкой ее по этапам и комплексам работ; контроль за расчетами с заказчиками за выполненные работы; определение размеров авансов; подготовку расчетов с заказчиками по этапам, определенным в сметах. СДО принимает участие в претензионной работе с заказчиками и генподрядчиками в случае нарушения ими договорных обязательств и в проведении контрольных обмеров выполненных работ.

**Мастерские электромонтажных заготовок (МЭЗ)**, выполняющие заказы ГТПП по эскизам и чертежам в соответствии с выданными калькуляциями согласно сводному совмещенному плану-графику работы УПП, МЭЗ и УҚСТ — участка комплектации, складирования и транспортирования. Материалы и оборудование, необходимые для выполнения заказов МЭЗ, получают от УКСТа

в соответствии с лимитно-комплектовочными ведомостями. Готовые изделия сдают в УҚСТ для доставки в монтажную зону.

**Участок комплектации, складирования и транспортирования**, состоящий из групп реализации, складирования, комплектации и транспортирования, получает материалы и оборудование от заказчика и генподрядчика, заводов и сбытовых организаций. Он обеспечивает монтажное управление инструментом и приспособлениями, ведет складское и контейнерное хозяйство, учет материальных ценностей, пакетирует материалы и оборудование и доставляет их в контейнерах на монтажные площадки.

**Проект организации работ (ПОР)** включает в себя пояснительную записку с перечнем объектов строительства, физические объемы работ, их сметную стоимость, подсчет трудоемкости, расчет потребности в людских ресурсах, укрупненный график работ, поступления материалов и оборудования и сдачи объектов под монтаж, план размещения производственных и бытовых помещений монтажных и строительных организаций, сметно-финансовые расчеты, схему грузопотоков внутри строительной площадки, предложения по технике безопасности и охране труда, снабжения площадки водой, электроэнергией и другие рекомендации.

**Проект производства работ (ППР)** выполняется участком подготовки производства с привлечением линейного персонала монтажного управления или проектной организацией за счет монтажного управления. Он является главным разделом инженерной подготовки производства, которым руководствуется линейный инженерно-технический персонал. ППР включает в себя: технологические карты на монтаж сложного электрооборудования, узлов электропроводок и вторичных цепей; календарный план производства электромонтажных работ по отдельным объектам пускового комплекса с уточненными по рабочим чертежам физическими объемами работ с указанием необходимых трудозатрат; ведомость электроустановочных изделий, электроконструкций и других монтажных изделий, подлежащих заказу и изготовлению на заводах электромонтажных трестов; ведомость нестандартных

и нетиповых электроконструкций и деталей, подлежащих изготовлению в мастерских электромонтажных заготовок; ведомость элементов оборудования, электроконструкций, электропроводок и трубных разводов, подлежащих предварительной укрупнительной сборке в блоки и узлы в мастерских электромонтажных заготовок; ведомость необходимого для выполнения всего объема работ электротехнического оборудования и вспомогательных материалов и ведомость комплектации оборудования и материалов; график очередности поставки материалов, конструкций и монтажных изделий, получаемых от монтажного управления, треста, генподрядчика и заказчика; ведомость необходимых монтажных машин, механизмов, аппаратов, приспособлений и инструмента; рекомендации по внедрению передовой монтажной технологии; предложения по организации труда; ведомость передвижных и сборно-разборных сооружений и инвентарных устройств и приспособлений; календарный план-график движения рабочей силы по специальностям и квалификации с указанием источников покрытия недостающего количества рабочих; пояснительную записку с необходимыми обоснованиями основных решений ППР и потребности в монтажных машинах и приспособлениях со следующими технико-экономическими показателями: продолжительность выполнения электромонтажных работ; уровень индустриализации и механизации электромонтажных работ; среднедневная выработка одного рабочего по основным видам электромонтажных работ в физическом выражении и средняя выработка по электромонтажному участку в денежном выражении; объем подлежащих выполнению электромонтажных работ в денежном выражении для первой очереди объекта с разбивкой по этапам; указания по технике безопасности.

В технологических картах разрабатываются следующие вопросы: объем подлежащих выполнению электромонтажных работ в физическом выражении; технология их выполнения; трудозатраты необходимые для выполнения работ, а также количественный и квалификационный состав бригад; ведомость необходимых машин, механизмов, приспособлений и инструментов; ведомость

изделий и работ, выполняемых в МЭЗе; ведомость вспомогательных материалов; календарный график выполнения работ; основные указания о последовательности и методах производства работ и организации труда. Эти карты являются обязательными документами по организации труда в электро-монтажном производстве. Разработку карт выполняют и утверждают различные министерства и ведомства в централизованном порядке. Они могут быть типовые и местные. Их разрабатывают целиком на технологические процессы (монтаж комплектных магистральных шинопроводов укрупненными блоками) или на отдельные операции (блочный монтаж электрооборудования мостовых кранов до подъема их ферм на проектные отметки).

Для небольших объектов монтажа ППР разрабатывают в сокращенном виде и включают в них только часть из перечисленных выше элементов в сжатом виде.

На стройках широко применяется **автоматическая система организации работ (АСОР) или сетевое планирование и управление (СПУ)**. В основе этого метода лежит разработка сетевого графика — условной экономико-математической модели производственного процесса. В графике отражается взаимосвязь между работами в технологической последовательности их выполнения и точно указаны работы, от которых зависит заданный срок выполнения. Кроме взаимосвязи и выполнения отдельных работ в сетевом графике обуславливаются сроки сдачи строительной части объектов под монтаж, поставки оборудования, материалов, изделий и т. п. Сетевые графики составляют на строительство комплексов, в которых участвует большое количество организаций, а также для выполнения только монтажных работ (например, монтаж воздушных линий электропередачи, подстанций и др.), если даже на строительстве не введено СПУ.

Локальный сетевой график охватывает только часть работ по отдельной самостоятельной части проекта и является частью комплексного сетевого графика. На рис. 1.2 приведен сетевой график, на котором показаны

безмасштабные стрелки, обозначающие работы, и кружки, характеризующие события.

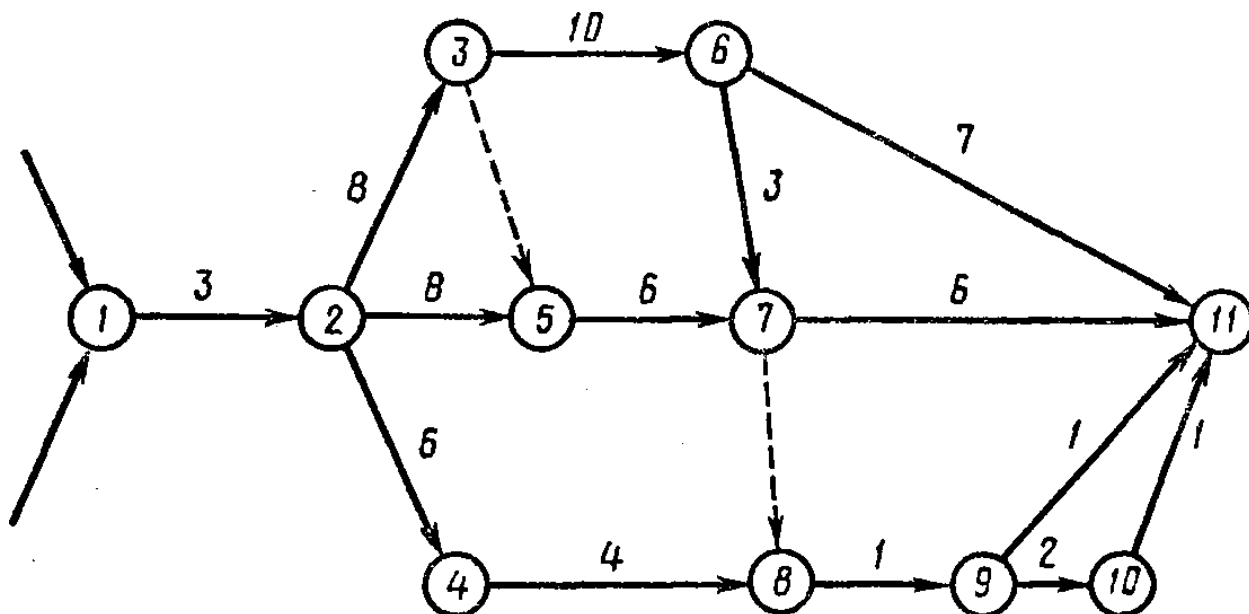


Рис. 1.2. Сетевой график

Под **работой** понимают любой трудовой процесс, связанный с затратами времени, трудовых и материальных ресурсов, а также с процессом ожидания и технологической зависимости. Например, электромонтажные работы, ожидание в связи с прогревом кабеля перед прокладкой, поставки оборудования, электроконструкций и т. п.

Под **событием** понимают итог определенной деятельности, промежуточный или окончательный результат выполнения одной или нескольких работ, предшествующих данному событию, позволяющий начать следующие работы, выходящие из этого события. События не имеют длительности, они свершаются мгновенно, а их свершение означает, что открыт фронт для последующих работ; каждое событие имеет номер, поставленный внутри кружка (см. рис. 1.2).

Работы, связанные с затратой времени и ресурсов, обозначают сплошной линией со стрелкой. Работы, характеризующие процесс ожидания или технологической зависимости, обозначают штриховыми линиями со стрелками. Стрелки, обозначающие работы, выходят из события, предшествующего



работе, и входят в последующее событие. Цифры вблизи линий указывают продолжительность работ в днях.

### **1.3. Техническая документация и общие условия производства электромонтажных работ**

Производство электромонтажных работ регламентируется технической и директивной документацией.

**Основным техническим документом служит проект электроустановки,** в строгом соответствии с которым и должны производиться электромонтажные работы. Изменять принятые проектом технические решения, если они носят принципиальный характер, допускается только по согласованию с проектной организацией — автором проекта. Изменения непринципиального характера производят по согласованию с заказчиком.

**Основными директивными документами, требования которых подлежат безусловному выполнению при производстве электромонтажных работ, являются действующие Правила устройств электроустановок (ПУЭ) и Строительные нормы и правила (СНиП).** На основе директивных документов в монтажных организациях создают монтажные инструкции и технологические карты, а поставщики электрооборудования и материалов разрабатывают заводские инструкции, которыми исполнители электромонтажных работ руководствуются в своей практической деятельности.

Существующие монтажные инструкции, являясь директивными документами, в которых регламентирована технология выполнения работ, отражены нормы и правила, приведены характеристики применяемых материалов, приспособлений, механизмов и др., не могут в полной мере отразить высокоэффективные приемы работ, обеспечивающие максимальную производительность труда. Инструкции отражают требования, предъявляемые к исполнению определенного технологического комплекса, но не содержат подробного анализа приемов, необходимых для достижения этих требований.

Поэтому разрабатываются **технологические карты трудовых процессов**. В них определяются технологическая последовательность рабочего процесса; передовые приемы и методы труда; перечень применяемых механизмов, приспособлений и инструмента; рекомендации по укрупнению оборудования и изделий в монтажные узлы; нормативные материалы — график трудового процесса, калькуляция затрат труда, схема организации рабочих мест, количественный состав бригады, звена, их квалификация и др. Наличие технологических карт позволяет монтажным бригадам выполнять работы на достигнутом к данному времени уровне и обеспечить более высокую степень текущего контроля.

ПУЭ разработаны с учетом проведения плановых и профилактических испытаний в условиях эксплуатации и ремонта электроустановок и электрооборудования; обучения обслуживающего персонала и проверки у него знаний правил технической эксплуатации и правил техники безопасности.

Применяемые при монтаже электроустановок машины, трансформаторы, электроконструкции, измерительные приборы, провода, кабели, изоляционное масло и другие материалы, а также электрооборудование должны отвечать требованиям соответствующих ГОСТов или технических условий, утвержденных в установленном порядке. При этом конструкция, вид исполнения, способ установки и изоляция электрооборудования должны соответствовать номинальному напряжению электроустановки, условиям окружающей среды и требованиям соответствующих разделов и глав ПУЭ.

Монтируемое электрооборудование и материалы по своим нормативным, гарантийным и расчетным характеристикам должны соответствовать условиям работы данной сети или электроустановки. При их выборе учитывается опыт эксплуатации и монтажа, требования по технике безопасности и пожарной безопасности. Монтаж электрооборудования и электросетей выполняют в строгом соответствии также с требованиями СНиПа.

Строительные материалы и конструкции по степени возгораемости в соответствии с противопожарными требованиями подразделяют на три группы:

**несгораемые материалы**, которые под воздействием огня или высокой температуры не воспламеняются, не тлеют и не обугливаются; **трудносгораемые материалы**, которые под воздействием огня или высокой температуры воспламеняются, тлеют или обугливаются и продолжают гореть или тлеть при наличии источника огня; **сгораемые материалы**, которые под воздействием огня и высокой температуры воспламеняются или тлеют и продолжают гореть после удаления огня.

Строительную часть электроустановок (здания, конструкции и др.) выполняют в соответствии с требованиями действующих строительных норм и правил при обязательном выполнении дополнительных требований ПУЭ. Для защиты от коррозии электрооборудование, конструкции и другие элементы электроустановок покрывают защитной краской, стойкой к воздействиям окружающей среды; при этом цвет окраски должен соответствовать созданию необходимого эстетичного вида установки.

Прикосновение к непокрытым изоляцией токоведущим частям электроустановки опасно для жизни человека, поэтому в электроустановках предусматривают простые и наглядные схемы, соответствующие надписи, маркировку, расцветку и надлежащее расположение элементов установки для распознавания неизолированных частей. Окраску одноименных токоведущих шин в каждой электроустановке выполняют одинаковой в соответствии с требованиями действующих ПУЭ.

Для электротехнической установки большое значение имеет характер окружающей среды, в которой работают элементы установки,— температура, влажность, наличие пыли, химически активных веществ и т. п. Поэтому в зависимости от среды помещения подразделяют на сухие, с нормальной средой, влажные, сырые, жаркие, пыльные, с химически активной средой, взрывоопасные и пожароопасные. Наружные установки, в которых применяют или хранят взрывоопасные газы, пары, жидкие или горючие вещества, относят соответственно к взрывоопасным или пожароопасным.

К производству электромонтажных работ на объектах строительства разрешается приступать только при наличии технической документации (проектов и смет), проекта производства работ, строительной готовности объекта, кранового оборудования, а также других грузоподъемных средств, обеспечивающих механизацию монтажа, а также электрооборудования, кабельной продукции и материалов, предусмотренных согласованным графиком производства работ.

Специальные работы, требующие особой подготовки исполнителей (монтаж ртутных выпрямителей, аккумуляторных батарей, сварочные работы, работы с пиротехническим инструментом, такелажные работы и др.), должны выполняться только лицами, прошедшими соответствующее обучение по технологии выполнения *работ* и правилам техники безопасности. На право проведения таких работ выдаются специальные документы.

Успешный монтаж характеризуется не только обеспечением высокой надежности и хорошим эстетичным видом смонтированной установки. Важно, чтобы работы были выполнены в короткие сроки при минимальных затратах труда и материальных ресурсов. Обеспечить эту сторону электромонтажного производства призваны ППР, а также АСОР.

Вся проектная техническая документация анализируется заказчиком, который перед передачей ее монтажной организации для производства работ обязан поставить на ней подпись или штамп «Разрешается к производству работ». В монтажном управлении техническая документация и сметы тщательно изучаются персоналом производственного отдела совместно с персоналом группы подготовки производства и линейными инженерно-техническими работниками (начальниками монтажных участков, производителями работ, мастерами).

Замечания по всем обнаруженным недостаткам проекта направляются в проектные организации для внесения в проект согласованных поправок и дополнений. Если на строительной площадке присутствует представитель проектной организации в качестве авторского надзора, то все возникающие

вопросы решают через него. Затем проект и сметы передают на монтажно-заготовительный участок или в группу проектировщиков-сметчиков при производственном отделе управления для составления ППР и после этого в группу подготовки монтажно-заготовительного участка для подготовки производства.

В отдельных случаях проект дорабатывает монтажная организация. Производится замена некоторого оборудования и материалов, внесение небольших изменений, связанных с несоответствием отдельных узлов электротехнического проекта строительным и технологическим конструкциям, внедрение типовых электроконструкций и монтажных изделий заводов монтажной организации, составление дополнительных чертежей и эскизов на укрупненные монтажные узлы и блоки, а также на отдельные конструкции и привязки проекта по месту.

#### **1.4. Организация работ**

Монтаж электропроводок, как и другие виды электромонтажных работ, выполняют в две стадии. На первой стадии осуществляют заготовительные работы в мастерских электромонтажных заготовок и подготовительные непосредственно на монтажных объектах. В мастерских (вне зоны монтажа и независимо от строительной готовности монтируемого объекта) изготавливают и собирают укрупненные блоки — шинные, трубные, заземления, электропроводок, кабельных линий и т. п. Непосредственно на монтажной площадке при определенной готовности строительных работ производят: разметку и подготовку трасс электрических сетей и заземляющих устройств; закладку труб в фундаменты и другие строительные основания при переходе из одного помещения в другое и при выходе наружу; осуществляют контроль за установкой строителями или выполняют установку закладных элементов и деталей для последующего крепления к ним электрооборудования и конструкций; осуществляют контроль за образованием в процессе строительства проемов, ниш, гнезд, борозд, необходимых для установки электрооборудования и монтажа электропроводок.

На второй стадии выполняют электромонтажные работы непосредственно на монтажном объекте. В эти работы входят установка на подготовленные места электрооборудования и электроконструкций, прокладка по подготовленным трассам готовых элементов электропроводок, подключение электрических сетей к установленным электрооборудованию, аппаратам и приборам.

Строительные работы в помещениях, принимаемых под монтаж электрооборудования, должны быть в таком состоянии, которое обеспечивает нормальное и безопасное ведение электромонтажных работ, защиту монтируемого оборудования, кабельных изделий и электроматериалов от влияния атмосферных осадков, грунтовых вод и низких температур, от загрязнения и случайных повреждений при производстве дальнейших работ смежными организациями.

До начала работ второй стадии должны быть закончены строительные и отделочные работы в электротехнических помещениях — сборных распределительных устройств, щитов, станций управления, в камерах трансформаторов, машинных залах и их подвалах и др.

В целях сокращения сроков монтажа силового электрооборудования на объектах строительства, повышения производительности труда, экономного расходования материально-технических ресурсов, улучшения качества и снижения себестоимости электромонтажных работ вводится хозяйственный расчет. Такой расчет внедряют хозрасчетные бригады, работающие методом бригадного подряда. Метод бригадного подряда применяется на монтаже электрооборудования типовых объектов или объектов промышленного строительства, на которых осуществляется комплектная доставка материалов, конструкций и изделий мастерских.

Основным источником повышения производительности труда, снижения себестоимости монтажа, повышения качества работ и сокращения сроков их выполнения является индустриализация работ. Под индустриализацией электромонтажных работ понимают совокупность

организационных и технических мероприятий, обеспечивающих выполнение возможно большего объема работ вне строительной площадки на заводах промышленности и монтажных организаций, а также в мастерских монтажно-заготовительных участков. Необходимый уровень механизации электро-монтажного производства и правильное использование средств механизации труда определяются планом механизации работ, входящим в состав ППР.

При производстве работ наряду с крупными машинами и механизмами широко применяются средства малой механизации, особенно для мелких ручных работ, осуществляемых непосредственно на строительной площадке и в мастерских, а также различные приспособления, в том числе и разработанные рационализаторами.

Комплексную механизацию электромонтажных работ в настоящее время практически осуществляют в мастерских, на технологических линиях по обработке сортовой стали, шин, стальных труб, на стендах заготовки электропроводок и кабельных линий, пластмассовых трубных разводов, а также на строительстве воздушных линий электропередачи путем организации высокомеханизированных колонн.

Учитывая значительную удаленность монтажных участков от центральной базы и в целях оперативности как в руководстве работами, так и для лучшего маневрирования крупными механизмами (краны, гидроподъемники, ямобуры и др.) широко применяют систему радиосвязи с участками, специальными механизмами, базами механизации и т. п.

### **Контрольные вопросы**

1. Какова структура электромонтажных организаций?
2. Какие функции возложены на службы инженерной подготовки производства?
3. Что является основным техническим документом при электромонтажных работах?
4. Что является основным директивным документом при электромонтажных работах?

## 2. МОНТАЖ ВНУТРЕННИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

### 2.1. Требования к электропроводкам. Определения

Электрическая энергия к различным электроприемникам (светильникам, электродвигателям, электрическим печам и др.) подводится по проводникам различных конструкций, к которым относят провода, кабели и различные токопроводы. Совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями и деталями называют **электропроводкой**. По способу выполнения электропроводка может быть открытой (стационарной, переносной, передвижной), если она проложена по поверхности стен и потолков, по балкам и фермам, и скрытой, если она проложена внутри конструктивных элементов зданий или сооружений (в полах, перекрытиях, стенах и т. п.)

По месту расположения самым распространенным типом электропроводки является электропроводка внутри зданий, помещений и сооружений, т. е. **внутренняя электропроводка**. **Наружной электропроводкой** называют электропроводку, проложенную по наружным стенам зданий и сооружений или между ними, под навесами, а также на опорах, имеющих не более четырех пролетов длиной до 25 м каждый, установленных вне улиц, дорог и т. п.

**Вводом от воздушной линии** электропередачи называется электропроводка, соединяющая ответвление от воздушной линии электропередачи с внутренней электропроводкой, считая от изолятора, установленного на наружной поверхности (стене, крыше) здания или сооружения, до зажимов вводного устройства внутри здания (рис. 2.1). Ответвление от воздушной линии (ВЛ) к вводу в здание при напряжении до 1000 В не является наружной электропроводкой и относится к ВЛ.

Внутренняя открытая электропроводка выполняется *струнной*, если несущим элементом является стальная проволока (струна) или металлическая полоса, закрепленные вплотную к несущей поверхности (стене, потолку) и предназначенные для крепления к ним проводов, кабелей или их пучков; *тросовой*, когда провода кабели или их пучки крепятся к стальной проволоке



или канату, натянутым в воздухе; **в коробах**, представляющих собой закрытую полую конструкцию прямоугольного или круглого сечения, предназначенную для прокладки в них проводов и кабелей (короба применяются и в наружных установках); **в лотках**, изготовляемых из негорюемых материалов (как правило, металлические сплошные, перфорированные или решетчатые); в стальных или пластмассовых трубах.

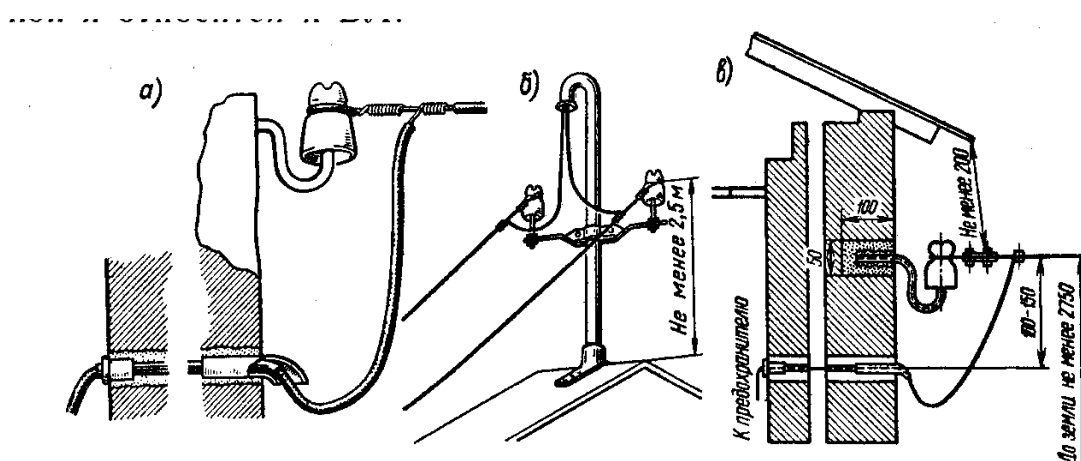


Рис. 2.1. Устройство ввода от воздушной линии: *а* - ввод ниже крыши; *б* - ввод через крышу; *в* - ввод вблизи крыши

**Скрытую электропроводку** выполняют в трубах, гибких металлических рукавах, коробах, замкнутых каналах и пустотах строительных конструкций, в заштукатуренных бороздах, под штукатуркой, а также замоноличенными в строительные конструкции при их изготовлении.

**Открытые электропроводки** выполняют также токопроводами, под которыми понимают устройства, состоящие из неизолированных или изолированных проводников и относящихся к ним изоляторов, защитных оболочек, ответвительных устройств, поддерживающих и опорных конструкций. В зависимости от вида проводников их подразделяют на гибкие (из проводов) и жесткие (из жестких шин).

Жесткий токопровод напряжением до 1000 В заводского изготовления, поставляемый комплектными секциями, называют **шинопроводом**. В зависимости от назначения их подразделяют на магистральные, распределительные, троллейные и осветительные.

Изолированные гибкие провода подразделяют на защищенные и незащищенные. Защищенные провода поверх электрической изоляции имеют оболочку (металлическую, пластмассовую) для предохранения от механических повреждений.

В стальных и других механически прочных трубах, рукавах, коробах, лотках и замкнутых каналах строительных конструкций зданий и сооружений допускается совместная прокладка проводов и кабелей всех цепей одного агрегата, силовых и контрольных цепей нескольких агрегатов или машин, панелей, щитов управления и других, связанных технологическим процессом; цепей, питающих сложный светильник, нескольких групп одного вида освещения с общим числом проводов в трубе не более восьми; осветительных цепей напряжением до 42 В с цепями напряжением свыше 42 В, заключив провода цепей напряжением до 42 В в отдельную изоляционную трубу. Не следует совместно прокладывать взаимо-резервирующие цепи рабочего и аварийного освещения, а также осветительные цепи напряжением до 42 В с цепями напряжением свыше 42 В. Совместно эти цепи прокладывают лишь в разных отсеках коробов и лотков, имеющих сплошные перегородки из несгораемых материалов. В целях недопущения опасного нагрева стальных и изоляционных труб со стальной оболочкой, вследствие образования в них переменного магнитного поля при переменном или выпрямленном токе фазные и нулевой или прямой и обратный проводники прокладывают в них только в случае, если длительный ток в проводниках не превышает 25 А.

Провода и кабели прокладывают по несгораемым строительным конструкциям зданий, а также по каналам в них. При прокладке незащищенных проводов принимают меры, исключая случайное касание к сгораемым поверхностям. В электротехнических и производственных помещениях в кабельных каналах прокладывают только кабели и провода с оболочками, не поддающимися возгоранию.

Соединения и ответвления проводов и кабелей выполняют так, чтобы они не испытывали механических усилий и жилы проводов и кабелей были

изолированы. Соединения и ответвления проводов, проложенных внутри неоткрывающихся коробов, в трубах и в гибких металлических шлангах, проложенных открыто или скрыто, выполняют в соединительных и ответвительных коробках. Внутри коробов со съемными крышками и в лотках соединение и ответвление проводов выполняют в специальных зажимах с изолирующими оболочками, обеспечивающими непрерывность изоляции. Провода в местах выхода из жестких труб и гибких металлических рукавов защищают от повреждений втулками, раззенковкой концов труб и другими способами. При этом в местах соединения, ответвления и присоединения жил предусматривают запас провода или кабеля, обеспечивающий возможность повторного соединения, ответвления или присоединения проводов и кабелей в местах, доступных для осмотра и ремонта.

Там, где электропроводки или токопроводы пересекают температурные и осадочные швы, устанавливают компенсирующие устройства, которые конструктивно выполняют в зависимости от вида проводки. В случае, когда под воздействием изменений температуры и вибрации деформация жестких электропроводок может вызвать опасные механические напряжения проводов или изоляторов, принимают меры к устранению этих напряжений с помощью компенсаторов и других подобных им приспособлений. Ленточные и гибкие токопроводы не требуют установки компенсаторов линейного расширения в местах пересечения ими температурных швов.

Неразъемные соединения токопроводов, как правило, выполняют с помощью сварки. Чтобы легче распознать открытые и защищенные токопроводы, их покрывают защитной краской, аналогичной окраске шин распределительных устройств и подстанций.

Виды электропроводки и способы прокладки проводов и кабелей, применяемых в зависимости от характеристики окружающей среды, определяются в соответствии с требованиями ПУЭ. Провода и кабели, прокладываемые в коробах и лотках, обязательно маркируют.

При открытой прокладке защищенных проводов (кабелей) с оболочками из сгораемых материалов и незащищенных проводов расстояние в свету от провода (кабеля) до поверхности оснований, конструкций, деталей из сгораемых материалов предусматривают не менее 10 мм. Отделяют их от поверхности слоем несгораемого материала, выступающего с каждой стороны провода (кабеля) не менее чем на 10 мм.

При скрытой прокладке защищенных проводов (кабелей) с оболочками из сгораемых материалов и незащищенных проводов в закрытых нишах, в пустотах строительных конструкций (например, между стеной и облицовкой), в бороздах и других местах с наличием сгораемых конструкций провода и кабеля защищают сплошным слоем несгораемого материала со всех сторон.

При открытой прокладке труб и коробов из трудносгораемых материалов по несгораемым и трудносгораемым основаниям и конструкциям расстояние в свету от трубы (короба) до поверхности окружающих конструкций, деталей из сгораемых материалов принимают не менее 100 мм или их отделяют со всех сторон от этих поверхностей сплошным слоем несгораемого материала (штукатурка, алебастр, цементный раствор, бетон и т. п.) толщиной не менее 10 мм.

При скрытой прокладке труб и коробов из трудносгораемых материалов в закрытых нишах, в пустотах строительных конструкций (например, между стеной и облицовкой), в бороздах и других местах трубы и короба отделяют со всех сторон от поверхностей конструкций, деталей из сгораемых материалов сплошным слоем несгораемого материала толщиной не менее 10 мм.

Для стационарных электропроводок должны применяться преимущественно провода и кабели с алюминиевыми жилами. Не допускается применение проводов и кабелей с алюминиевыми жилами для присоединения к электротехническим устройствам, установленным непосредственно на виброизолирующих опорах. В музеях, картинных галереях, библиотеках, архивах и других хранилищах союзного значения следует применять провода и кабели только с медными жилами.

Незащищенные изолированные провода при напряжении свыше 42 В в помещениях без повышенной опасности и при напряжении до 42 В в любых помещениях прокладывают на высоте не менее 2 м, а в помещениях с повышенной опасностью и особоопасных при напряжении свыше 42 В — на высоте не менее 2,5 м от пола или уровня площадки обслуживания. На спуски к выключателям, штепсельным розеткам, щиткам, пусковым аппаратам, светильникам, устанавливаемым на стене, это требование не распространяется, кроме производственных помещений, где эта часть проводки защищается от механических повреждений на высоте не менее 1,5 м от уровня пола или от площадки обслуживания.

Если незащищенные изолированные провода пересекаются с незащищенными или защищенными изолированными проводами с расстоянием между проводами менее 10 м, то в местах пересечения на каждый незащищенный провод накладывают дополнительную изоляцию. При пересечении трубопроводов незащищенными и защищенными проводами и кабелями их располагают на расстоянии не менее 50 мм друг от друга, а от трубопроводов, содержащих горючие или легковоспламеняющиеся жидкости и газы, не менее 100 мм. При расстоянии между ними менее 250 мм провода и кабели дополнительно защищают от механических повреждений на длине не менее 250 мм в каждую сторону от трубопровода. От горячих трубопроводов провода и кабели защищают теплоизоляцией, если они не специального теплостойкого исполнения.

В местах прохода проводов и кабелей через стены, междуэтажные перекрытия или выхода их наружу обеспечивают возможность смены электропроводки. Для этого проход выполняют в трубе, коробе, проеме и т. п. Чтобы предотвратить проникновение и скопление воды, и распространение пожара в местах прохода через стены, перекрытия или выхода наружу зазоры между проводами, кабелями и трубой (коробом, проемом и т.п.). Также резервные трубы (короба, проемы и т. п.) заделывают легко удаляемой массой из негорючего материала. Заделка должна допускать замену, дополнительную

прокладку новых проводов и кабелей и обеспечивать предел огнестойкости проема не менее предела огнестойкости стены (перекрытия).

При прокладке незащищенных проводов на изолирующих опорах провода дополнительно изолируют (например, изоляционной трубой) в местах проходов через стены или перекрытия. При проходе этих проводов из одного сухого или влажного помещения в другое сухое или влажное помещение все провода одной линии прокладывают в одной изоляционной трубе.

При проходе проводов из сухого или влажного помещения в сырое, из одного сырого помещения в другое сырое или при выходе проводов из помещения наружу каждый провод прокладывают в отдельной изоляционной трубе. При выходе из сухого или влажного помещения в сырое или наружу соединения проводов выполняют в сухом или влажном помещении.

На лотках, опорных поверхностях, тросах, струнах, полосах и других несущих конструкциях провода и кабели прокладывают вплотную один к другому пучками (группами) различной формы (например, круглой, прямоугольной в несколько слоев). Провода и кабели каждого пучка должны скрепляться между собой. В коробах провода и кабели прокладывают многослойно с упорядоченным и произвольным (россыпью) взаимным расположением.

## **2.2. Подготовка трассы и крепление электропроводок**

На стройплощадках до сих пор ведутся ручные работы по пробивке отверстий и борозд. Эти работы механизуют с помощью ручных механизмов с использованием пневматической, гидравлической и электрической энергии, а также механизмами и приспособлениями, приводимыми в действие силой взрыва пороховых газов. К средствам малой механизации относят: ручные электросверлилки, пневматические молотки, перфораторы, гидравлические прессы, строительно-монтажные пистолеты, электромагнитобуры, электромолотки, бороздофрезы, пороховые колонки, ручные и пиротехнические оправки, электрошлифовальные машины, универсальный

электрифицированный привод, различные домкраты, лебедки, тали, механизмы для обработки стальных труб и др. Применение того или иного механизма определяется характером выполняемых с его помощью работ.

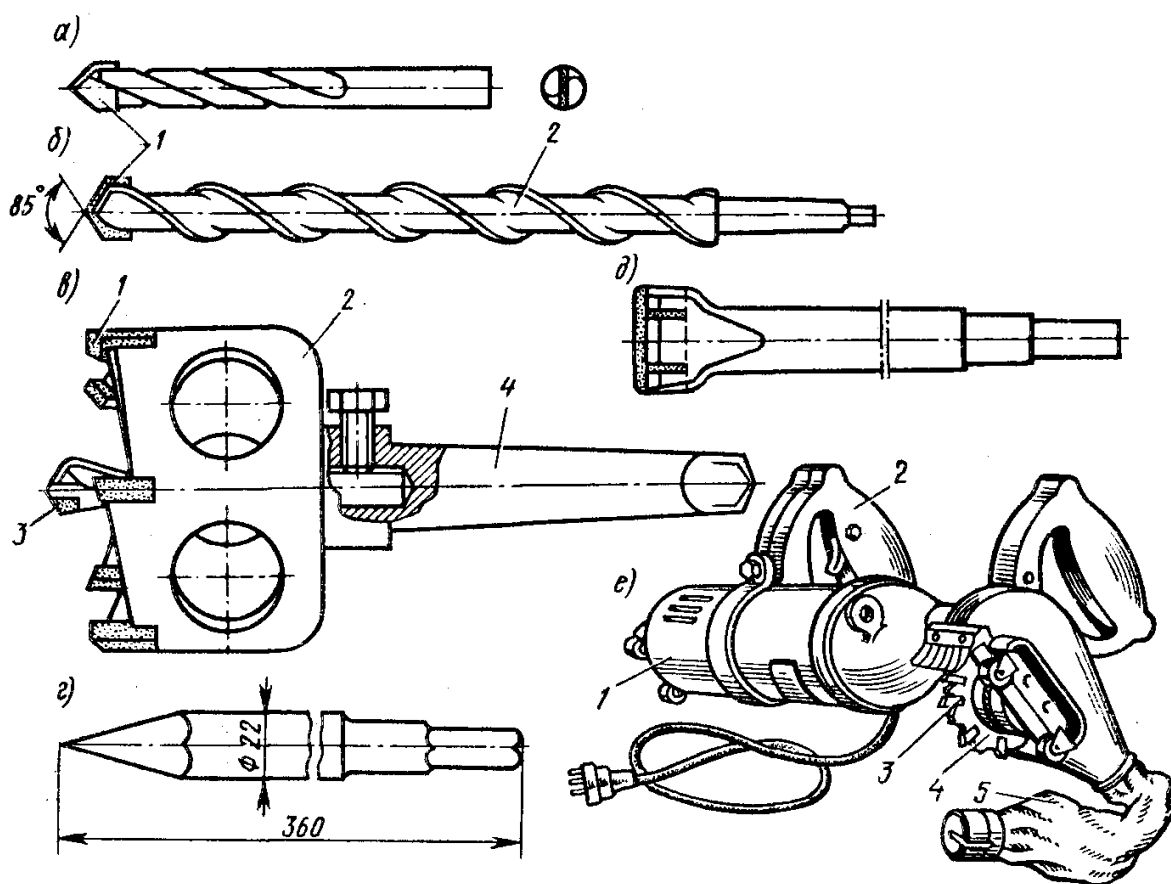


Рис. 2.2. Инструмент для пробивки отверстий, ниш и борозд: а - спиральное сверло; б - сверло из витой стали для глубоких отверстий: 1 - пластинки твердого сплава; 2 - корпус; 3 - центрирующее сверло; 4 - хвостовик; в - коронка; г - лом к пневматическому молотку для пробивки ниш и борозд; д - скарпель; е - механизм для пробивки борозд: 1 - электропривод; 2 - рукоятка; 3 - пластинка твердого сплава; 4 - фреза; 5 - пылесборник

Выбор механизма для пробивки отверстий, борозд и ниш определяется их размером, а также материалом строительных конструкций. Для бетонов прежде всего следует учитывать характер инертного наполнителя бетона, а не их марку. Бетоны, имеющие в качестве наполнителя кирпич или известняк, а также кирпичные, шлакобетонные, гипсолитовые и подобные им наполнители, вследствие их малой абразивности сравнительно легко поддаются сверлению

инструментом, оснащенным пластинками твердого сплава (рис. 2.2, а, б, в). Для сверления отверстий в строительных основаниях применяют сверлилки серии ИЭ на напряжение 220 В промышленной частоты (50 Гц) с двойной изоляцией, а также на напряжение 36 В частоты 200 Гц. Бетоны с наполнителями из песчаника или гранита, имеющие большую твердость и абразивность вследствие большого содержания кварца, не могут обрабатываться сверлением.

В этом случае применяют инструмент ударно-вращательного или ударно-поворотного действия. Для пробивки гнезд и отверстий ударно-вращательным методом применяют электрические и пневматические молотки с насадками в виде спиральных буров (для отверстий диаметром до 12 мм), шлямбуров (для отверстий диаметром 20...30 мм), буров со съемными головками (для отверстий диаметром 50...80 мм), скарпелей прямых (рис. 2.2, д), ломиков для пробивки ниш и борозд (рис. 2.2, з). Для пробивки небольших борозд в кирпичных стенах и гипсолитовых перегородках применяют электросверлилки со специальными насадками (рис. 2.2, е).

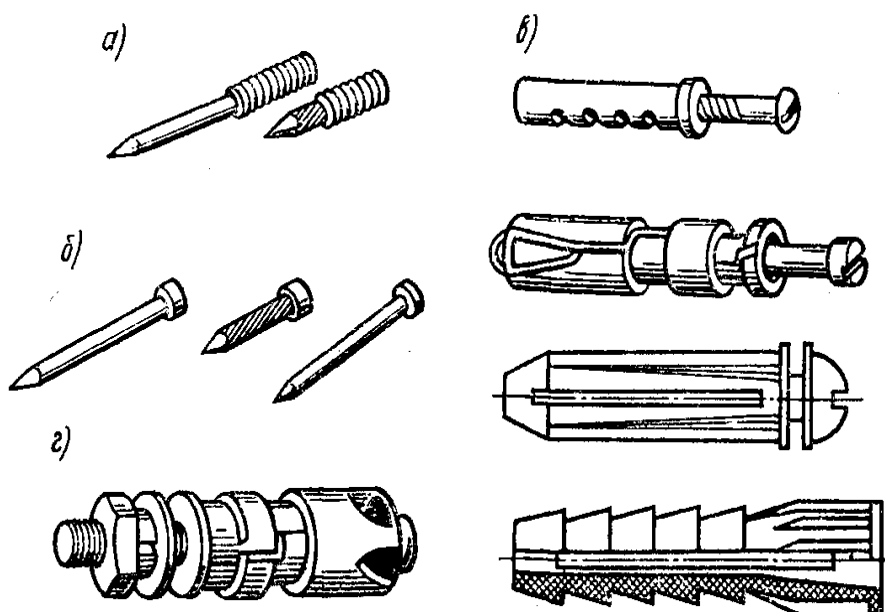


Рис. 2.3. Дюбели: а - с наружной резьбой; б - гвоздеобразные; в - распорные; г - с распорной гайкой



При креплении проводок и аппаратов применяют пластмассовые и металлические дюбели, дюбели с волокнистым наполнением и распорной гайкой, болты, шпильки, скобы, штыри, крюки, а также специальные дюбели для строительно-монтажных пистолетов и ручных оправок (рис. 2.3).

Для заготовки отверстий под пластмассовые или металлические дюбели с волокнистым наполнением применяют специальные пробойники для ручного молотка, а для забивки дюбелей типа гвоздей — ручную оправку типа ОД-6.

Для образования отверстий в строительных конструкциях из кирпича, бетона и подобных материалов отечественная промышленность выпускает специальные ручные электросверлильные машины и переставные электрические станки; наряду с ними могут применяться и ручные электрические сверлильные машины общепромышленного назначения (например, для сверления по металлу) (рис. 2.4).

В зависимости от массы ручные сверлильные машины применяют «пистолетного типа», удерживаемые в процессе работы одной рукой; машины с двумя рукоятками (закрытой центральной и боковой), удерживаемые в работе обеими руками; машины с двумя боковыми рукоятками и грудным упором на задней стенке для более удобного удерживания и создания повышенного осевого давления. Применяют также сверлильные машины с комплектом насадок для выполнения различных операций (например, типа ИЭ-6006). Кроме того, применяют электрические молотки (электромеханические и фугальные — с двигателем возвратно-поступательного движения), пневматические сверлильные машины, перфораторы, а также пиротехнические пистолеты и оправки для забивки дюбелей и колонки для пробивки отверстий в потолке. Для работы на высоте применяют подмости, вышки и лестницы различных конструкций (рис. 2.5).

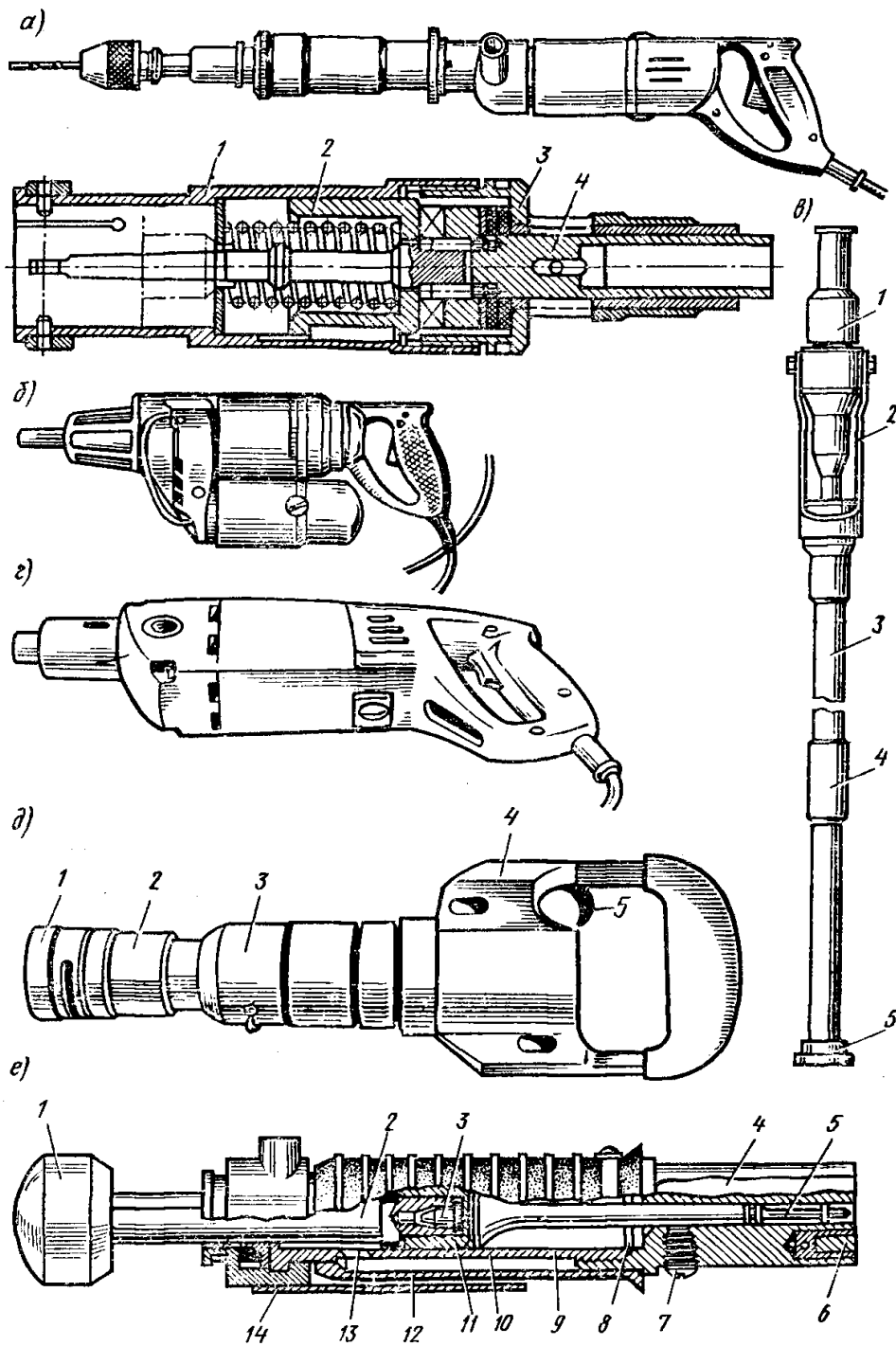


Рис. 2.4. Инструмент для подготовки креплений электропроводок:  
*а* - электросверлилка с ударно-поворотной насадкой (общий вид и устройство насадки): 1 - корпус; 2 - ударный механизм (боек); 3 - головка; 4 - шпиндель;  
*б* - электромагнитный бур ударно-вращательного действия типа УК-2М;  
*в* - ударная колонка: 1 - пиротехническая головка; 2 - узел поворота и амортизации головки; 3 - штанга; 4 - муфта; 5 - подпятник; *г* - сверлилка типа ИЭ-1022А; *д* - пиротический молоток: 1 - прижим; 2 - наконечник; 3 - муфта; 4 - коробка с рукояткой; 5 - спусковой рычаг; *е* - оправка типа ОДП: 1 - насадка; 2 - зарядный шток; 3 - патрон; 4 - фланец; 5 - дюбель; 6 - магнит; 7 - винт; 8 - амортизатор; 9 - корпус; 10, 13 - выхлопные отверстия; 11 - бонковый выступ; 12 - кожух; 14 - планка

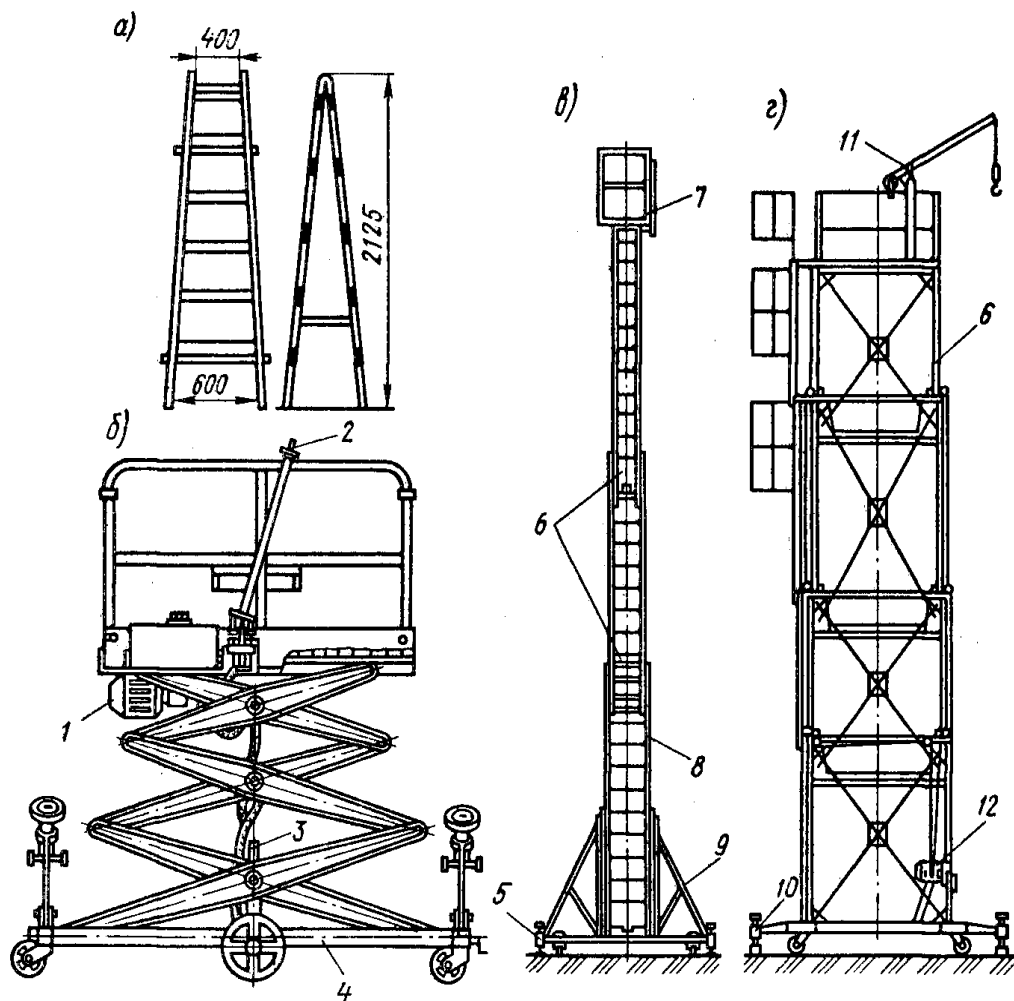


Рис. 2.5. Устройства для работы на высоте: *а* - лестница стремянка; *б* - гидравлическая подъемная платформа с электроприводом ГМПП-5Д; *в* - телескопическая катушечная вышка; *г* - телескопические подмости; 1 - электродвигатель; 2 - рукоятка; 3 - гидродомкрат; 4 - тележка; 5 - колесо; 6 - ловители телескопа при обрыве каната; 7 - рабочая площадка; 8 - подвижная секция; 9 - основание; 10 - выносные опоры; 11 - кран-укосина подмостей; 12 - ручная лебедка

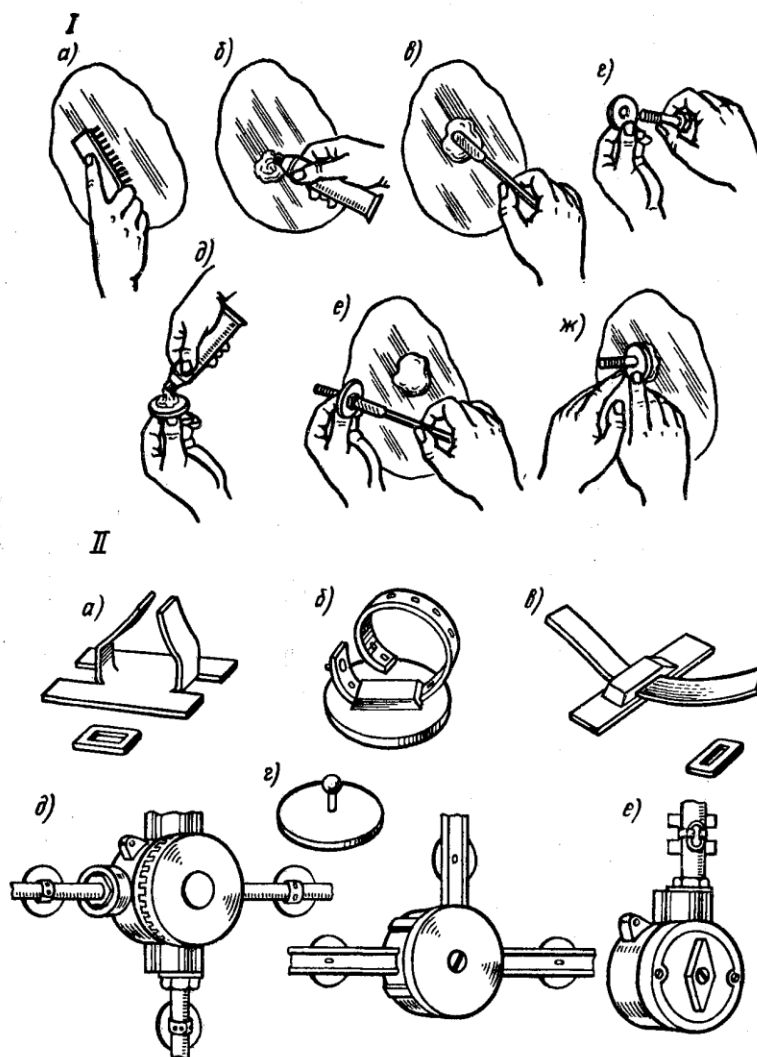


Рис. 2.6. Приклеивание крепежных деталей: *I* - процесс приклеивания крепежных деталей: *a* - зачистка строительного основания; *б* - выдавливание клея из тубы на строительное основание; *в* - втирание клея в строительное основание; *г* - сборка крепежной детали; *д* - выдавливание клея из тубы на основание крепежной детали; *е* - растирание клея на крепежной детали; *ж* - приклеивание крепежной детали; *II* - детали и установочные изделия для приклеивания и крепления; *a* - детали из жести с пряжкой; *б* - детали из пластмассы или металла в комплекте с поливинилхлоридной лентой и кнопкой из полистирола; *в* - деталь из пластмассы или металла в комплекте с полоской и пряжкой; *г* - пластмассовая деталь для крепления приводов; *д* и *е* - соединительная коробка и полугерметический выключатель, приклеенные к основанию

Для упрощения работ по монтажу, а также для снижения трудовых затрат и стоимости работ крепежные детали и мелкие изделия приклеивают с помощью клея БМК-5к. Приклеивать провода и кабели непосредственно к основаниям не следует, за исключением отдельных случаев скрытой проводки.

Крепежные детали и изделия приклеивают к бетонным, железобетонным, керамзитобетонным, асбестоцементным, кирпичным, керамическим (в том числе с глазурованной поверхностью) и стеклянным строительным основаниям, поверхностный слой которых обладает прочностью, достаточной для удерживания приклеенных изделий. Общий вид некоторых приклеиваемых деталей и последовательность их приклеивания приведены на рис. 2.6.

Поверхность строительного основания в местах приклейки должна быть ровной, очищенной от грязи, пыли, копоти и т. п. Не следует приклеивать к сырым, пропитанным маслом, побеленным, окрашенным и оштукатуренным поверхностям, а также к основаниям, которые могут подвергнуться намоканию в процессе эксплуатации. Приклеивание выполняют при положительных температурах в помещениях с относительной влажностью воздуха, не превышающей 75 %.

### **2.3. Прокладка проводов в жилищном крупнопанельном и крупноблочном строительстве**

В крупнопанельных и крупноблочных зданиях применяют канальную систему электропроводок. Провода прокладывают в специально предусмотренных для этой цели каналах, в панелях, перегородках или в пустотах панелей, обусловленных их конструкцией. Каналы для проводок, ниши, гнезда, сквозные проходы и другие устройства в строительных элементах зданий для электропроводок выполняются на заводах домостроительных комбинатов. Каналы образуют, как правило, без замоноличивания изоляционных труб в строительные конструкции. Во избежание повреждения изоляции при протягивании проводов каналы должны иметь на всем протяжении гладкую поверхность без натеков и острых граней (рис. 2.7).

Диаметры каналов для питающих сетей должны быть равны 1,1 диаметра стальных труб, применяемых для прокладки соответствующих проводов; длина каналов между протяжными нишами или коробками не должна превышать 8 м;

соединительные ниши в стеновых панелях (в местах сопряжения каналов) необходимо выполнять в виде полукруглых выемок радиусом 70 мм; гнезда в железобетонных и других панелях для непосредственной установки штепсельных розеток и выключателей делают конусными с отверстиями диаметром 72 и 74 мм, а в гнезда для коробок диаметром 85 мм вмазывают специальный стакан, представляющий собой полый цилиндр из пластмассы (полипропилена), состоящий из двух половинок переменного диаметра. Стакан имеет кольцевые выступы по диаметру, перегородку для звукоизоляции и сквозное отверстие для прохода каналаобразователя. Выключатели и штепсельные розетки закрепляют в закладных стаканах распорными планками на кольцевых выступах. Стаканы, выпускаемые заводами, имеют различную длину, что позволяет замоноличивать их в железобетонных и гипсолитовых панелях разной толщины. В последнее время вместо каналобразователей на домостроительных комбинатах (ДСК) закладывают пластмассовые трубы.

Предварительно заготовленные в мастерских электропроводки (рис. 2.8) затягивают в каналы панелей. Число прокладываемых в одном канале проводов зависит от диаметра канала и сечения провода. Распределительные групповые сети выполняют из проводов марок АППВ, АППВс, АПВ, АПР, АПМВ.

В кирпичных зданиях провода прокладывают непосредственно под штукатуркой с устройством или без устройства борозд в зазорах кирпичной кладки, в горизонтальных или вертикальных каналах, предусмотренных при кладке стен (рис. 2.9).

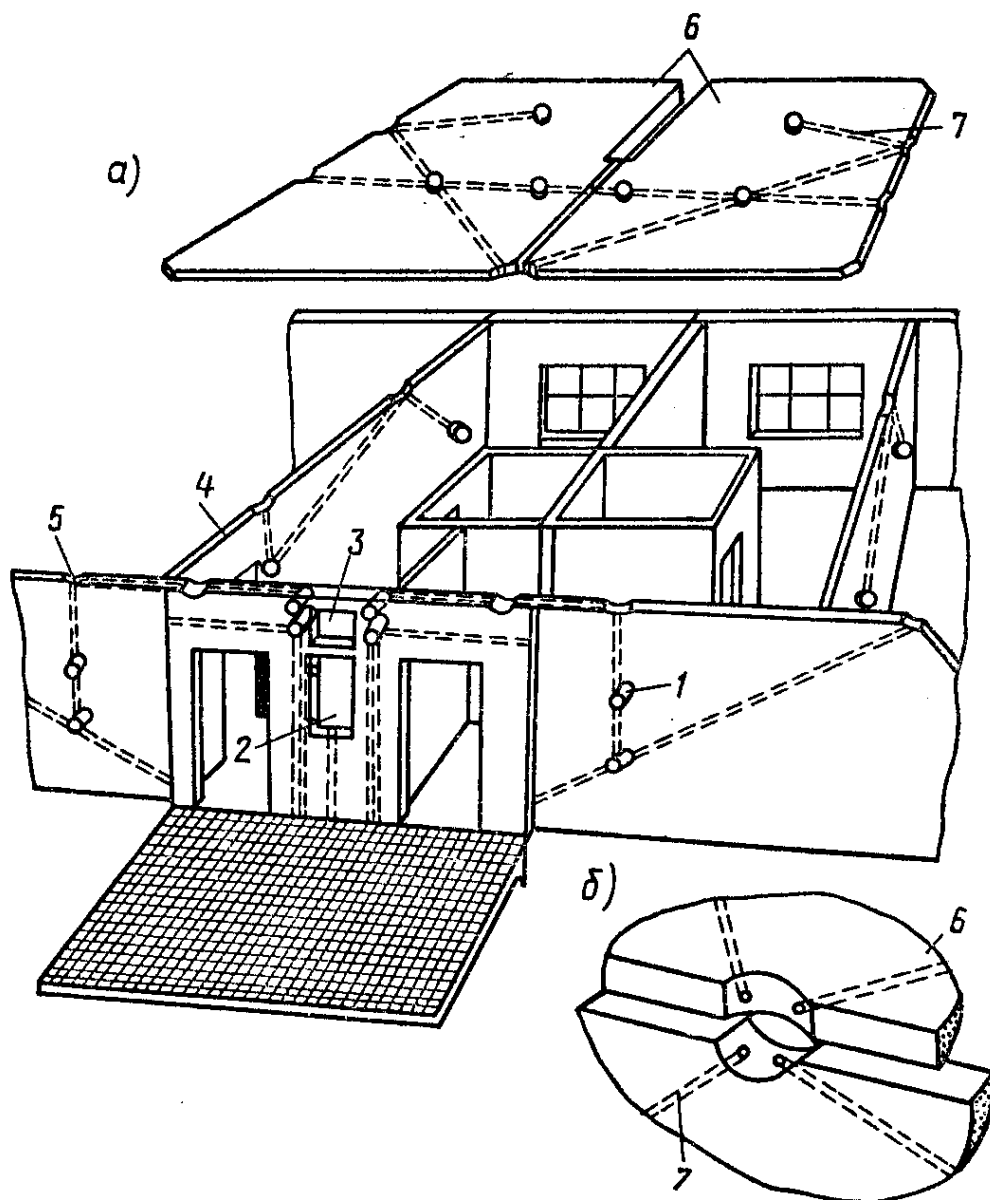


Рис. 2.7. Электропроводка в каналах крупнопанельного дома: *а* - общий вид строительного участка; *б* - узел сопряжения каналов стеновой панели и панели перекрытия; 1 - гнездо для штепсельных розеток и выключателей; 2 - ниша распределительного щитка; 3 - ниша слаботочного устройства; 4 - стеновая панель; 5 - выемка в панели; 6 - панель перекрытия; 7 - канал для проводов

Каждая отдельная заготовка проводки групповой осветительной сети, предназначенная для прокладки на месте строительства здания, представляет собой крупный узел (проводка освещения части квартиры, одного или группы смежных помещений в культурно-бытовом здании). Он состоит из участков проводов, сходящихся в одной или нескольких соединительных коробках, соединяемых в этих коробках или только проходящих через них. Сеть представляет собой участки электропроводок, располагающиеся в пределах

одной отдельной строительной конструкции (панели перекрытия, панели внутренних стен, перегородки и др.), собранные по заданной схеме и снабженные необходимыми электроустановочными изделиями, иногда замоноличенными в бетонные панели или плиты на заводе (рис. 2.10).

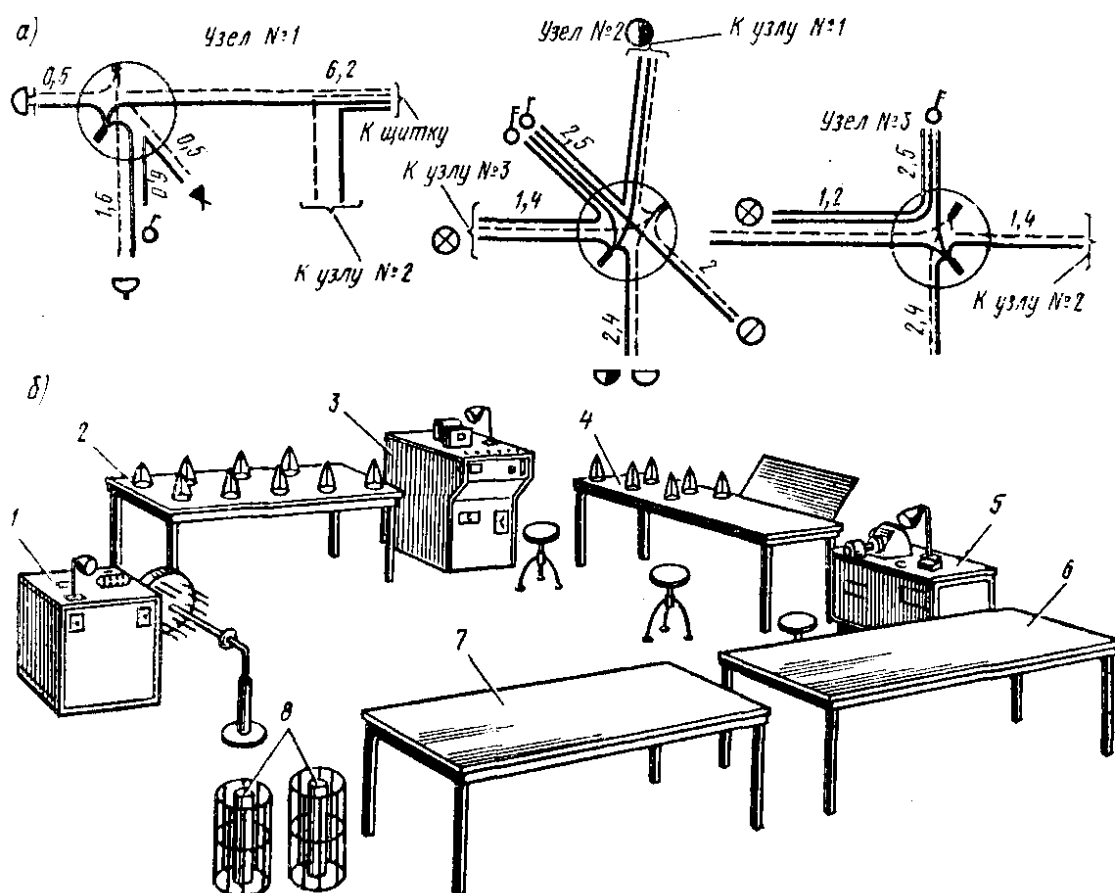


Рис.2.8. Заготовка электропроводки в мастерской: а - примерные схемы заготовки узлов проводки; б - технологическая линия заготовки и обработки проводов сечением 1,5—10 мм<sup>2</sup>: 1 - полуавтомат типа МР; 2 - стол-накопитель; 3 - механизм типа МС; 4 - стол сборки проводок; 5 - станок типа СЗ; 6 - стол-накопитель (второй); 7 - стол комплектования и маркировки проводов; 9 - контейнеры



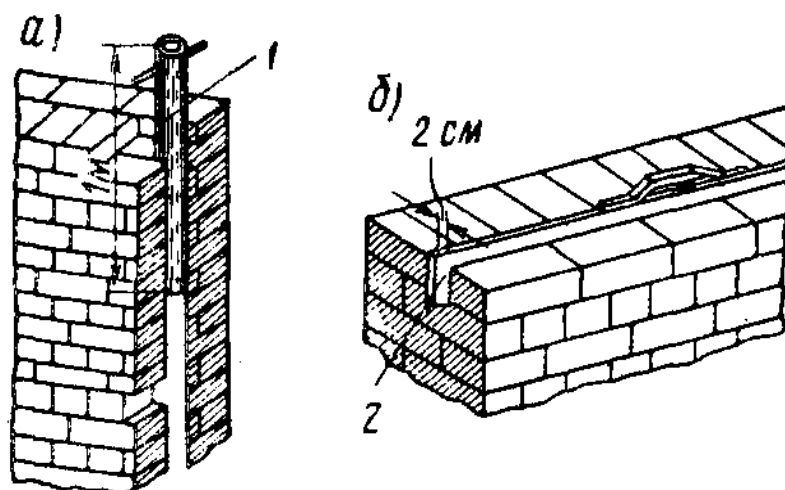


Рис. 2.9. Устройство вертикальных (а) и горизонтальных (б) каналов при производстве кирпичной кладки стен: 1 - стальная труба-шаблон; 2 - рейка-шаблон

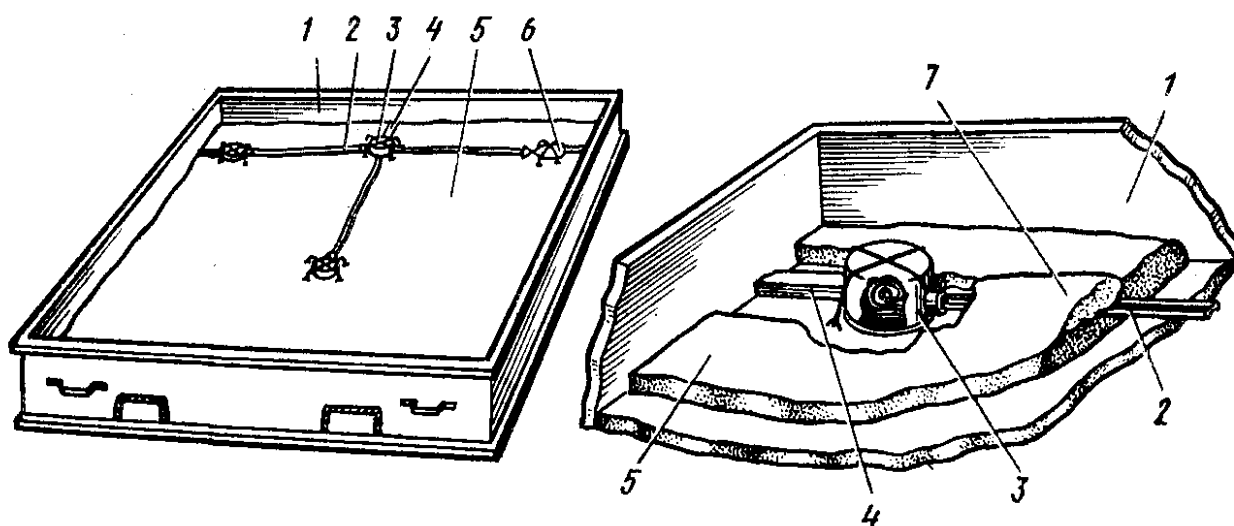


Рис. 2.10. Замоноличивание заготовки электропроводки в стеновую шлакобетонную панель: 1 - форма (опалубка) для изготовления стеновой панели; 2 - провод; 3 - соединительная коробка; 4 - стальной прилив; 5 - слой раствора; 6 - «запас провода»; 7 - защитный слой раствора

#### 2.4. Прокладка проводов в стальных трубах

Стальные трубы применяют для защиты проводов от механических повреждений, а также для защиты изоляции и самих проводов от разрушения едкими парами и газами и попадания внутрь трубы влаги, пыли и взрывопожароопасных смесей из окружающей среды. Соединения и присоединения труб к коробкам, аппаратам и электроприемникам выполняют

без специального уплотнения (когда они применяются для защиты проводов от механических повреждений), уплотненными (для защиты труб от попадания в них пыли, влаги, едких паров и газов) и взрывобезопасными, имея в виду исключение возможности попадания внутрь труб, аппаратов и электроприемников взрывоопасных смесей.

Применяемые для электропроводок стальные трубы делятся на три группы: первая — водогазопроводные, обыкновенные; вторая — водогазопроводные, легкие; третья — тонкостенные электросварные.

Перед монтажом внутреннюю поверхность труб очищают от окалины и грата и производят окраску внутренней и наружной поверхностей асфальтовым лаком. Трубы, прокладываемые в бетоне, снаружи не окрашивают для лучшего сцепления с бетоном. Оцинкованные трубы прокладывают без окраски. Для помещений с химически активной средой в проектах приводятся специальные указания о марке противокоррозионной краски для стальных труб. Если это разрешают условия окружающей среды, предпочтение следует отдавать тонкостенным трубам с целью экономии металла. При монтаже придерживаются нормализованных значений углов и радиусов изгиба труб в зависимости от диаметра труб, количества и сечения прокладываемых в них проводов.

Водогазопроводные обыкновенные трубы применяют только во взрывоопасных установках; легкие — в обоснованных (с точки зрения экономии металла) случаях при открытой прокладке в сухих и влажных помещениях; при скрытой прокладке в сухих и влажных помещениях, на чердаках, в подливных полах, фундаментах и других строительных элементах с уплотнением мест ввода в коробки и соединением труб стальными муфтами на резьбе.

Тонкостенные электросварные трубы применяют при открытой прокладке в сухих и влажных помещениях без уплотнения мест соединения и ввода в коробки; при скрытой прокладке (в стенах, перекрытиях, подготовке полов, фундаментах) в сухих и влажных, а также при открытой и скрытой прокладке в

жарких, пыльных, пожароопасных помещениях и на чердаках, при этом трубы соединяют стандартными стальными муфтами с накатной резьбой, места соединения и вводы в коробки уплотняют.

Допускаются выходы участков труб из фундаментов в грунт в пределах помещения при условии дополнительной их антикоррозионной защиты. Эти трубы во взрывоопасных зонах и в земле не прокладывают и в качестве заземляющих и нулевых защитных проводников при толщине стенки трубы до 1,5 мм в зданиях и 2,5 мм в наружных установках не применяют.

Малая толщина стенок тонкостенных труб, наличие с внутренней стороны вдоль шва наплывов от сварки (грата) и отклонение их сечений от точной геометрической формы (круга) создают ряд затруднений при обработке и монтаже: на тонкостенных трубах нельзя применять нормальную резьбу, как на водогазопроводных трубах; изгибание требует принятия специальных мер, чтобы избежать их смятия; для электросварки необходимо точно подобрать электроды и величину сварочного тока; необходимо также удалять грат, так как при затяжке проводов создается опасность повреждения изоляции.

При соединении труб без уплотнения стыков применяют клиновые и винтовые манжеты или гильзы из отрезков труб, которые насаживают на концы соединяемых труб и приваривают к ним электросваркой; в этом случае соединительные и ответвительные коробки должны иметь патрубки для присоединения к ним труб. Для соединения труб между собой и с коробками, уплотненными стыками, служат манжеты из отрезков труб со сплошной приваркой, с окулярной, мелкой метрической или накатной резьбой или специальные накидные гайки, обеспечивающие уплотнение стыка. Изгибают тонкостенные трубы в обычных трубогибных станках или ручных трубогибах, устанавливая секторы и ролики с ручьями, точно соответствующими диаметру изгибаемой тонкостенной трубы, иначе труба будет смята в месте изгиба. Для удаления грата применяют устройство, с помощью которого через трубу пропускают оправку, или протяжку. Проходя внутри трубы, протяжка сбивает все острые края наплывов грата.

Для подвода трубных электропроводок к электродвигателям и аппаратам, при обходе препятствий и в качестве компенсаторов в местах пересечения температурных швов и на сложных участках трассы используют гибкие вводы (рис. 2.13).

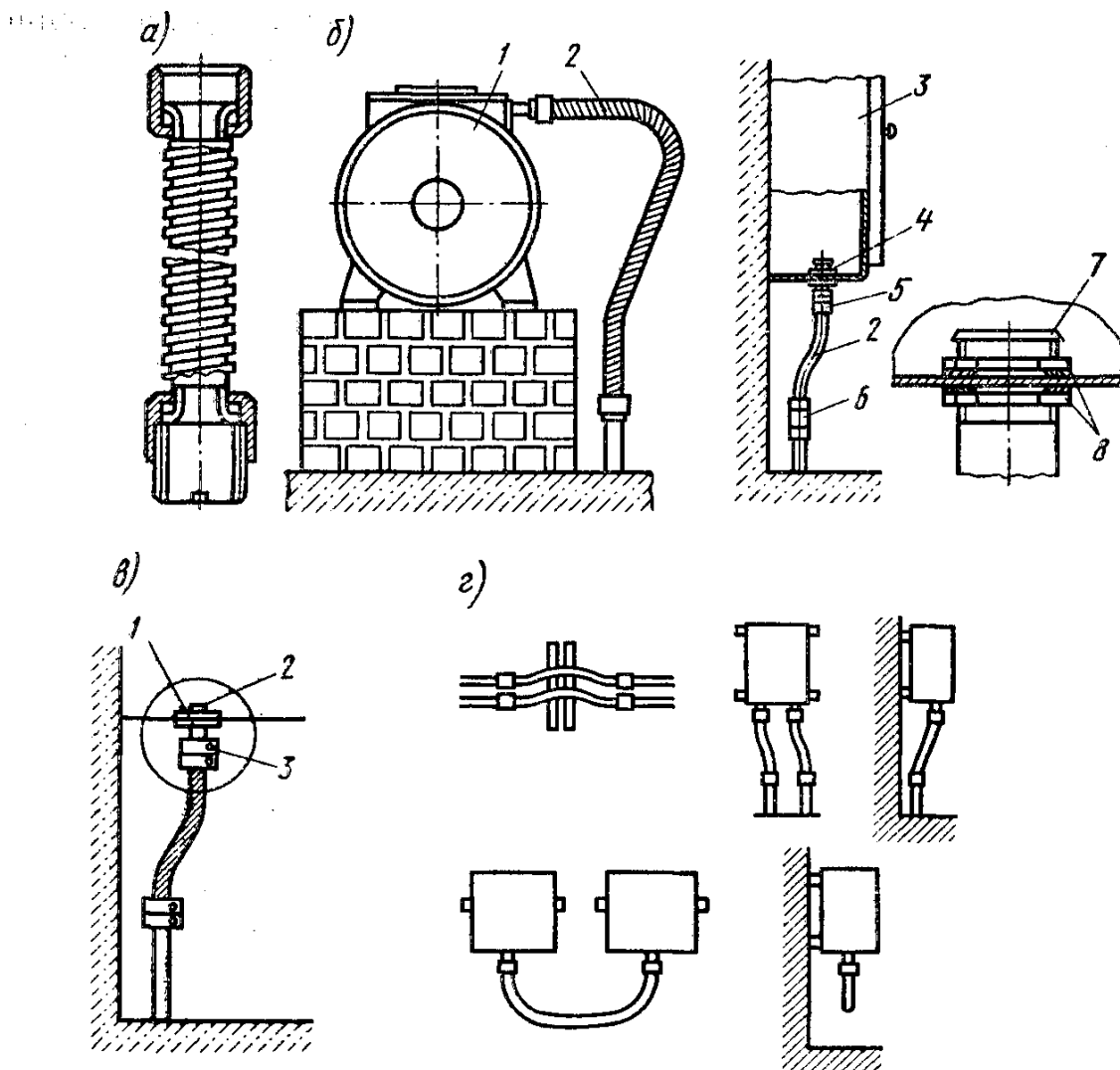


Рис. 2.13. Различные виды гибких вводов: *а* - общий вид гибкого ввода; *б* - ввод в двигатель и пусковой ящик: 1 - двигатель; 2 - гибкий ввод; 3 - пусковой ящик; 4 - патрубкок; 5 и 6 - муфты; 7 - втулка; 8 - установочные гайки; *в* - установка заземляющих гаек: 1 - гайка; 2 - вводный патрубкок; 3 - муфты; *г* - применение гибких перемычек

При открытой прокладке труб по стенам, потолкам или строительным конструкциям их закрепляют на опорных поверхностях скобами на дюбелях, уголках, перфорированной полосе и т. п. (рис. 2.14). Крепление электросваркой к металлоконструкциям не допускается. При прокладке стальных труб необходимо выдерживать определенные расстояния между точками крепления

(не более 2,5 м для труб с условным проходом 15...20 мм, 3 м — для проходов 25—32 мм и не более 4 м — для проходов 40—80 мм), а также между протяжными коробками в зависимости от числа изгибов: не более 50 м — при одном изгибе трубы, 40 м — при двух и 20 м — при трех.

При соединении труб стандартными муфтами для уплотнения на резьбу труб наматывают пеньковое или льняное волокно, пропитанное суриком или белилами, тертыми на олифе. Резьбу на трубах выполняют трех видов: длинный сгон для размещения на ней муфты и контргайки, средний (полусгон) для размещения двух контргаек с запасом свободной резьбы и короткий — для размещения половины соединительной муфты. В отдельных случаях (во взрывоопасных установках в местах, где трубы подвержены сотрясениям и вибрациям) соединительные муфты дополнительно закрепляют контргайками.

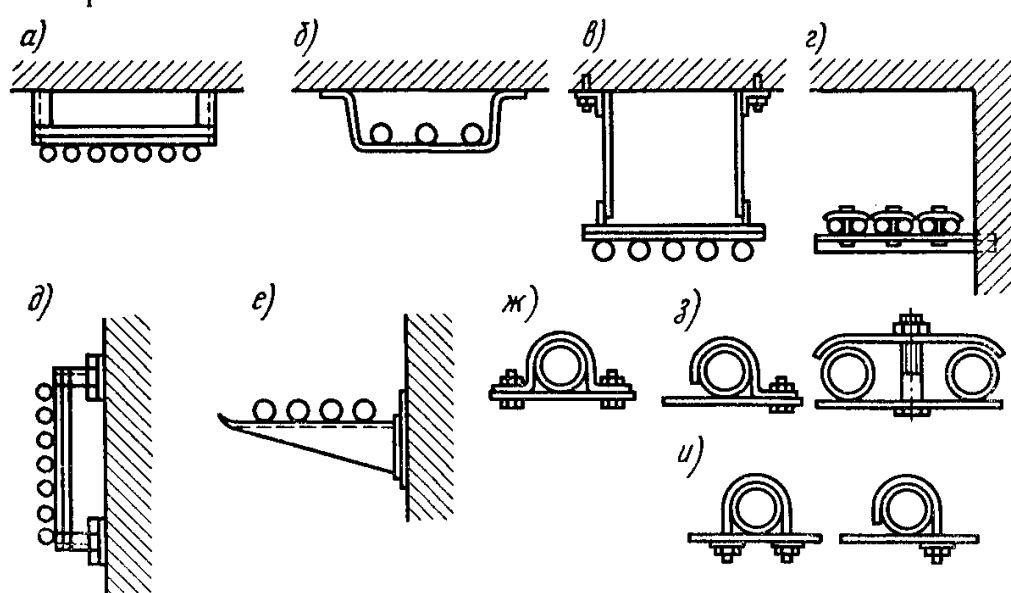


Рис. 2.14. Опорные и крепежные конструкции и детали для трубных электропроводок: *а, б, в* - потолочные опорные конструкции из уголка, перфорированной полосы и на подвесках; *г, д, е* - настенные опорные конструкции и кронштейны; *ж, з, и* - хомуты, полухомуты, двухлапковые и однолапковые скобы и накладки для крепления труб к опорным конструкциям

Для отдельных электроустановок, насыщенных трубными проводками, особенно при наличии нескольких аналогичных объектов, сжатых сроках монтажа и неготовности строительной части объекта производят заготовку

трубных электропроводок на макетах в масштабе 1:1. Заготовленные на макете трубы и трубные блоки разбирают, маркируют и отправляют на объект монтажа.

На первой стадии монтажа проводок в стальных трубах размечают трассу и устанавливают крепежные детали. После этого проводят точные замеры ниток трассы, составляют подробный эскиз с указанием размеров, необходимых для заготовки блоков разводки труб в мастерской на технологической линии. Целесообразнее трубы в узлы и блоки комплектовать из стандартных элементов.

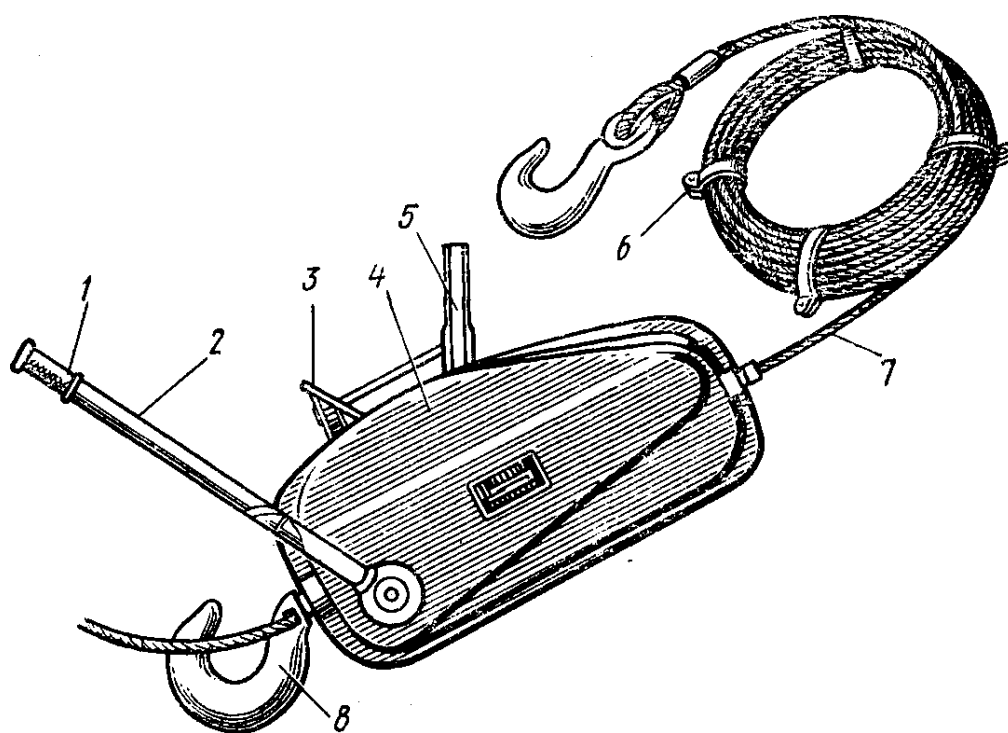


Рис. 2.15. Лебедка с ручным рычажным приводом: 1 — рычаг; 2,5 — рукоятки переднего и заднего хода; 3 — оттяжка для заправки каната; 4 — тяговый механизм; 6 — хомут; 7,8 — канат с крюком

На второй стадии монтажных работ элементы трубной проводки, полученные из мастерской, закрепляют на подготовленные места и затягивают в них провода. На полу и междуэтажных перекрытиях на опорных поверхностях их укладывают свободно, без закрепления. В фундаментах под машины и технологическое оборудование трубы или пакеты труб в необходимых по ходу укладки точках прикрепляют к опалубке или арматуре

скобами, проволокой. При открытой прокладке труб по стенам, потолкам или строительным конструкциям их закрепляют на опорных поверхностях. Провода затягивают в трубы вручную или с помощью механизированных приспособлений. Предварительно в трубы затягивают стальную проволоку диаметром 1,5—3 мм (с петель на конце) и вдувают тальк для облегчения затягивания (уменьшается сила трения проводов о стенки трубы); провода также протирают тальком.

На протяженных трубопроводах и на трубопроводах с большим числом изгибов устанавливают дополнительно протяжные коробки и ящики, что облегчает затягивание проводов.. Для затягивания проводов крупных -сечений используют специальные приспособления в виде захватов, небольших лебедок или универсальный рычажный привод (рис. 2.15).

## **2.5. Монтаж проводов в пластмассовых трубах**

В настоящее время начинают широко применять электропроводки в пластмассовых трубах. Основными видами пластмассовых труб являются винипластовые, полиэтиленовые и полипропиленовые.

**Винипластовые трубы** обладают высокой механической прочностью. В зависимости от толщины стенок они делятся на три группы: легкие (Л), средние (С) и тяжелые (Т) и выпускаются с наружными диаметрами 20, 25, 32, 40, 50 и 63 мм. Для электропроводок преимущественно применяются легкие и средние трубы.

В зависимости от температуры винипластовые трубы могут иметь деформацию по длине (0,08 мм/м на 1 °С), что необходимо учитывать при выборе способа их крепления: предусматривать возможность продольного смещения трубы или при жестком креплении предусматривать компенсаторы в виде «уток» или специальных сальников. Выбор диаметра винипластовых труб производится в зависимости от количества и сечения затягиваемых в них проводов и сложности трасс.

При укладке винипластовых труб параллельно горячим трубопроводам должно быть выдержано расстояние не менее 100 мм; при этом винипластовые трубы располагают ниже горячих трубопроводов.

Пластмассовые трубы удобны в монтаже, легко обрабатываются, соединяются и гнутся. Электропроводки в пластмассовых трубах применяют в сухих, влажных, сырых, особо сырых и пыльных помещениях, в помещениях с химически активной средой, в наружных установках, а также в агрессивном грунте. Электропроводки в пластмассовых трубах не применяют в пожароопасных и взрывоопасных помещениях.

**Электропроводки в полиэтиленовых и полипропиленовых трубах** не прокладывают в зданиях ниже II степени огнестойкости, т. е. в таких, у которых имеются горючие смеси, перекрытия и переборки. В зданиях выше II степени огнестойкости эти трубы применяют только для скрытых электропроводок. Электропроводки в винипластовых трубах выполняют в зданиях любой степени огнестойкости. При этом в открытых и скрытых электропроводках винипластовые трубы прокладывают непосредственно по несгораемым, трудносгораемым и сгораемым стенам, перекрытиям и конструкциям. По сгораемым стенам и конструкциям их прокладывают по прослойке из листового асбеста толщиной 3 мм или слою штукатурки толщиной 5 мм, выступающим по сторонам трубы на 5 мм (минимально допустимые размеры).

Не применяют электропроводки в полиэтиленовых и полипропиленовых трубах и открытые электропроводки в винипластовых трубах в специальных зданиях и помещениях, на сценах и в кинобудках зрелищных предприятий и клубов, в детских яслях и садах, пионерских лагерях, больницах, на чердаках, а также в животноводческих помещениях совхозов и колхозов.

Монтаж электропроводок в пластмассовых трубах осуществляют в две стадии. К первой стадии относят заготовку элементов проводки в мастерских и подготовительные работы на монтажном объекте, включающие приемку от строителей трубных трасс с предусмотренными по проекту проходами, закладными деталями, бороздами (штрабами) для укладки труб, отверстиями и



проемами. Во второй стадии выполняют монтаж, который включает в себя сборку, укладку и крепление трубной сети, затяжку в трубопроводы электрических проводов и кабелей, установку электрооборудования, сборку и опробование электрической схемы.

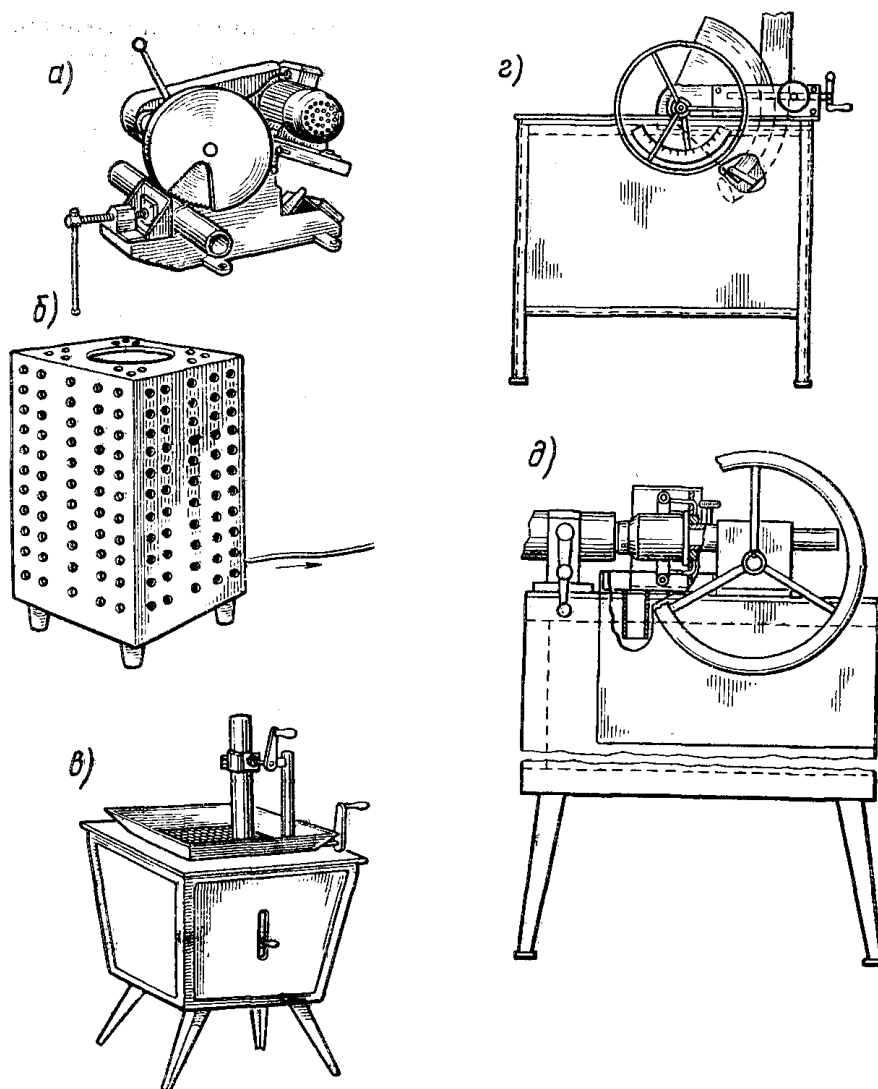


Рис. 2.16. Устройство для обработки пластмассовых труб: *а* - для резки труб; *б* - для разогрева труб; *в* - для разогрева концов труб; *г* - для изгибания; *д* - для выпрессовки раструбов

Заготовка включает в себя разметку, резку, правку труб, снятие фасок, нагревание труб для изгибания и выпрессовки на их концах раструбов или изготовление соединительных раструбных муфт и втулок, изгибание труб, обортовку отрезков труб для получения втулок, соединение труб сваркой, горячей посадкой (для полиэтиленовых и полипропиленовых труб) и склеиванием (для винипластовых труб), соединение труб с коробками и

ящиками, комплектование и маркировку трубных заготовок. Заготовку полиэтиленовых труб больших сечений, а также полипропиленовых и винилпластовых труб выполняют в мастерских на специальных станках и приспособлениях (рис. 2.16), а труб среднелегкого и среднего типа с условным проходом до 25 мм — на месте монтажа, применяя средства малой механизации, так как при небольших сечениях и тонких стенках трубы легко обрабатываются и гнутся. Это особенно относится к трубам, поставляемым в бухтах, которые требуют минимального числа соединений.

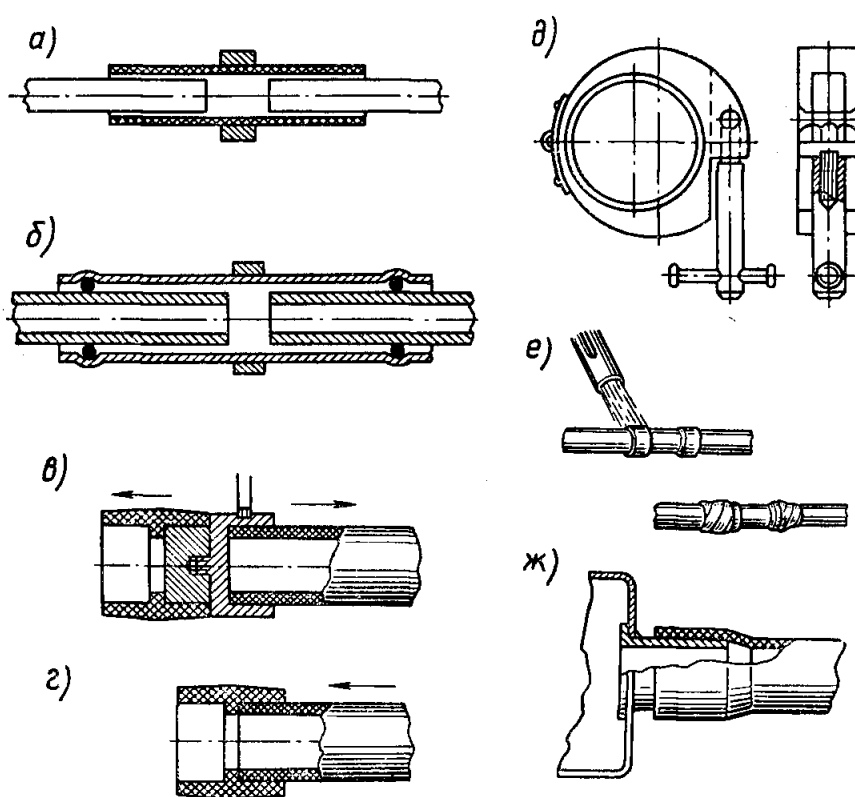


Рис. 2.17. Способы соединения пластмассовых труб: *а* - компенсационное соединение винилпластовых труб без уплотнения; *б* - то же, с уплотнением; *в* - оплавление конца полиэтиленовой полипропиленовой трубы и муфты на оправке для сварки; *г* - сваренные полиэтиленовые и пропиленовые трубы; *д* - ограничительный хомут; *е* - соединение полиэтиленовых и полипропиленовых труб горячей посадкой; *ж* - соединение с коробкой с помощью раструба

Пластмассовые трубы соединяют между собой, с коробками и ящиками сваркой, приклеиванием или с помощью образования раструбов на концах труб,

в зависимости от материала труб и коробок или ящиков (рис. 2.17). Применяют также монтаж пластмассовых труб нормализованными элементами (мерные отрезки труб, колена с нормализованными углами изгиба, коробки), изготовленными в заводских условиях.

## **2.6. Тросовые и струнные проводки**

Тросовую проводку применяют в помещениях промышленных предприятий со сложной конструкцией строительной части, где из-за наличия большого количества различных трубопроводов, колонн, ферм и балок трудно и дорого выполнить проводку иного типа.

Для прокладки внутри помещений сетей на напряжение до 660 В промышленных электроустановок применяют установочные провода АРТ, имеющие алюминиевые жилы, резиновую изоляцию, несущий трос. Изолированные жилы провода скручены вокруг изолированного оцинкованного троса (провода сечением от 2,5 до 35 мм<sup>2</sup>, двух-, трех- и четырехжильные). Жилы провода имеют отличительную маркировку в виде полосок на поверхности изоляции. Для наружных проводок применяют провод марки АВТ с алюминиевыми жилами, утолщенной поливинилхлоридной изоляцией и несущим тросом; для сельского хозяйства — провода АВТС с алюминиевыми жилами, поливинилхлоридной изоляцией и несущим тросом. Провода АВТ и АВТС предназначены для сетей напряжением 380 В и имеют индексы 1 и 2, соответственно с обычным и усиленным несущим тросом. Для тросовых проводок применяют также установочные провода АПР (ПР), АПВ (ПВ), небронированные защищенные кабели марок АВРГ (ВРГ), АНРГ (НРГ), АВВГ (ВВГ), которые крепят к специальному несущему тросу (рис. 2.18).

Монтаж электропроводок выполняют в две стадии. На первой стадии в мастерской заготавливают и собирают электропроводки, комплектуют анкерные и натяжные конструкции, а также поддерживающие устройства и транспортируют их на место монтажа. На монтажной площадке устанавливают анкерные и натяжные конструкции, вертикальные подвески, поперечные и

продольные оттяжки, производят заготовку трасс для питающих магистралей. Все работы первой стадии монтажа выполняют в процессе общестроительных работ, при определенной готовности элементов здания, на которых производится подвеска и крепление электропроводки.

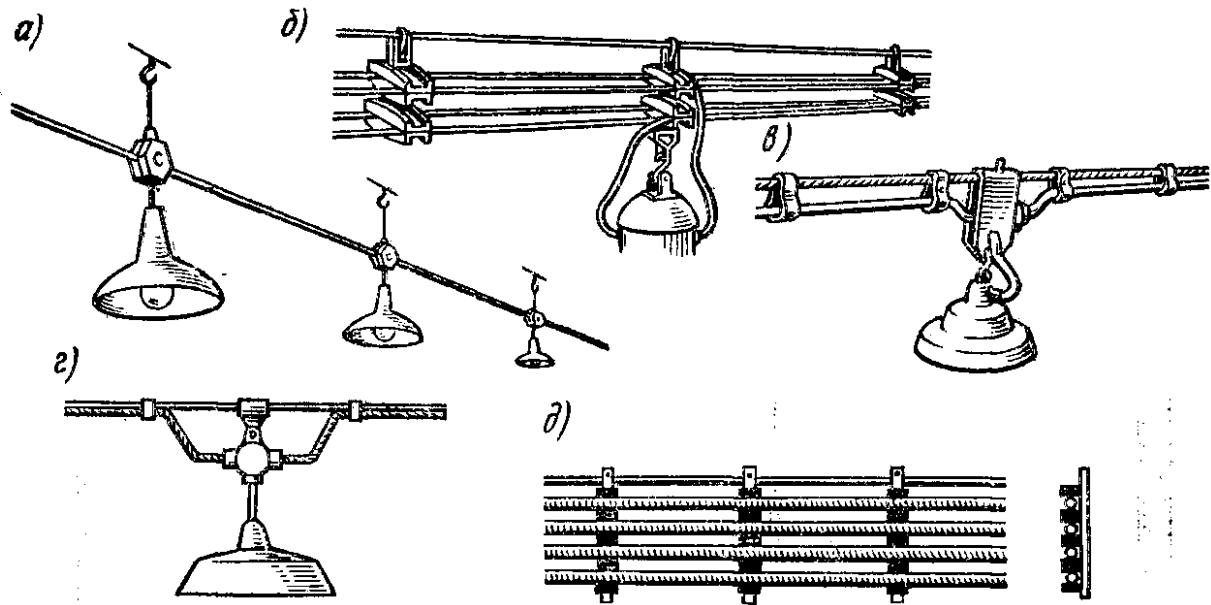


Рис. 2.18. Виды выполнения тросовых электропроводок: *а* - проводом АРТ; *б* - изолированными проводами на подвесках из пластмассы на продольном тросе; *в* - многожильными проводами и кабелями небольших сечении на пластмассовых клицах на продольном тросе; *г* - то же, при непосредственном закреплении бандажом; *д* - подвеска силовых и контрольных кабелей на подвесных елочных конструкциях, укрепленных на тросе

На второй стадии монтажа заготовленные и доставленные к месту монтажа тросовые проводки монтируют на заранее установленных натяжных устройствах и подвесках в помещениях.

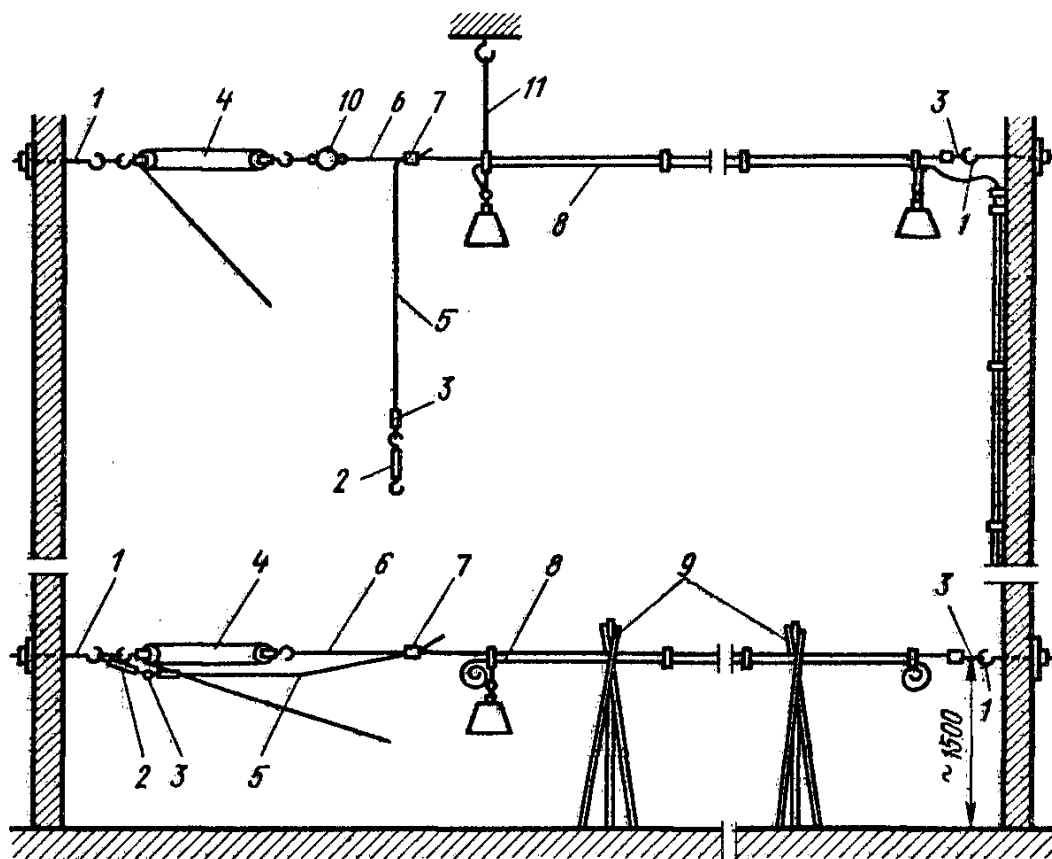


Рис. 2.19. Схема сборки и подвески тросовых электропроводок на месте монтажа: 1 - временные и постоянные анкеры; 2 - натяжная муфта; 3 - концевые петли; 4 - специальная лебедка или полиспаст; 5 - свободный конец несущего троса; 5 - вспомогательный отрезок троса; 7 - клиновой зажим; 8 - плетть тросовой электропроводки; 9 - инвентарные подставки; 10 - динамометр; 11 - вертикальная проволочная подвеска

При заготовке тросовой электропроводки в мастерской на ней устанавливают и закрепляют ответвительные и соединительные коробки, заземляющие перемычки, натяжные муфты и вводные коробки. Светильники, как правило, к проводке крепят на второй стадии монтажа, когда разматывают тросовую электропроводку на полу, временно подвешивают ее на высоте 1,2—1,6 м для правки проводов, подвески и подключения светильников (если они не были смонтированы на тросовой линии в мастерских); затем поднимают электропроводку на проектное место, закрепляют трос одним концом за анкерную конструкцию, соединяют его с промежуточными подвесками и стяжками, предварительно натягивают (вручную при пролетах до 15 м и лебедкой при больших пролетах) и надевают на второй анкерный крюк. После

этого производят окончательное натяжение несущего троса, регулировку стрелы подвеса, заземление несущего троса и всех металлических деталей линии и подключение линии к питающей магистрали (рис. 2.19).

Для натяжения троса применяют лебедку с ручным приводом. Усилие натяжения троса контролируется динамометром.

Стрелу провеса при регулировке принимают: 100...150 мм для пролета 6 м; 200...250 мм для пролета 12 м. Несущие тросы заземляют в двух точках на концах линии. На линиях с нулевым проводом заземление осуществляют присоединением несущего троса к этому проводу гибкой медной перемычкой сечением 2,5 мм<sup>2</sup>, а на линиях с изолированной нейтралью — присоединением троса к шине, соединенной с контуром заземления. Несущий трос в качестве заземляющего проводника не применяют.

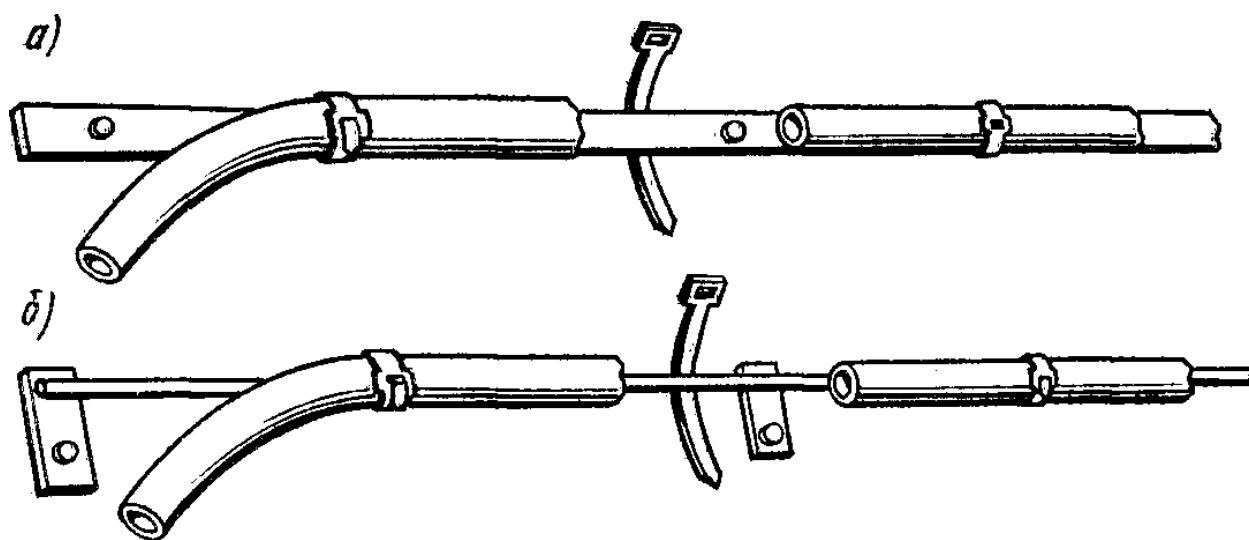


Рис. 2.20. Крепление кабелей и проводок: *а* - к стальной полосе; *б* - к стальной проволоке

Разновидностью тросовых проводок являются струнные электроводки. В отличие от тросовых проводок их применяют для крепления кабелей марок СРГ, АСРГ, ВРГ, АВРГ, ВВГ, АВВГ, РГ, АНРГ, проводов СТПРФ и ПРП по жестким основаниям. Эти доводки (рис. 2.20) выполняют на натянутой

стальной проволоке или ленте, закрепленной вплотную к строительным основаниям, перекрытиям, фермам, балкам, стенам, колоннам и т.д.

Все элементы струнных электропроводок надежно заземляют. Кабели в свинцовой оболочке, а также провода в металлической оболочке (АТПРФ, ПРП) соединяют в общую цепь перемычками (у распаячных коробок, щитков и т. п.) из гибкого медного провода. Перемычки закрепляют на металлических оболочках кабеля или провода медной или стальной проволокой, припаивают и присоединяют к металлоконструкциям, на которых закреплены кабели или провода, и к корпусам металлических ответвительных коробок.

## **2.7. Прокладка кабелей марок СРГ, НРГ, ВРГ, проводов АТПРФ, ПРП и других**

На первой стадии монтажа электрооборудования трассу размечают так, чтобы радиус изгиба кабелей АСРГ, АВРГ и АНРГ равнялся не менее десяти наружным диаметрам, а радиус проводов АТПРФ не менее шести. Точки крепления размечают с таким расчетом, чтобы расстояние между ними при горизонтальной и вертикальной прокладке не превышало 500 мм. При вертикальной прокладке проводов АТПРФ это расстояние увеличивают до 700 мм. Необходимо, чтобы точки крепления кабеля и провода у ответвительных коробок, проходов и аппаратов отстояли от них на 60—100 мм в зависимости от внешнего диаметра кабеля или провода.

Кабели и провода крепят к стенкам и опорным поверхностям непосредственно с помощью стандартных скобок, имеющих размеры, соответствующие наружному диаметру кабеля или провода и количеству ниток в пучке, или с помощью металлических полосок, укрепляемых на дюбелях или вмазкой их в основание. В шлакоблочных и гипсолитовых стенах крепления полосками избегают. Проходы через междуэтажные перекрытия выполняют так, чтобы обеспечить защиту кабеля или провода от механических повреждений.

На второй стадии работы начинают с раскатки проводов или кабелей и их правки. Во избежание образования трещин в оболочке кабеля АВРГ можно раскатывать и прокладывать при температуре не ниже - 15 °С, а кабели АСРГ — не ниже - 20 °С. При более низких температурах окружающей среды кабели предварительно нагревают. При раскатке и выравнивании кабели и провода тщательно осматривают, чтобы выявить внешние изъяны и устранить их. Правку производят на роликовых выпрямителях или при малом сечении жил зажатой в руке сухой тряпкой. При правке проводов АТПРФ на роликовом выпрямителе следят за тем, чтобы шов оболочки был расположен сбоку и по прямой линии по всей длине выправляемого отрезка провода.

Перед закреплением кабелей АСРГ под скобки подкладывают прокладки из электрокартона, выступающие из-под скобок не менее чем на 1 мм с каждой стороны. Кабели и провода вводят в аппараты и ответвительные коробки вместе с оболочкой. При проходах через температурные и осадочные швы их укладывают со слабиной в виде дуги.

По свежоштукатуренным и свежепобеленным (влажным) поверхностям кабели АСРГ и провода АТПРФ не прокладывают, так как это приводит к коррозии их оболочек. В отдельных случаях такую прокладку допускают, но при условии предварительной окраски провода или кабеля быстросохнущими масляными красками, лаками или эмалями. Кабели марок АСРГ, АВРГ и АНРГ изгибают вручную, а провода АТПРФ специальными клещами.

Разделку конца кабеля АСРГ начинают с кольцевого надреза на свинцовой оболочке примерно на половину ее толщины; затем от кольцевого надреза к концу кабеля делают такой же глубины продольный надрез. Разгибая в сторону свинцовую оболочку, подлежащую снятию с конца кабеля, надламывают ее в месте надреза и снимают. Для быстрого удаления оболочки с конца кабеля диаметром до 20 мм применяют приспособление, закрепляемое на универсальных плоскогубцах. С помощью имеющейся в этом приспособлении регулировочной гайки фиксируют необходимую глубину надрезания свинцовой оболочки. При разделке кабеля АВРГ надрез можно делать нагретым



паяльником с заостренным стержнем. Паяльник перемещают по линии надреза как можно быстрее, чтобы не повредить изоляцию. Жилы разделанных концов кабеля заделывают в корешке поливинилхлоридной лентой.

Все соединения и ответвления выполняют в соединительных или ответвительных коробках (пластмассовых или металлических). Металлические оболочки кабелей и проводов и металлические соединительные и ответвительные коробки электрически соединяют между собой и заземляют. Такое заземление не делают в сухих производственных помещениях с сухими непроводящими полами при напряжении не выше 380 В, а также в лабораторных, конторских и торговых помещениях и в тех случаях, когда невозможно одновременно прикосновение к металлическим оболочкам кабелей, проводов и другим заземленным предметам, а также при напряжении до 127 В в любых помещениях, за исключением случаев, предусмотренных особыми правилами.

Присоединение металлических оболочек кабелей к заземляющей сети производят у групповых, питательных или распределительных щитков и пунктов многопроводным медным луженым проводом сечением не менее 2,5 мм посредством припаивания его к оболочкам. Заземляющий проводник присоединяют к корпусу металлической коробки припайкой или зажимом под винт (в этом случае место присоединения должно быть зачищено до металлического блеска). Заземление оболочек нескольких кабелей и проводов, проложенных параллельно, выполняют одним неразрезанным гибким луженым медным проводом, накладываемым на пучок кабелей и проводов под прямым углом и припаиваемым к оболочке каждого провода и кабеля. Перемычки, соединяющие заземляемые оболочки кабелей и проводов у неметаллических ответвительных коробок, располагают снаружи.

## **2.8. Электропроводки в лотках и коробах**

*Лотком* называют открытую конструкцию, выполненную из негорючих материалов. Лотки делают сплошными, перфорированными или решетчатыми.

Они не являются защитой от внешних механических повреждений, а служат лишь опорой для проложенных на них проводов и кабелей. Лотки применяют как в помещениях, так и в наружных установках.

По сравнению с другими видами проводка в лотках требует значительно меньших затрат труда и может быть выполнена в цехе, где закончено строительство; она позволяет также снизить расход стальных труб. Лотки имеют разнообразную типовую конфигурацию, изготавливаются на специализированных заводах и их можно собирать в узлы и блоки.

В электротехнических помещениях лотки могут быть расположены на любой высоте, а во всех остальных помещениях — на высоте не менее 2 м от пола или площадки обслуживания; их устанавливают в самых разнообразных положениях (рис. 2.21). Подвешивают так, чтобы в них можно было прокладывать провода и кабели, не протягивая их вдоль лотка (крепления на подвесках должны быть съемными). При пересечениях лотков с другими коммуникациями или конструкциями стремятся не делать обходы, добиваясь прямолинейности лотковой трассы. Отдельные секции лотков соединяют между собой болтами с помощью перфорированных планок.

При пересечении лотков с трубопроводами расстояние от трубопровода до ближайшего провода или кабеля устанавливают не менее 50 мм, а при параллельной прокладке — не менее 100 мм. Если трубопроводы с горючими жидкостями и газами, то эти расстояния принимают при пересечении не менее 100 мм, а при параллельной прокладке не менее 250 мм.

Расстояния между точками крепления лотков обычно принимают 1,6...2 м. Конструкции и кронштейны для установки лотков прикрепляют к строительному основанию дюбелями, забиваемыми строительными пистолетами, или распорными дюбелями, а также приваркой к закладным деталям. Для надежного электрического контакта между секциями их поверхности в местах соединений зачищают до металлического блеска и смазывают вазелином. После сборки лотковой конструкции места соединения прихватывают электросваркой в нескольких точках. Прямолинейный лоток

заземляют не менее чем в двух удаленных друг от друга точках, а каждое ответвление от него — на его конце.

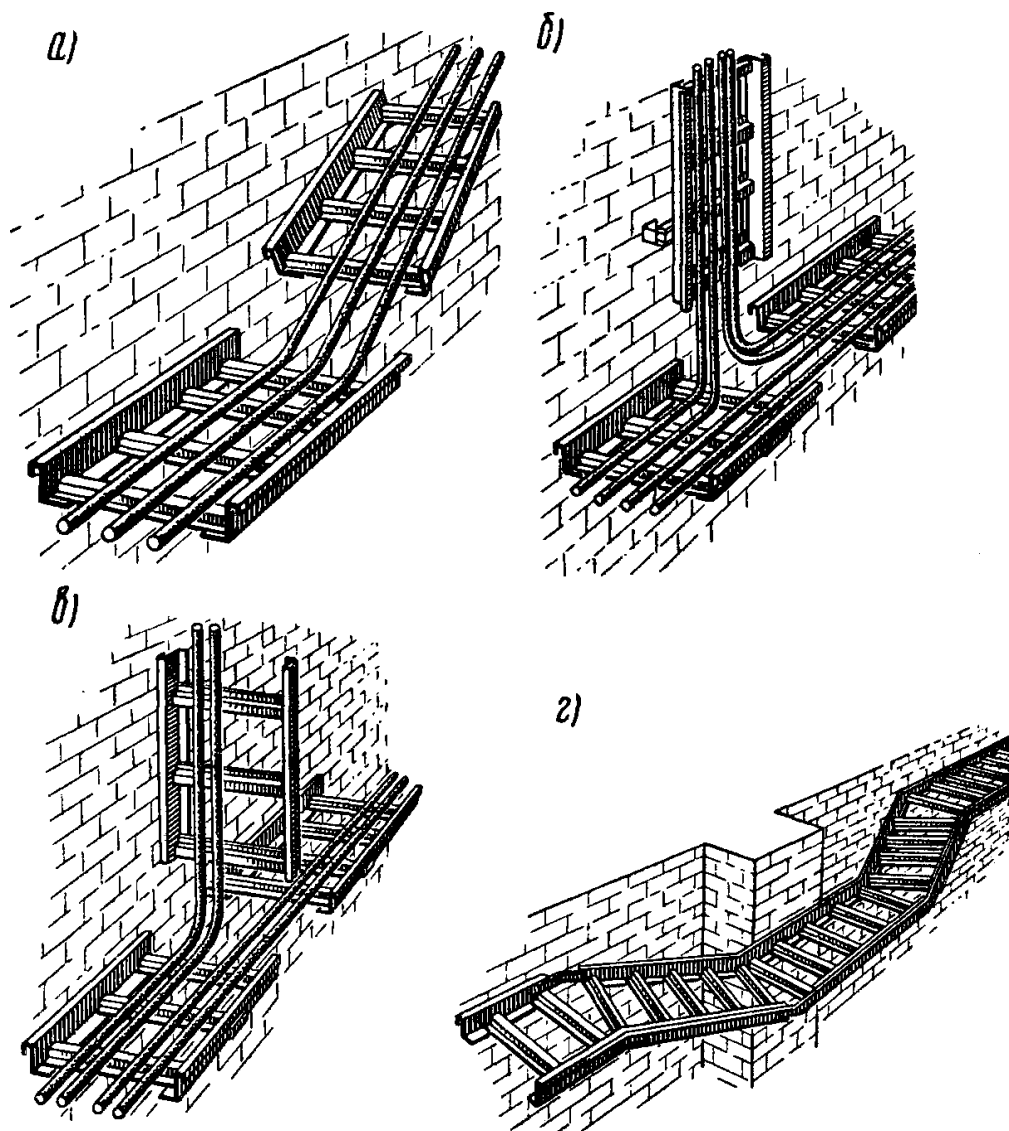


Рис. 2.21. Способы установки лотков: *а* - горизонтально и наклонно по стене; *б* - горизонтально и вертикально плашмя; *в* - горизонтально и вертикально на ребро; *г* - обход выступа

Электропроводки заготавливают в мастерских на основании проекта и предварительных замеров. Длину проводов и кабелей выбирают с учетом особенностей трассы и запаса на ввод в электроприемники и на повторные соединения. После установки лотков производят прокладку проводов с помощью приспособлений в виде роликов или направляющих желобов,

которые расставляют на трассе протягивания проводов или кабелей на расстоянии 10 м

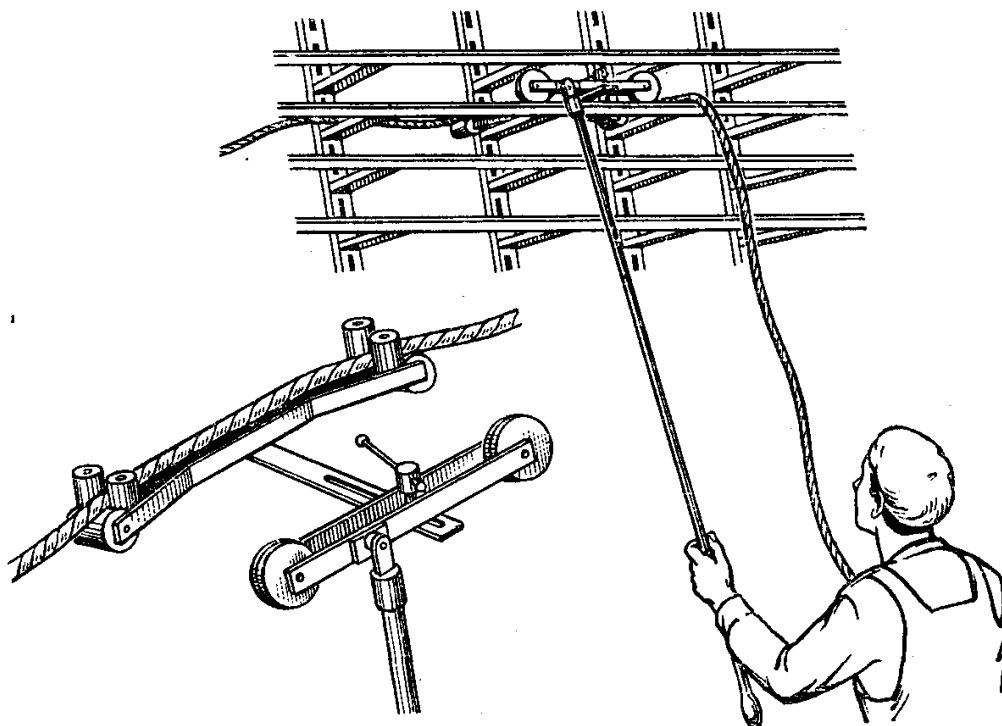


Рис. 2.22. Приспособления для прокладки кабелей в лотках

При открытой прокладке проводов и кабелей, когда необходима защита их от механических повреждений, применяют прокладку проводов и кабелей в коробах. **Коробом** называют закрытую полую конструкцию прямоугольного или другого сечения, предназначенную для прокладки в ней проводов и кабелей.

Короба делают глухими или с открываемыми крышками, со сплошными или перфорированными стенками и крышками. Глухие короба имеют только сплошные стенки со всех сторон без крышек. Они применяются в помещениях и наружных установках.

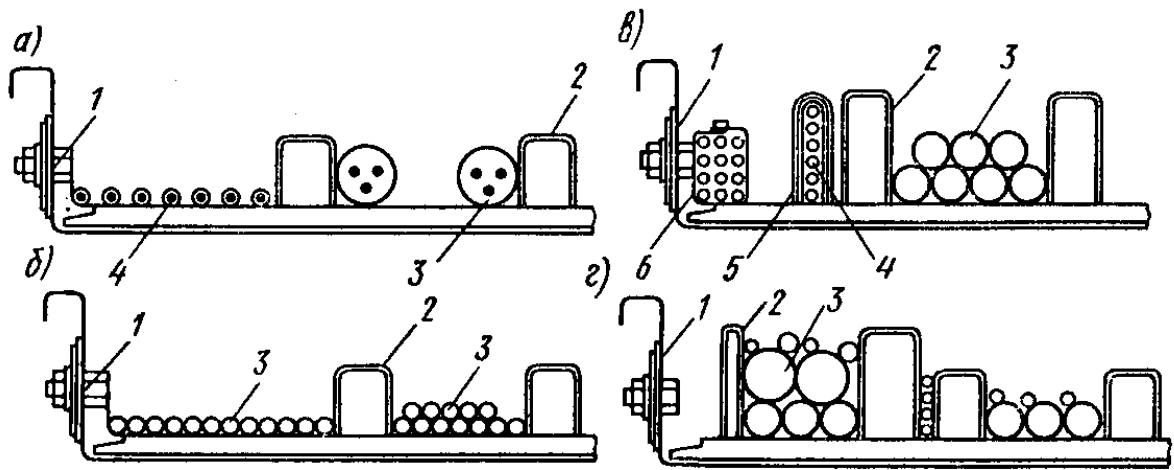


Рис. 2.23. Прокладка проводов и кабелей на лотках: а - рядовая; б - сплошная однослойная и двухслойная; в - пакетами и пучками; г - пучками; 1 - лоток; 2 - разделительная обойма; 3 - кабели; 4 - провода; 5 - прижимная обойма; 6 - охватывающая обойма

Короба изготовляют из листового проката комплектами, включающими в себя секции: прямые, угловые и тройниковые с горизонтальным углом, а также углом вверх и вниз, крестообразные, торцовые крышки, вставки, соединительные скобы, уголки для крепления короба и т.п. (рис. 2.24).

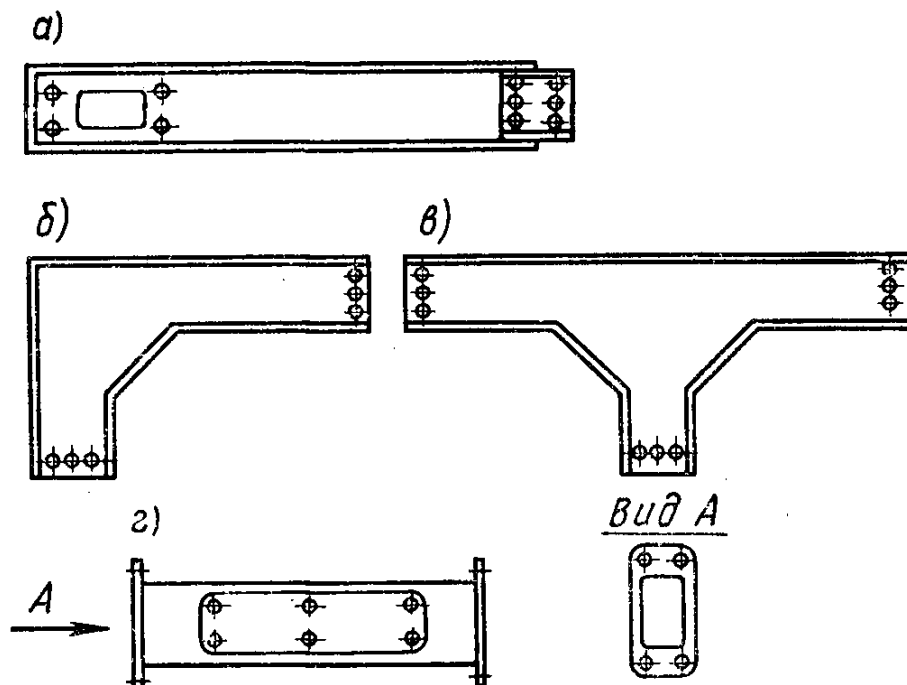


Рис. 2.24. Конструкция коробов: а - прямая секция; б - угловая секция; в - Т-образная секция; г - вставка

В стальных коробах прокладывают провода одной или нескольких осветительных или силовых электросетей одного или нескольких связанных общим технологическим процессом агрегатов, кроме взаиморезервируемых цепей. Они снабжены легко снимаемой перегородкой, разделяющей короб на два канала для размещения проводов и кабелей различных цепей, совместная прокладка которых не допускается. Съемная крышка короба облегчает монтаж, позволяет в процессе эксплуатации легко заменять и прокладывать дополнительно новые провода и кабели.

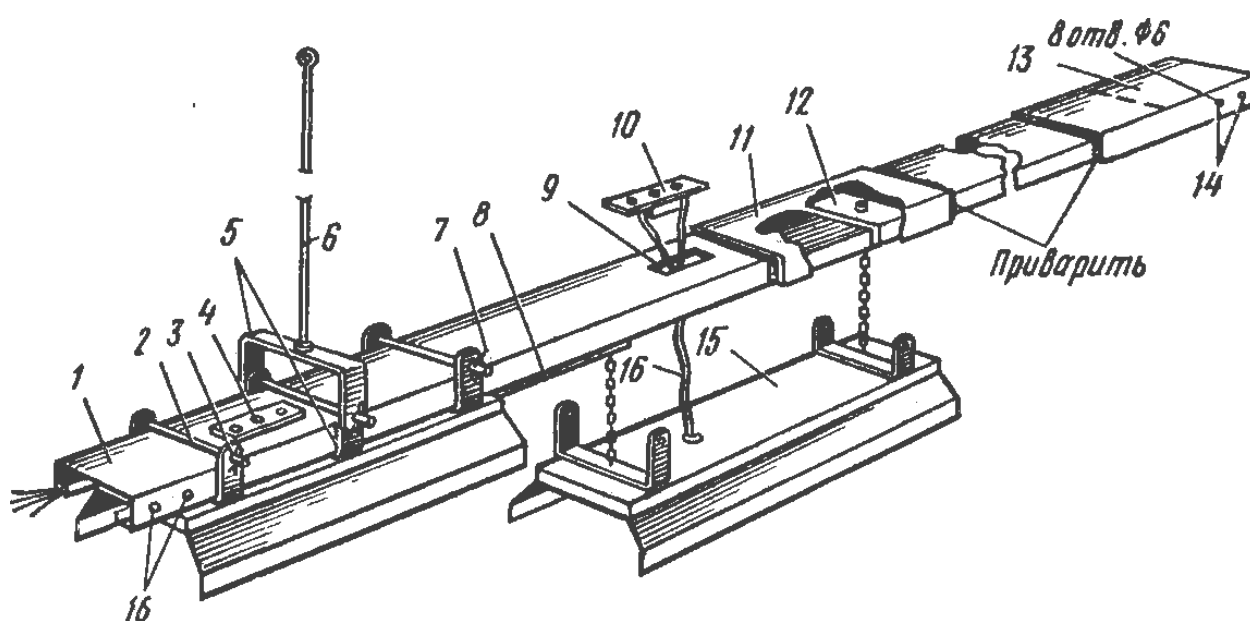


Рис. 2.25. Подвеска светильников на коробе: 1 - секция короба; 2 - шпилька; 3 - скоба для крепления светильника; 4 - крышка монтажного отверстия; 5 - скоба подвески; 6 - подвеска; 7 - шплинт; 8 - крышка; 9 - монтажное отверстие; 10 - малогабаритный сжим; 11 - накладка; 12 - держатель с цепочкой; 13 - соединительная накладка; 14 - отверстия для соединения секций; 15 - светильник; 16 - провод

Собранные короба устанавливают на кронштейнах по стенам или на подвесках, а также на технологическом оборудовании. Причем высота установки короба не нормируется. Расстояние между точками крепления короба должно быть не меньше длины секции. Прямые секции соединяют между собой соединительными скобами с помощью винтов. При соединении прямых секций с угловыми, тройниковыми или крестообразными

соединительные скобы не требуются. Уложенные провода и кабели закрепляют в коробах планками. Провода и кабели в коробах укладывают так же, как и в лотках.

Для надежного заземления коробов и обеспечения непрерывности цепи заземления все элементы коробов в местах сопряжения приваривают электросваркой. В лотках и коробах прокладывают кабели и провода. В сухих и влажных средах прокладывают проволочные АПВ, АПР, в жарких — АПР и АПРТО, в пыльных — АПВ, АПР и АППВ. Проложенные в лотках и коробах провода и кабели на концах и в местах ответвлений маркируют.

В качестве несущей конструкции короба специальной серии применяют для одно- или двухрядной подвески светильников с люминесцентными лампами; в них же прокладывают и провода питающей сети (рис. 2.25).

## 2.9. Монтаж шинопровода

**Шинопроводами (токопроводами)** называют сплошные короба с вмонтированными в них шинами. В цехах промышленных предприятий при напряжении до 1000 В применяют:

- а) открытые шинопроводы — с шинами, не защищенными от прикосновения или попадания на них посторонних предметов;
- б) защищенные шинопроводы — с шинами, огражденными от случайного прикосновения и попадания на них посторонних предметов коробом из перфорированного листа;
- в) закрытые шинопроводы — с шинами, вмонтированными в сплошной короб.

Закрытые и защищенные шинопроводы, как правило, комплектуют из типовых элементов, изготавливаемых на заводах. Открытые шинопроводы выполняют частично в монтажных мастерских (конструкция с изоляторами), частично на месте монтажа (установка конструкций и прокладка по ним шин).

Открытые шинопроводы могут быть свободно лежащими и натяжными. Устройство и монтаж свободно лежащих открытых шинопроводов

принципиально не отличаются от монтажа ошиновки распределительных устройств подстанций.

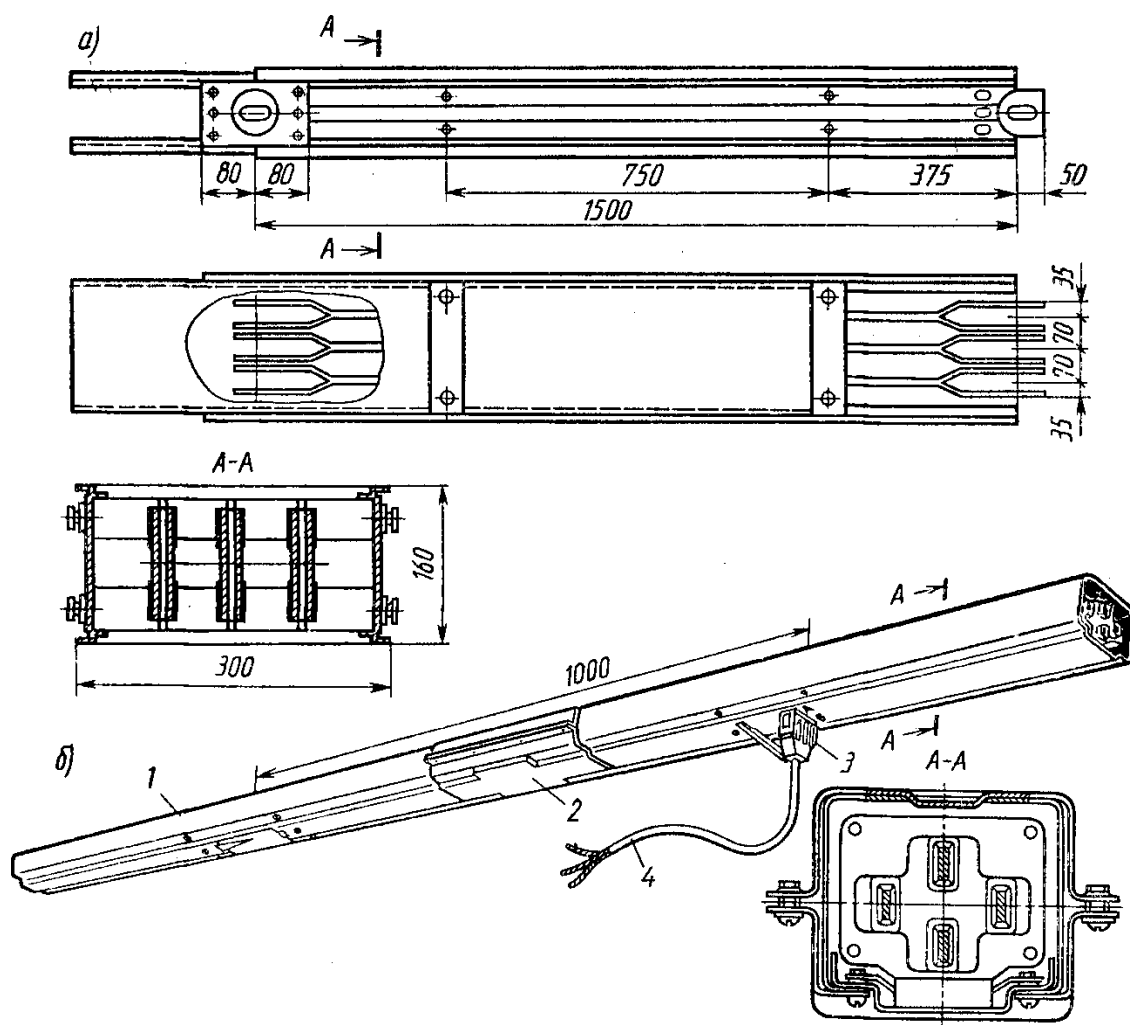


Рис. 2.26. Магистральный шинопровод ШМА-73: *а* - распределительный ШРА-73; *б* - осветительный ШОС-73; 1 - прямая секция; 2 - соединительная муфта; 3 - ответвительный штепсель; 4 - провод к светильнику

В натяжном шинопроводе шины закрепляют аналогично креплению троса при тросовой проводке, а между натяжными креплениями шины укладывают на изоляторы или на клицы. Монтаж открытого шинопровода складывается из работы по подготовке трассы, изготовлению шинопровода в мастерской и установке его в цехе. Соединения и ответвления шин, как правило, выполняют электросваркой; ответвления к потребителям — изолированным проводом в стальных трубах, реже бронированным кабелем — с помощью наконечников на болтовых зажимах.



Закрытые комплектные шинопроводы, применяемые для сооружения цеховых магистральных и распределительных сетей, изготавливают на силу тока 1000, 1600, 2500, 4000 А и напряжение до 1000 В трехфазного тока (магистральные шинопроводы типа ШМА), а также на силу тока 250, 400 и 600 А и напряжение 380/220 В трехфазного тока (распределительные шинопроводы типа ШМА) (рис. 2.26, а).

В комплект шинопровода в зависимости от его схемы входят секции прямые, угловые (с изгибом шин на плоскость и ребро), ответвительные в двух исполнениях (для отпайки шинами и проводом), переходные, подгоночные, регулируемой длины, с рубильником; крышки торцовые, угловые, а также коробки ответвительные и вводные в различном исполнении (с автоматами, предохранителями, с указателем напряжения и др.) Кроме того, в комплекте с шинопроводами поставляют конструкции для установки и крепления шинопроводов (стойки, кронштейны, подвесы).

#### **Закрытые шинопроводы для сетей электрического освещения.**

Применяют также комплектные освещения (осветительные шинопроводы типа ШОС) (рис. 2.26, б) и сооружения троллеев для кранов (троллейные шинопроводы типа ШТМ) соответственно на 25, 63, 100 А и 200, 400 А.

Осветительные шинопроводы обеспечивают полную индустриализацию монтажа осветительных сетей, гибкость, долговечность и взаимозаменяемость элементов, удобства эксплуатации, обусловленные наличием штепсельных разъемов, что допускает замену и ремонт, как секций, так и светильников без отключения всей группы светильников (рис. 2.26,б).

При современном состоянии организации и техники монтажа секции шинопроводов в мастерских собирают в укрупненные блоки, которые затем монтируют в цехах строящихся предприятий (рис. 2.27).

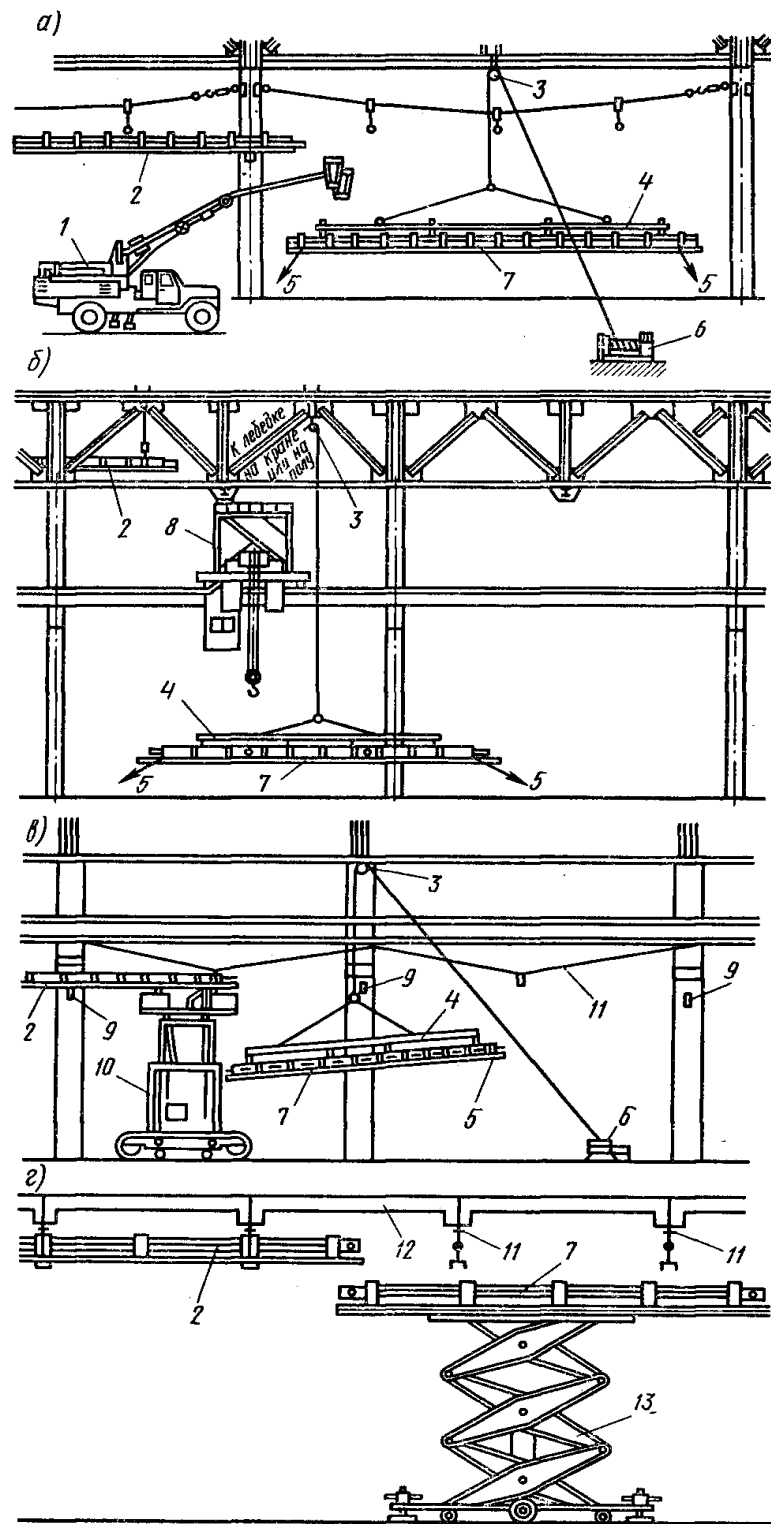


Рис. 2.27. Монтаж магистральных шинопроводов: а - с автогидроподъемника; б - с мостового крана; в - с самоходных выдвижных подмостей; г - с гидравлической платформы; 1 - автогидроподъемник; 2 - смонтированный шинопровод; 3 - монтажный ролик; 4 - траверса для подъема блоков шинопроводов; 5 - веревочные оттяжки; 6 - лебедка; 7 - блок шинопровода; 8 - монтажная площадка на мостовом кране; 9 - кронштейн; 10 - самоходные подмости; 11 - тросовая подвеска; 12 - перекрытия; 13 - гидравлическая платформа

Монтаж шинопроводов на строительной площадке сводится к их сборке и установке. Шинопроводы крепят на фермах, колоннах, стенах с помощью кронштейнов или подвесок, а также на полу на специальных стойках (преимущественно распределительные закрытые шинопроводы). Секции шинопроводов предварительно собирают в блоки из трех и четырех секций, а затем устанавливают на опорные конструкции. Секции шинопровода соединяют между собой болтами или сваркой, которой отдают предпочтение как наиболее прогрессивному способу. К корпусу шинопровода приваривают заземляющие перемычки для создания непрерывной сети заземления. Такими же перемычками короб присоединяют к цеховой сети защитного заземления. Общий вид расположения шинопроводов в цехе показан на рис. 2.28.

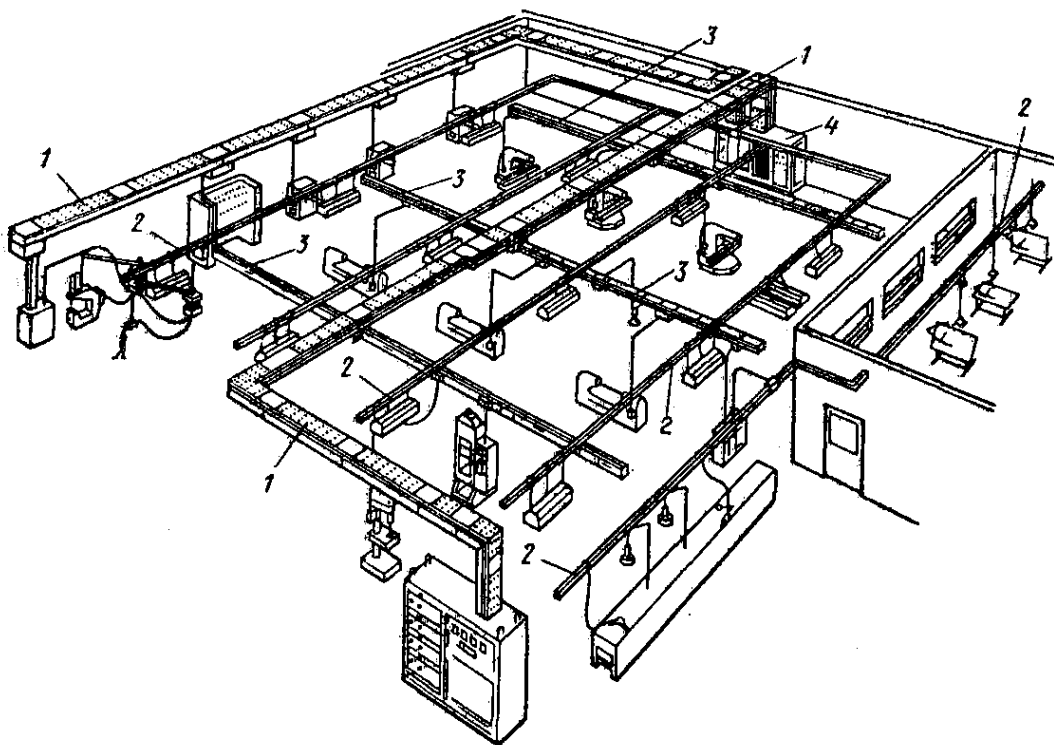


Рис. 2.28. Общий вид расположения шинопроводов в цехе: 1 - магистральные шинопроводы; 2 - осветительные; 3 - распределительные; 4 - комплектная трансформаторная подстанция

### 2.10. Монтаж проводок во взрывоопасной среде

В соответствии с ПУЭ взрывоопасные зоны классифицируются на классы в зависимости от взрывоопасной окружающей среды.

Во взрывоопасных зонах всех классов применяют кабели сополивинилхлоридной, резиновой и бумажной изоляцией в поливинилхлоридной, резиновой и свинцовой оболочках и провода с поливинилхлоридной и резиновой изоляцией в водогазопроводных трубах. Применение кабелей и проводов с полиэтиленовой изоляцией и кабелей в полиэтиленовой оболочке во взрывоопасных зонах всех классов запрещается.

Во взрывоопасных зонах классов В-1 и В-1а применяют кабели, и провода только с медными жилами; в зонах классов В-1 б, В-1 г, В-1 а и В-11 — кабели и провода с алюминиевыми жилами и кабели в алюминиевой оболочке. Во взрывоопасных зонах всех классов не применяют неизолированные (голые) проводники, в том числе токоподводы к кранам, электроталям и т. п.

Наименьшие допустимые сечения кабелей и проводов с медными и алюминиевыми жилами для взрывоопасных зон соответствующих классов принимают в соответствии с ПУЭ. Способы соединений жил и кабелей производят в соответствии с действующими монтажными инструкциями.

Жилы проводов и кабелей не соединяют винтовыми и болтовыми зажимами с давлением на жилу торцом винта или болта без прокладки или башмака, сжимами с винтами менее М4, резьбовыми конусными соединителями, голыми соединительными сжимами, даже если они после соединения покрываются изоляцией, припоями с температурой плавления менее 200 °С. Способы прокладки проводов и кабелей выбирают исходя из рекомендаций ПУЭ. В силовых сетях напряжением до 1000 В в качестве зануляющих или заземляющих применяют специальную четвертую жилу кабеля или провода.

В целях надежного уплотнения вводов в электрооборудование и соединительные коробки применяют трех- и четырехжильные провода и кабели, имеющие в сечении только круглую форму. В осветительных сетях могут применяться двухжильные кабели, имеющие в сечении плоскую форму.

Во взрывоопасных зонах всех классов при монтаже силовых и осветительных сетей при отсутствии опасности механических повреждений или химических воздействий следует применять открытую прокладку кабелей

преимущественно марок ВВВ, ВВБГ, ВВБШв, ВВББГ, ВРБГ, СБГ, СБн, КРПС, КРПСИ, КРПГ.

Кабели прокладывают открыто по металлическим кабельным конструкциям, сварным и перфорированным лоткам, в коробах, по штукатурке, бетону, кирпичу, металлическим и другим строительным основаниям с креплением скобами или клицами, при этом поверхности не должны иметь острых кромок. Основные трассы кабелей располагают на высоте не менее 2 м от уровня пола или площадки- обслуживания.

Рекомендуется лотки располагать на высоте 2,5—4 м. В электротехнических помещениях высота расположения лотков не нормируется. Трассы выбирают такими, чтобы избежать возможности попадания химически активных продуктов из технологических трубопроводов на лотки и проложенные по ним кабели, прокладываемые вплотную друг к другу без зазора.

При спусках и подводах кабелей к электрооборудованию независимо от высоты прокладки устройство дополнительных мероприятий по защите их от механических воздействий не требуется, за исключением случаев, когда создается возможность повреждения кабеля движущимися транспортными средствами. Отрезок кабеля от пускателя к двигателю крепят скобой к перфорированной рейке с закладными гайками, установленной между стойками, при этом расстояние от сальника пускателя до скобы крепления должно быть не более 350 мм.

В зонах классов В-1, В-1 а, В-11 и В-Па проходы открыто проложенных одиночных кабелей сквозь стены, перекрытия выполняют через заделанные в них отрезки труб с уплотнением конца трубы трубным сальником. При переходе кабелей в смежное взрывоопасное помещение трубные сальники устанавливают со стороны взрывоопасного помещения более высокого класса, а при одинаковых классах помещений — со стороны помещения, содержащего взрывоопасные смеси более высокой категории и группы. Для помещений класса В-1 трубные сальники устанавливаются по обе стороны, прохода. При

проходе кабелей через перекрытия отрезки труб выпускают из пола на 150—200 мм. Проходы кабелей через стены во взрывоопасных помещениях выполняют так, как это показано на рис. 2.29.

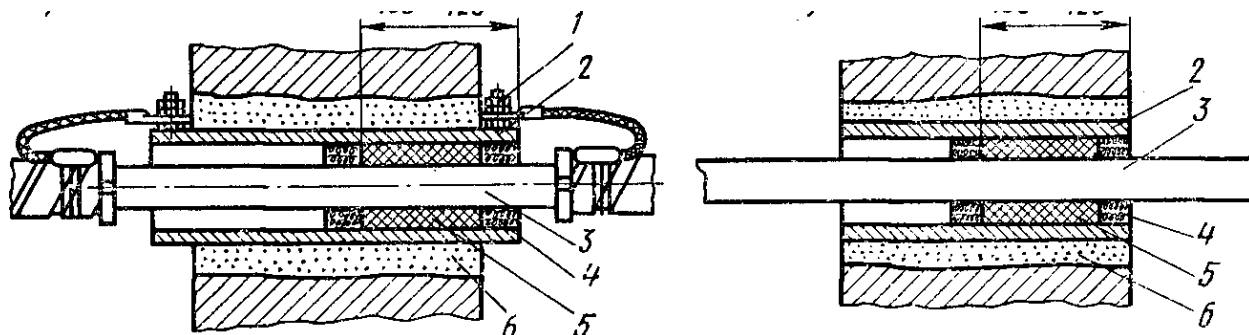


Рис. 2.29. Проходы одиночных кабелей сквозь внутренние стены зон классов В-I, В-1а: а - уплотнение составом УС-65 бронированных кабелей без наружного поливинилхлоридного покрова; б - уплотнение составом УС-65 небронированных и бронированных кабелей с поливинилхлоридным покрытием; 1 - болт заземления брони кабеля; 2 - отрезок трубы; 3 - кабель; 4 - набивка из асбестового шнура; 5 - уплотнительный состав УС-65; 6 - цементный раствор

Ввод кабеля марки ВБВ выполняют только в вводные коробки электродвигателей и вводные устройства аппаратов, имеющих на вводах резиновые (.или другие) уплотнительные кольца. При вводах кабелей резиновые уплотнительные кольца надевают на наружные оболочки кабелей.

При необходимости защитить провода и кабели от механических или химических воздействий их заключают в стальные водогазопроводные трубы. Не применяют для этого тонкостенные и некондиционные водогазопроводные трубы. При этом трубы неоцинкованные очищают от ржавчины и покрывают внутри и снаружи краской.

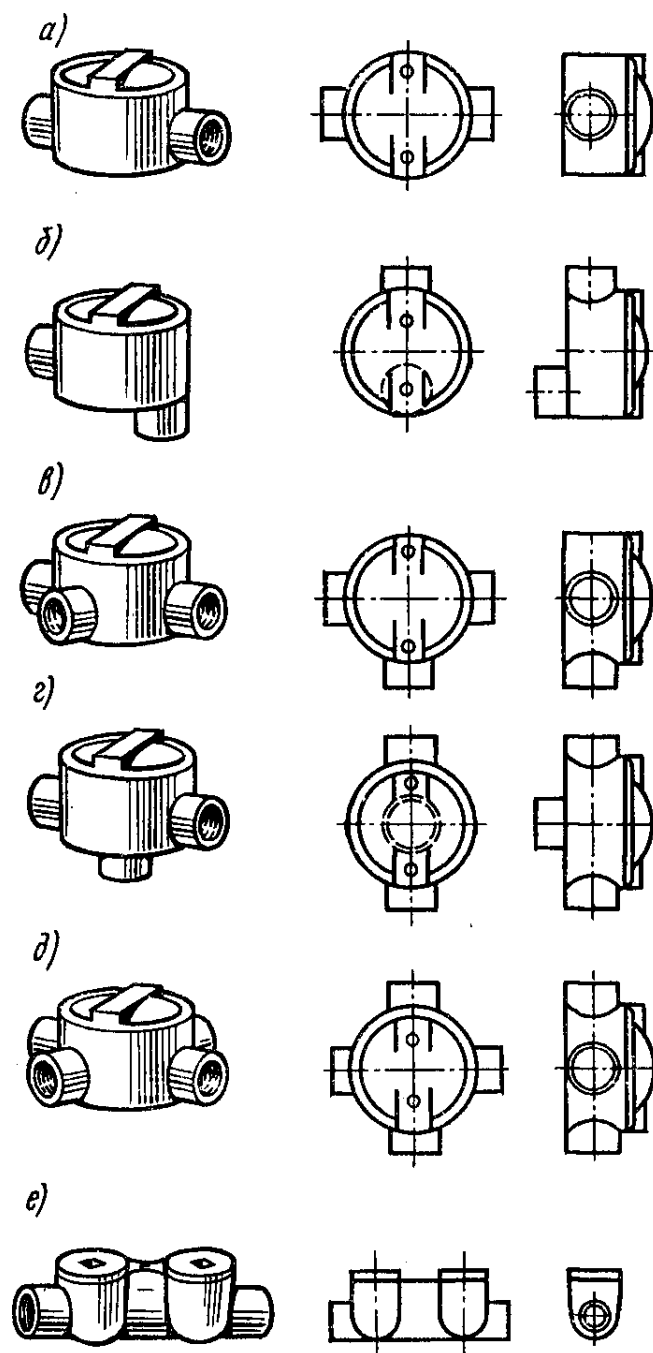


Рис. 2.30. Чугунные взрывозащищенные коробки серии В: а - проходная прямая (КПП); б - проходная через дно (КПД); в - тройниковая ответвительная (КТО); г - тройниковая с ответвлением в дно (КТД); д - крестовая осветительная (ККО); е - проходная разделительная для локальных испытаний (КПЛ)

При прокладке в химически активной среде краска должна быть стойкой к химическому воздействию. При скрытой прокладке трубы снаружи окрашивать не следует. Для соединений, ответвлений и протягивания проводов и кабелей в стальных трубах применяют чугунные взрывозащищенные коробки серии В (фитинги) (рис. 2.30).

Во взрывоопасных зонах стальные трубы в бетонируемых полах заглубляют не менее чем на 20 мм от поверхности пола. Длина открыто прокладываемых трубопроводов должна быть максимально сокращена, например, для осветительных сетей за счет переноса сети от стен здания на линию расположения светильников (рис. 2.31). Во избежание скопления взрывоопасной пыли на трубах и конструкциях в помещениях классов В-11 и В-1, а трубы прокладывают в один слой с просветами между ними, а также между трубами и стеной не менее чем 20 мм; конструкции для крепления труб применяют с малыми горизонтальными поверхностями.

Электротехнические трубопроводы располагают ниже технологических трубопроводов, несущих горючие пары и газы, имеющие плотность менее 0,8 относительно плотности воздуха, и выше технологических трубопроводов, несущих пары и газы плотностью более 0,8 относительно плотности воздуха. При прокладке по эстакадам установок класса В-1 г электротехнические трубопроводы прокладывают на стороне эстакады, свободной от технологических трубопроводов. В сырых помещениях трубопроводы прокладывают с уклоном в сторону соединительных и протяжных коробок, а в особо сырых помещениях и снаружи — в сторону специальных водосборных трубок. В сухих и влажных помещениях уклон делают в сторону коробок только там, где может образоваться конденсат.

Отдельные трубы, выходящие из взрывоопасных помещений, заделывают в местах прохода сквозь стены, полы и междуэтажные перекрытия цементным раствором или другими несгораемыми материалами по всей толщине стены или перекрытия так, чтобы газы, пары или пыль через щели и зазоры не проникали в соседние помещения.



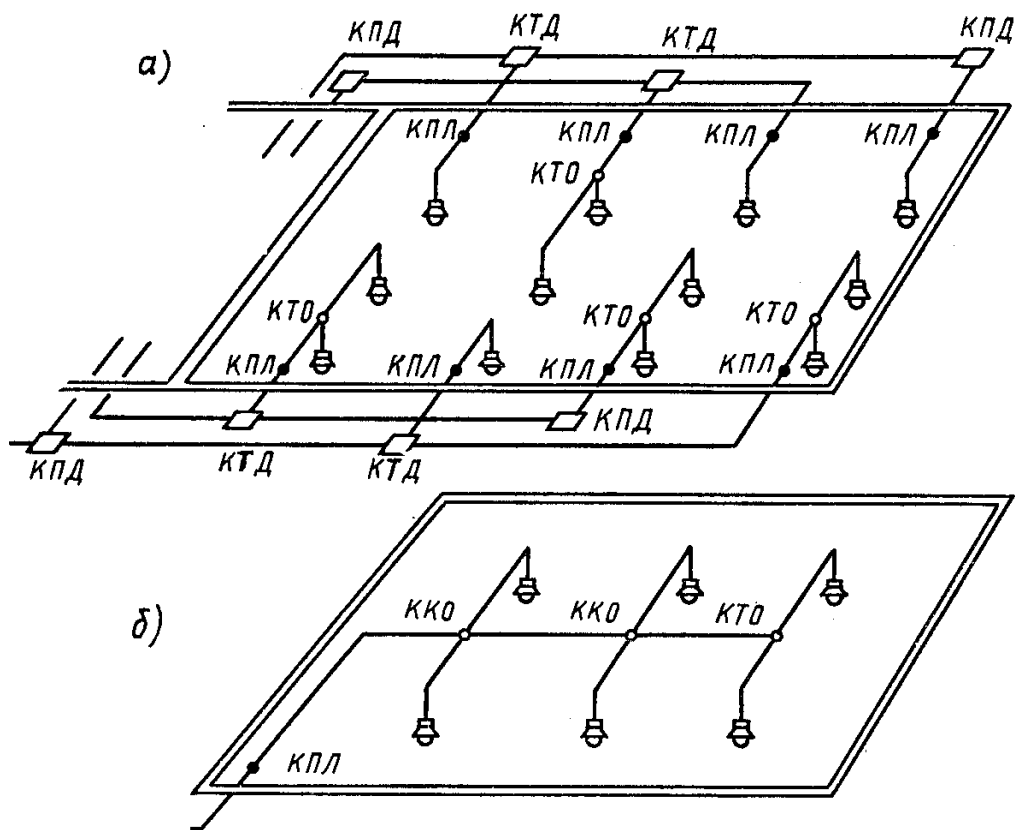


Рис. 2.31. Разводка трубопроводов осветительной сети в помещениях со взрывоопасными зонами: а - класса В-1; б - классов В-1а, В-16, В-11 и В-11 а (установка коробок КПЛ только в зоне класса В-1а)

В случае прохода через стену нескольких труб применяют стальные патрубки, приваренные к металлическим рамам (рис. 2.32), с навернутыми на один конец каждого патрубка коробками с разделительным уплотнением. Трубы между собой, а также с фитингами, коробками, ящиками, с вводной арматурой машин, кожухами аппаратов, светильниками (рис. 2.33) соединяют на резьбе с подмоткой пеньковой пряжи, пропитанной олифой или тертыми на масле красками (железным суриком, белилами), или ленты ФУМ. Подчеканка резьбовых соединений не допускается.

При соединении труб сгонами с муфтой или футорками устанавливают контргайки, а резьбу покрывают масляной краской так, чтобы исключить самоотвертывание от вибрации или сотрясений.

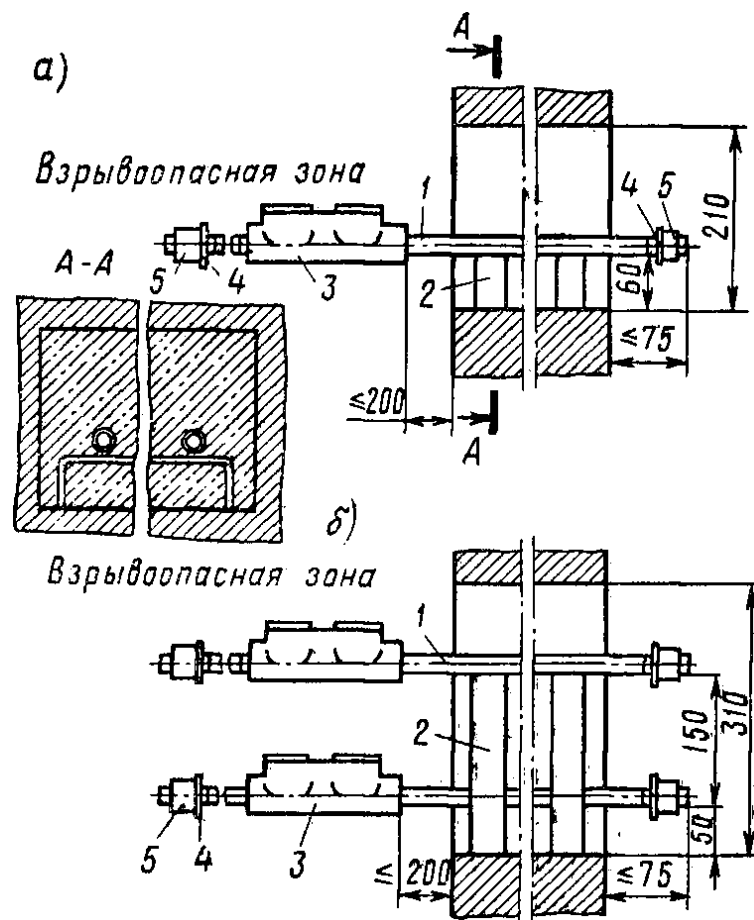


Рис. 2.32. Металлические рамы с отрезками труб и коробками КПЛ:  
*а* - для одного ряда труб; *б* - для двух рядов труб; 1 - отрезок трубы; 2 - рама из стальных полос; 3 - коробка КПЛ; 4 - контргайка; 5 - муфта

Места присоединения трубопроводов к машинам, аппаратам и светильникам должны допускать возможность замены машин, аппаратов и других устройств без демонтажа трубной прокладки. При необходимости эти присоединения делают на сгонах с контргайками. Вводы проводов и кабелей в корпуса или кожухи машин, аппаратов, светильников и других делают совместно с трубами или их переходными арматурами в виде трубчатых или коробчатых оконцевателей.

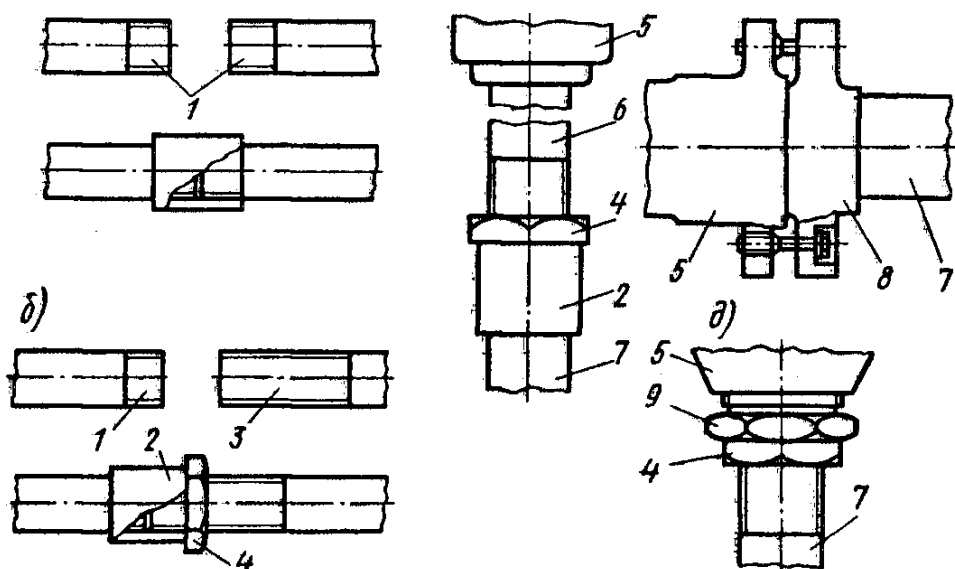


Рис. 2.33. Схемы неразъемных (а) и разъемных (б) соединений стальных трубопроводов между собой и с электрооборудованием с применением стандартного сгона (в), нажимной муфты (з) и сальниковых втулок (д):  
 1- короткая резьба; 2 - муфта; 3 - длинная резьба; 4 - контргайка; 5 - вводное устройство; 6 - стандартный сгон; 7 - трубопровод; 8 - нажимная муфта;  
 9 - уплотнительная резьбовая сальниковая гайка

Для отделения объема вводных устройств взрывозащищенных электрических машин, аппаратов, светильников, а также для предотвращения перехода взрывоопасной смеси из одного помещения в другое или наружу на трубопроводах во взрывоопасных помещениях устанавливают разделительные уплотнительные коробки КПП или КПЛ, предусматривающие возможность локальных испытаний, заполняемые уплотняющими замазками и мастиками.

Такие уплотнения устанавливают в местах перехода трубопроводов из взрывоопасных помещений высших классов во взрывоопасные помещения низших классов (например, из помещения класса В-1 в помещение класса В-1а); в местах перехода трубопроводов из одних взрывоопасных помещений в другие, если они содержат взрывоопасные смеси других категорий или групп; в местах перехода из помещений взрывоопасных в невзрывоопасные или наружу; в помещениях классов В-1, В-1а, В-11 и В-11а при вводе труб в вводные устройства электрических машин, аппаратов, коробок с наборными зажимами,

если вводные устройства или патрубки их не уплотнены или уплотнены недостаточно.

Разделительные уплотнения устанавливают в помещениях высшей категории в непосредственной близости от места выхода трубы из стены. При вводе проводов в стальных трубах в светильники, имеющие резиновые уплотнительные прокладки, разделительные уплотнения в виде специальных фитингов не устанавливают. В этом случае каждый проводник пропускают через отдельное отверстие в уплотнительной прокладке. В качестве уплотнителя применяют состав УС-65. Трубы с условным проходом больше 50 мм с кабелями можно уплотнять набивкой в трубу кабельного джута или асбестового шнура на глубину 100...120 мм с последующим заполнением уплотнительным составом УС-65 и набивкой сверху кабельного жгута или асбестового шнура (рис. 2.34).

Во взрывоопасных зонах любого класса заземляют (зануляют) электроустановки всех напряжений переменного и постоянного тока; при установке электрооборудования на металлических конструкциях заземляющие и нулевые защитные проводники присоединяют непосредственно к корпусам электрооборудования — к заземляющему зажиму на корпусе или к заземляющему (нулевому) зажиму в вводном устройстве; в качестве нулевых защитных (заземляющих) проводников используют только специально предназначенные для этого проводники. Использование для этого конструкций зданий, стальных труб электропроводок, металлических оболочек и брони кабелей допускается только как дополнительное мероприятие.

Отдельно проложенные проводники заземления в местах прохода сквозь стены, полы, потолки и фундаментные плиты помещений с взрывоопасными зонами прокладывают в отрезках асбоцементных, стальных труб или в проемах. Отверстия в трубах и проемах должны быть тщательно заделаны с обеих сторон легко пробиваемым негорючим материалом. Соединение заземляющих проводников внутри труб и проемов запрещается.

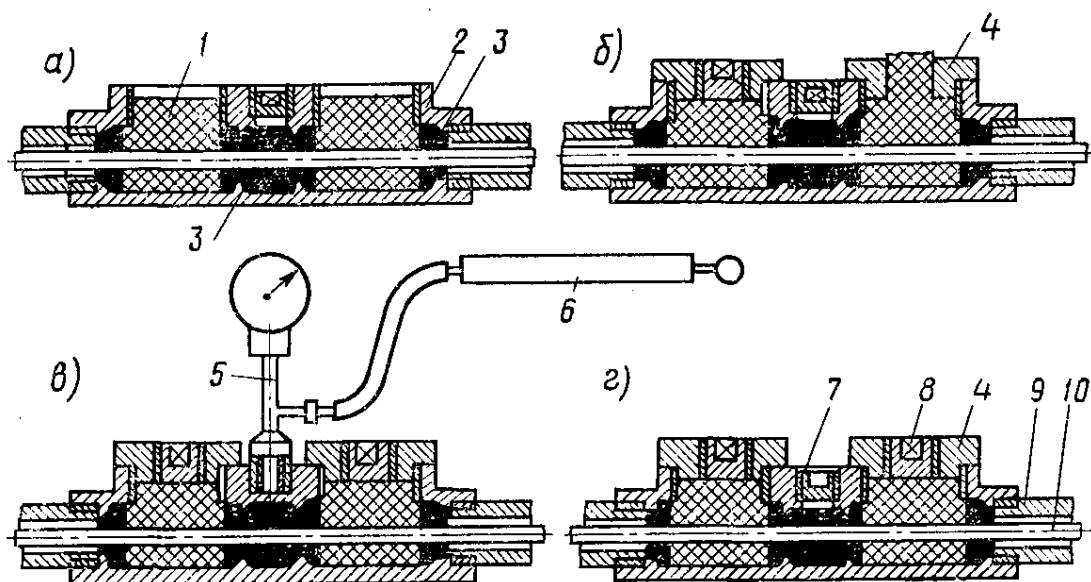


Рис. 2.34. Разделительное уплотнение в коробке КПЛ: а, б, в, г - процессы монтажа и испытания уплотнительного разделения; 1 - уплотнительный состав УС-65; 2 - корпус; 3 - набивка из асбестового шнура; 4 - крышка; 5 - приспособление для испытания разделительных уплотнений в коробках КПЛ; 6 - насос; 7,8 - пробки; 9 - трубопровод; 10 - кабель или провод

Лотки и кабельные конструкции для кабелей всех напряжений заземляют. Секции лотков и металлические полосы для прокладки кабелей должны иметь непрерывность цепи заземления и присоединяться к магистрали заземления в начале и конце линии.

Стальные трубы заземляют с обоих концов. Трубы, не имеющие соединений, могут быть заземлены в одном месте. Стальные трубы при присоединении их резьбой к электроприемникам, имеющим металлические вводные устройства, не требуют дополнительного заземления с этого конца, так как заземление осуществляется через нажимную муфту вводного устройства.

Непрерывность цепи заземления стальных труб осуществляется при неразъемном соединении навертыванием муфты на короткую резьбу до упора одной трубы и ввертыванием до упора второй трубы в муфту; при разъемном соединении — навертыванием на длинную резьбу одной трубы контргайки и муфты, навертыванием муфты на короткую резьбу второй трубы до упора и закреплением муфты контргайкой. Соединение труб с вводными устройствами коробок, аппаратов и других электроприемников осуществляется ввертыванием

труб с короткой резьбой до упора. Все резьбовые соединения выполняют с подмоткой на резьбу ленты ФУМ или пенькового волокна, пропитанного в разведенном олифой сурике. Приварка муфт к трубам, а также установка у муфт и коробок заземляющих перемычек на соединениях труб запрещается.

Металлоконструкции, на которых устанавливают электрооборудование, заземленное 'специальной дополнительной жилой, не заземляют. Металлические трубы, короба, угловую сталь, применяемые для механической защиты кабелей, заземляют аналогично заземлению в невзрывоопасных зонах.

Заземление тросов, катанки или стальной проволоки тросовых проводок выполняют с двух противоположных концов присоединением сваркой к магистрали заземления. Допускается выполнять болтовое присоединение с защитой места контакта от коррозии.

Броню и металлическую оболочку кабелей любого напряжения в силовых и осветительных сетях заземляют с обоих концов. На конце кабелей при вводе в аппараты, имеющие вводные устройства из пластмассы, броню и металлическую оболочку допускается не заземлять или при возможности присоединять к проводнику магистрали заземления.

В осветительных сетях, выполненных кабелем в металлической оболочке, непрерывность цепи заземления оболочек у ответвительных коробок обеспечивается припайкой концов гибких медных проводников к оболочкам и соединением других концов между собой опрессованием, сваркой или пайкой.

При подводе к электродвигателям и аппаратам бронированных кабелей с пластмассовой оболочкой трубы не доводят на 100 мм до вводных устройств, имея в виду присоединение их к наружному зажиму заземления на вводном устройстве. Заземление конца трубы осуществляется гибким стальным тросом, приваренным к флажковому наконечнику, который закрепляют на конце трубы между контргайками на резьбе и к зажиму заземления на корпусе электродвигателя или аппарата. При необходимости на трубе устанавливают третью контргайку для предотвращения ослабления контакта наконечника с трубой.

## 2.11. Монтаж наружной проводки, проводки на чердаках и вводов в здания

К наружным проводкам относят проводки, исполненные изолированными проводами, проложенными по наружным стенам зданий и сооружений, между зданиями, под навесами, а также на отдельных опорах с тремя-четырьмя пролетами до 25 м каждый вне улиц и дорог. Провода прокладывают на высоте не менее 2,75 м от поверхности земли. При пересечении пешеходных дорожек это расстояние принимают не менее 3,5 м, а при пересечении пожарных проездов и путей для перевозки грузов - не менее 6 м.

Незащищенные изолированные провода наружной электропроводки располагают или ограждают таким образом, чтобы они были недоступны для прикосновения с мест, где возможно частое пребывание людей (например, балкон, крыльцо).

От указанных мест эти провода открыто по стенам прокладывают на расстоянии не менее, м:

При горизонтальной прокладке:

под балконом, крыльцом, под крышей промышленного здания.....	2,5
над окном.....	0,5
под балконом.....	1,0
под окном (от подоконника).....	1,0
При вертикальной прокладке до окна.....	0,75
То же, до балкона.....	1,0
От земли.....	2,75

При подвеске проводов на опорах около зданий расстояние от проводов до балконов и окон принимают не менее 1,5 м при максимальном отклонении проводов. Наружную электропроводку по крышам жилых, общественных зданий и зрелищных предприятий не делают, за исключением вводов в здания (предприятия) и ответвлений к этим вводам. Незащищенные изолированные провода наружной электропроводки при прикосновении следует рассматривать как неизолированные.

Провода прокладывают на изоляторах, укрепленных на крюках, скобах или штырях. При пролете до 6 м расстояние между проводами принимают не менее 100 мм, а при больших пролетах - не менее 150 мм. Расстояние от опорных поверхностей или конструкций принимают не менее 50 мм. При пересечении с водосточными трубами на расстоянии 300...400 мм от них провода заключают в трубы или их прокладывают, скрыто в борозде с заделкой каждого провода в отдельную изоляционную трубу, оконцованную фарфоровой воронкой. Выходные отверстия у воронок должны выступать из стен и быть направлены вниз.

Под навесами и в других местах, где исключена возможность непосредственного попадания на проводку дождя и снега, изолированные провода прокладывают на роликах больших размеров. Ввод проводов в здания выполняют через стену, а в одноэтажных зданиях при недостаточной их высоте — через крышу. При вводе проводов в здания со столбов воздушных линий, а также при переходах проводов от одного здания к другому и в иных конечных точках провода закрепляют на изоляторах «заглушками».

Для ввода в здания нескольких проводов через каменные стены пробивают общее отверстие, а в деревянных сверлят отверстия для каждого провода. В обоих случаях каждый провод заключают в отдельную изоляционную трубку, которую оконцовывают вне здания воронкой, отверстием вниз, а внутри — втулкой. Выходные отверстия воронок и втулок заливают изоляционной массой. Провода, проходящие через стены, соединяют скруткой с проводами, закрепленными на изоляторах заглушками. Расстояние от установленных на стенах зданий изоляторов ввода до поверхности земли должно быть не менее 2,75 м. Расстояние между проводами ввода и от них до карнизов и свесов крыши должно быть не менее 200 мм.

Вводы в здания через крышу выполняют в стальной трубе (стойке), на которой укрепляют концевые изоляторы (см. рис. 2.1). Трубу изгибают на 180° отверстием вниз во избежание попадания в нее влаги. При необходимости



стойку раскрепляют на растяжках. Расстояние от изоляторов ввода до крыши должно быть не менее 2,5 м.

Вне зданий изолированные провода прокладывают в трубах, а кабели с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с защитной оболочкой — открыто. На коротких участках, например к номерным фонарям у домов, по наружным стенам зданий выполняют скрытую прокладку плоскими проводами. В промышленных и жилищно-гражданских зданиях электропроводки выполняют иногда по чердачным помещениям. Учитывая сложную эксплуатацию электропроводок на чердаках - недостаточный надзор, повышенную пожарную опасность, пыльную среду, неотапливаемость помещений, к ним предъявляются повышенные требования.

Чердачным помещением называют такое непроизводственное помещение над верхним этажом здания, потолком которого является крыша здания и которое имеет несущие конструкции (кровлю, фермы, стропила) из сгораемых материалов. Аналогичные помещения, конструкции которых выполнены из негоряемых материалов, не рассматриваются как чердачные помещения.

На чердаках прокладывают лишь электропроводки, относящиеся к вводам в здания, и магистрали, а также ответвления к электроприемникам, установленным непосредственно на чердаках. Ответвления к приемникам, установленным вне чердаков, допускают только при условии прокладки их в стальных трубах или скрыто и негоряемых стенах и перекрытиях. Соединительные и ответвительные коробки применяют только металлические.

В чердачных помещениях применяют открытые электропроводки проводом или кабелем, проложенным в трубах, или защищенные провода и кабели в негоряемых или трудногоряемых оболочках, прокладывая их на любой высоте. Незащищенные изолированные одножильные провода на роликах или изоляторах прокладывают на высоте не менее 2,5 м; при высоте до проводов менее 2,5 м их защищают от прикосновения или механических повреждений. При этом в чердачных помещениях производственных зданий проводку

выполняют только на изоляторах. Скрытую проводку выполняют только в стенах или перекрытиях из негорючих материалов.

Открытые электропроводки в чердачных помещениях выполняют проводами и кабелями с медными жилами. Провода и кабели с алюминиевыми жилами применяют в чердачных помещениях зданий с негорючими перекрытиями - при открытой прокладке их в стальных трубах или скрытой прокладке в негорючих стенах и перекрытиях.

Соединение и ответвление медных или алюминиевых жил проводов и кабелей в чердачных помещениях осуществляют в металлических соединительных (ответвительных) коробках сваркой» опрессовкой или с применением сжимов, соответствующих материалу, сечению и количеству жил.

## 2.12. Монтаж защитного заземления

Под *заземлением* (любой части электроустановки) понимают преднамеренное электрическое соединение с заземляющим устройством, состоящим из заземлителя и заземляющих проводников. Заземлители подразделяют на естественные и искусственные. В качестве *естественных заземлителей* используют проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы (кроме трубопроводов с горючими или взрывоопасными газами и жидкостями), металлические конструкции зданий и сооружений, имеющие соединение с землей, свинцовые оболочки кабелей и т. п. В качестве искусственных заземлителей применяют отрезки стальных труб с толщиной стенок не менее 2,5...3,5 мм, круглой стали диаметром не менее 6 мм и металлические пластины.

В соответствии с требованием ПУЭ во всех электроустановках напряжением до 1000 В и выше для обеспечения безопасности людей к заземляющим устройствам присоединяют корпуса электрооборудования и отдельные элементы электроустановок, не находящиеся под напряжением. Кроме того, устройство заземления необходимо для обеспечения определенного режима работы электрических установок в нормальных и

аварийных условиях. В этом случае к заземляющим устройствам подключают токоведущие части электроустановок. Цель **защитного заземления** — уменьшение напряжения на заземленном оборудовании в момент прохождения тока замыкания на землю, а также выравнивания напряжения в зоне растекания тока и уменьшения напряжения прикосновения и шага, что служит защитой от поражения электрическим током.

Совокупность заземлителя и заземляющих проводников составляет заземляющее устройство, которое включает в себя заземлители — проводник (электрод) или группу электрически соединенных между собой проводников (электродов), располагаемых в земле или имеющих назначение создать электрическое соединение с землей; заземляющие проводники — проводники, соединяющие заземляемые части аппаратуры с заземлителями; магистраль заземления - проводник, электрически объединяющий заземляющие проводники.

Под сопротивлением заземляющего устройства понимается сопротивление заземляющих проводов вместе с сопротивлением растеканию заземлителя, т. е. сопротивление прохождению электрического тока через заземлители зависит от качества и состояния грунта, в котором находится заземлитель, типа заземлителя, глубины его заложения и взаимного расположения заземлителей. Качество грунта с точки зрения его электрической проводимости определяется значением удельного электрического сопротивления, которое для некоторых грунтов в зависимости от их физического состояния находится в широких пределах (торф, речная вода, скальные грунты таким колебаниям не подвержены). В грунтах с большим удельным сопротивлением прибегают к специальным мерам, чтобы уменьшить его значения (вводят в грунт соли, влагу и др.).

При монтаже наружного контура заземляющего устройства в соответствии с проектом роют траншею глубиной 0,5...0,7 м от планировочной отметки земли для забивки заземлителей и прокладки заземляющих проводников. Затем забивают вертикальные заземлители так, чтобы верхние их концы выступали из

земли от дна траншеи на 200 мм. После этого в траншее укладывают заземляющие проводники с минимальным сечением  $48 \text{ мм}^2$  и приваривают их к вертикальным заземлителям.

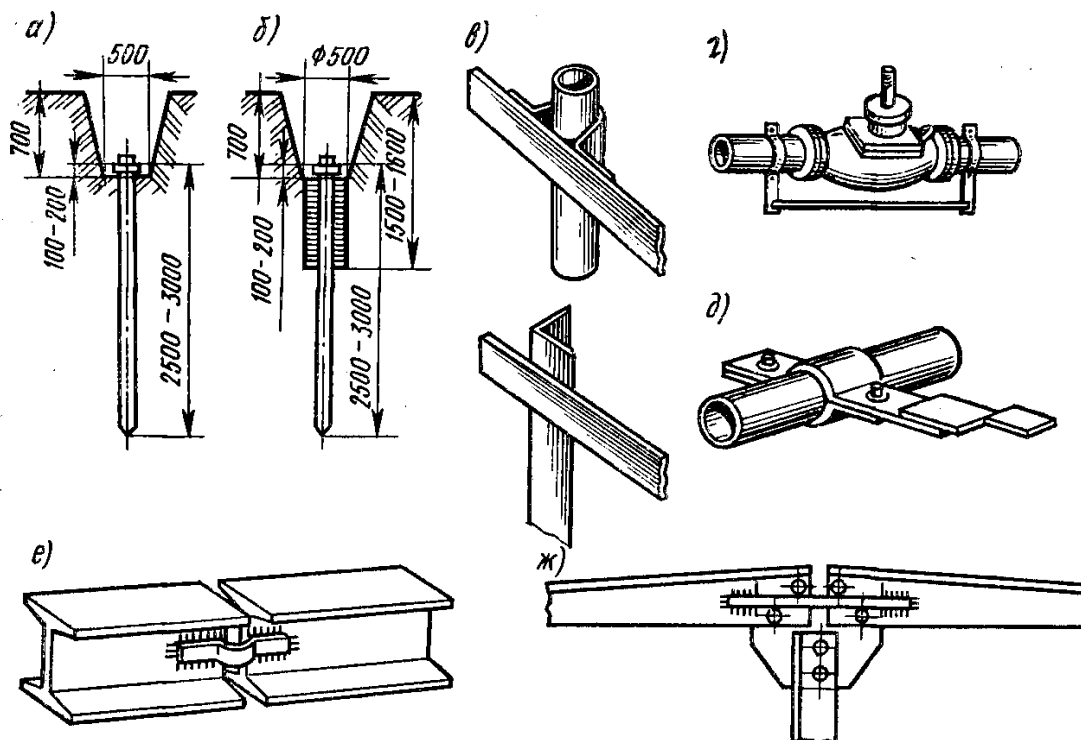


Рис. 2.35. Устройство заземления: *а* - в грунте, не требующем специальной обработки; *б* - в грунте, требующем искусственного повышения проводимости; *в* - соединение заземлителей с полосовой сталью; *г* - устройство перемычки; *д* - присоединение стальной полосы к трубе на хомуте; *е* - на стыке двух балок сваркой; *ж* - то же, болтами

Заземлители заглубляют в грунт с помощью вибро- или электромагнитных погружателей или автоямбура с приставкой для забивания электродов-заземлителей. Заземляющие проводники присоединяют к искусственным заземлителям сваркой или с помощью хомутов (рис. 2.35, *а*, *б*, *в*). При этом внутренняя поверхность хомутов должна быть луженая, а место накладки хомута на трубе — зачищено до блеска. Для предохранения от коррозии сварные швы, находящиеся в земле, покрывают горячим битумом. В местах, где на трубопроводах, служащих в качестве естественных заземлителей, имеются фланцевые соединения для создания непрерывной цепи заземления,

устанавливают перемычки сечением не менее 4 мм<sup>2</sup> из голых медных проводников (рис. 2.35, г).

Применяют также заглубленные заземлители, которые в виде металлической сетки из полосовой стали и других устройств, изготовленные вместе с приваренными к ним заземляющими проводниками, укладывают на дно котлована при закладке фундамента зданий цехов и подстанций. При монтаже сети заземления внутри зданий в качестве (заземляющих проводников в первую очередь используют металлические конструкции зданий, подкрановые пути, алюминиевые оболочки кабелей, галереи и другие технологические металлические трубопроводы, кроме трубопроводов для горючих и взрывоопасных жидкостей и газов и т. п.

Если используют естественные заземляющие проводники, то их надежно присоединяют к наружным контурам заземляющих устройств. Все контактные соединения выполняют так, чтобы была обеспечена надежность контактов и непрерывность электрической цепи на всей длине. Для этого все соединения участков металлических конструкций сваривают; болтовые, заклепочные соединения и стыки перекрывают перемычками из стальных полос.

При открытой прокладке стальные трубы электропроводки, если их используют в качестве заземляющих проводников, надежно соединяют с помощью хорошо затянутых муфт на сурике или других конструкций, дающих надежный контакт (манжеты на сварке, на винтах, с клином и т. п.). При скрытой прокладке эти соединения выполняют только муфтами на сурике. При наличии длинного участка резьбы на конце трубы (сгоне) ставят контргайки. Между трубами и корпусами электрооборудования, в которые вводят трубы, создают надежное металлическое соединение с помощью цапающих гаек, непосредственной приварки труб или установки перемычек.

Там, где не представляется возможным использовать в качестве заземляющих проводников указанные выше элементы зданий и конструкций, прокладывают заземляющую сеть из полосовой или круглой стали соответственно площадью поперечного сечения не менее 24 мм<sup>2</sup>, толщиной 4

мм и диаметром не менее 5 мм. Шины заземления прокладывают открыто по стенам на высоте 0,4...0,6 м от пола так, чтобы они были доступны для осмотра. В помещениях сырых с едкими парами шины прокладывают на расстоянии не менее 5...10 мм от стен. Расстояние между точками крепления 0,6...1 м. Шины крепят к стенам дюбелями. При пересечении дверных проемов шины могут быть уложены в полу, но при этом их защищают от механических повреждений отрезками стальных труб, а также угловой или швеллерной стали.

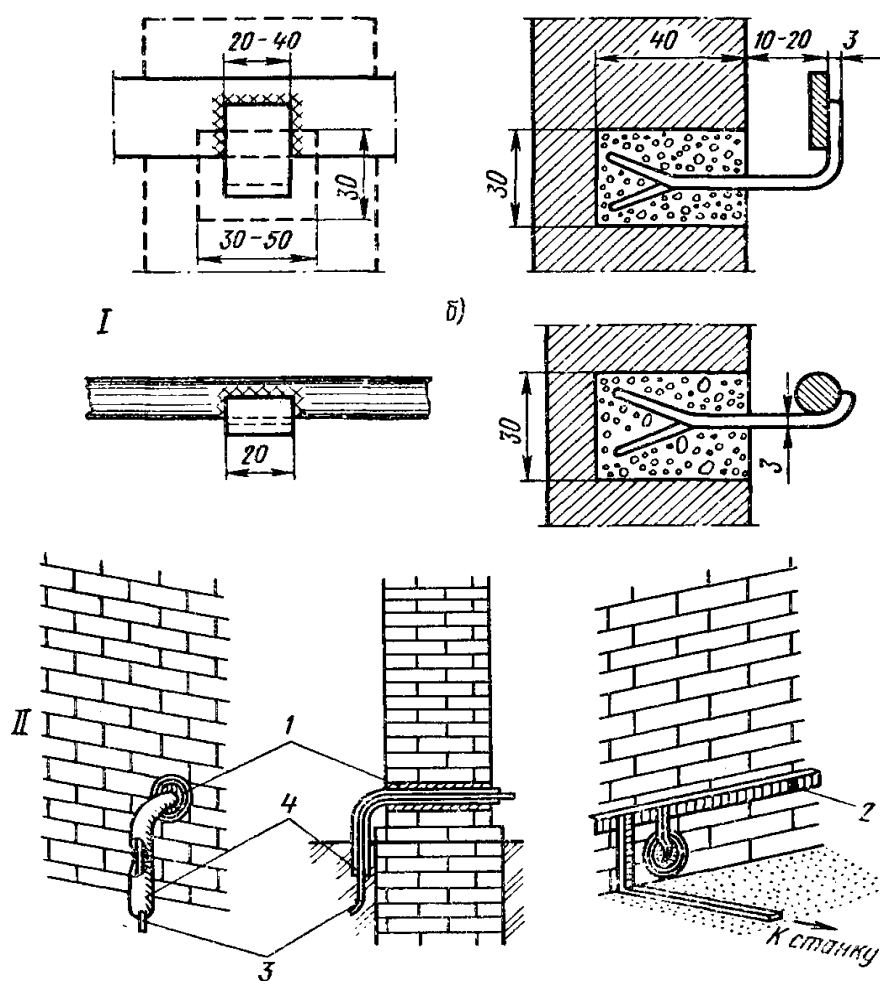


Рис. 2.36. Прокладка заземляющих проводников: / - в сырых помещениях и на основаниях, не позволяющих крепление с помощью дюбелей; а - крепление проводников плоского сечения; б - то же, круглого сечения; II - способы прохода через стены и обхода проемов: 1 - цемент; 2 - дюбель; 3 - полоса заземления; 4 - труба

Все заземляющие искусственные проводники, а также перемычки, установленные в местах стыков конструкций, используемых в качестве

заземляющих проводников, окрашивают в черный цвет (чтобы обозначить цепь заземления). Допускается окраска в иные цвета в соответствии с эстетическим оформлением помещения, но с обязательным в этом случае нанесением в местах присоединений и ответвлений не менее двух полос фиолетового цвета на расстоянии 150 мм друг от друга.

Прокладка заземляющих проводников показана на рис. 2.36. При источниках питания с глухозаземленной нейтралью для преднамеренного электрического соединения нетоковедущих частей электрической аппаратуры используют нулевой провод, под которым понимают проводник, соединенный с глухозаземленной нейтралью источника питания в сети переменного тока, или средний заземленный проводник в трехпроводной сети постоянного тока, служащий обратным проводом при неравномерной нагрузке фаз или полюсов.

В соответствии с ПУЭ нулевой провод должен иметь проводимость не менее 50% проводимости фазного провода.

### **2.13. Монтаж электрического соединения**

При соединении и ответвлении медных и алюминиевых жил проводов и кабелей применяют газовую сварку (пропано-воздушную и пропано-кислородную), термитную сварку, электросварку, пайку, опрессовку, а также механические способы соединения с помощью сжимов и зажимов.

При пропано-воздушной и пропано-кислородной сварке применяют сжиженные топливные газы — бутан, пропан или их смеси. Состав смеси определяют в зависимости от температуры окружающей среды. В теплое время года применяют смеси с большим содержанием бутана, а в холодное - с меньшим.

Сварку алюминиевых и медных жил сечением до 10 мм<sup>2</sup> контактным разогревом выполняют с помощью угольного электрода, закрепляемого в электрододержателе и подключенного к зажиму вторичной обмотки трансформатора мощностью не менее 0,5 кВт - А и напряжением во вторичной

обмотке 9—12 В. Зачищенные и плотно скрученные жилы закрепляют в держателе, подключенном к другому зажиму (рис. 2.37).

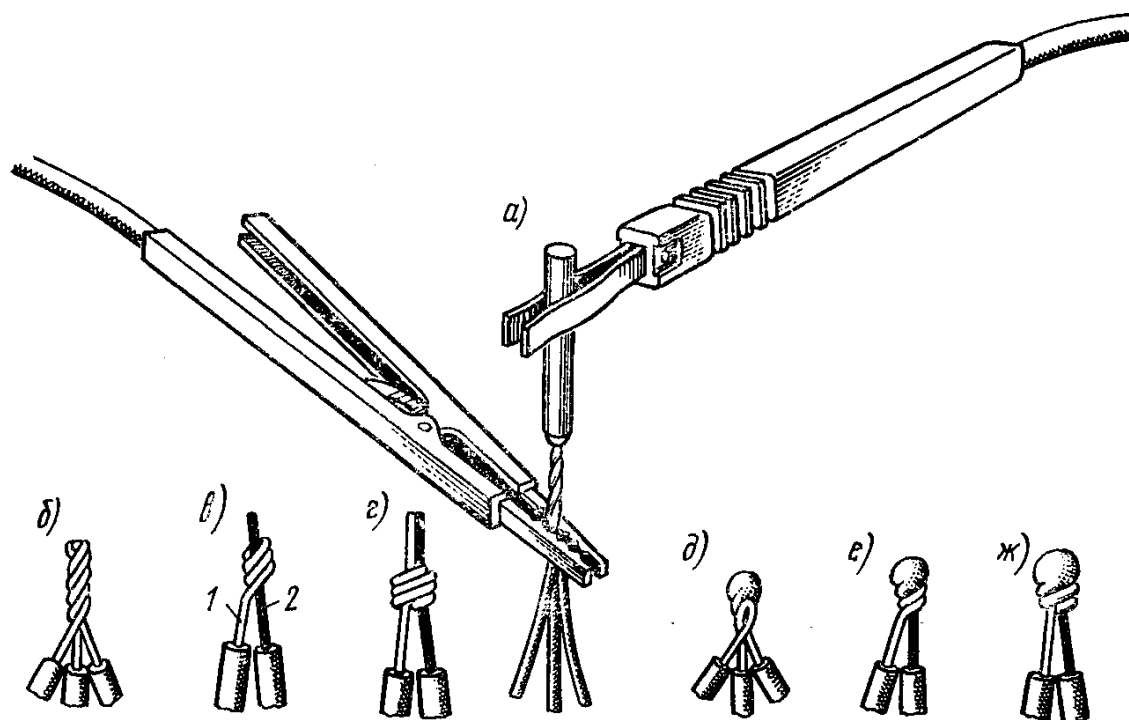


Рис. 2.37. Сварка жил угольным электродом: а - сварка; б - алюминиевые жилы, подготовленные к соединению; в, г - алюминиевая и медная жилы, подготовленные к соединению; д - сварное соединение алюминиевых жил; е, ж - сварное соединение алюминиевой жилы с медной; 1 - алюминиевая жила; 2 - медная жила

При сварке алюминиевой жилы с медной, оголенную алюминиевую жилу плотно навивают (три-четыре витка) на медную жилу так, чтобы конец последней выступал на 3...4 мм из под витков. Скрученные жилы перед сваркой на длине 5...6 мм покрывают тонким слоем флюса. Электрод прижимают к торцу выступающего конца медной жилы. После расплавления выступающего конца медной жилы и одного-двух витков алюминиевой электрод отводится и сварка прекращается.

При большом объеме работ сварку алюминиевых жил сечением 2,5...4 мм<sup>2</sup> выполняют без флюса с помощью аппарата ВКЗ-1 (рис. 2.38). Зачищенные и предварительно скрученные жилы зажимают в губках держателя аппарата таким образом, чтобы их концы упирались в лунку угольного электрода.



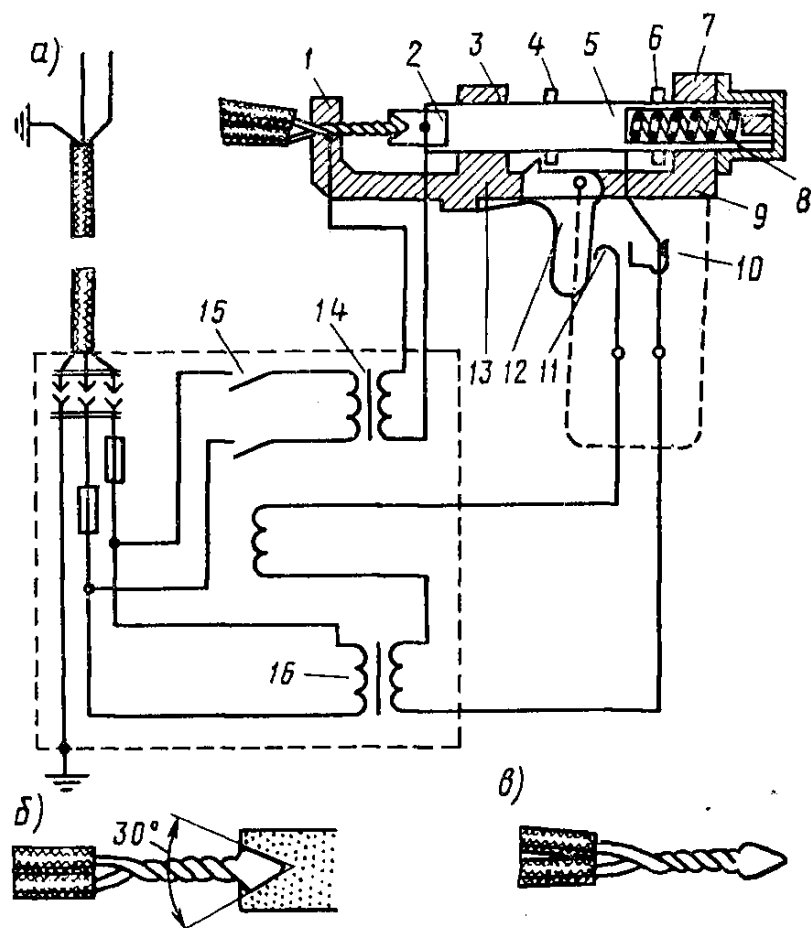


Рис. 2.38. Сварка алюминиевых жил аппаратом ВКЗ-1: *а* - схема питания аппарата ВКЗ-1 при сварке; *б* - положение жил и электрода при сварке; *в* - готовое соединение; 1 - губки зажима проводов; 2 - угольный электрод диаметром 10 мм; 3 - передняя стойка с отверстием; 4 - передний бортик стержня; 5 - полый стержень подачи; 6 - задний бортик стержня; 7 - задняя стойка с отверстием; 8 - пружина подачи; 9 - сварочный пистолет; 10 - контакт отключения; 11 - контакт включения; 12 - спусковой рычаг; 13 - основание; 14 - трансформатор сварочный 220/10 В; 15 - реле включения; 16 - трансформатор управления 220/36 В

Нажатием на спусковой рычаг включают ток, угольный электрод под действием пружины подается вперед по мере оплавления жил. Сварка выполняется автоматически.

Для соединения жил проводов и кабелей больших сечений снимают изоляцию и очищают жилу от грязи и пропиточного состава тряпкой, смоченной в бензине, ацетоне или уайт-спирите. Для медных жил, имеющих металлопокрытие, на этом подготовку заканчивают. Медные жилы без металлопокрытия и алюминиевые жилы зачищают металлической щеткой или

наждачной шкуркой до металлического блеска. Алюминиевые жилы для опрессовки зачищают под слоем нейтральной смазки. При подготовке алюминиевых жил к сварке или пайке смазку при очистке не применяют. Длину разделки делают в зависимости от способа соединения и сечения жилы.

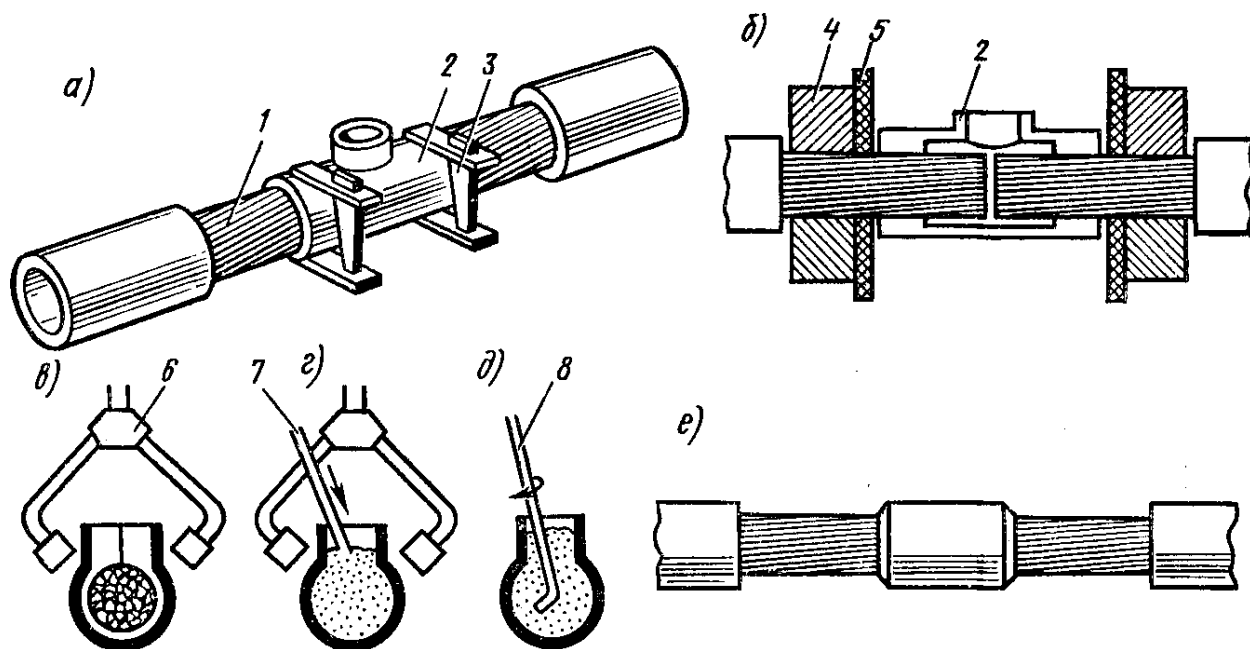


Рис. 2.39. Последовательность операций при пропано-кислородной сварке стыковых соединений жил: а, б - подготовка к сварке; в - нагрев; г - введение присадки с подогревом; д - перемешивание сварочной ванны; е -- готовое соединение; 1 - жила; 2 - сварочная форма; 3 - клин; 4 - охладитель; 5 - экран из листового асбеста; 6 - газовая горелка; 7 - присадочный пруток; 8 - мешалка

При пропано-кислородной сварке соединения жил, зачищенные жилы укладывают в смазанные мелом полуформы с кольцевыми выступами, исключая вытекание металла. Полуформы скрепляют клиньями, устанавливают охладители и тепловой экран (рис. 2.39).

При сварке секторных жил их предварительно скругляют. Изоляцию жил за охладителями на длине 80...100 мм защищают сухим асбестом у кабелей с бумажной изоляцией или увлажненным асбестом у кабелей с полимерной изоляцией. Сварку выполняют двухфакельной горелкой. Сначала открывают вентили на баллонах с пропаном и кислородом. Рабочее давление пропана устанавливают равным 0,03 МПа (0,3 кг/м<sup>2</sup>) и кислорода 0,15 МПа (1,5 кг/см<sup>2</sup>). Открывают вентиль пропана на горелке и поджигают пламенем спички газ,

затем открывают вентиль с кислородом и, установив нормально пламя, приступают к сварке.

После разогрева формы до красного цвета вводят присадку до полного заполнения литникового отверстия. При этом производят перемешивание сварочной ванны нихромовой мешалкой. Нагрев прекращают после полного расплавления жил кабеля. После остывания ванны выбивают клинья, снимают форму, охладители и экраны. Ножовкой или специальными клещами удаляют литниковую прибыль и зачищают напильником неровности.

Соединения жил выполняют также с применением термитных патронов. Зажигание патронов осуществляется термитными спичками. Термитные патроны, поставляемые с завода-изготовителя россыпью, готовят заблаговременно, удаляя жировые и другие загрязнения с поверхности металлических деталей, входящих в комплект патрона; внутреннюю поверхность кокиля покрывают слоем мела, разведенного водой до пастообразного состояния, и просушивают до полного удаления влаги; кокиль вставляют в муфель термитного патрона таким образом, чтобы совпали их литниковые отверстия.

На зачищенные жилы и колпачки (втулки) с помощью волосяной кисточки наносят тонкий слой разведенного водой флюса (рис. 2.40). Алюминиевые колпачки (втулки) насаживают на концы жил и надевают на них термитный патрон. Стык жил должен находиться в центре литникового отверстия. Кокиль патрона уплотняют с торцов шнуровым асбестом, накладывают его на оголенные участки жил охладителя и закрепляют их. Между охладителями и термитным патроном устанавливают экраны из асбестового картона. Защитными экранами из асбестового картона защищают также жилы, не участвующие в сварке. Изоляция жил за охладителями на длине 80—100 мм должна быть защищена сухим асбестом у кабелей с бумажной изоляцией или слоем увлажненного асбеста толщиной около 10 мм у жил с резиновой или пластмассовой изоляцией.

Для увеличения начального объема расплавленного металла перед началом сварки рекомендуется конец присадочного прутка сложить несколько раз и ввести в литниковое отверстие термитного патрона.

При сварке жил кабелей сечением 625 и 800 мм<sup>2</sup> на боковую поверхность патрона по обе стороны от литникового отверстия необходимо наложить теплоизоляцию из ленты асбестового картона, закрепив жилы бандажами из листовой стали толщиной 1...1,5 мм.

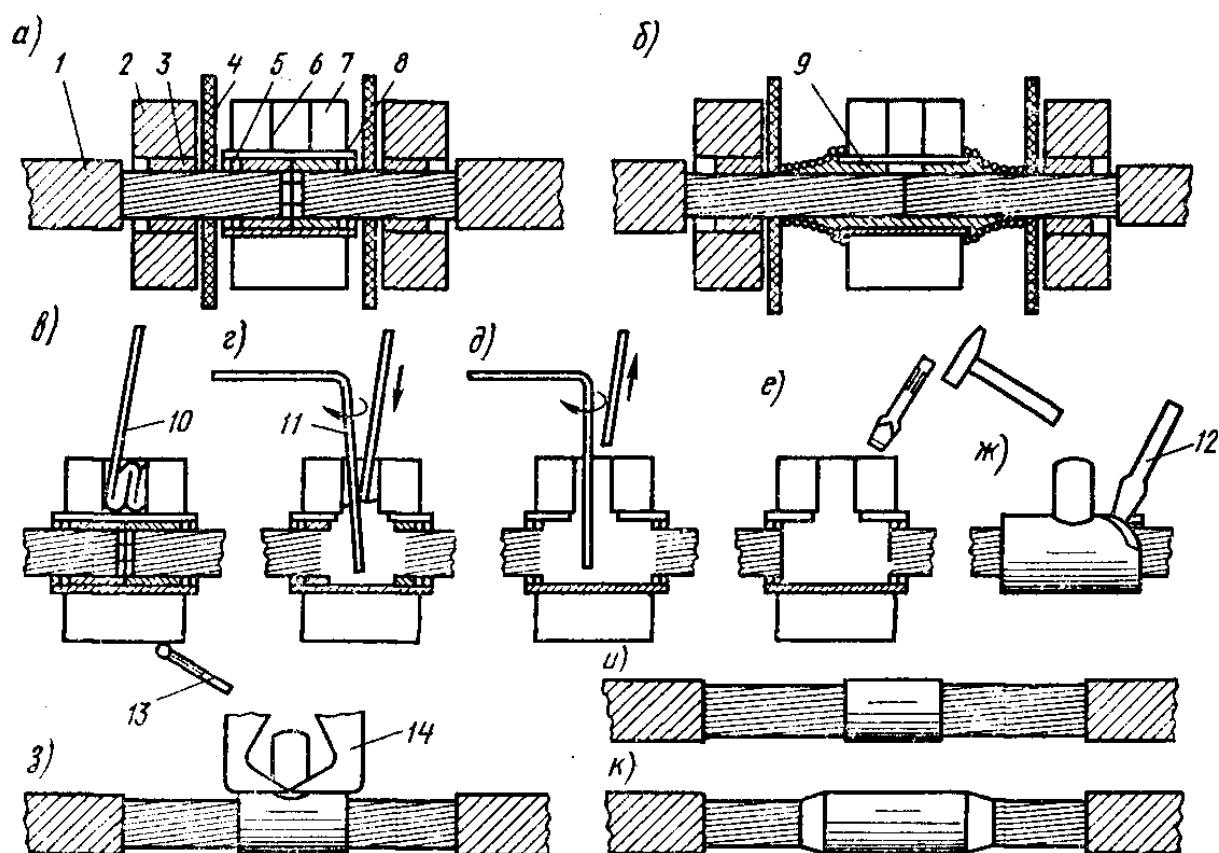


Рис. 2.40. Последовательность термитной сварки встык: а, б - сборка под сварку соединений жил (а - на напряжение до 10 кВ; б - на 25 и 35 кВ); в - введение присадки в литник и поджигание муфеля; г, д - перемешивание расплава и добавка присадки; е - скалывание остывшего муфеля; ж - удаление кокиля; з - скусывание остывшего муфеля; и, к - готовое соединение жил (и - напряжение до 10 кВ; к - на 25 и 35 кВ); 1 - жила провода или кабеля; 2 - охладитель; 3 - вкладыш охладителя; 4 - асбестовый экран; 5 - уплотнение из асбестового шнура; б - алюминиевый колпачок (втулка); 7 - муфель патрона; 8 - стальной

кокиль; 9 - алюминиевая гильза для жил кабелей напряжением 20 и 35 кВ; 10 - присадочный пруток; 11 - мешалка; 12 - отвертка; 13 - термитная спичка; 14 - специальные губки клещей ПК-1

Электросваркой соединение алюминиевых жил выполняют методом контактного разогрева, основанным на выделении необходимой для сварки теплоты в месте контакта угольного электрода со свариваемыми жилами или же угольных электродов между собой при прохождении по ним тока. Сварку производят в формах из графитированного угля или стали с помощью трансформатора мощностью 1...1,5 кВт и вторичным напряжением 8...12 В. Подготовку жил выполняют аналогично термитной сварке или сварке пропанокислородным пламенем.

**Пайкой** соединяют металлические части с помощью более легкоплавкого сплава (припоя). В процессе соединения жил проводов и кабелей пайкой необходимо тщательно удалить пленку окиси с их поверхностей.

Соединение медных многопроволочных жил пайкой выполняют с помощью медных гильз с применением оловянисто-свинцового припоя марки ПОС-40.

При пайке многопроволочных алюминиевых жил для предварительного облуживания всех проволочек жил их концы разделяют ступенями по повивам. Для оконцевания алюминиевых многопроволочных жил пайкой применяют наконечники такой же конструкции, что и при электросварке, но на один размер больше (с целью обеспечить достаточный зазор при заполнении его припоем). Для пайки алюминия применяют припой марок А (цинк 58...58,5 %, олово 40%, медь 1,5...2%) с температурой плавления 400-425 °С; ЦО-12 «Мосэнерго» (цинк 88 %, олово 12 %) с температурой плавления 500...550° С; ЦА-15 (цинк 85 %, алюминий 15 %) с температурой плавления 550...600 °С. После пайки места соединений или оконцеваний тщательно очищают, покрывают лаком и изоляционной лентой.

С помощью пайки можно производить соединение медных жил с алюминиевыми, а также оконцевание алюминиевых жил медными наконечниками. В этом случае пользуются припоями А или ЦО-12; предварительно спаиваемые концы лудят; медных жил и наконечников припоем ПОС-40, алюминиевых жил — припоем А или ЦО-12. При соединении и оконцеваний алюминиевых и медных жил опрессовкой применяют механические и гидравлические прессы и клещи (рис. 2.41), а также пиротехнические устройства.

В зависимости от числа и сечения опрессовываемых жил подбирают гильзы, клещи, пуансоны и матрицы; зачищенные и смазанные пастой жилы вставляют в гильзу и опрессовывают; соединение покрывают лаком, изолируют липкой лентой и вторично покрывают лаком. Для получения этим методом надежных соединений и оконцеваний алюминиевых жил необходимо строго соблюдать технологию опрессовки, т. е. нужно правильно выбрать матрицы и пуансоны, наконечники или соединительные гильзы и довести до необходимых конечных размеров места обжатия (рис. 2.42).

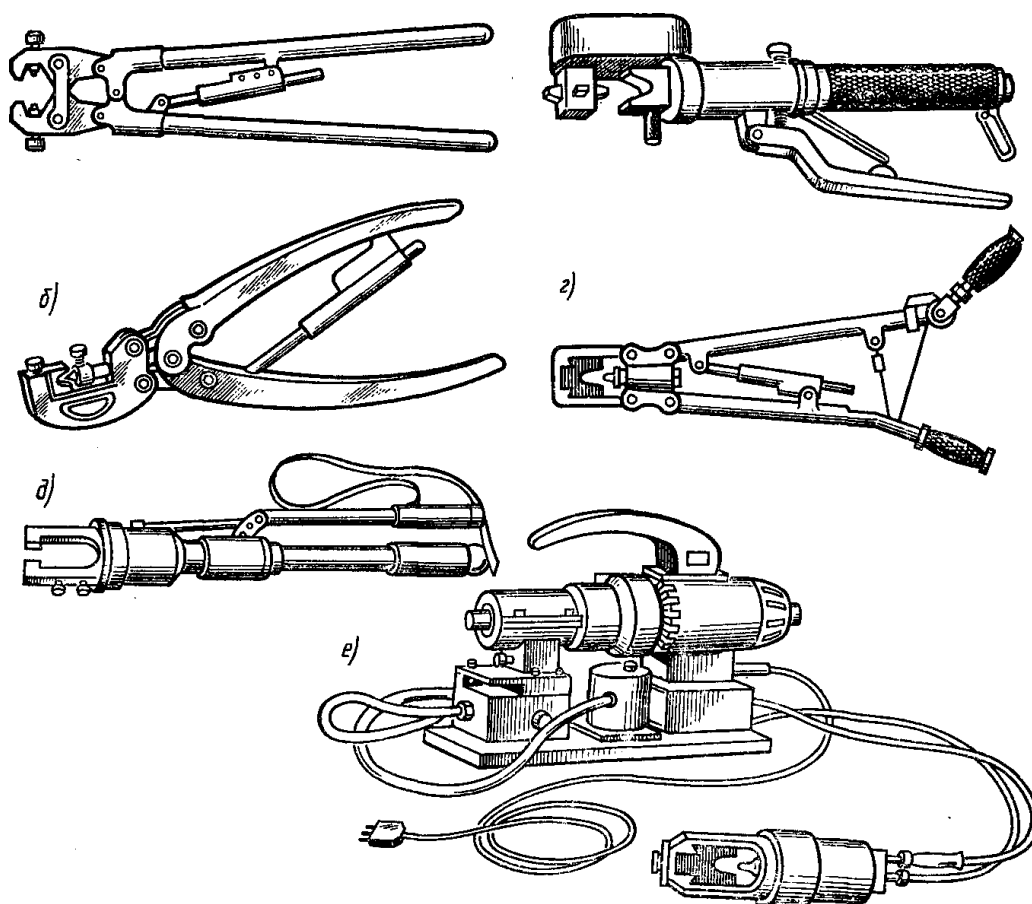


Рис. 2.41. Инструменты и механизм для опрессовки наконечников и гильз:  
 а - пресс-клещи ПК-1м; б - пресс-клещи ПК-2м; в - гидравлические монтажные клещи ГКМ; г - механический ручной пресс РМП-7м; д - гидравлический ручной пресс ПГР-20; е - гидравлический ножной пресс с электропроводом ПГЭП-2

Оконцевание жил наконечниками осуществляется аналогично соединению методами опрессовки, термитной, пропано-кислородной и электросваркой, а также закруткой в кольцо. Выбор метода оконцевания определяется материалом и сечением жил, а также требованиями надежности и наличием соответствующего оборудования и материалов. При оконцевании алюминиевых однопроволочных жил применяют специальные пиротехнические механизмы для образования из жилы наконечника.

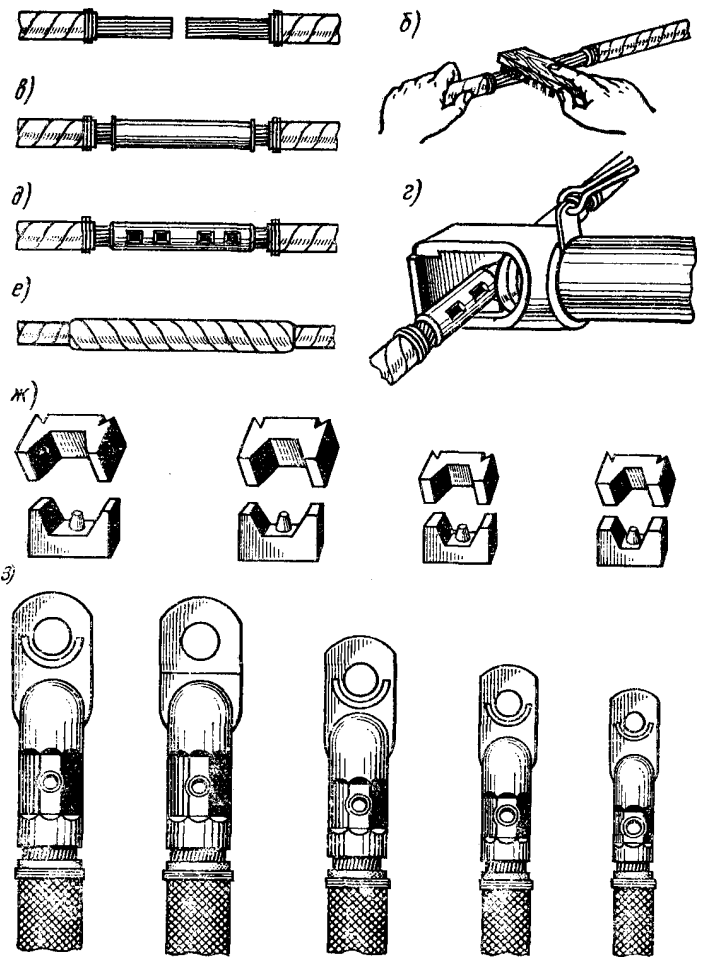


Рис. 2.42. Технология опрессовки при соединении алюминиевых жил сечением 16...240 мм<sup>2</sup>: а - концы жил со снятой изоляцией; б - зачистка жил; в - подготовленное соединение; г - опрессовка; д - опрессованное соединение; е - готовое изолированное соединение; ж - набор матриц к пуансонов; з - напрессованные наконечники



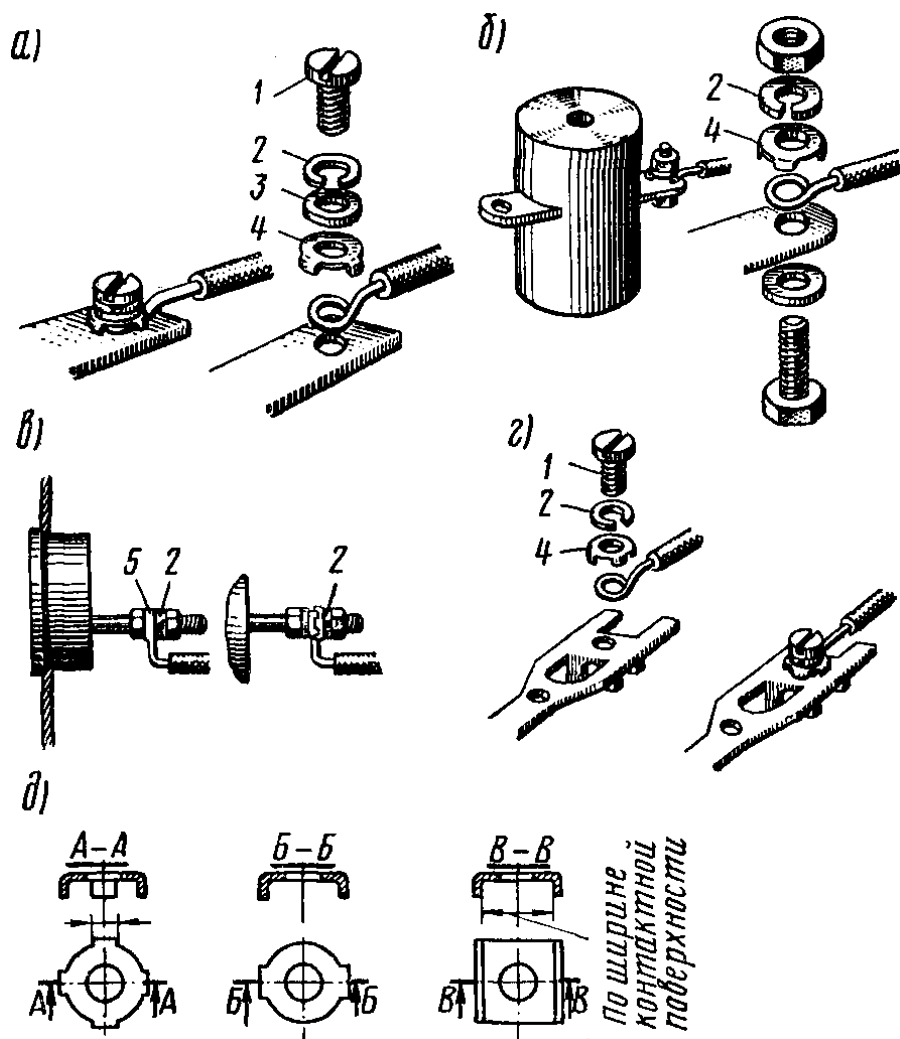


Рис. 2.43. Схемы присоединения (а - д) алюминиевых жил: 1 - винт; 2 - стандартная пружинная шайба; 3 - плоская шайба; 4 - ограничивающая шайба-звездочка; 5 - жила, опрессованная в пистоне

На электроустановочных изделиях бытового и общепромышленного назначения (в том числе выключателях, переключателях и других установочных аппаратах, рассчитанных на ток 6, 10 и 15 А) для надежного контакта с алюминиевыми проводами применяют специальные шайбы (пружинящие устройства), обеспечивающие постоянное давление на присоединяемые провода, а также устройства (шайбы-звездочки), предохраняющие провода от выдавливания из-под контактного зажима. Подсоединяемый к зажимам конец алюминиевого провода тщательно зачищают шкуркой под вазелином, после чего смазывают кварцевазелиновой пастой.

На установочные изделия, контактные зажимы которых не приспособлены для присоединения к алюминиевым проводам, устанавливают дополнительно шайбу-звездочку и пружинную шайбу. Вместо установки шайбы-звездочки применяют запрессовку алюминиевого, предварительно зачищенного провода в кольцевом наконечнике (пистоне) (рис. 2.43).2.14.

#### **2.14. Монтаж групповых осветительных щитков и светильников**

Для питания светильников общего освещения применяют напряжение не выше 380/220 В переменного тока при заземленной нейтрали и не выше 200 В переменного тока при изолированной нейтрали. В помещениях без повышенной опасности указанное напряжение допускается для всех стационарных светильников вне зависимости от высоты их установки.

Питание специальных ламп (ксеноновых, ДРЛ, ДРИ, натриевых, рассчитанных на напряжение 380 В) и пускорегулирующих аппаратов (ПРА) для газоразрядных ламп, имеющих специальные схемы (например, трехфазные) с последовательным соединением ламп, применяют напряжение не выше 380 В, включая и фазное напряжение системы 660/380 В с заземленной нейтралью. Ввод в светильник и пускорегулирующую аппаратуру выполняют проводом или кабелем с медными жилами и изоляцией, рассчитанной на напряжение не менее 660 В; при этом обеспечивается одновременное отключение всех фазных проводов, вводимых в светильник.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных ввод в светильник двух или трех проводов разных фаз системы 660/380 В не допускается. В таких помещениях светильники общего освещения с любыми лампами при высоте установки над полом или площадкой обслуживания менее 2,5 м применяют такой конструкции, при которой доступ к лампе без применения инструмента невозможен. Ввод в светильник выполняется в металлических трубах, металлорукавах или в защитных оболочках проводов и кабелей, либо для питания светильников применяют лампы накаливания на напряжение не выше 42 В.

Это требование не распространяется на светильники в электропомещениях, а также на светильники, обслуживаемые с кранов или площадок, посещаемых только квалифицированным персоналом. При этом расстояние от светильников до настела тележки крана должно быть не менее 1,8 м или светильники должны быть подвешены не ниже нижнего пояса ферм перекрытия, а обслуживание этих светильников с кранов должно выполняться с соблюдением требований техники безопасности.

Светильники с люминесцентными лампами на напряжение 127 или 220 В допускается устанавливать на высоте менее 2,5 м от пола при условии недоступности их токоведущих частей для случайных прикосновений. В виде исключения групповые линии рабочего и аварийного освещения прокладывают проводами и кабелями с изоляцией на напряжение не ниже 660 В в одном коробе, используемом для установки светильников с люминесцентными лампами; при этом не допускается возможность их взаимного соприкосновения и крепление к общему тросу с расстоянием между ними в свету не менее 20 мм.

В двухпроводных линиях четырехпроводных систем с заземленной нейтралью выключатели устанавливают только в цепи фазного провода. Установка предохранителей, автоматов, выключателей в нулевых рабочих проводах запрещается.

Заземление или зануление корпусов светильников общего освещения с лампами накаливания и с лампами ДРЛ, ДРИ, натриевыми и люминесцентными (с встроенными внутрь светильника пуско-регулирующими аппаратами) делают в сетях с заземленной нейтралью при вводе в светильник кабеля, защищенного провода, незащищенных проводов в трубе или металлорукаве. Заземление можно выполнять, также скрыто без труб как исключение, а также ответвлением от нулевого рабочего провода внутри светильника, а при вводе в светильник открытых незащищенных проводов — гибким изолированным проводом, присоединяемым к заземляющему винту корпуса светильника и к рабочему нулевому проводу у ближайшей к светильнику неподвижной опоры или коробки.

Заземление или зануление корпуса светильников общего освещения с лампами ДРЛ, ДРИ, натриевыми и люминесцентными (с вынесенными пускорегулирующими аппаратами) осуществляют с помощью перемычки между заземляющим винтом заземленного (зануленного) пускорегулирующего аппарата и заземляющим винтом светильника.

Металлические отражатели светильников, укрепленные на корпусах из изолирующих материалов, заземлять или занулять не требуется. Для облегчения монтажа осветительных установок заводы изготовляют электромонтажные изделия, позволяющие свести работы по монтажу выключателей, штепсельных розеток и светильников лишь к креплению готовых конструкций к строительным элементам зданий.

При строительстве зданий, особенно крупнопанельных, в них, как правило, предусматривают все отверстия, ниши и закладные части для установки осветительного оборудования и прокладки осветительных сетей. Так, выключатели и штепсельные розетки при скрытой проводке устанавливают в готовых нишах, коробах или стаканах, с креплением с помощью шурупов, винтов или имеющихся на них распорных лапок. Надплинтусные штепсельные розетки и потолочные выключатели имеют металлические основания, их устанавливают непосредственно на стене.

Выключатели и штепсельные розетки для открытой проводки, потолочные и настенные ламповые патроны, а также потолочные и настенные светильники с лампами накаливания (за исключением имеющих специальные основания) устанавливают на деревянных розетках с помощью шурупов.

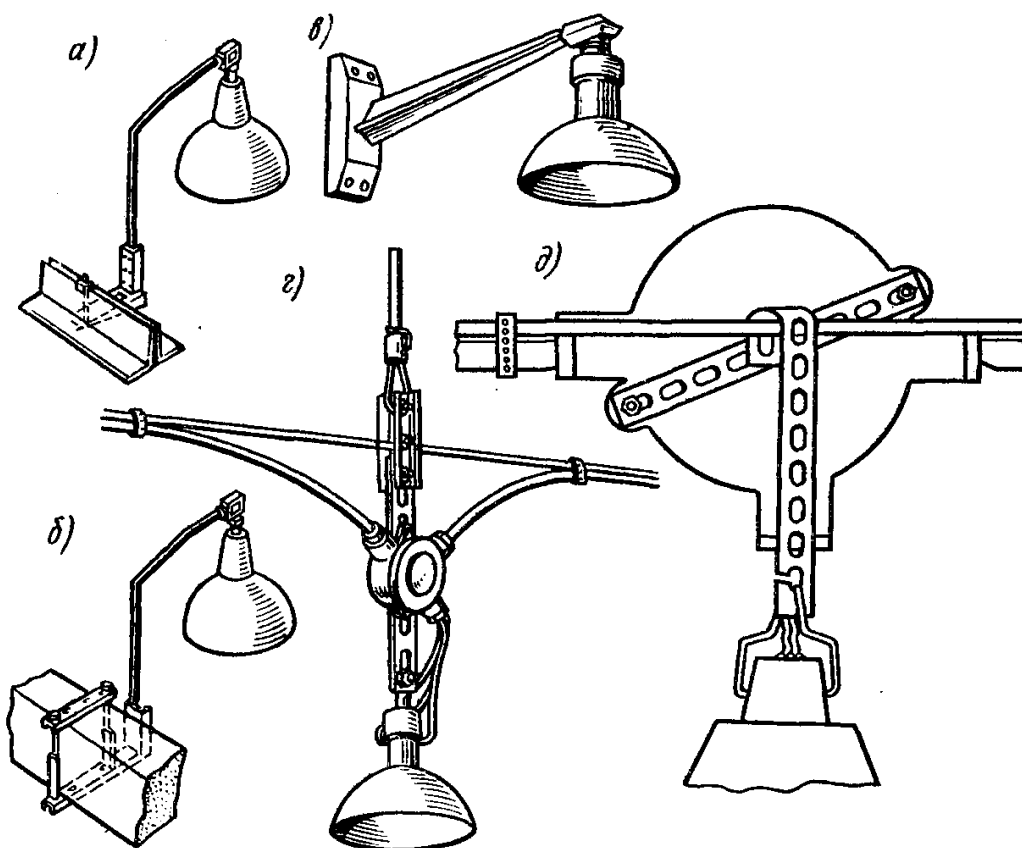


Рис. 2.44. Варианты крепления светильников: *а* - на металлической ферме; *б* - на железобетонной ферме; *в* - на стене; *г* - подвеска на тросе; *д* - на тросовой проводке

Подвесные светильники укрепляют к перекрытиям на крюках. В соответствии с требованиями правил к подвеске светильников с металлическими корпусами в жилых и общественных зданиях конец крюков изолируют. К стенам, колоннам и фермам подвесные светильники крепят с помощью различного вида кронштейнов, стоек, обхватов и подвесов (рис. 2.44).

При однорядном и двухрядном подвесе люминесцентных светильников на тросах, под перекрытиями и у стен для проводов применяют стальные короба. Двухметровые секции коробов соединяют между собой в непрерывную линию и крепят к перекрытию, стене или к тросу с помощью кронштейнов, скоб и подвесов.

В последние годы для освещения производственных помещений стали применять комплекты осветительные устройства со щелевыми световодами (КОУ). Они состоят из щелевого световода (ЩС), камеры с источниками света,

пускорегулирующего аппарата (ПРА), торцового переходного элемента. Щелевой световод (рис. 2.45) представляет собой цилиндрическую трубу, внутренняя поверхность которой по всей длине покрыта зеркально отражающим слоем, и оптическую щель, через которую световой поток выходит наружу. КОУ изготавливают для производственных помещений с тяжелыми условиями среды (пыль, влага). Во взрывоопасных зонах классов В-16 и В-На камеры устанавливают непосредственно в освещаемом помещении; в производственных помещениях со взрывоопасными зонами классов В-І, В-Га и В-ІІ камеры выносят за пределы помещений и соединяют с помощью герметизированных переходных элементов со световодами. Таким образом, КОУ обеспечивают создание высококачественного и безопасного освещения, прежде всего во взрыво-и пожароопасных помещениях, а также целый ряд экономических и эксплуатационных преимуществ.

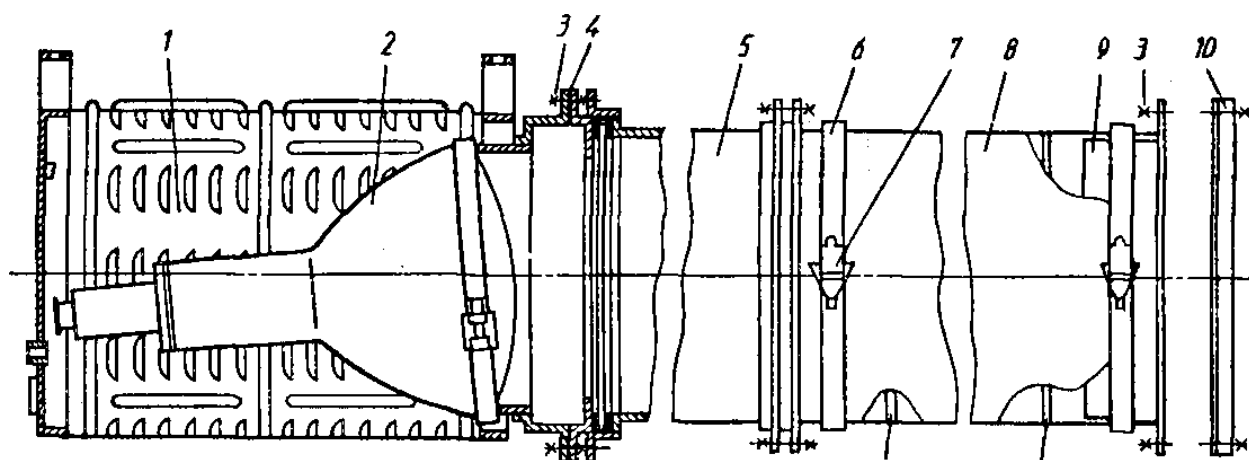


Рис. 2.45. Комплектное осветительное устройство: 1 - камера; 2 - кассета; 3 - болты; 4 - прокладка; 5 - переходный элемент; 6 - хомут; 7 - замок; 8 - щелевой световод; 9 - торцовое устройство; 10 - фланец; 11 - пружинное кольцо

Монтаж КОУ сводится к подвеске световода и установке камеры с источниками света и ПРА на стене или конструкциях. Во взрывоопасных помещениях камеры с источником света и ПРА устанавливают вне этих помещений и соединяют со ЩС переходным элементом так, чтобы была

исключена возможность попадания взрывоопасных смесей в камеру с источниками света, в ту ее часть, где возможно искрообразование. Так как КОУ в настоящее время находится в процессе внедрения, работы эти следует выполнять в строгом соответствии с действующими временными инструкциями

Осветительные щиты и щитки, вводные шкафы и распределительные пункты представляют собой законченное комплексное устройство, монтаж которого сводится лишь к установке их на соответствующее место. Собранные в мастерских блоки щитков поступают на монтажную площадку в полностью законченном виде: окрашенные, с надписями и укомплектованные вспомогательными материалами.

Монтаж распределительных устройств, щитов или шкафов состоит из разметки, установки и выверки рамы, установки на раму блоков щита, состоящего из отдельных панелей или секций, соединения блоков между собой и закрепления их на раме, подключения проводов и кабелей и заземления.

Щиты, вводные устройства и щитки устанавливаются по отвесу или уровню строго вертикально. Расстояние от трубопроводов должно быть не менее 0,5 м. При установке в нишах этажные и квартирные щитки закрепляют распорными болтами, предусмотренными конструкцией щитков, или на закладных деталях. При установке щитков выдерживают расстояние от оголенных, находящихся под напряжением частей, до заземленных металлических нетоковедущих частей не менее чем 20 мм по поверхности изоляции и 12 мм по воздуху. Щитки и пункты снабжают надписями, указывающими номер щитка, назначение и номер каждой линии в соответствии со схемой и планом электрической сети. Щитки, на которых размещают приборы и провода, принадлежащие к установкам переменного и постоянного токов или разных напряжений, должны иметь четкие надписи и расцветку, обеспечивающие возможность легкого распознавания их принадлежности к этим установкам.

## **2.15. Техника безопасности при монтаже проводок**

Кроме общих правил для всех работ при монтаже проводок соблюдают следующие требования техники безопасности.

Борозды, отверстия и проемы в кирпичных и бетонных конструкциях пробивают в предохранительных очках. При этом необходимо принять меры против возможного поражения осколками проходящих мимо людей. При пробивке нельзя применять неисправные ручные и механизированные инструменты, работать с приставных лестниц, а также натягивать с приставных и раздвижных лестниц в горизонтальном направлении провода сечением более  $4 \text{ мм}^2$ . Сквозные отверстия пробивают рабочим инструментом, длина которого превышает на 200 мм толщину стены или перекрытия.

Выполнять работы по монтажу освещения цеха с крана можно только тогда, когда краном не поднимают и не перемещают грузы. Монтаж с крана допустим лишь при наличии ограждений крановых троллеев и других открытых токоведущих деталей крана, находящихся под напряжением. К работе с монтажным пистолетом допускается только специально обученный персонал.

При работе в помещениях без повышенной опасности применяют электрифицированный инструмент на напряжение 220/127 В при условии надежного заземления корпуса электроинструмента и применения резиновых перчаток и диэлектрических галош. В помещениях особо опасных и с повышенной опасностью, а также вне помещений работать с электроинструментом напряжением свыше 36 В нельзя, если он не имеет двойной изоляции или не включен в сеть через разделяющий трансформатор, или не имеет защитного отключения.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие имеются виды электропроводок и какие требования предъявляют к ним?
2. Расскажите о стендовой заготовке электропроводок на технологических линиях.
3. Изложите технологию прокладки проводов в трубах.



4. Изложите технологию прокладки проводов в лотках.
5. Какие применяются способы соединения и оконцевания проводов?

### **3. МОНТАЖ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 10 кВ**

#### **3.1. Область применения кабельных линий и общие требования к ним**

Области применения силовых кабелей в зависимости от степени воздействия на них агрессивной и взрыво- или пожароопасной окружающей среды, растягивающих механических усилий, а также способа прокладки кабельной сети определены «Едиными техническими указаниями по выбору и применению электрических кабелей». В них предусмотрено широкое использование кабелей в алюминиевой или пластмассовой оболочке взамен кабелей в свинцовой оболочке. При этом имеется в виду, что выбор кабелей определяется требованиями ПУЭ и что кабели всех марок могут применяться для питания потребителей всех категорий по степени надежности электроснабжения потребителей.

При невозможности использования кабелей с алюминиевой защитной оболочкой в особых случаях (подводные линии, в шахтах и т. п.) применяют кабели в свинцовой оболочке.

Трассу кабельной линии выбирают с учетом наименьшего расхода кабеля и обеспечения его сохранности от механических повреждений, коррозии, вибрации, перегрева и от повреждений соседних кабелей электрической дугой при возникновении короткого замыкания на одном из кабелей. При этом следует избегать перекрещиваний их, например, между собой и с трубопроводами и выполнять таким образом, чтобы в процессе монтажа и эксплуатации было исключено возникновение в них опасных механических напряжений и повреждений. Для этого кабели укладывают с запасом подлине, достаточным для компенсации возможных смещений почвы и температурных деформаций, как самих кабелей, так и конструкций, по которым они проложены. Укладывать запас кабеля в виде колец (витков) не допускается.

Кабели, проложенные горизонтально по конструкциям, стенам, перекрытиям и другим местам, жестко закрепляют в конечных точках, непосредственно у концевых заделок, с обеих сторон изгибов как у соединительных, так и стопорных муфт, а проложенные вертикально по

конструкциям и стенам закрепляют с таким расчетом, чтобы была предотвращена деформация оболочек и не нарушались соединения жил в муфтах под действием собственной массы кабеля.

По конструкциям небронированные кабели кладут таким образом, чтобы была исключена возможность механического повреждения оболочек кабелей; в местах жесткого крепления оболочки этих кабелей предохраняют от механических и коррозионных повреждений с помощью эластичных прокладок.

На трассе кабельной линии, проложенной в незастроенной местности, устанавливают опознавательные знаки. При этом линии, проложенные по пахотным землям, обозначают знаками, устанавливаемыми не реже чем через 500 м, а также в местах изменения направления трассы. При большом количестве кабелей их следует прокладывать в отдельных траншеях с расстоянием между группами кабелей не менее 0,5 м или в каналах, туннелях, по эстакадам и в галереях.

Прокладку кабелей в туннелях, по эстакадам и в галереях выполняют при количестве силовых кабелей, идущих в одном направлении, более 20. В условиях большой стесненности, в местах пересечения с железнодорожными путями и проездами, при вероятности разлива металла кабели прокладывают в блоках.

Внутри зданий кабельные линии прокладывают непосредственно по конструкциям зданий (как открыто, так и в лотках, коробах или трубах), в каналах, блоках, туннелях, трубах, проложенных в полах и перекрытиях, а также по фундаментам машин, в шахгах, кабельных этажах и двойных полах.

На кабельных линиях, выполняемых кабелями с нормально пропитанной бумажной изоляцией и кабелями, пропитанными нестекающей массой, кабели соединяют с помощью стопорно-переходных муфт, если уровень прокладки кабелей с нормально пропитанной изоляцией выше уровня прокладки кабелей, пропитанных нестекающей массой.

На линиях напряжением свыше 1000 В, выполняемых гибкими кабелями с резиновой изоляцией в резиновом шланге, соединения оболочек выполняют горячим вулканизированием с покрытием противосыростным лаком.

Число соединительных муфт на 1 км вновь строящихся кабельных линий должно быть, не более: для трехжильных кабелей 1...10 кВ сечением до 3 x 95 мм<sup>2</sup> - 4 шт.; для трехжильных кабелей 1...10 кВ сечением 3 x 120... 3x240 мм<sup>2</sup> - 5 шт.

Кабельные линии с металлическими оболочками или броней, а также кабельные конструкции, на которых прокладывают кабельные линии, заземляют или зануляют в соответствии с требованиями, приведенными в ПУЭ. При заземлении или занулении металлических оболочек силовых кабелей оболочку или броню соединяют гибким медным проводом между собой и с корпусами муфт (концевых, соединительных и др.).

Применять заземляющие или нулевые защитные проводники с проводимостью, большей, чем проводимость оболочек кабелей, не требуется, однако сечение во всех случаях должно быть не менее 6 мм<sup>2</sup>. Если на опоре конструкции установлены наружная концевая муфта и комплект разрядников, то броню, металлическую оболочку и муфту присоединяют к заземляющему устройству разрядников. Использование в качестве заземляющего устройства только металлических оболочек кабелей в этом случае не допускается.

### **3.2. Элементы конструкции силового кабеля и их назначение**

Силовые кабели предназначены для передачи по ним электрической энергии, используемой для питания электроустановок. Они имеют одну или несколько изолированных жил в металлической или неметаллической оболочке, поверх которой в зависимости от условий прокладки или эксплуатации может накладываться защитный покров и в необходимых случаях броня. Они состоят из следующих основных элементов: токопроводящих жил, изоляции, оболочек и защитных покровов. Кроме основных элементов в кон-

струкцию силовых кабелей могут входить экраны, жилы защитного заземления и заполнители (рис. 3.1).

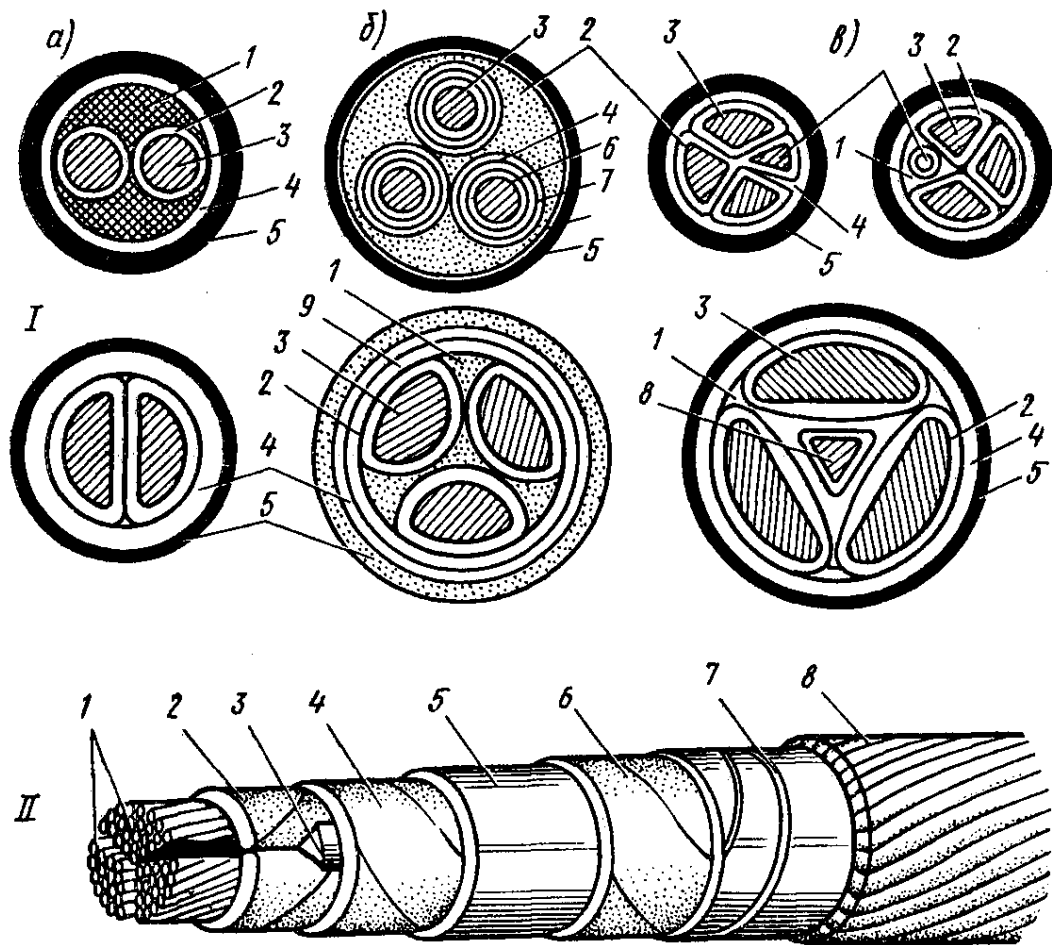


Рис. 3.1. Конструкция силового кабеля: 1 - сечение силовых кабелей: а - двухжильные кабели с круглыми и сегментными жилами; б - трехжильные кабели с поясной изоляцией и отдельными оболочками; в - четырех жильные кабели с нулевой жилой, круглой, секторной и треугольной формы; 1 - заполнитель; 2 - изоляция жилы; 3 - токопроводящая жила; 4 - оболочка; 5 - наружный защитный покров; 6 - экран на токопроводящей жиле; 7 - бронепокров; 8 - нулевая жила; 9 - поясная изоляция; II - силовой трехжильный кабель марки ААБ: 1 - токопроводящие жилы; 2, 4 - фазовая и поясная изоляция; 3 - наполнители; 5 - оболочка; 6 - защитный покров оболочки (подушка); 7 - броня из стальных лент; 8 - наружный защитный покров

Токопроводящие жилы бывают основными и нулевыми. **Основные жилы** предназначены для передачи по ним электрической энергии. **Нулевые жилы** предназначены для прохождения разности токов фаз (полюсов) при неравномерной их нагрузке. Они присоединяются к нейтрали источника тока.

Жилы защитного заземления являются вспомогательными жилами кабеля и предназначены для соединения не находящихся под рабочим напряжением металлических частей электроустановки, к которой подключен кабель с контуром защитного заземления источника тока.

Изоляция предназначена для обеспечения необходимой электрической прочности токопроводящих жил кабеля относительно друг друга и заземленной оболочки (земли). Экраны служат для защиты внешних цепей от влияния электромагнитных полей, создаваемых токами, проходящими по кабелю, и для обеспечения симметрии электрического поля вокруг жил кабеля. Заполнители используют для устранения свободных промежутков между конструктивными элементами кабеля с целью герметизации, придания необходимой формы и механической устойчивости его конструкции. Оболочки защищают внутренние элементы кабеля от увлажнения и других внешних воздействий. Защитные покровы служат для защиты оболочки кабеля от внешних воздействий. В зависимости от конструкции кабеля в защитные покровы входят: подушка, бронепокров и наружный покров.

Различным конструкциям кабелей присвоены условные буквенные обозначения - марки. Например, АВВГ - кабель с алюминиевой токопроводящей жилой в поливинилхлоридной оболочке, с такой же изоляцией жил без наружного покрова оболочки; АПВБГ - кабель с алюминиевой токопроводящей жилой, в полиэтиленовой оболочке, с поливинилхлоридной изоляцией жил, с бронированным покровом из плоских лент, без наружного покрова у брони и т. д.

В зависимости от конструкции, сечения, напряжения кабеля нормальная строительная длина его может быть от 100 до 300 м, а длина маломерных отрезков от 20 до 100 м. Кабели транспортируются на барабанах.

### **3.3. Хранение и подготовка кабелей для прокладки. Хранение кабелей**

Барабаны с кабелем хранят под навесом или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на

открытом воздухе. Кабели с пластмассовой изоляцией без наружного покрова оберегают от непосредственного воздействия солнечных лучей. Не следует хранить барабаны с кабелем плашмя и в атмосфере с агрессивной средой.

На барабане обозначают марку кабеля, число жил, сечение в квадратных миллиметрах, напряжение в киловольтах, длину в метрах, массу в тоннах, заводской номер барабана, дату изготовления, номер стандарта и завод-изготовитель. Кроме того, на барабане имеется стрелка, указывающая направление, по которому следует перекатывать барабан с кабелем. Конец наружного витка кабеля прикреплен к барабану с внутренней стороны; конец внутреннего витка выведен на наружную часть барабана и заделан деревянным ящиком или металлической коробкой. Оба конца кабеля имеют герметические заделки.

Барабаны с кабелем грузят на транспортные средства и их сгружают с помощью кранов или автопогрузчиков, а при отсутствии кранов — лебедкой по надежным деревянным покатам (брусьям). Барабан с кабелем вручную или тросом с помощью лебедки в зоне монтажа перемещают только на короткие расстояния, по ровным поверхностям, при условии полной исправности обшивки барабана и если наружный виток кабеля отстоит от края щеки не менее чем на 100 мм.

Кабели с пластмассовой изоляцией как оголенные, так и бронированные при температуре ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  не перевозят; при температуре от  $-10$  до  $-40^{\circ}\text{C}$  разгружают и перевозят осторожно, избегая ударов. При низких отрицательных температурах изоляция и оболочки этих кабелей становятся хрупкими и легко повреждаются.

Кабельные линии прокладывают непосредственно в земляных траншеях, по строительным конструкциям в производственных и других помещениях, в кабельных коллекторах, туннелях, каналах, шахтах, кабельных этажах и помещениях, колодцах и блоках (под кабельным блоком понимается сооружение с каналами для протяжки в них кабелей и относящимися к нему колодцами).

Трассу кабельной линии выбирают так, чтобы расход кабеля был наименьшим. При этом учитывают возможности по защите его от механических повреждений, коррозии (при выборе трассы следует избегать участков с агрессивными грунтами относительно металлических оболочек кабелей), вибрации, от повреждений электрической дугой соседних кабелей в случае короткого замыкания, от перегрева при непосредственном воздействии солнечных лучей и различных тепловых источников. Необходимо избегать перекрещиваний кабелей друг с другом, а также с различными трубопроводами, строго выдерживая допустимые расстояния до сооружений.

Для того чтобы не возникали опасные механические напряжения в кабелях при монтаже и эксплуатации, их прокладывают «змейкой», как правило, с запасом по длине 1 %. Такой запас достаточен для компенсации возможных смещений почвы и температурных деформаций как самих кабелей, так и конструкций, по которым они проложены (например, ферм металлических эстакад). При прокладке по вертикальным и наклонным участкам трассы кабелей с бумажной нормально пропитанной изоляцией ограничивают разность уровня между высшей и низшей их точками для того, чтобы предотвратить стекание пропитывающего состава. Кабели в свинцовой оболочке прокладывают с максимальной разностью уровней 25 м при напряжении 1...3 кВ и 15 м при напряжении 6...10 кВ, а кабели в алюминиевой оболочке с разностью уровней 25 м при напряжении 1...3 кВ, с разностью 20 м при напряжении 6 кВ и с разностью 15 м при напряжении 10 кВ.

Если указанную разность уровней выдержать нельзя, кабельные линии секционируют, устанавливая стопорные или эпоксидные соединительные муфты. Кабель с обедненной бумажной изоляцией прокладывают с разностью уровней до 100 м (при наличии общей оболочки для всех жил) и 300 м, если каждая жила заключена в отдельную оболочку.

Для кабелей с бумажной нестекающей пропиткой, с резиновой или с пластмассовой изоляцией разность уровней не ограничивают. Трассу каждой подземной или подводной кабельной линии наносят на план с указанием ее



координат относительно существующих фундаментальных ориентиров или специально установленных знаков, указывающих местонахождение кабельных муфт.

При проходе через наружные и внутренние стены, перегородки, междуэтажные перекрытия, площадки лестничных клеток кабели прокладывают в металлических, асбоцементных и других трубах, внутренний диаметр которых должен быть не менее полутора наружного диаметра кабеля, или через проемы, устроенные в стенах или перекрытиях. При проходах кабелей через сгораемые стены или перекрытия труба должна выступать на 100 мм (без заделки кабеля в трубе) по обе стороны стены. Кабель можно также заделать бетоном низких марок и шлаковатой в центре трубы, диаметр которой не менее 100 мм. При этом длина выступающих частей по обе стороны стены не лимитируется. Проход через проем в сгораемых стенах и перекрытиях делают размером не менее 150 X 150 мм с таким расчетом, чтобы расстояние между кабелями и сгораемым материалом было не менее 50 мм. Крепление для подвески *кабеля* при этом предварительно обматывают смоляной лентой.

**Прокладка кабеля в траншеях.** До начала земляных работ по рытью траншеи монтажная организация вместе с представителями эксплуатирующей и строительной организаций обследуют запроектированную для прокладки кабельной линии трассу. При необходимости в проект и смету прокладки кабельной линии проектная организация по согласованию с представителями заказчика вносит необходимые изменения.

Осевую линию траншеи и исходные точки для разбивки наносят на трассе согласно привязкам и ориентирам, указанным в плане. Ширина траншеи определяется количеством и типом прокладываемых кабельных линий, допустимыми расстояниями между ними, а также техническими данными применяемого землеройного механизма. При рытье траншеи в слабых неустойчивых грунтах для предупреждения смещения грунтов, образования каверн и присадок ставят крепления. В земле прокладывают бронированные и специальные кабели с пластмассовой оболочкой, например кабель марки

ААШв. Траншеи роют по возможности прямолинейными. На всех поворотах, пересечениях и других местах трассы размеры траншеи по глубине и ширине делают такими, чтобы можно было проложить кабель с допустимым радиусом закругления и выдержать необходимые расстояния между прокладываемым кабелем и другими сооружениями в местах сближения и пересечения. Дно траншеи выравнивают, удаляют воду (если она имеется), очищают от мусора и подсыпают землю (слоем не менее 100 мм), не содержащую камней, строительного мусора и шлака.

В готовой траншее кабель прокладывают, раскатывая его с барабана, установленного на кабельном транспортере, автомобиле или трубоукладчике (рис. 3.2), которые перемещаются вдоль траншеи. При этом принимают сматываемый кабель и укладывают его на дно. На трассах с большим количеством пересечений с инженерными сооружениями кабель раскатывают лебедкой по роликам, а барабаны с кабелем устанавливают на раскаточные домкраты в конце трассы. На другом конце трассы устанавливают лебедку, а вдоль трассы — раскаточные ролики.

Сразу после прокладки кабель засыпают слоем мелкой земли (100 мм), утрамбовывают, потом укладывают красный кирпич или железобетонные плитки толщиной 50 мм и траншею засыпают. Кабели, расположенные на глубине 1...1,2 м, можно не защищать от механических повреждений, а для кабелей напряжением до 1000 В защиту устраивают только в местах вероятных механических повреждений. При параллельной прокладке в одной траншее нескольких кабелей расстояние между ними (в свету) должно быть не менее 100 мм. Там, где не представляется возможным устраивать переходы через дороги и другие инженерные сооружения в открытых траншеях, переходы выполняют с помощью горизонтального прокола или бурения грунта винтовыми или гидравлическими домкратами различных конструкций, устанавливаемыми в котлованах в начальной точке прокола или бурения грунта (рис. 3.3).

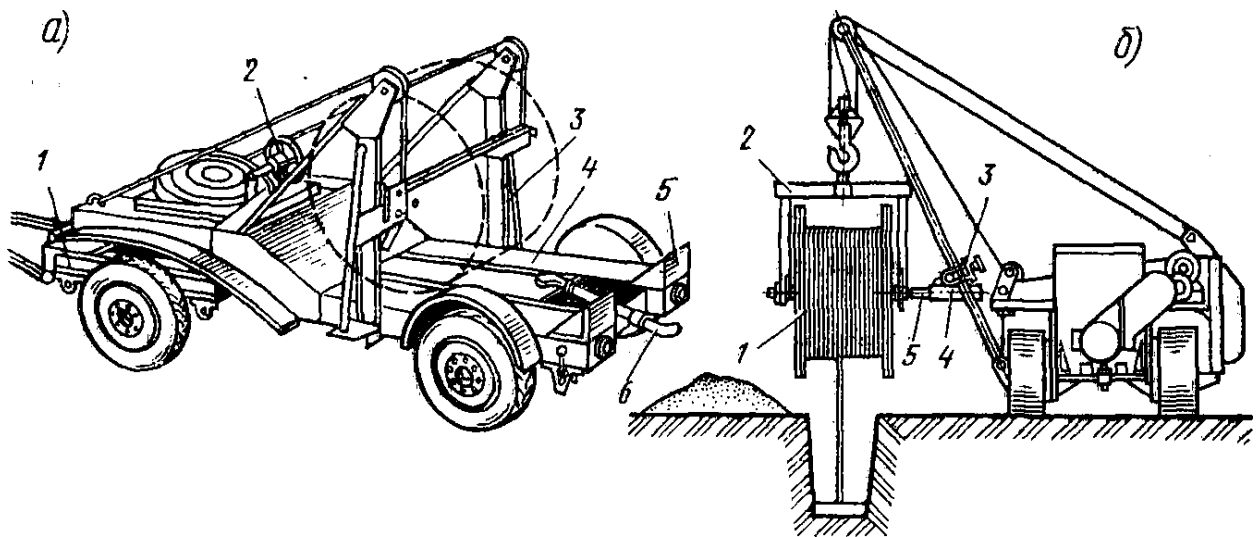


Рис. 3.2. Механизмы для укладки кабеля в траншеи: *а* - кабельный транспортер: 1 - передняя тележка; 2 - ручной тормоз; 3 - стойка; 4 - платформа; 5 - откидной трап; 6 - консоль; *б* - трубоукладчик: 1 - барабан с кабелем; 2 - такелажная траверса; 3 - зажим; 4 - втулка-удлинитель; 5 - ось траверсы

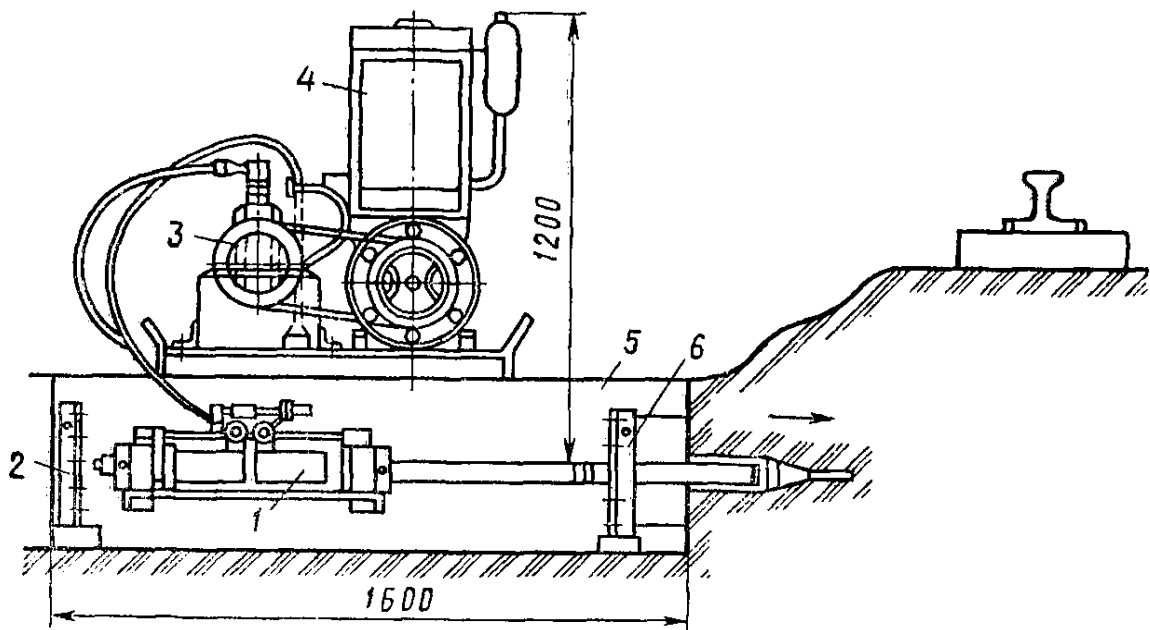


Рис. 3.3. Установка для прокола грунта: 1 - рабочий -цилиндр гидравлического пресса; 2 - упор; 3 - гидравлический пресс; 4 - бензиновый двигатель; 5 - рабочий котлован; 6 - направляющее устройство

Для ввода кабеля, выходящего из траншеи в здание, в стене заранее закладывают отрезки стальных или чугунных труб, размещенных на расстоянии друг от друга (в свету) при горизонтальном расположении не менее 100 мм и при вертикальном не менее 250 мм. Трубы берут с внутренним

диаметром, равным 1,5...2 наружным диаметрам кабеля. При таком диаметре труб кабель легко протягивается, и в случае необходимости его легко сменить. Кабель вводят в здание с запасом по длине 1,5...2 м на случай, если потребуется замена концевых муфт. Чтобы в здание по трубам не проникала вода, в местах ввода кабеля выкапывают небольшой котлован — «приямок» и с наружной стороны накладывают гидроизоляцию.

**Бестраншейная прокладка кабеля в земле.** Бестраншейную прокладку силового бронированного кабеля в свинцовой или алюминиевой оболочке до 10 кВ производят со специальных самоходных или передвигаемых тяговыми механизмами кабелеукладчиков. Она применяется на участках кабельных трасс, удаленных от подземных инженерных сооружений.

Работа кабелеукладчика основана на принципе расклинивания грунта и образования в нем щели шириной 100 мм и глубиной до 1,2 м от уровня поверхности земли. В образовавшуюся щель по мере продвижения кабелеукладчика через прикрепленную к ножу кассету укладывают кабель, сматываемый с барабана, установленного на кабелеукладчике или на кабельном транспортере. При этом устройство «постели», присыпка кабеля землей и механическая защита кабеля не требуются. Засыпка кабеля производится грунтом, разрываемым ножом кабелеукладчика при его передвижении (рис. 3.4).

При прокладке кабеля мерной планкой заглубление его в грунт контролируют через каждые 20—50 м. Если глубина заложения кабеля недостаточна, то прокладку приостанавливают и продолжают только после устранения причин, вызвавших отклонение от нормы. Отклонение глубины заложения кабеля от проектной допускается в пределах 50 мм.

При прокладке учитывают строительную длину кабелей на барабанах, чтобы соединительные муфты находились в местах, удобных для монтажа и эксплуатации, и не оказались в заболоченных местах, оврагах и т. п. Перед окончанием размотки кабеля с одного барабана конец его внахлест скрепляется с концом кабеля другого барабана.

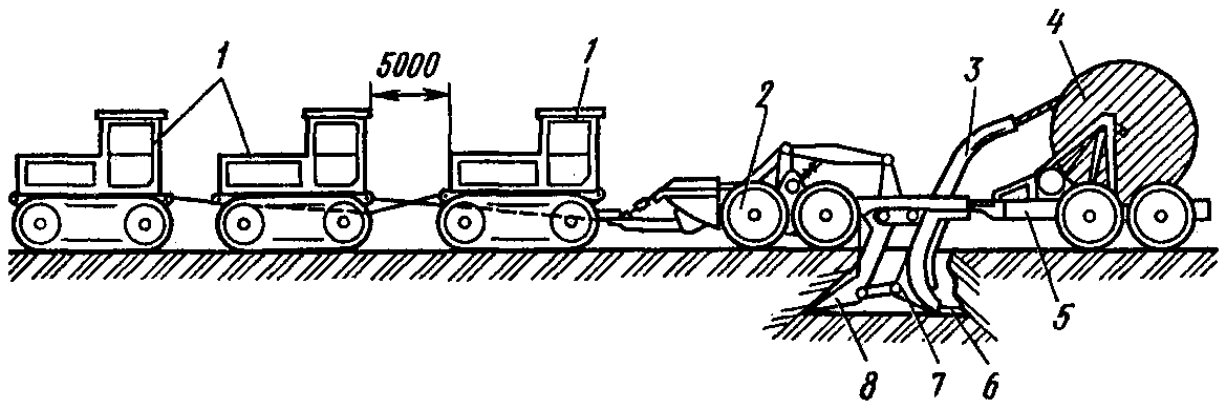


Рис. 3.4. Бестраншейная прокладка кабеля: 1 - трактор; 2 - кабелеукладчик; 3 - входной лоток кассеты; 4 - барабан с кабелем; 5 - кабельный транспортер; 6 - кабель; 7 - кассета для кабеля; 8 - нож

В городах или поселках на участках, имеющих подземные коммуникации и пересечения с инженерными сооружениями, бестраншейная прокладка кабелей не может быть осуществлена.

**Прокладка кабелей внутри зданий.** Внутри помещений прокладывают только бронированные кабели без наружного горючего покрова и небронированные кабели с негорючей оболочкой. В помещениях с агрессивной средой применяют кабели в оболочках, стойких к воздействию этой среды. Кабели внутри зданий, в том числе и в производственных помещениях, прокладывают непосредственно по стенам, потолкам, балкам, фермам и другим строительным конструкциям или по предварительно установленным на опорных поверхностях кабельным конструкциям или лоткам. Во всех случаях кабели должны быть доступны для осмотра и ремонта при эксплуатации.

В сетях напряжением до 1000 В применяют прокладку кабеля на тросах как внутри помещений, так и снаружи. В помещениях тросы крепят к колоннам вдоль или поперек здания, а также между стенами. Вне помещений трос обычно натягивают между стенами зданий. В качестве несущего троса применяют стальные канаты, горячекатаную круглую сталь. Расстояние между анкерными креплениями несущего троса принимают не более 100 м, а между промежуточными креплениями от 12 до 30 м в зависимости от количества и

сечения жил подвешиваемых кабелей. Расстояние между креплениями кабеля к несущему тросу устанавливают 0,8...1 м. Раскатку, подъем и укладку кабелей в подвешенные к тросу кабельные конструкции выполняют с применением механизмов и приспособлений.

**Прокладка кабеля в туннелях.** Для прокладки кабеля используют туннели круглого сечения с внутренним диаметром 2,6 м и туннели прямоугольного сечения иногда сдвоенного типа (рис. 3.5). Для прокладки в туннелях применяют кабели с негорючими оболочками и защитными покровами.

Контрольные кабели размещают только над или только под силовыми кабелями и отделяют их горизонтальной перегородкой. Допускается прокладывать контрольные кабели рядом с силовыми кабелями с напряжением до 1000 В.

Силовые кабели напряжением до 1000 В прокладывают над кабелями напряжением свыше 1000 В и отделяют их горизонтальной негорючей перегородкой. Различные группы кабелей, а именно: рабочие и резервные напряжением свыше 1000 В, прокладывают на разных горизонтальных уровнях с отделением их перегородками.

Если кабель подлежит частичной прокладке в туннеле и частичной - в земле, то в таких случаях применяют кабель с наружным покровом. Сгораемый покров удаляется только на участке трассы внутри туннеля до места выхода из него, заподлицо с заделкой трубы или проема. Применение в кабельных туннелях небронированных кабелей с полиэтиленовой оболочкой по условиям пожарной безопасности запрещается.

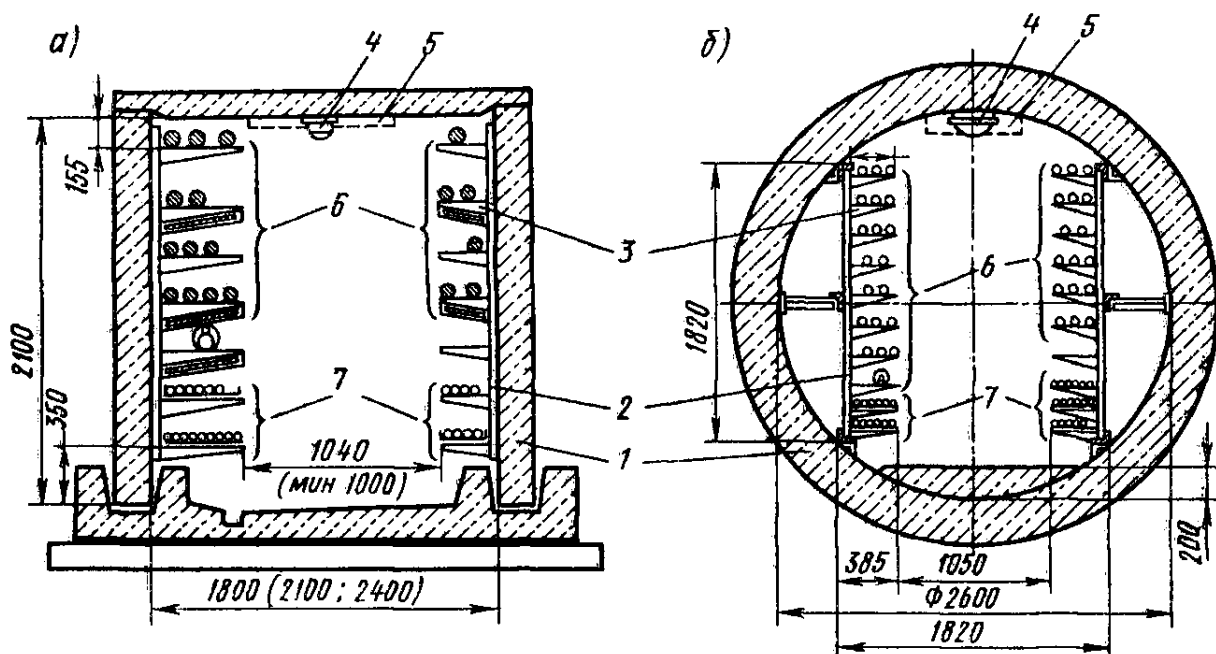


Рис. 3.5. Раскладка кабеля: а - туннель прямоугольного сечения; б - туннель круглого сечения; 1 - блок туннеля; 2 - стойка; 3 - полка; 4 - светильник; 5 - зона пожароизвещателей и трубопроводов механизированной уборки пыли и пожаротушения; 6 - силовые кабели; 7 - контрольные кабели

Количество кабелей, укладываемых на полках и лотках, определяется их типом и размером, а также диаметром и массой укладываемых кабелей. Прокладку кабелей в туннелях выполняют механизированным способом с применением тех или иных механизмов и приспособлений (рис. 3.6). В ряде случаев в качестве тянущего устройства применяют специальный электропривод.

Для раскатки кабеля на прямых участках трассы устанавливают линейные ролики на расстоянии от 3 до 7 м друг от друга в зависимости от массы кабеля и условий прокладки, а на поворотах трассы - угловые ролики. Линейные и угловые ролики закрепляют так, чтобы при протяжке кабеля они не смещались. Ролики должны быть такой конструкции, которая позволяет легко снять раскатанный кабель и переложить его на отведенное место роликов должен быть не меньше радиуса изгиба, допустимого для прокладываемого кабеля.

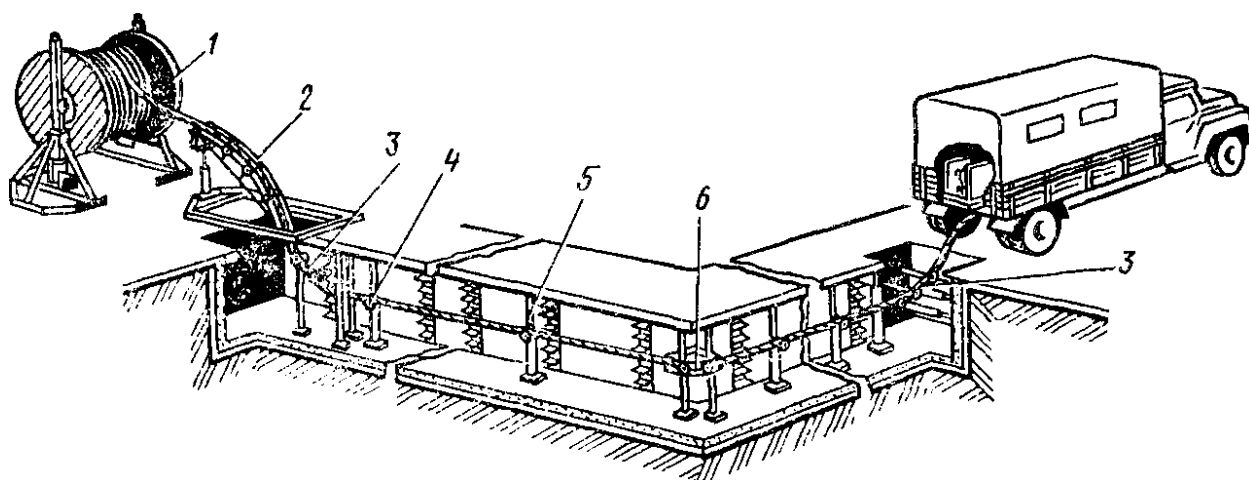


Рис. 3.6. Прокладка кабеля в туннеле тяжением: 1 - барабан; 2 - верхнее обводное устройство; 3 - нижнее обводное устройство; 4 - линейный ролик; 5 - распорная стойка; 6 - угловой ролик

Канат лебедки разматывают по роликам вдоль траншеи и закрепляют к нему конец раскатываемого кабеля. Канат крепят к кабелям напряжением до 35 кВ за жилы или проволочным чулком. При креплении к жилам торец оболочки кабеля подбивают вокруг жилы и обматывают их смоляной лентой для предотвращения попадания влаги.

Усилия тяжения кабеля напряжением 10 кВ и выше рекомендуется контролировать с помощью динамометра или другого контрольного устройства, устанавливаемого на лебедке. Когда усилие тяжения достигает установленного предельного значения, контрольное устройство должно автоматически отцепить кабель от лебедки.

Необходимые усилия тяжения кабеля, допустимые усилия тяжения, а также диаметр стального каната приводятся в специальной нормативной литературе. В общем случае при тяжении *кабеля* на прямых участках по роликам, когда не исключено скольжение кабеля по земле между роликами, усилие  $P = 0,35 q$ , где  $q$  - масса прокладываемого кабеля.

Прокладка кабелей в блоках. Для сооружения блоков применяют двух- и трехканальные железобетонные панели, предназначенные для прокладки в сухих, влажных и насыщенных водой грунтах; асбоцементные трубы для защиты кабелей от блуждающих токов; керамические трубы для защиты



кабелей в агрессивных и насыщенных водой грунтах (при необходимости и в сухих грунтах).

В местах изменения направления трассы или глубины заложения блоков, а также на прямолинейных участках большой длины делают кабельные колодцы. Расстояния между соседними колодцами принимают максимальными с учетом строительных длин кабелей, усилий тяжения и условий прокладки. Габариты кабельных колодцев обеспечивают нормальные условия протяжки кабелей с максимальным сечением  $3 \times 240 \text{ мм}^2$  с радиусом изгиба кабеля  $R = 25 d$ .

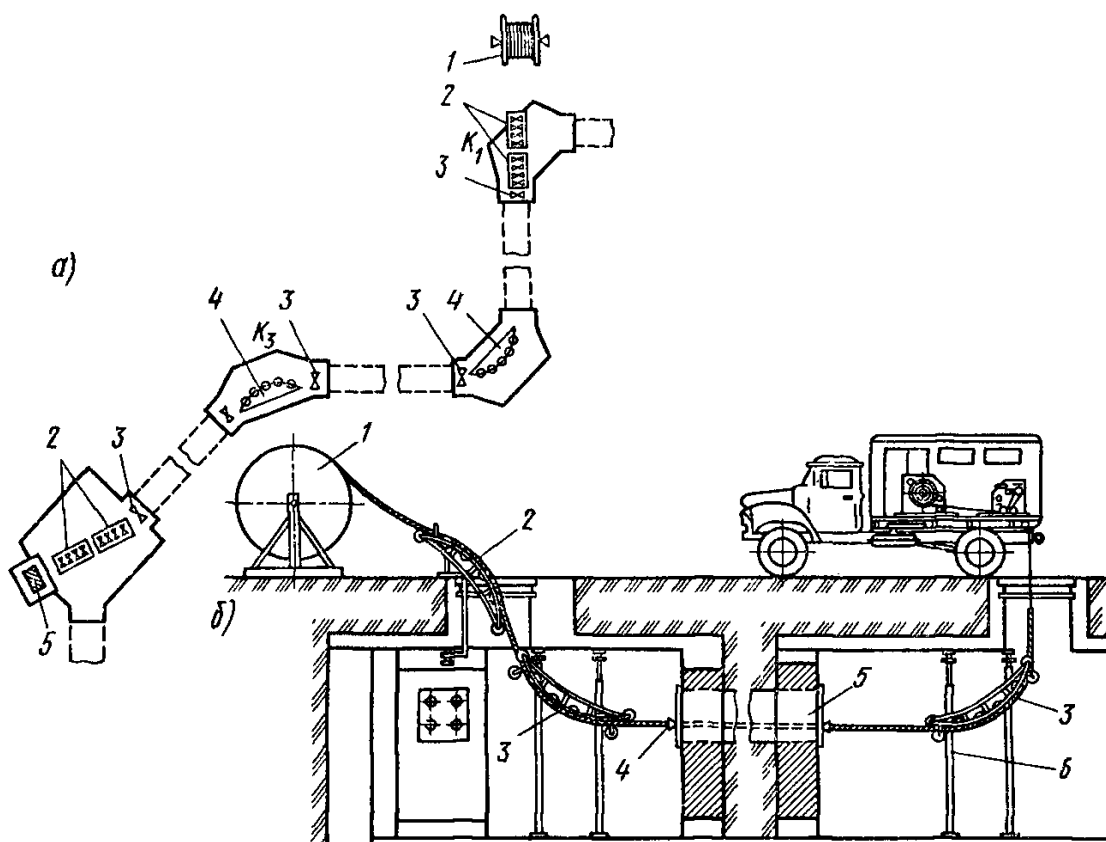


Рис. 3.7. Механизированная прокладка кабеля в блоках; *а* - схема расстановки механизмов и приспособлений для прокладки кабелей в блоках: 1 - барабан с кабелем; 2 - угловые ролики во входном и выходном колодцах; 3 - линейные ролики; 4 - угловые ролики в промежуточных колодцах; 5 - тяговая лебедка;  $K_1 \dots K_3$  - колодцы блочной канализации; *б* - схема выполнения прокладки: 1 - барабан с кабелем; 2 - верхние направляющие ролики; 3 - нижние направляющие ролики; 4 - воронка; 5 - блок; 6 - распорная стойка

Для прокладки в блочной канализации применяют кабели с незащищенной свинцовой оболочкой марки СГ и АСГ, а также кабели с незащищенной пластмассовой оболочкой марок ВВГ, АПВГ, АВВГ, АПсВГ и АПвВГ. На

участках блоков длиной до 50 м допускается прокладка бронированных кабелей в свинцовой или алюминиевой оболочке без наружного покрова из кабельной пряжи с покраской брони для защиты от каррозии битумным лаком. На рис. 3.7 показаны схема расстановки механизмов и приспособлений для механизированной прокладки и ее выполнение.

Прокладка кабелей в каналах. Каналы выполняются как внутри, так и вне зданий. В зависимости от количества прокладываемых кабелей, их назначения, напряжения и мощности кабелей применяют различные типы каналов и способы укладки в них кабелей (рис. 3.8).

Кабели в каналах укладывают как непосредственно по дну канала, так и на кабельных конструкциях, установленных по стенкам каналов. При этом по дну канала кабели укладывают только в каналах глубиной не более 0,9 м. Укладку осуществляют с применением раскаточных роликов и тянущих электроприводов. Вне зданий каналы поверх съемных плит засыпают слоем земли.

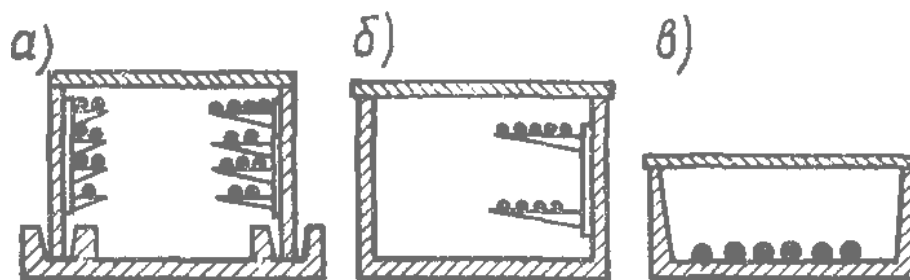


Рис. 3.8. Сборные железобетонные каналы и расположение в них кабелей:  
а - из железобетонных плит с расположением кабелей на полках; б - лоткового типа с расположением кабелей на полках; в - лоткового типа с расположением кабелей на дне канала

На территории, доступной только для обслуживающего персонала, засыпка не обязательна. Каналы в распределительных устройствах и производственных помещениях перекрывают съемными негоряемыми плитами, в электромашинных помещениях — рифлеными железными плитами, в помещениях щитов управления с паркетными полами, в каналах которых проложены только контрольные кабели,— деревянными щитами с паркетом

или деревянными плитами. Не следует засыпать песком каналы, в которых проложены силовые кабели.

Для повышения производительности труда и улучшения качества работ кабельные линии небольшой протяженности выполняют по предварительным замерам трассы их прокладки с учетом монтажа концевых заделок или муфт, а также соединительных муфт в мастерских.

### **3.4. Монтаж кабельных концевых заделок и концевых соединительных и ответвительных муфт**

При монтаже кабельных линий наиболее сложной и ответственной работой является соединение и ответвление кабелей и разделка их концов для присоединения к аппаратам, электродвигателям и другим электротехническим устройствам. Эта работа выполняется в строгом соответствии с требованиями технической документации и монтажными инструкциями организаций, монтирующих и эксплуатирующих кабельные линии.

Под кабельной концевой заделкой понимают для присоединения кабеля к устройству, предназначенному электроаппаратам внутренней установки. Они не имеют специального защитного корпуса (рис. 3.9).

Кабельная концевая муфта - это устройство, предназначенное для присоединения кабелей к электроаппаратам наружной или внутренней установки или воздушным линиям электропередачи (рис. 3.10).

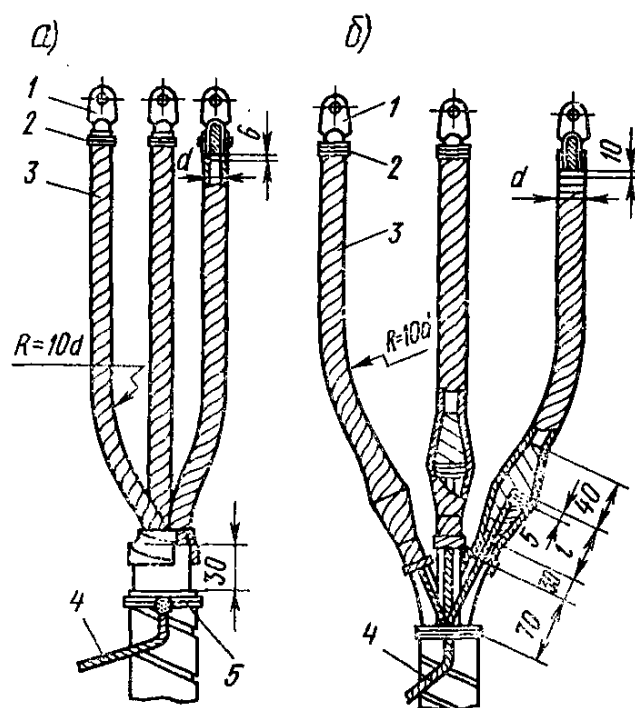


Рис. 3.9. Концевые эпоксидные заделки кабелей: *a* - типа КВЭз: 1 - наконечник; 2 - подмотка из хлопчатобумажной ленты с промазкой эпоксидным компаундом; 3 - подмотка липкой лентой ПХВ; 4 - провод заземления; 5 - подмотка с экраном; *б* - типа ПКВ на напряжение 1...10 кВ: 1 - наконечник; 2 - бандаж из суровых ниток; 3 - подмотка липкой лентой; 4 - провод заземления; 5 - подмотка с экраном

Надежность муфт и заделок зависит от тщательного выполнения их монтажа и соблюдения технологии, указанной монтажными инструкциями. Попадание влаги или грязи в муфту или заделку резко ухудшает электрическую прочность и приводит к выходу из строя кабеля при его испытаниях после монтажа или во время эксплуатации. Поэтому работы по монтажу муфт и заделок выполняются чистыми руками и инструментом, без перерыва в работе до полного их окончания. Корпус муфты перед началом работы также тщательно очищают с обе их сторон и протирают тряпками, смоченными в бензине.

Монтажу концевых заделок, соединительных и концевых муфт предшествует разделка концов кабеля. С концов кабеля, которые подлежат оконцеванию или соединению, последовательно удаляют защитный покров, броню, оболочку, бумажную поясную изоляцию и изоляцию жил. В результате образуется ступенчатая разделка кабеля (см. рис. 3-1), размеры отдельных

ступеней которой определяются в зависимости от напряжения кабеля, типа и размера концевой заделки и муфты.

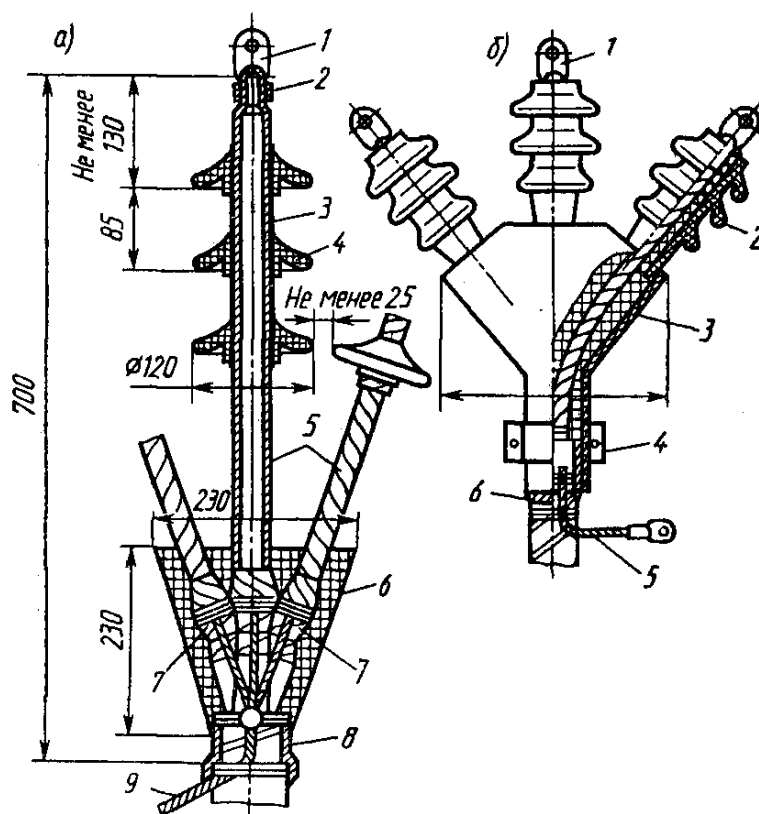


Рис. 3.10. Концевые кабельные муфты: *а* - наружной установки марки ПКНЭ для кабелей с пластмассовой изоляцией на напряжение 10 кВ: 1 - наконечник; 2 - бандаж; 3 - уплотняющая подмотка; 4 - изолятор; 5 - подмотка; 6 - корпус муфты; 7 - конусная подмотка; 8 - герметизирующая подмотка; 9 - провод заземления; *б* - наружной установки марки КНЭ на напряжение 6...10 кВ: 1 - кабельный наконечник; 2 - проходной изолятор; 3 - корпус муфты; 4 - скоба для крепления; 5 - провод заземления; 6 - подмотка из хлопчатобумажных лент с промазкой эпоксидными компаундами

При монтаже муфт и заделок у кабелей с бумажной изоляцией предварительно проверяют бумажную изоляцию на отсутствие в ней влаги. Для этого с конца кабеля обрывают отдельные бумажные ленты и опускают в парафин, разогретый до 140...150 °С. Если бумажная изоляция увлажнена, наблюдается легкое потрескивание и выделение пены.

В настоящее время для заделки кабелей широко применяют эпоксидные концевые муфты с трубками из найритовой резины, резиновые перчатки, а также эпоксидные концевые муфты специальной конструкции,

предназначенные для наружной установки. Например, эпоксидную концевую заделку с трубками из найритовой резины применяют для кабелей с бумажной изоляцией на напряжение до 10 кВ в сухих, влажных, с проводящей пылью, с химически активной средой (кроме взрывоопасных).

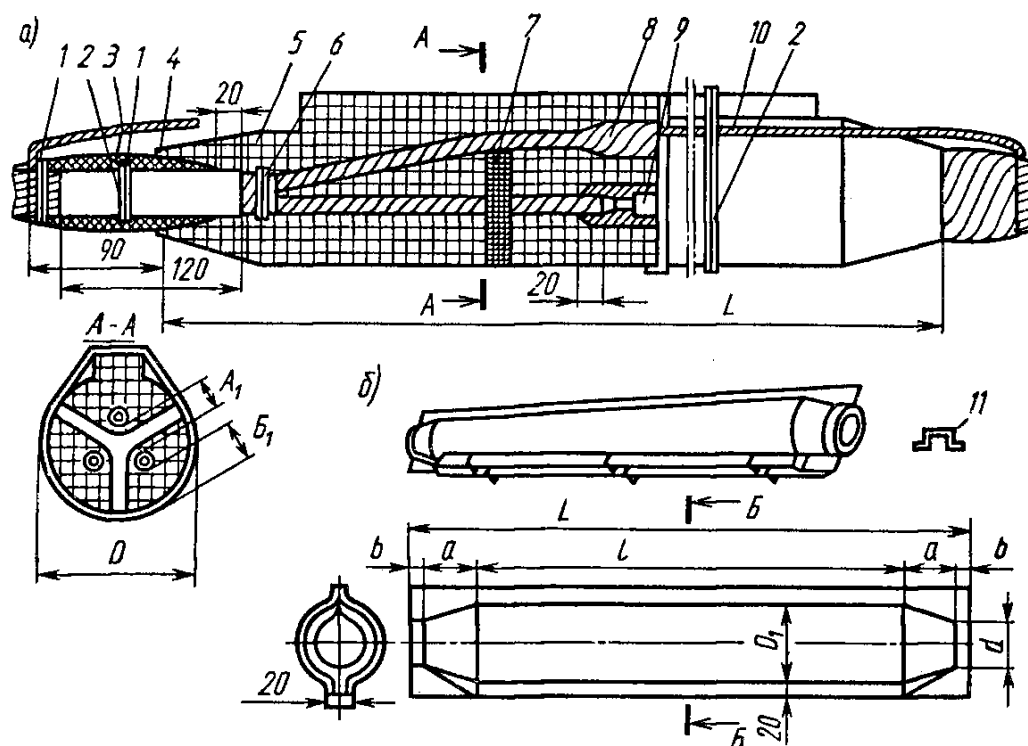


Рис. 3.11. Эпоксидная соединительная муфта на напряжение 6 и 10 кВ:  
*a* - муфта; *б* - съемная металлическая (пластмассовая) форма; *1* - место припайки проводника заземления; *2* - бандаж из проволоки; *3* - герметизирующая подмотка; *4* - уплотняющая подмотка; *5* - муфта; *6* - бандаж из суровых ниток; *7* - фиксирующая звездочка; *8* - подмотка соединения жил; *9* - соединение жил; *10* - проводник заземления;  
*11* - скоба

Эпоксидные соединительные муфты для кабелей с бумажной изоляцией (рис. 3.11) выполняют в эпоксидных корпусах, изготовляемых из эпоксидного компаунда марок К-176, К-115, УП-584у, поставляемых с завода на монтаж в комплекте с компаундом, отвердителем для заливки муфты и вспомогательными материалами. Монтаж эпоксидных соединительных муфт начинают со ступенчатой разделки. Затем к оболочке и броне кабеля припаивают заземляющий проводник, соединяют концы жил (термитной

сваркой, опрессовкой, электросваркой или пайкой); при этом места сварки или пайки освобождают от заусенцев, кромок и обезжиривают. После этого ставят эпоксидные распорки для фиксации жил кабеля в муфте, провод заземления припаивают к другому концу кабеля, обезжиривают броню и оболочку кабеля, делают герметизирующую подмотку, устанавливают на место эпоксидные полумуфты, уплотняют вводы кабелей в муфты и муфту заливают компаундом малой струей, предварительно смешанным с отвердителем.

Эпоксидные муфты монтируют при температуре окружающего воздуха не ниже +10 °С. В туннелях и каналах устанавливают эпоксидные соединительные муфты, на которые надевают защитный кожух. Эпоксидная соединительная муфта может быть стопорной. В этом случае жилы соединяют только пайкой или сваркой, так как соединение жил опрессовкой не устраняет перетекания пропиточного состава изоляции кабеля между проволоками жил.

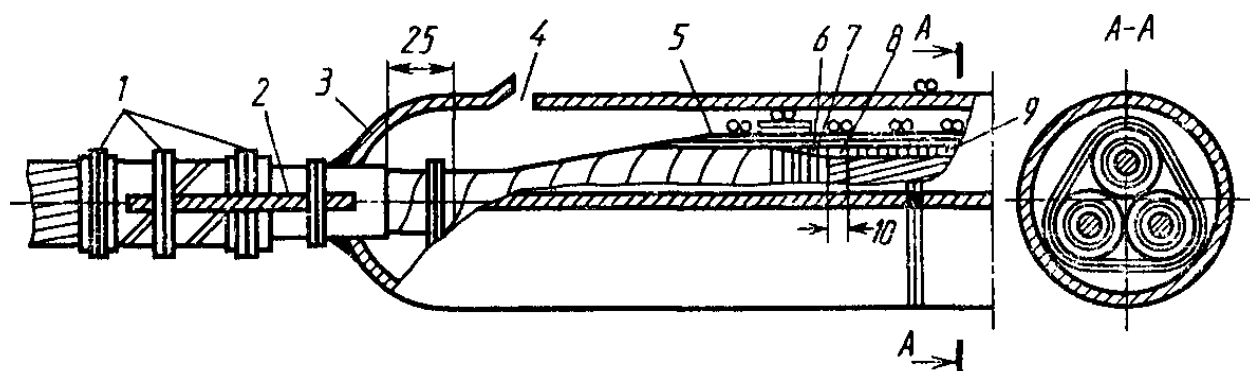


Рис. 3.12. Свинцовая соединительная муфта марки СС: 1 - бандажи; 2 - провод заземления; 3 - корпус муфты; 4 - заливочное отверстие; 5 - подмотка рулонами; 6 - подмотка рулонами шириной 25 мм; 7 - то же, 10 мм; 8 - то же, 5 мм; 9 - соединительная гильза

Свинцовые соединительные муфты (рис. 3.12) изготавливают из свинцовых труб диаметром от 60 до 110 мм и длиной от 450 до 650 мм в зависимости от сечения и напряжения кабелей. Разделку концов производят так же, как и при монтаже эпоксидных соединительных муфт. Затем на кабель надевают свинцовую муфту и соединяют жилы кабелей термитной сваркой или другим способом; место пайки или сварки очищают и промывают (прошпаривают) кабельной массой МП-1, нагретой до 120...130° С (для удаления загрязнений и

влаги). После этого подмоткой восстанавливают заводскую изоляцию жил кабеля кабельной бумагой, пропитанной маслом

Рулоны и ролики кабельной бумаги вместе с нитками поступают на монтаж в жестяных запаянных банках, заполненных кабельной массой МП-1. В зависимости от количества и размеров бумажных рулонов и роликов эти комплекты в банках различают по номерам. Бумажную изоляцию плотно укладывают, не допуская образования между слоями бумаги пузырьков воздуха. После этого жилы кабеля вторично прошпаривают кабельной массой МП-1, надвигают на место соединения свинцовую муфту, концы ее околачивают и припаивают к оболочке кабеля. Для заливки муфты кабельной массой в муфте на расстоянии 260...350 мм друг от друга вырезают два отверстия: одно - для введения в муфту кабельной массы, другое - для выхода из нее воздуха.

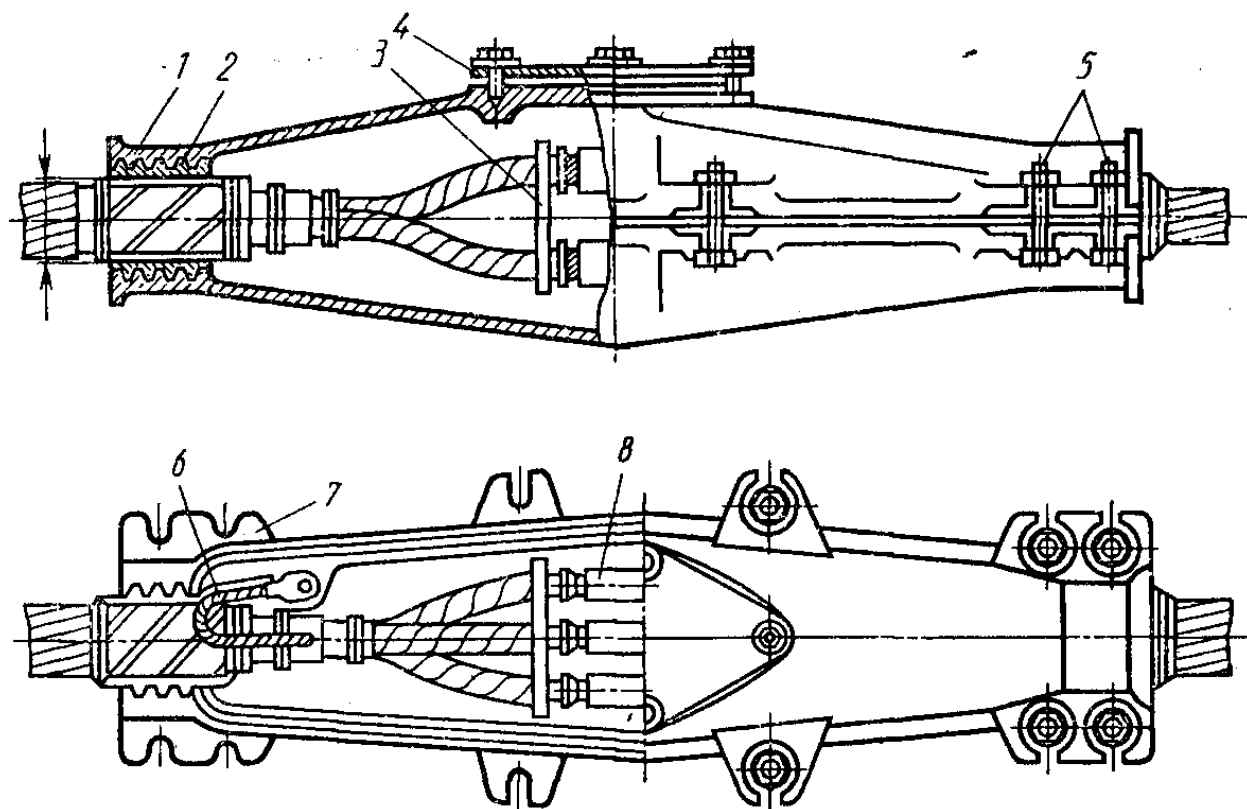


Рис. 3.13. Чугунные соединительные муфты марки СЧ:  
 1 - верхняя полумуфта; 2 - подмотка из смоляной ленты; 3 - фарфоровая фиксирующая форма; 4 - крышка; 5 - стягивающие болты; 6 - проводник заземления; 7 - нижняя полумуфта; 8 - соединительная гильза



Перед заливкой кабельную массу нагревают и заливают в предварительно подогретую муфту. После охлаждения и усадки кабельной массы ее подливают до полного заполнения муфты, после чего заливочные отверстия запаивают. Свинцовую муфту в целях защиты от повреждений заключают в стальной или чугунный кожух.

Для соединения кабелей напряжением до 1 кВ применяют чугунные муфты (рис. 3.13), а для соединения кабелей с пластмассовой изоляцией эпоксидные муфты. После окончания монтажа проводятся необходимые испытания, подтверждающие высокое качество монтажных работ.

### **3.5. Техника безопасности при монтаже кабелей**

При прокладке кабеля вручную масса участка кабеля, приходящегося на одного взрослого рабочего, не должна превышать для мужчин 35 кг и для женщин 20 кг. В местах расположения подземных коммуникаций к земляным работам приступают только при наличии письменного разрешения организаций, ответственных за эксплуатацию этих коммуникаций. Вблизи подземных коммуникаций (например, трубопроводов) земляные работы ведут под непосредственным наблюдением производителя работ или мастера, а вблизи действующих кабелей, кроме того, под наблюдением ответственного работника энергосистемы, эксплуатирующей эти кабели.

Пользование ударными инструментами (ломы, кирки, клинья, пневмоинструмент), а также землеройными машинами вблизи действующих подземных коммуникаций (электрические кабельные линии, газопроводы, напорные трубопроводы и др.) запрещается. Если при работах обнаруживают не предусмотренные в плане трассы подземные коммуникации, то земляные работы немедленно прекращают впредь до выяснения и получения соответствующего разрешения. Кабели и муфты, обнаруженные при производстве земляных работ, подлежат защите щитами и плакатами, предупреждающими о наличии напряжения и опасности для жизни.

При спуске барабанов с платформ или автомашин не допускается присутствие людей вблизи наклонных слег. При прогреве кабеля электрическим током не допускается применение напряжения свыше 250 В. Силовые трансформаторы, сварочные и другие машины, используемые при прогреве на напряжения свыше 36 В, подлежат заземлению вместе с металлической оболочкой кабеля.

Осмотр колодцев, туннелей, коллекторов и работы в них должны производиться не менее чем двумя лицами. Колодец или туннель при открытии люка должен быть провентилирован. К работе в колодцах и туннелях можно приступать только в том случае, если не будет обнаружен газ (наличие или отсутствие газа устанавливают специальные службы предприятия). При работах в колодцах, туннелях и коллекторах допускается использование переносных ламп напряжением не свыше 12 В. Кабельные заделки монтируют с применением эпоксидного компаунда и специальных лаков № 1 и 2 лишь электромонтеры, прошедшие предварительный инструктаж.

Кабельную массу и припой разогревают, эту массу заливают в муфту обязательно в брезентовых рукавицах и защитных очках.

К электрическим испытаниям кабеля приступают, проверив отсутствие на нем напряжения (в необходимых случаях кабель заземляют).

### **Контрольные вопросы**

1. Какие типы кабельных линий применяют в электроустановках промышленных предприятий?
2. Какие средства механизации применяются при монтаже кабельных линий в блоках?
3. Какие средства механизации применяют при монтаже кабельных линий в траншеях?
4. Как монтируют концевые кабельные муфты?
5. Как монтируют соединительные кабельные муфты?
6. Как монтируют эпоксидные концевые заделки?
7. Изложите правила техники безопасности при монтаже муфт.

## 4. МОНТАЖ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

### 4.1. Общие требования к воздушным линиям и определения

*Воздушной линией электропередачи* (ВЛ) называют устройство для передачи электроэнергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным с помощью изоляторов и арматуры к опорам или кронштейнам и стойкам на инженерных сооружениях (мостах, путепроводах и т. п.).

За начало и конец ВЛ принимают линейные порталы или линейные вводы распределительных устройств, а для ответвлений — ответвительную опору и линейный портал распределительного устройства. По рабочему напряжению их делят на ВЛ до 1 кВ и ВЛ свыше 1 кВ. Воздушные линии свыше 1 кВ в Республике Узбекистан строят на напряжения 6, 10, 35, 110 кВ и более.

Для различной местности к ВЛ предъявляются различные требования с точки зрения надежности крепления проводов и защитных тросов, расстояний от земли и окружающих предметов и т. п. В соответствии с ПУЭ местность разделяют на населенную, ненаселенную, труднодоступную и застроенную. Полосу местности, по которой проходит ВЛ, называют *трассой линии*.

Провода и защитные тросы через изоляторы или гирлянды изоляторов подвешивают на опорах: промежуточных, угловых, анкерных, концевых, транспозиционных, усиленных (противоветровых и опор больших переходов). Их выполняют свободностоящими или с оттяжками—деревянными, железобетонными или металлическими, одноцепными, двухцепными и т. п. (рис. 4.1).

Для линий электропередачи применяют неизолированные однопроводные, многопроводные (из одного металла или комбинированные из двух металлов), а также пустотелые или голые, провода и тросы

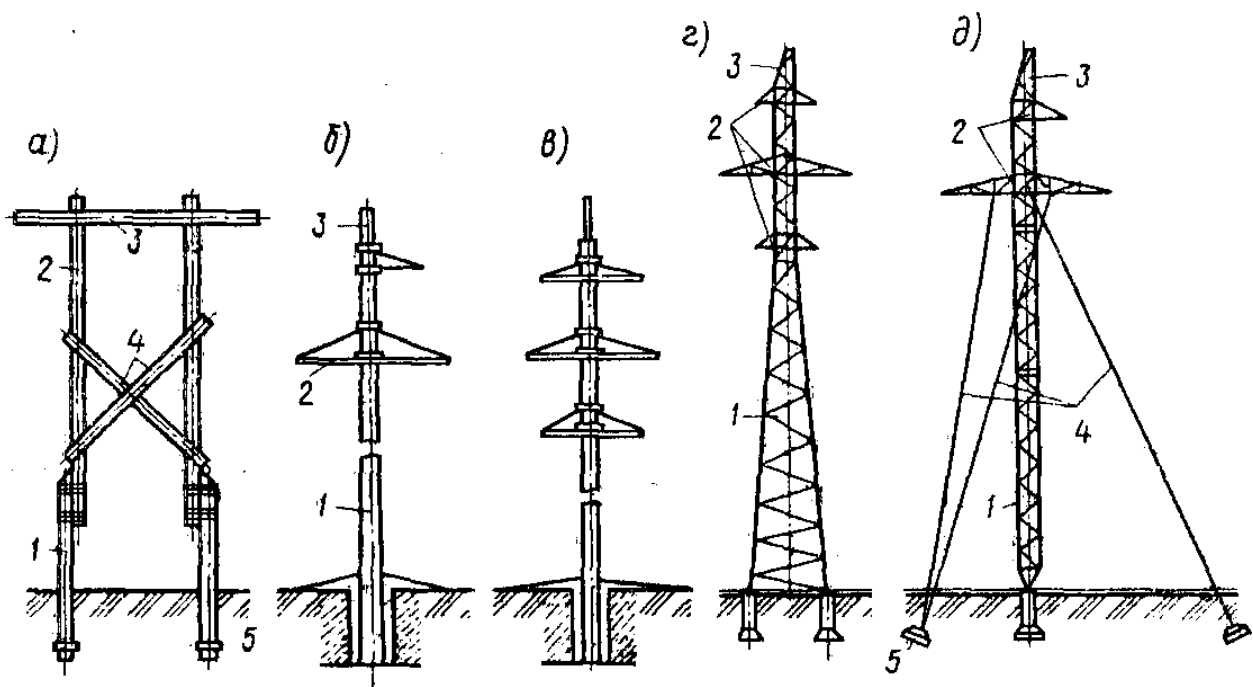


Рис. 4.1. Типы промежуточных опор: *а* - П-образная деревянная опора ВЛ напряжением 35...110 кВ: 1 - пасынок; 2 - стойка; 3 - траверса, 4 - раскосы; 5 - ригель; *б* - железобетонная опора ВЛ напряжением 35...220 кВ: 1 - стойка; 2 - траверса; 3 - тросостойка; *в* - железобетонная двухцепная опора ВЛ напряжением 35...110 кВ; *г, д* - двухдепные и одноцепная металлические опоры: 1 - ствол; 2 - траверса; 3 - тросостойка; 4 - оттяжка; 5 - анкерная плита

Однопроволочные медные провода изготавливают сечением от 4 до 10 мм<sup>2</sup>, стальные - сечением от 10 до 28 мм<sup>2</sup> (диаметром 3,5...6 мм), а биметаллические - из стальной проволоки, покрытой слоем меди или алюминия, сечением от 10 до 25 мм<sup>2</sup> (рис. 4.2, *а, б*).

Многопроволочные провода из одного металла (рис. 4.2, *в*) изготавливают скруткой отдельных проволок в определенном порядке. Как правило, провод имеет одну центральную проволоку и последующие повивы (ряды) проволок. В первый повив укладывается обычно шесть проволок, а в каждый последующий — на шесть проволок больше. Таким образом, провод с одним новивом имеет 7 проволок, с двумя — 19 и т. д.

Трос (рис. 4.2, *г*) состоит из проволочных прядей, свитых вокруг пенькового сердечника. Проволоки внутри прядей также перевиты между собой. В маркировке троса указывается количество прядей и число проволок в каждой из них.

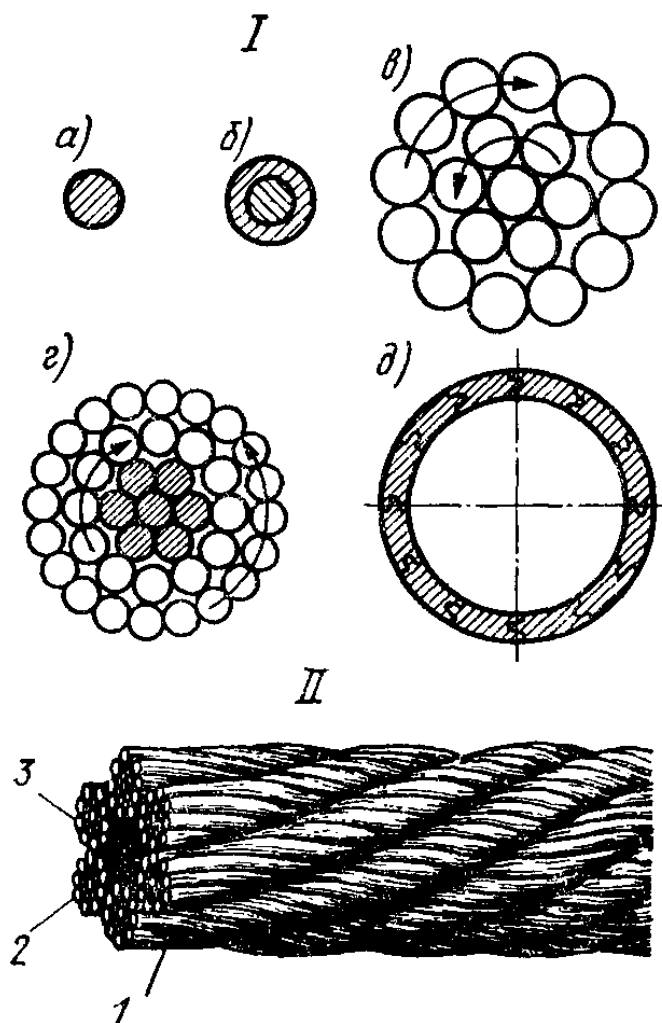


Рис. 4.2. Конструкция неизолированных проводов и тросов: *I* — неизолированных проводов: *a* - однопроволочного; *б* - однопроволочного биметаллического; *в* - многопроволочного; *г* - многопроволочного комбинированного; *д* - полового; *II* - трос: 1 - прядь; 2 - проволока; 3 - пеньковый сердечник

Для ВЛ напряжением до 110 кВ применяют провода: медные, марки М - однопроволочные и многопроволочные, алюминиевые марок А и АКП - многопроволочные соответственно с междупроволочным пространством, защищенным или незащищенным нейтральной смазкой; ПС - стальные многопроволочные; АС - сталеалюминиевые со стальным сердечником; АСК - сталеалюминиевые, с сердечником, покрытым пленкой; АСКС - сталеалюминиевые, защищенные нейтральной смазкой; АСКП - сталеалюминиевые с сердечником, защищенным пленкой и междупроволочным пространством, защищенным нейтральной смазкой.

Для изоляции проводов и тросов от земли и крепления их к опорам служат изоляторы, изготавливаемые из фарфора и стекла (в обозначении марки изолятора соответственно индекс «Ф» или «С»). В зависимости от способа крепления на опоре изоляторы разделяют на штыревые, которые крепят на крюках или штырях, и подвесные, которые собирают в гирлянды и крепят к опоре с помощью специальной арматуры (рис. 4.3).

**Штыревые изоляторы** применяют на ВЛ напряжением до 35 кВ. На ВЛ напряжением 0,4 кВ применяют штыревые изоляторы ТФ, ШФН, РФО и НС, а на ВЛ 6...10 кВ - изоляторы ШС-10А, ШС-10В, ШФ-10Г. Штыревые изоляторы для ВЛ 20 и 35 кВ имеют сложную конструкцию и состоят из двух частей, соединяемых цементной связкой.

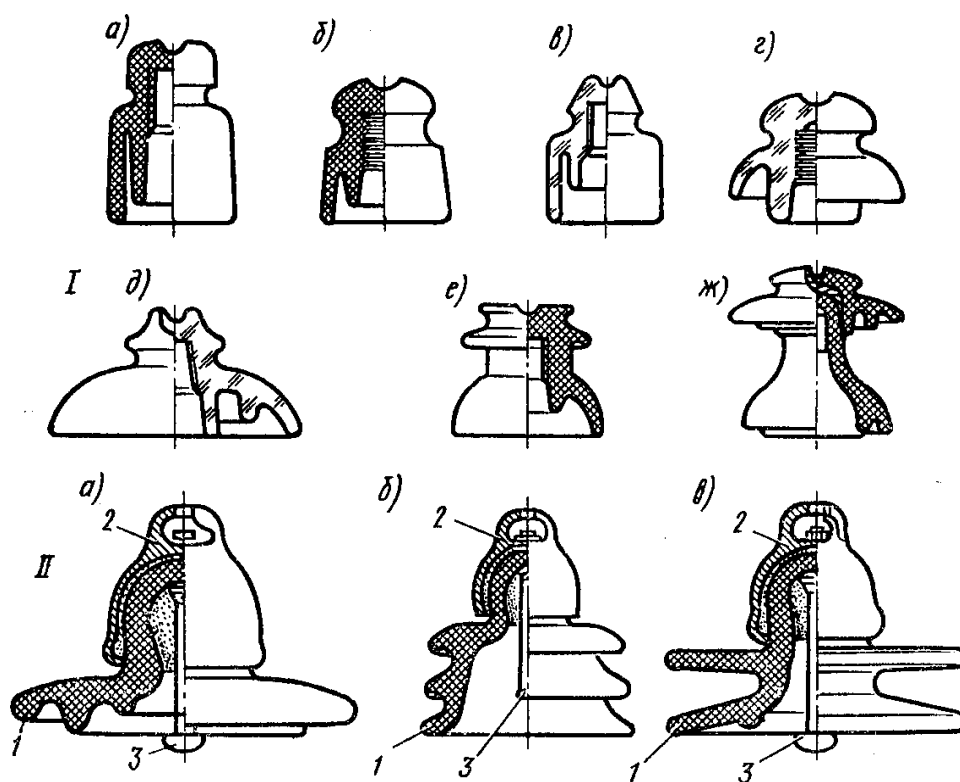


Рис. 4.3. Изоляторы для ВЛ: I - штыревые: а - ТФ; б - ШФН; в - НС; г - ШС-10А; д - ШС-10В; е - ШФ-10Г; ж - ШФ-35Б; II - подвесные: а - нормальный (ПФ6-А); б, в - для загрязненных районов (ПР-3,5 и ПФГ6-А); 1 — изолирующая деталь (тарелка); 2 - шапка; 3 - стержень

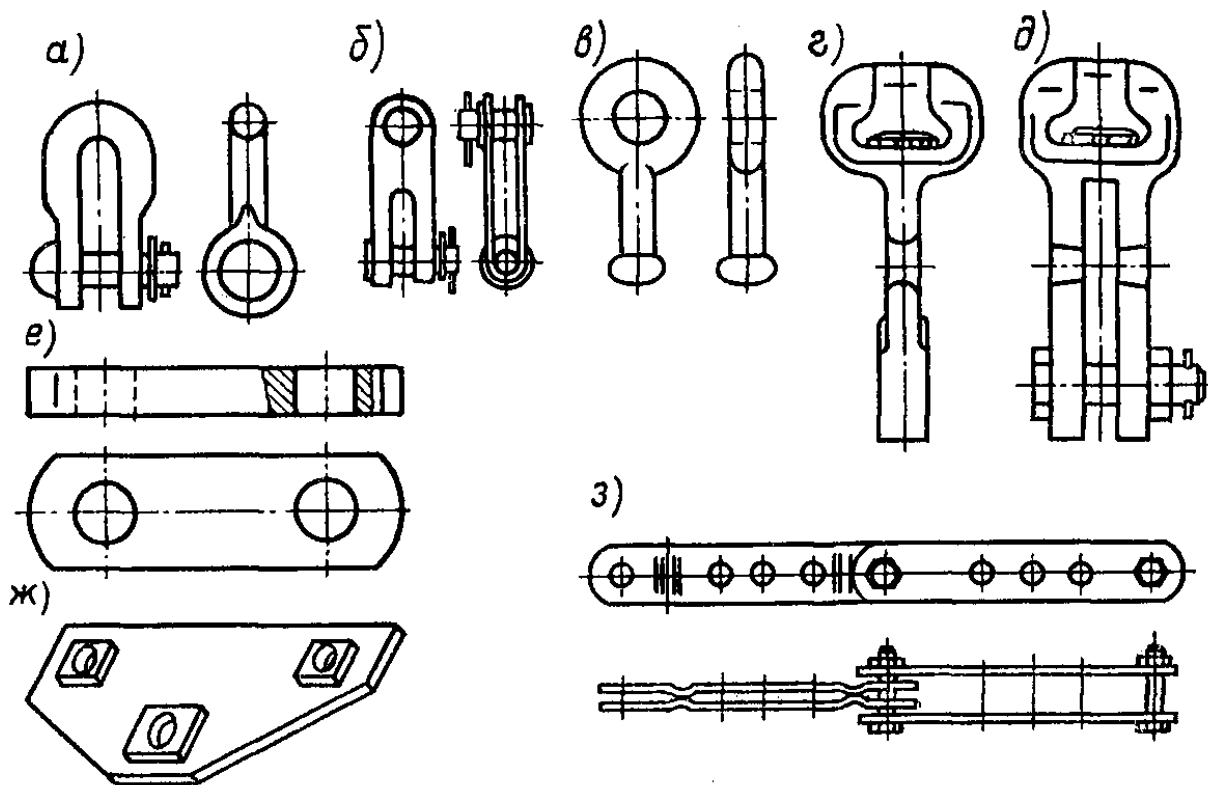


Рис. 4.4. Сцепная арматура: а - скоба; б - двойная скоба; в - серьга; г - однолапчатое ушко; д - двухлапчатое ушко; е - промежуточное звено; ж - коромысло; з - регулируемое промежуточное звено

**Подвесные изоляторы** применяют на ВЛ напряжением 35 кВ и выше, а также на ВЛ напряжением 6...10 кВ, если требуются изоляторы повышенной механической прочности (например, на больших переходах, на анкерных опорах с тяжелыми проводами).

На ВЛ напряжением свыше 35 кВ подвесные изоляторы с помощью сцепной арматуры (рис. 4.4) комплектуют в гирлянды (рис. 4.5).

Комплекс работ по сооружению ВЛ включает в себя подготовительные, строительные, монтажные и пусконаладочные работы и сдачу линии в эксплуатацию.

Такая технология строительства ВЛ обеспечивает высокую производительность труда, удешевляет стоимость и сокращает сроки сооружения линии. Нарушение технологии ведет к излишним затратам и задерживает производство работ.

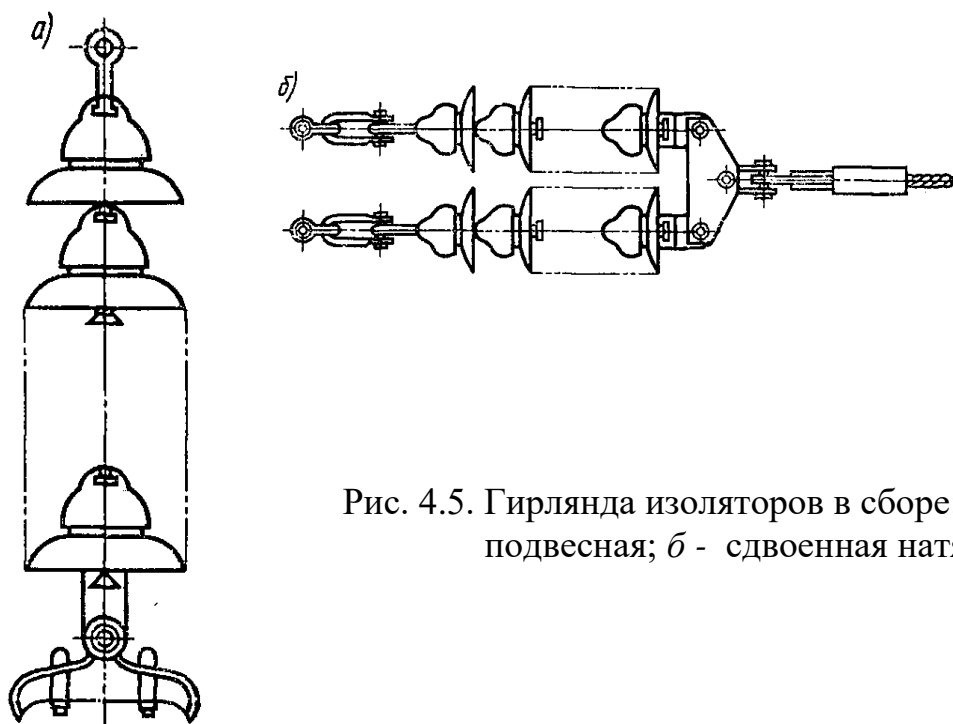


Рис. 4.5. Гирлянда изоляторов в сборе: *а* - одиночная подвесная; *б* - сдвоенная натяжная

Каждый вид работ (технологическую операцию) по сооружению ВЛ выполняют последовательно на определенных участках трассы ВЛ, называемых участками **фронта работ**. Фронт работ должен быть не менее длины анкерного пролета, чтобы такие важные работы, как подъем и натягивание проводов, могли быть полностью закончены.

По мере сооружения линии электропередачи фронт работ перемещается вместе с работающей на ней специализированной бригадой или звеном рабочих. Многолетняя практика строительства линий электропередачи выявила наиболее целесообразную организацию ведения работ, получившую название **поточного метода**. При организации строительства ВЛ поточным методом каждый вид работ поручают специализированному прорабскому пункту или специализированной бригаде рабочих. Трассу линии разбивают на несколько участков фронта работ. Сначала на первом участке приступает к работе один прорабский пункт (обычно по подготовке трассы). По окончании его работы на первом участке работу начинает второй прорабский пункт (например, по транспортировке материалов), а прорабский пункт по подготовке трассы переходит на следующий участок фронта работ. Затем включается в работу



прорабский пункт по сооружению фундаментов и т. д. По мере выполнения работ прорабские пункты последовательно перемещаются по трассе ВЛ с одного участка на другой.

Таким образом, непрерывная последовательная работа сменяющих друг друга прорабских участков образует поточное выполнение строительно-монтажных работ. Обычно организуют два потока, направленных навстречу друг другу или от середины линии к концам. При небольшом объеме работ поток может быть организован в составе одного прорабского пункта со специализацией бригад рабочих или отдельных звеньев.

При малом объеме или незначительном фронте работ сооружение линии электропередачи или ее отдельного участка выполняют *комплексным методом*. Комплексный метод заключается в выполнении всех технологических операций одной комплексной бригадой. Этим методом выполняют сопутствующие и специальные работы, увязанные по срокам с графиком работ основного потока. Так, отдельной комплексной бригаде может быть поручено устройство большого перехода через водную преграду или железную дорогу, перенос линии связи, мешающей строительству. Для выполнения работ в распоряжение бригады выделяют необходимые машины и механизмы, а ее состав укомплектовывают квалифицированными рабочими.

#### **4.2. Подготовительные и строительно-монтажные работы**

В подготовительный период строительства ВЛ обеспечивают бесперебойное и рационально организованное выполнение работ по устройству фундаментов, установке опор и натяжке проводов. К подготовительным относят следующие работы: устройство подъездов к трассе ВЛ и временных полигонов для изготовления и сборки деревянных опор, рубку просеки и очистку трассы от пней и кустарника, размещение заказов на изготовление деталей, комплектацию материалов, оборудования, механизмов, инструмента, приспособлений, комплектацию бригад, составление графиков производства работ.

Работы непосредственно на трассе начинают с приемки от проектной организации и заказчика производственного пикетажа трассы ВЛ, т. е. с разметки расположения всех опор на местности. Затем прорубают просеку (если ВЛ или отдельные ее участки проходят по лесистой местности). Ширину просеки между кронами деревьев в лесных массивах и зеленых насаждениях принимают в зависимости от высоты деревьев, напряжения ВЛ, рельефа местности.

Все деревья, находящиеся внутри границ просеки, вырубает так, чтобы высота пня была не более их диаметра. Для проезда транспорта и механизмов по середине просеки на ширине не менее 2,5 м деревья вырубает вровень с землей. Зимой при рубке леса снег вокруг каждого дерева расчищают до уровня земли. Древесину, получаемую при рубке деревьев, сортируют, разделяют и укладывают в штабеля вдоль просеки; сучья складывают в кучи для вывоза.

Основные строительные-монтажные работы при сооружении ВЛ включают в себя изготовление деревянных опор, развозку опор или деталей опор по трассе, разбивку мест рытья котлованов под опоры, рытье котлованов, сборку и установку опор, развозку проводов и других материалов по трассе, монтаж проводов и защитного заземления, установку трубчатых разрядников и плакатов, фазировку, нумерацию опор и др.

Разбивку одиночных котлованов под одностоечные деревянные и железобетонные опоры начинают с определения оси трассы ВЛ с помощью геодезических инструментов (теодолиты, буссоли и др.). Затем размечают линии, перпендикулярные оси трассы в точках установки опор (пикетов). На обеих этих линиях (рис. 4.6, *a*) на расстоянии 5...6 м от центра пикетного столба опоры забивают контрольные колышки «сторожки», по которым разбивают котлован, а в дальнейшем выверяют точность установки опоры по оси трассы.

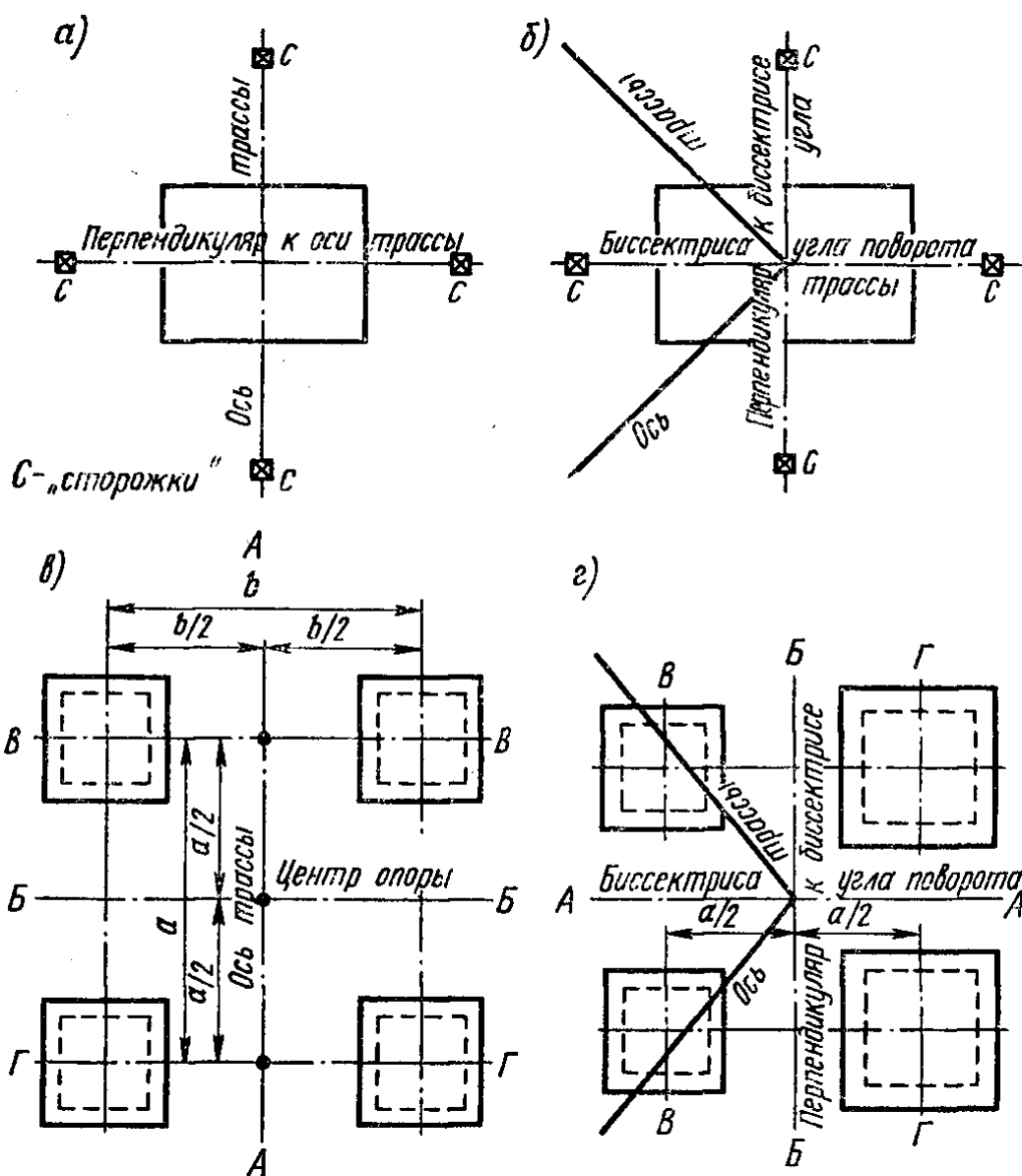


Рис. 4.6. Схема разбивки котлованов под установку опор: а - одиночный котлован; б - под А-образную угловую опору; в - под фундаменты четырехстоечной опоры; г - то же, угловой опоры

При разбивке двух котлованов под анкерные А-образные опоры от центра пикетного столба опоры в обе стороны вдоль оси трассы размечают оси котлованов, а затем и контуры котлованов. Для разбивки двух котлованов под угловую А-образную опору в точке поворота трассы с помощью геодезического инструмента восстанавливают биссектрису угла этого поворота и линию, ей перпендикулярную (рис. 4.6, б), и вдоль линии биссектрисы по обе стороны от указанного перпендикуляра размечают оси котлованов, а затем и сами котлованы. Аналогично делают разметку под опоры с оттяжками и

подкосами, а также под узкобазные и широкобазные металлические опоры (рис. 4.6, в, г).

При рытье котлованов бурильными машинами вместо разметки котлованов производят только разбивку их центров. Котлованы роют землеройными механизмами (ямобурами на автомобильном или тракторном ходу) или одноковшовыми экскаваторами, а в скальных породах грунт вынимают с помощью взрыва. Вручную грунт вынимают только в исключительных случаях, где по условиям местности на пикет не может подойти землеройный механизм. В мерзлых грунтах котлованы бурят с помощью бурильных головок особой конструкции, па режущие кромки' которых наварены пластины из твердых сплавов. Глубина котлованов для установки опор в зависимости от грунта и механических нагрузок на опоры определяется проектом. Железобетонные и металлические опоры изготовляют на заводах и в собранном виде или частями развозят по трассе к местам установки, где их собирают.

Заготовленные и собранные на полигоне или в мастерских монтажного заготовительного участка одностоечные опоры с навернутыми крючьями или штырями и закрепленными на них изоляторами развозят по трассе.

Арматуру и изоляторы перед вывозкой на трассу тщательно проверяют, комплектуют для каждой опоры, в мастерских собирают в гирлянды и доставляют в контейнерах на трассу. Количество изоляторов в гирлянде монтируют в зависимости от напряжения линии и типа изоляторов. Так, для ВЛ напряжением 110 кВ необходимо семь изоляторов, для ВЛ 35 кВ — три изолятора. Схема подвески гирлянды на опорах представлена на рис. 4.7. Если механическая прочность одиночной гирлянды оказывается недостаточной, применяют двойные гирлянды.

Сложные металлические и железобетонные опоры развозят (разобрав предварительно их на транспортабельные узлы) по пикетам, где их собирают и устанавливают. В высокогорные и труднодоступные районы опоры доставляют на пикеты и устанавливают с помощью вертолетов.

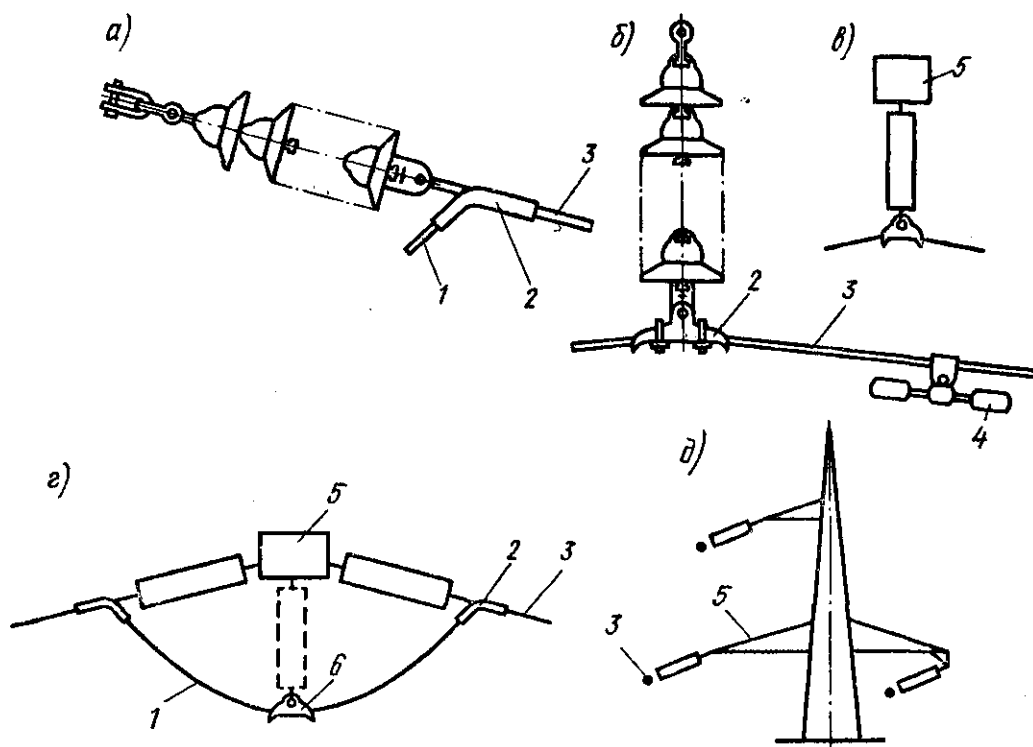


Рис. 4.7. Крепление к опорам гирлянд: *а* - натяжная гирлянда; *б* - поддерживающая гирлянда; гирлянды на опорах: *в* - промежуточная; *г* - анкерно-угловая; *д* - промежуточно-угловая; 1 - петля провода; 2 - натяжной зажим; 3 - провод; 4 - гаситель вибрации; 5 - траверса опоры; 6 - поддерживающий зажим

Для подъема и установки опоры кран устанавливают у котлована на расстоянии 3...4 м от оси трассы, а опору в собранном виде укладывают над котлованом или фундаментом с таким расчетом, чтобы центр тяжести ее находился над центром котлована. Затем опору поднимают до вертикального положения и опускают «пасынками» или стойками в котлован или на фундамент. Опору устанавливают так, чтобы оси траверс опоры были расположены перпендикулярно оси трассы; при этом проверяют, чтобы ось опоры была строго вертикальна и совпадала с осью трассы; затем засыпают котлован грунтом или закрепляют опору на фундаменте. Только после этого снимают стропы, кран освобождают и переводят для установки следующей опоры. В жестких узлах опоры захватывают такелажными тросами, причем у стоек железобетонных опор захват производят в двух местах.

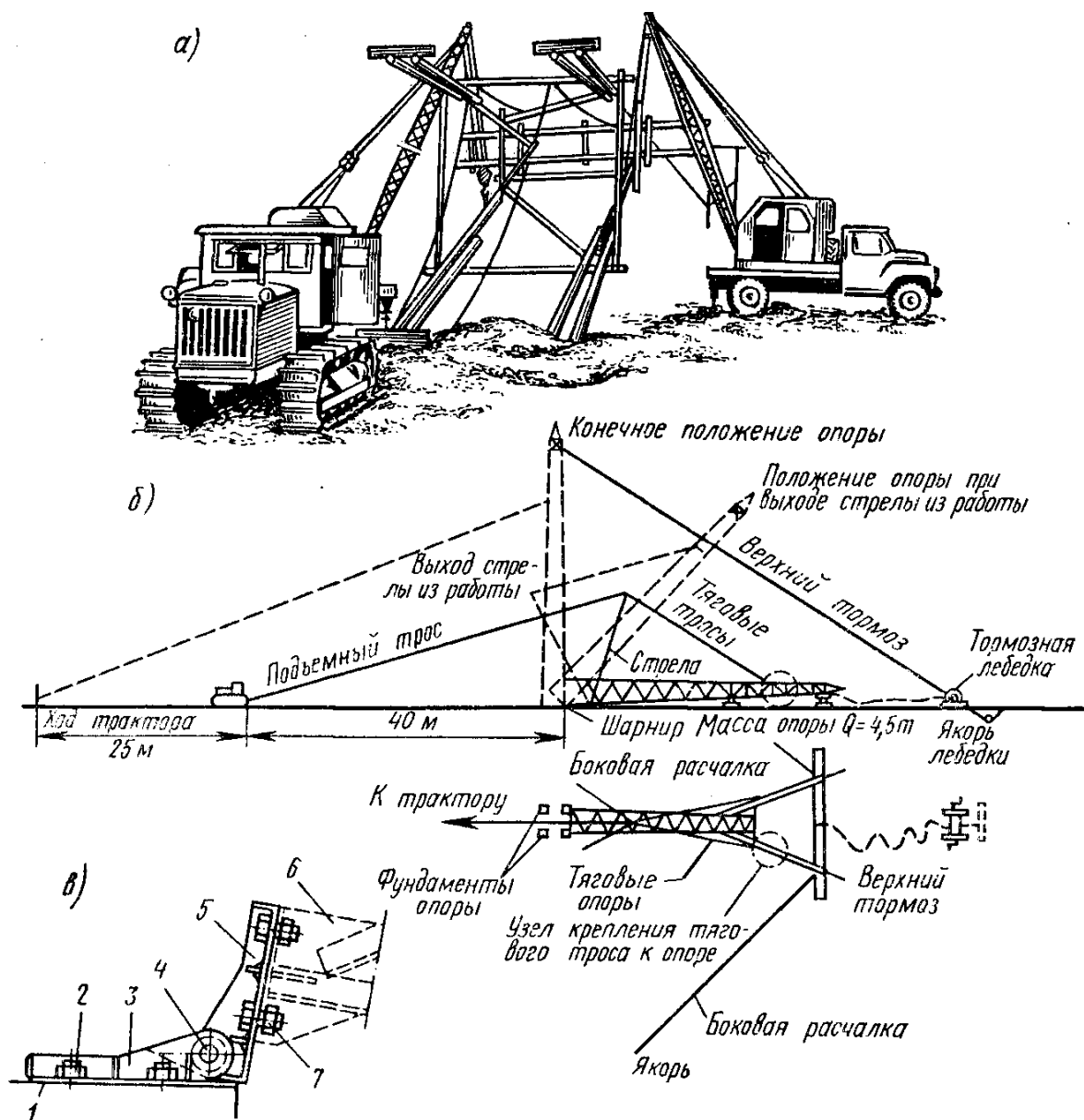


Рис. 4.8. Варианты способов установки опор: а - установка сложной деревянной опоры с помощью крана и трактора; б - установка одностоечной опоры с помощью падающей стрелы и трактора; в - шарнир для установки свободно стоящей металлической опоры; 1 - подножник; 2 - анкерный болт; 3 и 5 - нижняя и верхняя пластины шарнира; 4 - ось шарнира; 6 - плита опоры; 7 - болты крепления опоры к шарниру

Тяжелые и сложные опоры ВЛ напряжением 110 кВ устанавливают с помощью кранов с использованием тракторов в качестве тягового механизма или с падающей стрелой (рис. 4-8). К ВЛ напряжением 110 кВ и выше в любое время года обеспечивается подъезд на возможно близкое расстояние, но не далее чем на 0,5 км от трассы ВЛ.

### 4.3. Раскатка проводов

После завершения всех подготовительных работ и осмотра подготовленной к монтажу трассы приступают непосредственно к раскатке проводов. Как правило, раскатку выполняют двумя способами: с неподвижных раскаточных устройств, установленных в начале монтируемого участка, или с помощью подвижных раскаточных устройств (тележек, саней, кабельных транспортеров и т. п.), перемещаемых по трассе тяговым механизмом.

Первый способ (рис. 4.9) не требует изготовления специальных передвижных раскаточных приспособлений (тележек, транспортеров и др.); он пригоден при любом рельефе местности, сравнительно удобен при монтаже проводов на опорах portalного типа с оттяжками, когда провод при раскатке необходимо заводить внутрь опоры. Однако во время перемещения по земле возможны повреждения оцинковки троса и стальных проводов, а также верхних повивов алюминиевых проводов.

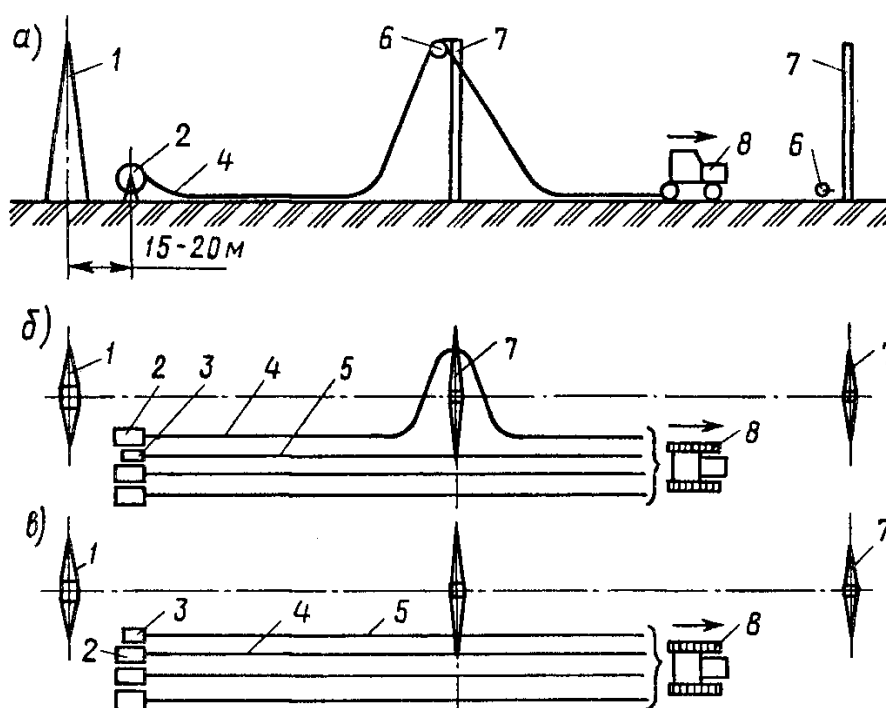


Рис. 4.9.. Способы раскатки проводов с неподвижных раскаточных устройств: *а* - схема раскатки провода; *б, в* - раскатка провода на одно- и двухцепной ВЛ напряжением 110 и 220 кВ; 1 - анкерная опора; 2 - барабан с проводом; 3 - барабан с тросом; 4 - провод; 5 - трос; 6 - раскаточный ролик; 7 - промежуточная опора; 8 - трактор

Этот способ применяют при монтаже коротких линий, а также на участках, где при раскатке проводов возможность их повреждения маловероятна (при хорошем снежном или травяном покрове). Раскатку этим способом совмещают с подъемом проводов и тросов на промежуточные опоры. При этом провода и тросы касаются земли лишь в серединах пролетов, что увеличивает их сохранность. На опорах провода и тросы закладывают в раскаточные ролики,

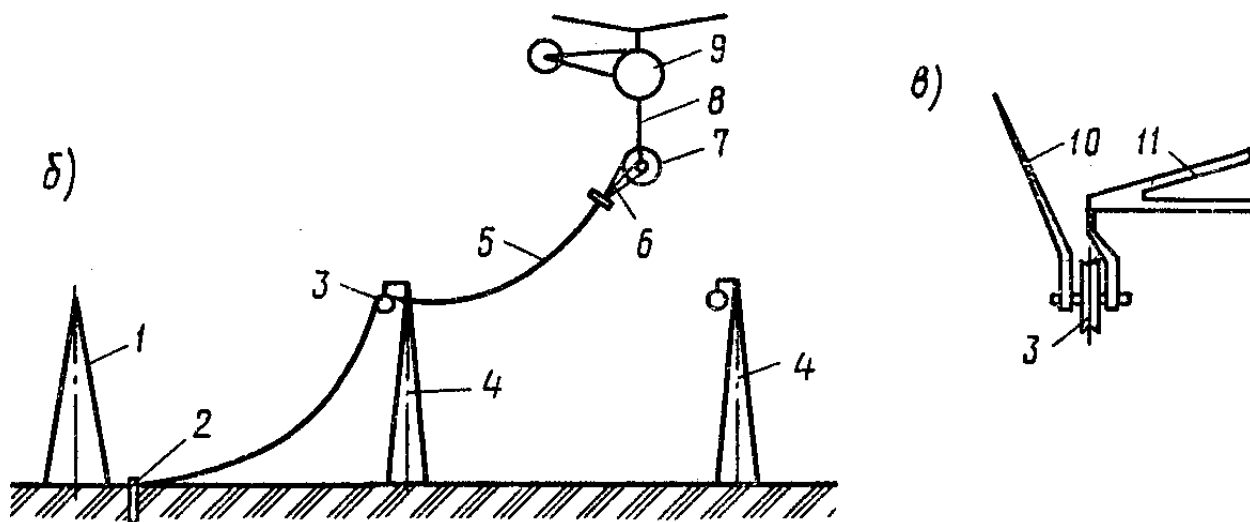


Рис. 4.10. Способ раскатки проводов с вертолета; 1 - анкерная опора; 2 - якорь; 3 - открытый раскаточный ролик; 4 - промежуточная опора; 5 - раскатываемый провод; 6 - раскаточная рама с направляющим устройством; 7 - барабан с проводом; 8 - внешняя подвеска вертолета; 9 - вертолет; 10 - ловитель раскаточного ролика; 11 - траверса промежуточной опоры

которые крепят к траверсам опор или гирляндам изоляторов вместо поддерживающих зажимов.

При втором способе (рис. 4.10) один конец провода закрепляют в начале трассы, а барабан устанавливают на тяговую размоточную машину. Тяговый механизм (обычно трактор) перемещает тележку с барабаном по трассе, и провод плавно сходит с барабана, не волочась по грунту, что почти полностью гарантирует его сохранность. Этим способом можно выполнять раскатку, не поднимая провода на опоры, что позволяет полнее использовать механизмы. Высокая производительность и хорошие технические показатели позволяют широко применять этот способ раскатки проводов.



Независимо от способа размотки провода или троса с барабана раскатку целесообразнее производить одновременно нескольких проводов (в зависимости от типа опор) одним механизмом, в том числе и трех проводов вместе с грозозащитным тросом. При строительстве ВЛ, особенно в труднодоступной местности, для раскатки проводов применяют вертолеты (рис. 4.10).

#### **4.4. Соединение и ремонт проводов и тросов**

Одновременно с раскаткой производят соединение проводов и тросов, а также ремонт обнаруженных на них повреждений. Соединение и ремонт проводов являются наиболее ответственными операциями в комплексе монтажных работ, так как от качества их выполнения зависят эксплуатационные показатели сооружаемой линии.

Для надежного электрического и механического соединения проводов алюминиевые проволоки проводов и внутреннюю поверхность алюминиевой части соединителя тщательно очищают от пленки окиси (оксида) алюминия, которая имеет большое электрическое сопротивление.

Учитывая способность алюминия быстро окисляться, подготовку проводов и соединителя, а также соединение проводов необходимо выполнять быстро.

Алюминиевые и сталеалюминиевые провода соединяют с помощью термитной сварки с дополнительной установкой овальных соединителей для разгрузки сварного соединения от механических напряжений, если соединение проводов сделано в пролете. Стальные многопроволочные провода соединяют с помощью овальных соединителей путем их обжатия специальными клещами, стальные однопроволочные провода сваривают электросваркой или с помощью термитных патронов. На рис. 4.11 показаны способы соединения проводов ВЛ в пролете.

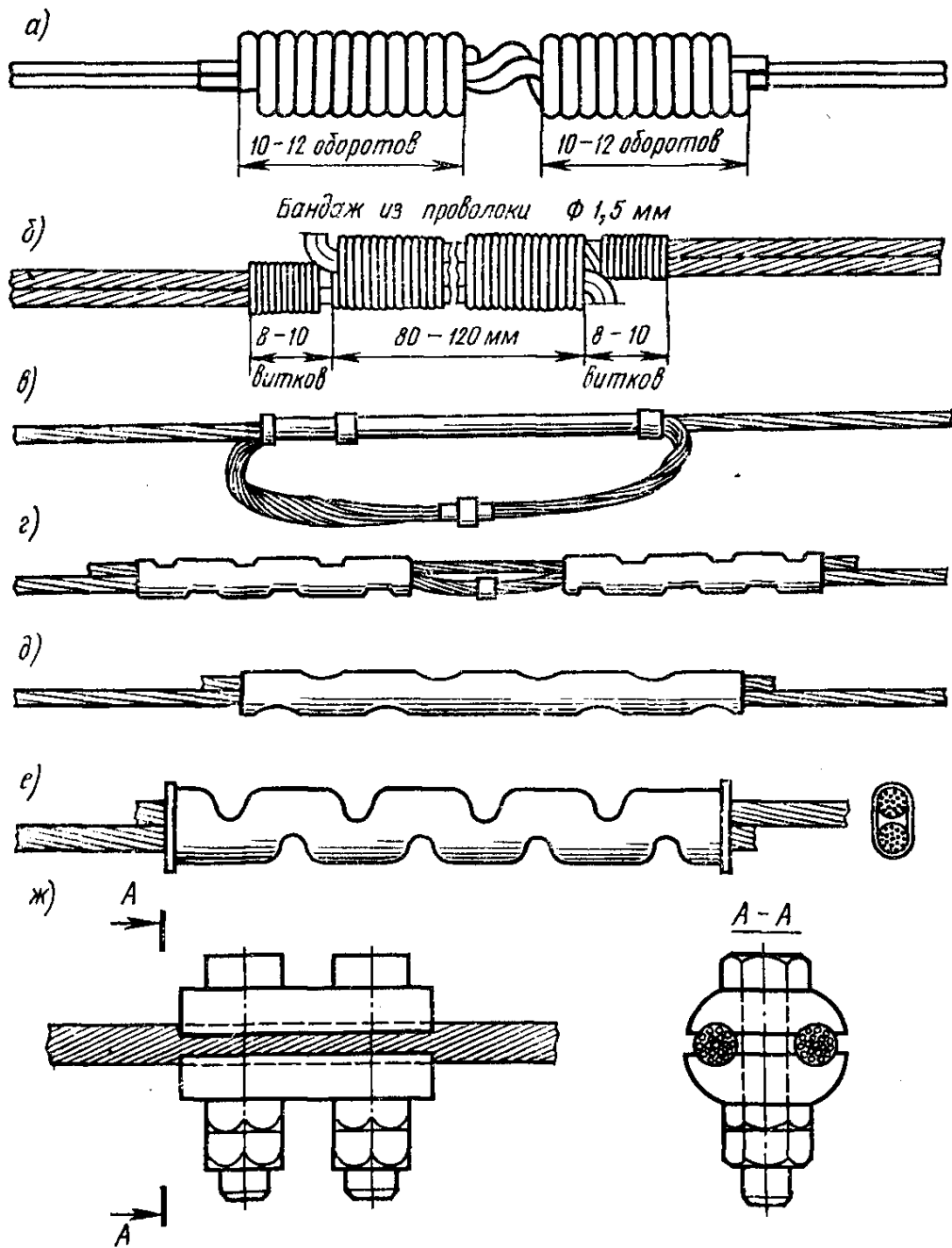


Рис. 4.11. Соединение проводов ВЛ: а - скруткой; б - бандажированием внахлестку; в - опрессовкой в гильзе и сваркой в петле; г — опрессовкой провода с шунтом в овальном соединителе; д—сваркой встык и опрессовкой в гильзе; е — опрессовкой внахлестку в гильзе; ж — болтовым зажимом

При монтаже проводов на анкерных и транспозиционных опорах петли применяют как неразъемные (без разрезания провода), так и разъемные, если при эксплуатации необходимо иметь соединение разъемным. Такие соединения

выполняют с помощью прессуемых зажимов типа ПАС или плашечных зажимов (на малоответственных ВЛ).

Для восстановления проводов, имеющих обрывы отдельных проволок (не более 34 % общего числа токоведущих проволок), применяют ремонтные зажимы типа РАС, монтируемые опрессованием с помощью гидравлических прессов. В зависимости от числа поврежденных проволок применяют короткие и длинные зажимы. Если число оборванных проволок превышает допускаемое нормами, участок провода заменяется новым.

#### 4.5. Натяжка и закрепление проводов

После окончания работ по раскатке, соединению и ремонту на участке ВЛ, ограниченном анкерными или угловыми опорами, провода и трос поднимают и натягивают. Направление натяжения должно совпадать с направлением трассы. Если из-за рельефа местности это условие выполнить трудно, то натяжку производят через добавочные отводные ролики.

Натяжение проводов и тросов обычно выполняется трактором. Необходимое значение тяжения контролируется по размеру стрелы провеса провода или троса (рис. 4.12). Стрелу провеса проводов устанавливают непосредственным визированием. Для этого на соседних опорах прикрепляют визирные рейки таким образом, чтобы отметки на этих рейках, соответствующие размеру стрелы провеса, находились бы на одной горизонтальной линии.

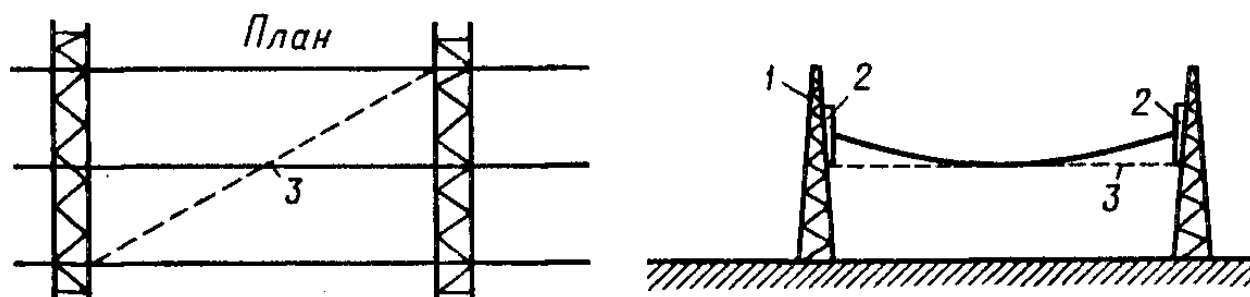


Рис. 4.12. Установка стрелы провеса проводов непосредственным визированием: 1 - траверса; 2 - рейка; 3 - линия визирования

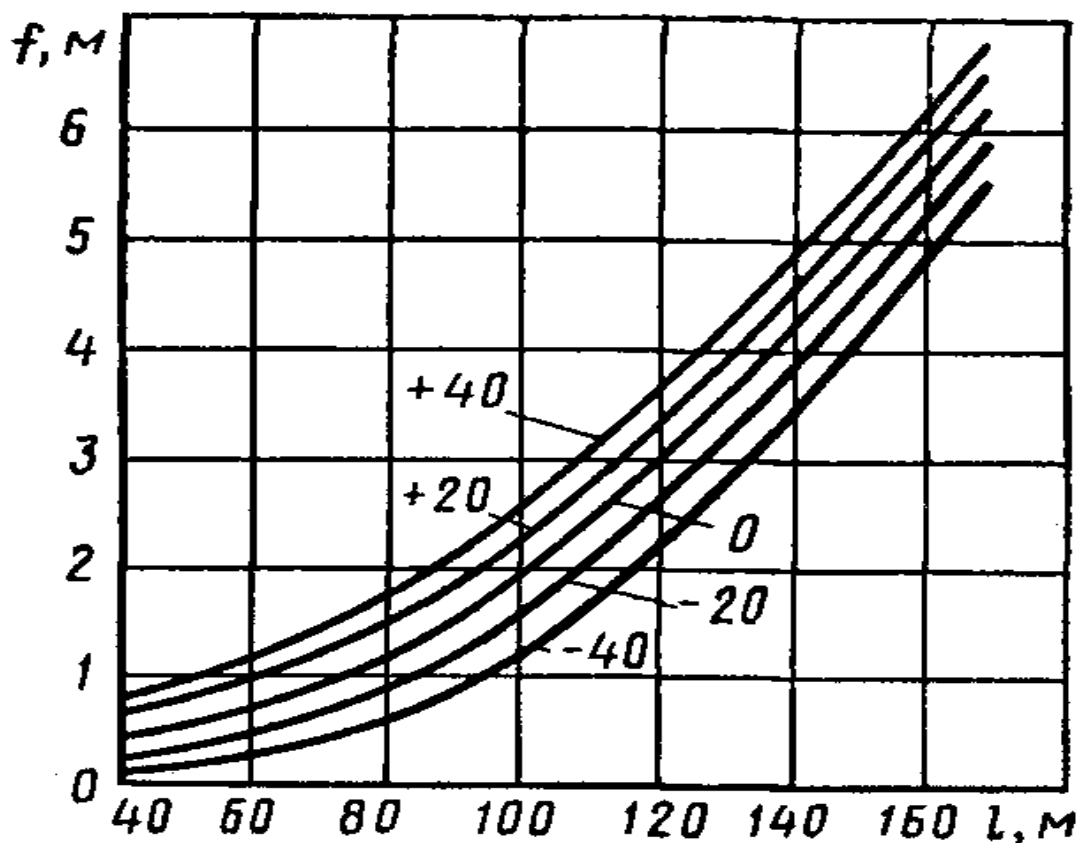


Рис. 4.13. Кривые стрел провеса проводов

При визировании необходимо подняться на одну из опор и, пользуясь биноклем, определить момент, когда натяжку провода следует прекратить. Если натяжение провода отрегулировано правильно, то низшая точка провеса находится на прямой, соединяющей обе визирные точки. Провод при регулировке натяжения подгоняют под линию визирования не снизу, а сверху. Команда о прекращении натяжки подается в тот момент, когда наблюдается перетяжка провода на 0,3...0,5 м. После того как провод находится в этом положении 3...5 мин, его опускают до линии визирования.

К проекту ВЛ прилагают кривые монтажных стрел провеса проводов (рис. 4.13), а также ведомость пролетов, в соответствии с которыми визируют провода. Если отсутствует ведомость визируемых пролетов или длина пролета по местным условиям существенно (более 5...7 м) отличается от запроектированной, то стрела провеса (м) составит  $f_x = (l_x/l)^2 f$ , где  $l_x$  -

фактическая длина визируемого пролета, м;  $f$  и  $l$  - соответственно стрела провеса и длина пролета по таблицам или кривым монтажных стрел провеса, м.

После того как отрегулированы стрелы провеса, провода крепят к изоляторам сначала на анкерных, а затем на промежуточных опорах. Величина стрелы провеса после закрепления провода на анкерных опорах не должна отличаться от проектной больше чем на  $\pm 5\%$ , а расстояние проводов и тросов относительно друг друга не должны отличаться более чем на  $10\%$  от проектных расстояний между ними.

На деревянных опорах рекомендуется, прежде всего визировать стрелу провеса среднего провода. Если на опоре трудно установить визирный знак (например, при монтаже переходов), визирование производят с помощью теодолитов.

На анкерных и угловых опорах провода крепят с помощью натяжных зажимов (рис. 4.14). Грозозащитные тросы крепят на опорах так, как это показано на рис. 4.15. Провода и грозозащитные тросы на промежуточных опорах, как правило, лежат в раскаточных роликах. Поэтому после натяжки на промежуточных опорах необходимо переложить их в поддерживающие зажимы.

Ветер, дующий длительное время с небольшой скоростью без порывов, может вызвать колебание провода в виде неподвижных вертикальных волн, расположенных равномерно по длине провода. Такая вибрация вызывает повреждение проводов в местах выхода их из зажимов.

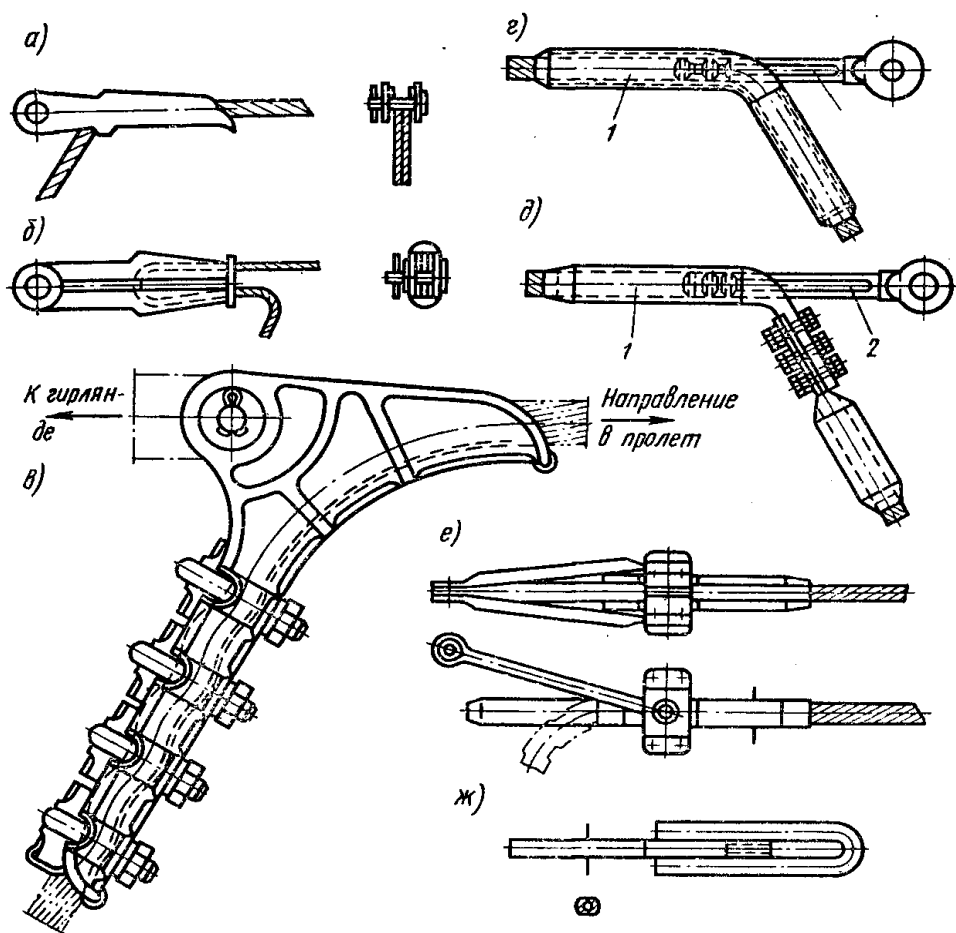


Рис. 4.14. Натяжные зажимы: а - натяжной клиновой зажим для медных проводов; б - клинкоуш для стальных проводов и тросов; в - натяжной болтовой зажим; г - натяжной прессуемый зажим; д - натяжной прессуемый разъемный зажим; е - натяжной прессуемый зажим, не требующий разрезания провода; ж - натяжной прессуемый зажим для стальных тросов; 1 - корпус; 2 - стальной анкер

Для гашения вибрации на провода у их выхода из зажимов одновременно с перекладкой проводов устанавливают гасители вибрации (рис. 4.16). Перекладка проводов производится без опускания и с опусканием их на землю. Тросы перекладывают без опускания на землю; применяют различные методы перекладки троса и провода. Предпочтение отдается перекладке без опускания проводов на землю, так как опоры обычно устанавливают с закрепленными на них гирляндами изоляторов.

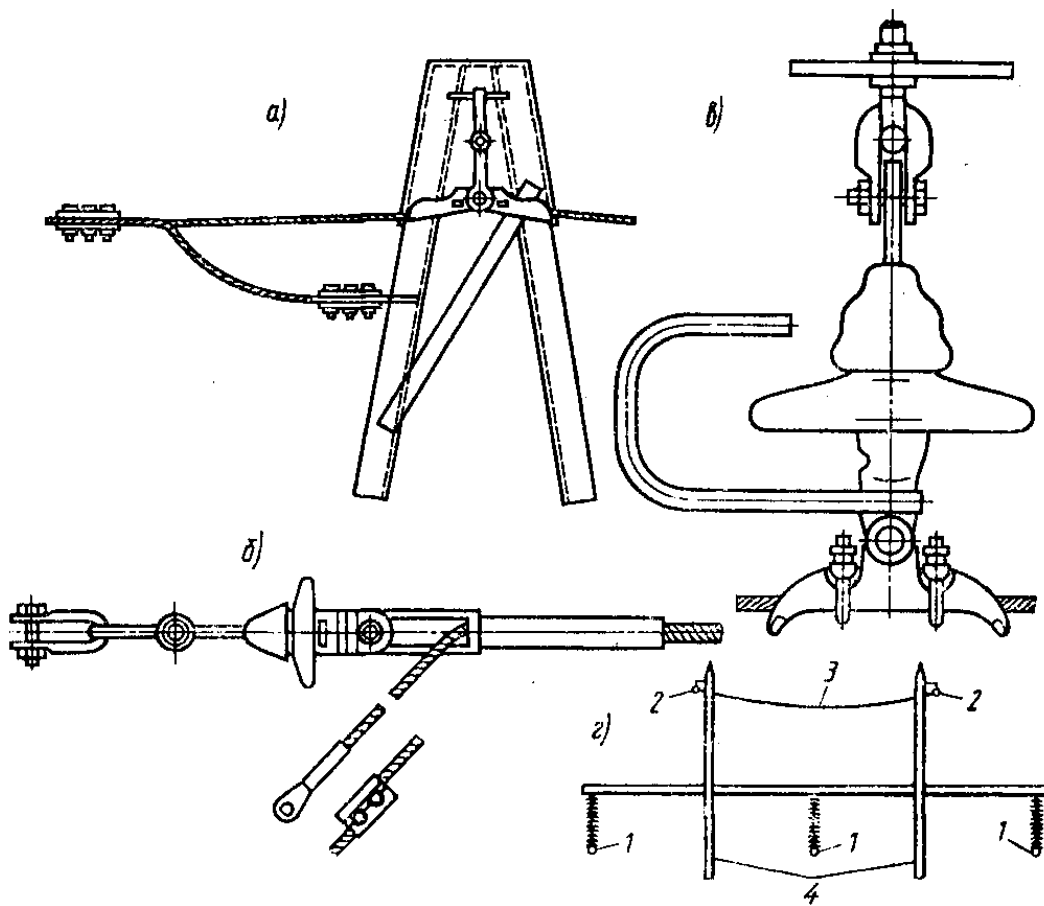


Рис. 4.15. Крепление грозозащитного троса на опорах: *a* - на промежуточных металлических и железобетонных опорах линий 35...110 кВ; *в* - на анкерных металлических опорах через изолятор с глухим заземлением; *в* - на промежуточных опорах через изолятор с заземлением с помощью искрового промежутка на линиях напряжением 220... 500 кВ; *г* - на деревянных опорах; 1 - провода; 2 - тросы; 3 - перемычка между грозозащитными тросами; 4 - спуски

Монтаж проводов в пролетах, пересекающих инженерные сооружения (дороги, воздушные линии электропередачи, линии связи), выполняют в зависимости от местных условий с отключением пересекаемых линий и прекращением движения по дорогам, каналам или без отключения и прекращения движения. Если переход монтируют без отключения напряжения на пересекаемых линиях или без прекращения движения по дорогам и каналам, то сооружают защиту перехода в виде временных стоек или П - образных опор (с натянутым тросом), на которые укладывают расштывываемый провод, не касаясь пересекаемых ВЛ и не препятствуя движению транспорта. Монтаж проводов на переходе можно выполнять и без сооружения

специальных защит — с помощью легких стальных, а лучше нейлоновых или иных непроводящих канатов или веревок.

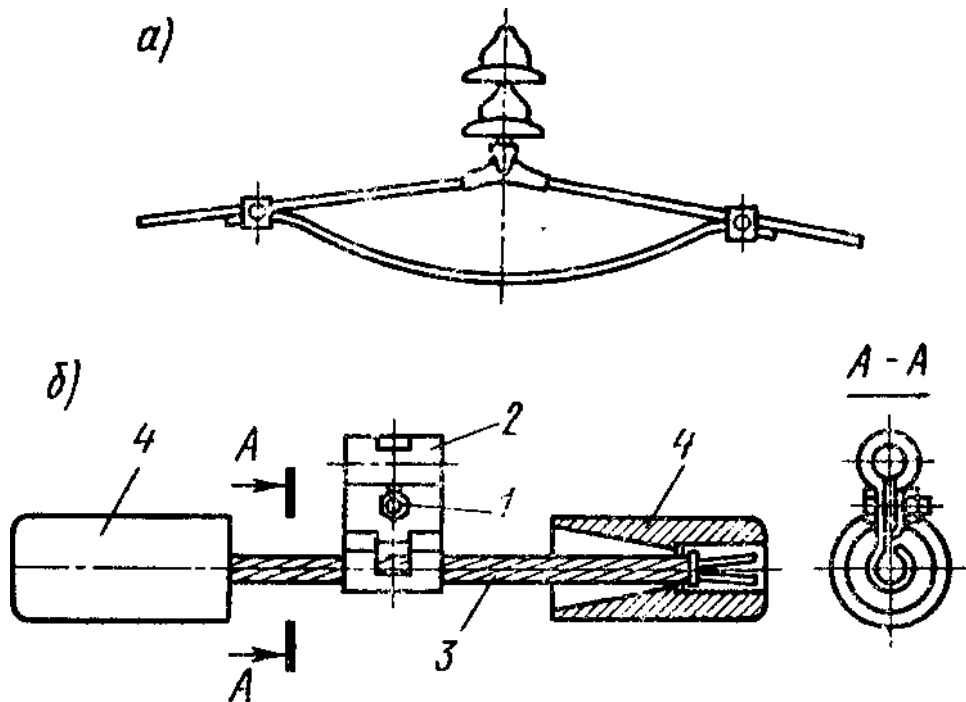


Рис. 4.16. Гаситель вибрации: *а* - петлевого типа; *б* - типовой;  
1 - болт; 2 - захват; 3 - трос; 4 - грузы

Сроки монтажа переходов очень короткие, поэтому важно, чтобы организация работ была хорошо продумана. Расстояние между проводами, а также от проводов до опор и окружающих объектов определяют по данным проекта согласно требованиям ПУЭ.

#### 4.6. Защита воздушных линий от перенапряжений; заземление

Воздушные линии напряжением 110 кВ на металлических, железобетонных опорах, как правило, защищают от прямых попаданий ударов молний тросами по всей длине. ВЛ напряжением 110 кВ на деревянных опорах и ВЛ напряжением до 35 кВ такой защиты не требуют. Единичные металлические и железобетонные опоры и другие места с ослабленной изоляцией на ВЛ напряжением 35 кВ с деревянными опорами защищают трубчатыми разрядниками или при наличии АПВ защитными промежутками (рис. 4.17), а на ВЛ напряжением 110...220 кВ - трубчатыми разрядниками (рис. 4.18).



Трубчатый разрядник представляет собой фибровую трубку, покрытую бакелизированной бумагой. Внутри трубки расположены стержневой и плоский электроды, разделенные промежутком. При возникновении электрической дуги фибра выделяет газы, которые гасят дугу. Трубчатые разрядники включают между проводом (через внешний искровой промежуток) и заземляющим устройством и их крепят на опоре с помощью хомутов и планок за любой конец трубки на высоте не менее 3 м от земли. Разрядники типа РТФ лучше закреплять за закрытый конец. Трубчатый разрядник размещают на опоре так, чтобы его выхлопные газы не вызывали междуфазовых пробоев и зоны выхлопов различных разрядников не перекрывали друг друга. В зону выхлопа также не должны попадать элементы опоры, имеющие потенциал иной, чем открытый конец трубки разрядника в момент гашения дуги.

При отсутствии трубчатых разрядников напряжением ПО— 220 кВ необходимых параметров вместо них допускается устанавливать защитные промежутки. На кабельные вставки ВЛ при длине менее 1,5 км по обоим концам кабеля, на переходах ВЛ через реки и ущелья при высоте опор более 40 м, а также при отсутствии защитного троса также устанавливают трубчатые разрядники.

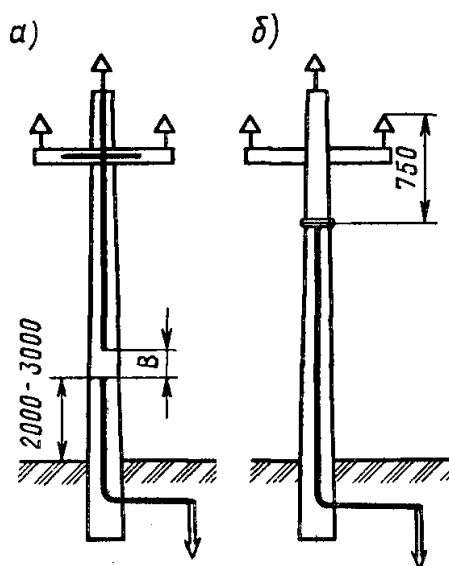


Рис. 4.17. Защитные промежутки: *а* - первый тип; *б* - второй тип

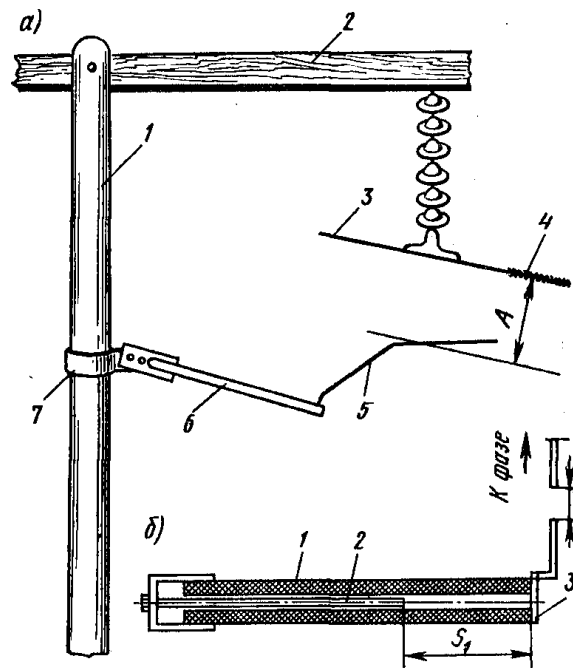


Рис. 4.18. Установка трубчатого разрядника на промежуточной деревянной опоре ВЛ напряжением 110 кВ: *a* - положение трубчатого разрядника на опоре:

1 - стойка; 2 - траверса; 3 - провод; 4 - подмотка; 5 - электрод внешнего искрового промежутка; 6 - разрядник; 7 - хомут для крепления разрядника; *a* - внешний искровой промежуток; 6 - трубчатый разрядник:

1 - трубка из газогенерирующего материала; 2 - стержневой электрод; 3 - кольцевой электрод

При этом заземляющий зажим разрядника, металлические оболочки кабеля, а также корпус кабельной муфты должны быть соединены между собой по кратчайшему пути. Заземляющий зажим разрядника должен быть соединен с заземлителем отдельным спуском.

Опоры, имеющие грозозащитный трос или другие устройства грозозащиты, железобетонные и металлические опоры напряжением 3—35 кВ, опоры, на которых установлены силовые или измерительные трансформаторы, разъединители, предохранители или другие аппараты, а также металлические и железобетонные опоры ВЛ напряжением 110...500 кВ без тросов и других устройств грозозащиты, если это необходимо по условиям обеспечения надежной работы релейной защиты и автоматики, должны быть заземлены. При этом величину сопротивления заземляющих устройств принимают в соответствии с ПУЭ.

Для заземления железобетонных опор в качестве заземляющих проводников используют элементы продольной арматуры стоек, которые металлически соединены между собой и могут быть присоединены к заземлителю. Оттяжки железобетонных опор используют в качестве заземляющих проводников дополнительно к арматуре. При этом свободный конец тросов оттяжек присоединяют к рабочей части оттяжек с помощью специального зажима.

Тросы и детали крепления изоляторов к траверсе железобетонных опор металлически соединяют с заземляющим спуском или заземленной арматурой каждого из заземляющих

Сечение спусков на опоре ВЛ принимают не менее 35 мм а для однопроволочных - диаметр не менее 10 мм. Допускается применение стальных оцинкованных однопроволочных спусков диаметром не менее 6 мм.

На ВЛ с деревянными опорами рекомендуется болтовое соединение заземляющих спусков; на металлических и железобетонных опорах соединение заземляющих спусков может быть выполнено как сварным, так и болтовым.

Заземлители ВЛ, как правило, заглубляют на глубину не менее 0,1 м, а в пахотной земле - на 1 м. В случае установки опор в скальных грунтах допускается прокладка лучевых заземлителей непосредственно под разборным слоем над скальными породами при толщине слоя не менее 0,1 м. При меньшей толщине этого слоя или его отсутствии рекомендуется прокладка заземлителей по поверхности скалы с заливкой их цементным раствором.

#### **4.7. Особенности монтажа воздушных линий напряжением до 1000 В**

Для воздушных линий напряжением до 1000 В применяют одно-и многопроволочные провода; применение расплетенных проводов не допускается. По условиям механической прочности применяют провода сечением, не менее: алюминиевые - 16 мм<sup>2</sup>, сталеалюминиевые и биметаллические - 10 мм<sup>2</sup>, стальные многопроволочные - 25 мм<sup>2</sup>, стальные однопроволочные - 4 мм (диаметр).

Применение однопроволочных стальных проводов диаметром более 5 мм и однопроволочных биметаллических проводов диаметром более 6,5 мм не допускается. В районах с одноэтажной застройкой ответвления от ВЛ к вводам выполняют проводами с атмосферостойкой изоляцией. Длина ответвления от ВЛ к вводу должна быть не более 25 м.

Провода соединяют с помощью соединительных зажимов или сваркой (в том числе термитной). Сварка встык однопроволочных проводов не допускается. Однопроволочные провода можно соединять путем скрутки с последующей пайкой.

Расположение фазных проводов на опорах может быть любое. Нулевой провод располагают ниже фазных проводов, а провода наружного освещения — ниже нулевого провода. Провода крепят на опоре на штыревых изоляторах. Устанавливаемые на опорах плавкие предохранители, а также защитные, секционирующие и другие устройства размещают ниже проводов ВЛ.

Расстояния между проводами на опоре и в пролете при наибольшей стреле провеса до 1,2 м по условиям их сближения в пролете устанавливают, не менее: 40 см — в I, II и III районах и 60 см — в IV и особом районах гололедности. При наибольшей стреле провеса более 1,2 м указанные расстояния должны быть увеличены пропорционально отношению фактической наибольшей стрелы провеса к стреле провеса, равной 1,2 м. Расстояние между изоляторами ввода по осям принимают не менее 20 см. Расстояние по горизонтали между проводами при спусках на опоре должно составлять не менее 15 см от провода до поверхности опоры, траверсы или других элементов не менее 5 см.

В населенной местности с одно- и двухэтажной застройкой ВЛ, не защищенные высокими деревьями, зданиями, промышленными дымовыми и другими трубами и т. п., заземляют для защиты от грозových перенапряжений.

Вводы в помещения через стены выполняют изолированными проводами, для чего в стенах пробивают или высверливают отверстия. Через кирпичные, железобетонные и подобные стены провода вводят в помещение через одно общее отверстие, но каждый провод заключают в отдельную изоляционную

трубку. Через деревянные стены каждый провод вводят в отдельное отверстие. На концах изоляционных трубок снаружи зданий устанавливают фарфоровые воронки, а внутри — изоляционные втулки (фарфоровые или пластмассовые). Выходные отверстия воронок уплотняют битумной массой. Если здание имеет небольшую высоту, то провода вводят в него через крышу (см. рис. 2.1).

Если трасса ВЛ проходит по лесистой местности, то вырубка просеки не обязательна; необходимо только, чтобы горизонтальное и вертикальное расстояния от крайнего провода до кроны деревьев и кустов были не менее 1 м.

После окончания строительно-монтажных работ ВЛ предъявляется заказчику для приемки ее в эксплуатацию. Приемка ВЛ осуществляется в соответствии с требованиями «Приемка в эксплуатацию законченных строительством предприятий, зданий и сооружений. Основные положения», «Электротехнические устройства» и ПУЭ.

Линии под напряжение включаются эксплуатационным персоналом после письменного уведомления строительной организацией о том, что ее работники с линии сняты и предупреждены о предстоящем включении.

При бесперебойной нормальной работе линии электропередачи в течение суток после включения Государственная приемочная комиссия оформляет акт передачи линии в эксплуатацию.

#### **4.8. Техника безопасности**

Кроме общих правил техники безопасности при установке опор и натяжке проводом оттяжки закрепляют с помощью якорей, укрепленных в земле. Крепить оттяжки к опорам монтируемой или действующей воздушной линии электропередачи нельзя. После установки и выверки опоры работу не прекращают до полной засыпки котлована. В городах и населенных пунктах при монтаже ВЛ устанавливают сигналы и сторожевые посты, предупреждающие о недопустимости прохода пешеходов и проезда транспорта в пролетах во время подвески проводов.

При работе на угловой опоре следует находиться на стороне опоры, противоположной внутреннему углу, образованному проводами. При монтаже ВЛ отдельные смонтированные участки длиной 3—5 км закорачивают и заземляют. Во время грозы работы на монтаже ВЛ прекращают и людей удаляют на безопасное расстояние.

Смонтированные ВЛ и отдельные их участки, проходящие вблизи действующих линий, а также переходы, пересекающие действующие ВЛ напряжением свыше 1000 В, впредь до их присоединения к источнику напряжения закорачивают и заземляют.

При работе с автомобильным краном его устанавливают, отступив от бровки котлована на безопасное расстояние, под аутригеры подкладывают прочные и устойчивые подкладки и ходовую часть крана надежно затормаживают ручным тормазом.

### **Контрольные вопросы**

1. Из каких основных элементов состоит ВЛ и каково их назначение?
2. Каковы преимущества и недостатки железобетонных опор?
3. Какую арматуру применяют при сборке гирлянд изоляторов?
4. Почему грозовые разряды угрожают безопасности людей и нормальной работе ВЛ?
5. Какие грузоподъемные средства и приспособления используют при строительстве ВЛ?
6. Какие меры безопасности применяют при строительстве ВЛ ?

## **5. МОНТАЖ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ**

### **5.1. Общие требования к устройству подстанций**

Подстанции (ПС) являются важным звеном системы электроснабжения промышленных предприятий. Они служат для приема, преобразования и распределения электроэнергии. В зависимости от мощности и назначения подстанции подразделяют на узловые распределительные подстанции (УРП) напряжением 110—500 кВ; главные понизительные подстанции (ГПП) 110—220/6—10—35 кВ; подстанции глубоких вводов (ПГВ) 110—330/6—10 кВ; распределительные подстанции (РП) 6...10 кВ; цеховые трансформаторные подстанции (ТП) 6—10/0,38—0,66 кВ. На ГПП трансформируется энергия, получаемая от источника питания, с напряжением 110—220 кВ обычно на напряжение 6—10 кВ (иногда 35 кВ), на котором происходит распределение энергии по подстанциям предприятия и питание электроприемников высокого напряжения; УРП получают энергию от энергосистем и распределяют ее (без трансформации или с частичной трансформацией) по воздушным и кабельным линиям глубоких вводов напряжением ПО—220 кВ по территории предприятия.

Узловая распределительная подстанция (УРП) отличается от ГПП большей мощностью, а также тем, что основная ее мощность при подводимом напряжении 110—220 кВ; она выполняется по упрощенным схемам коммутации на первичном напряжении; получает питание от энергосистемы или УРП данного предприятия и предназначается для электроснабжения отдельного объекта или района. Цеховые подстанции малой и средней мощности трансформируют энергию с напряжения 6—10 кВ на вторичное напряжение 380/220 В или 660/380 В.

Повысительные трансформаторные подстанции применяются на электростанциях для трансформирования электроэнергии, выработанной генераторами, на более высокое напряжение, при котором энергию можно передать на расстояние с наименьшими потерями. Преобразовательные

подстанции служат для преобразования переменного тока в постоянный (иногда и наоборот), а также для преобразования энергии одной частоты в другую. Наиболее экономичны преобразовательные подстанции с полупроводниковыми выпрямителями. Распределительные подстанции 6—10 кВ питаются в основном от ГПП (иногда от УРП). При системе дробления подстанций 110—220 кВ функции РП выполняют распределительные устройства 6—10 кВ на ПГВ.

В зависимости от размещения подстанций их распределительные устройства бывают открытые (ОРУ) или закрытые (ЗРУ). Питающие и отходящие линии на подстанциях 6—10 кВ преимущественно кабельные, а на подстанциях 35—220 кВ в основном воздушные. Особое внимание обращается при сооружении и монтаже подстанций на надежность и экономичность электроснабжения данного производства.

Монтаж подстанции производится индустриальными методами с применением крупноблочных устройств и монтажных узлов и заготовок, заранее изготовленных в приобъектных мастерских электромонтажных организаций и заводах электропромышленности. Подстанции, как правило, выполняют для работы без постоянного присутствия на них дежурного персонала, с применением простейших устройств автоматики и сигнализации.

При выполнении строительной части подстанции целесообразно применять облегченные индустриальные конструкции и элементы (панели, настилы и т. п.) из гнутых профилей. Эти элементы заранее изготовляют вне монтажной зоны, и на месте производят только их сборку. Это значительно сокращает сроки и уменьшает стоимость строительства.

Основные решения по схемам подстанции принимаются при проектировании электроснабжения предприятия с учетом перспектив его развития. Подстанции имеют вводы высшего напряжения, трансформаторы и отходящие кабельные линии или токопроводы низшего (вторичного) напряжения. Подстанции монтируют из оборудования и элементов, приведенных ниже. Число возможных сочетаний оборудования и элементов



велико. При разработке схем подстанций стремятся к максимальному упрощению и к применению минимума коммутационных аппаратов. Такие подстанции надежнее и экономичнее. Упрощению схем способствует применение автоматики (АВР, АПВ), что позволяет быстро и безошибочно осуществлять резервирование отдельных элементов и электроприемников.

При проектировании трансформаторных подстанций всех напряжений принимают во внимание следующие основные положения:

- преимущественное применение одной системы шин и применение двух систем шин лишь при необходимости обеспечения надежного и экономичного электроснабжения;
- широкое применение «блочных схем» и «бесшинных подстанций»;
- обоснованное применение автоматики и телемеханики; если при сооружении подстанций не предусматривается автоматизация или телемеханизация, то схема соединений строится таким образом, чтобы в дальнейшем эти мероприятия возможно было осуществить без значительных затрат и переделок;
- применение простых и дешевых аппаратов — отделителей, короткозамыкателей, выключателей нагрузки, предохранителей с учетом их коммутационной способности в некоторых случаях значительно уменьшает потребность в дорогих и дефицитных масляных, вакуумных, электромагнитных и воздушных выключателях. Схемы соединения подстанций и РП выполняют таким образом, чтобы питание электроприемников каждого технологического потока производилось от отдельных трансформаторов, сборок линий для возможности отключения их одновременно с механизмами без нарушения работы соседних технологических потоков.

При разработке схем соединения подстанции очень важно правильно выбрать и установить коммутационные аппараты (выключатели, разъединители, токоограничивающие аппараты-реакторы, разрядники,

предохранители высокого напряжения). При этом исходят из назначения подстанции, ее мощности и ответственности.

## **5.2. Последовательность работ по монтажу подстанций**

Подготовка монтажа подстанций (ПС) и распределительных устройств (РУ) включает целый ряд технических и организационных мероприятий, к числу которых относятся: составление проекта производства работ (ППР) или привязка типового ППР; приемка помещения подстанции от строительной организации для производства монтажа; приемка от заказчика подлежащих монтажу электрооборудования, аппаратов, приборов и кабельной продукции; заготовка и сборка в мастерских монтажных заготовок узлов и блоков ошиновки, заземления, электропроводок, трубных заготовок, щитов и щитков, а также изготовление нестандартных крепежных и опорных конструкций и деталей; комплектация в контейнеры необходимых для монтажа материалов, изделий и конструкций для транспортировки на подстанцию.

Подготовку монтажа ПС и РУ начинают с рассмотрения рабочих чертежей проекта, проверяя их соответствие требованиям индустриального монтажа и передовой технологии работ; при этом проверяют наличие строительных заданий на каналы, ниши, отверстия для шин и аппаратов проходного типа; на монтажные проемы и закладные приспособления для такелажных работ и на устройство заземлителей. Проверяют также наличие чертежей или эскизов на монтажные узлы и блоки (ошиновки, заземления, освещения и др.), а при отсутствии их — возможность группировки разрозненных аппаратов и изделий в укрупненные блоки.

При приемке помещения ПС от строительной организации проверяют соответствие строительной части проекту и СНиП, ее готовность к монтажу электрооборудования, наличие монтажных проемов, закладных деталей для крепления электрооборудования и производства такелажных работ, проверяют ширину проходов, расстояния от подлежащего установке оборудования до стен и ограждений, а также другие габаритные размеры и расстояния,

регламентированные ПУЭ. Монтаж ПС выполняют в две стадии: первая — в процессе сооружения помещения ПС, одновременно со строительными работами; вторая — после завершения основных строительных и отделочных работ и приемки по акту помещения под монтаж.

На первой стадии выполняют все подготовительные и заготовительные монтажные работы: в мастерских, вне зоны монтажа — комплектование электроконструкций, узлов и блоков, их укрупненная сборка; непосредственно на объекте — установка опорных конструкций, закладных деталей для монтажа щитков, отдельно стоящих панелей, аппаратов; монтаж внутренней сети заземления и подготовка трассы для общего освещения; установка кабельных конструкций в камерах и отрезков труб для ввода и вывода кабелей.

При правильной организации работ опорные конструкции или закладные детали устанавливаются при сооружении здания, что исключает трудоемкие пробивные работы. Для крепления аппаратов и сборных конструкций применяют металлические и пластмассовые дюбели. Отдельные опорные детали, установочные изделия, коробки закрепляют методом приклеивания. Производителем является способ забивки дюбелей пистолетом и пиротехнической оправкой, так как крепление производится за одну операцию, без подготовки отверстий.

Вторая стадия проводится после окончания отделочных работ и приемки помещения под монтаж — это установка комплектных распределительных устройств, щитов, пультов и силового трансформатора; монтаж блока ошиновки трансформатора; прокладка силовых и контрольных кабелей, сети освещения по подготовительным трассам, разделка и подсоединение кабелей и проводов.

Монтаж подстанции выполняется комплексной или специализированными бригадами. Комплексная бригада осуществляет полный монтаж ПС и состоит из специализированных звеньев — по установке и регулировке электрооборудования, по ошиновке, по монтажу вторичных цепей, а также из

электромонтажников, овладевших смежными специальностями, чтобы бригада могла полностью осуществить своими силами весь комплекс работ.

Такая форма организации труда соответствует бригадному подряду и является весьма прогрессивной. Специализированные бригады выполняют отдельные виды работ по нарядам и не заинтересованы в осуществлении всего комплекса работ. Такая форма организации труда менее прогрессивна.

Одним из передовых методов труда и повышения уровня механизации при производстве электромонтажных работ является создание комплексных и специализированных бригад, оснащенных мастерскими на автомобилях и автоприцепах. Передвижные специализированные мастерские создают для разных видов электромонтажных работ, в том числе и для монтажа электрооборудования подстанций.

Каждая мастерская имеет необходимый монтажный инструмент, приборы и приспособления для производства работ на подстанциях — сварочный трансформатор, преобразователь частоты, полуавтомат ранцевый ПРМ-4, электросверлилки, приспособление для ввертывания электродов заземления, трубогиб, ножницы нескольких типов, инструмент для опрессования накопечников, домкрат, мегаомметр, инвентарные стропы, индивидуальные и бригадный набор инструментов подстанции и др.

Передвижные мастерские и специальные автомобили, оборудованные радиосвязью, позволяют осуществить оперативную связь с бригадами (рис. 5.1).

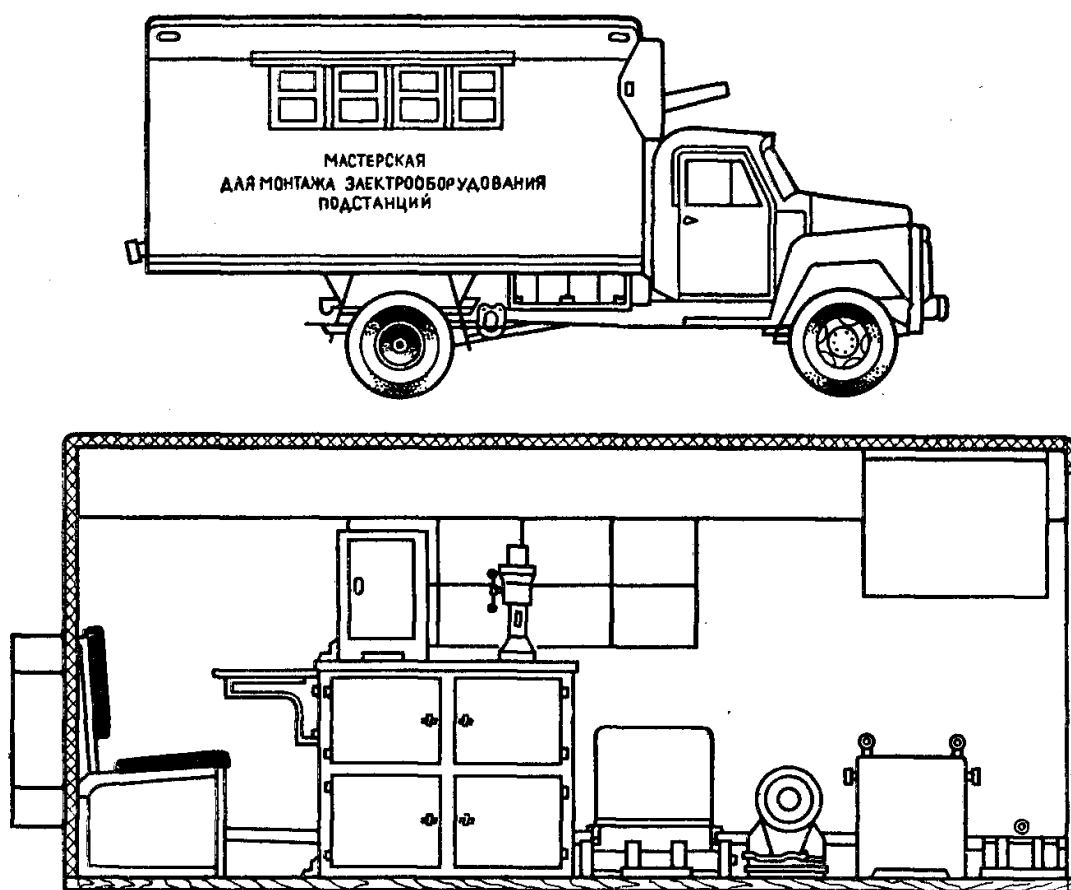


Рис. 5.1. Передвижная мастерская типа МЭА на автомобиле для монтажа подстанций

### 5.3. Монтаж заземляющих устройств, изоляторов и ошиновки

**Заземляющие устройства.** Заземление подстанции и распределительных устройств включает в себя монтаж шин заземления внутри подстанции и наружного заземляющего контура (§ 1- 4). Наиболее эффективными способами погружения заземлителей в грунт являются ввертывание вертикальных стержневых электродов с помощью приспособления с приводом от электросверлилки и вдавливание от привода автоямбура.

Монтаж заземляющих проводников внутри помещений состоит из подготовки трассы и прокладки заземляющих проводников. Сначала размечают линии прокладки на высоте 400—600 мм от уровня пола, определяют места проходов, обходов и ответвлений, а также места креплений (на прямых участках — на расстоянии 600—1000 мм друг от друга, а на поворотах — на расстоянии 100 мм от вершины угла поворота). Пробивают или сверлят

отверстия для проходов сквозь стены и перекрытия, закладывают обоймы из листовой стали, или обрезки труб, устанавливают крепежные детали, на которых закрепляют предварительно заготовленные шины заземления и соединяют их между собой сваркой.

После монтажа заземлителей составляют акт на скрытые работы и на чертежи наносят привязки заземляющих устройств к стационарным ориентирам. Прокладываемые в земле заземлители и заземляющие проводники окраске не подлежат.

На подстанциях заземляют все элементы электрооборудования и металлические конструкции. Силовые трансформаторы заземляют гибкой перемычкой, изготовленной из стального троса. Перемычку с одной стороны приваривают к заземляющему проводнику, с другой — присоединяют к трансформатору с помощью болтового соединения. Такое соединение имеют все аппараты, подверженные вибрации или частому демонтажу. Разъединители заземляют через раму, плиту привода и опорный подшипник; корпус вспомогательных контактов заземляют присоединением к шине заземления.

Если разъединители и приводы смонтированы на металлических конструкциях, то заземление выполняют путем приваривания к ним заземляющего проводника. Места установки изоляторов на металлических конструкциях зачищают до блеска и смазывают техническим вазелином. Выключатели высокого напряжения и приводы к ним заземляют путем присоединения заземляющего проводника к заземляющему болту на крышке, баке или раме выключателя, и также на корпусе привода. При установке выключателя или привода на стальной конструкции заземляющий проводник приваривают к опорной конструкции.

Предохранители на напряжение 6—10 кВ заземляют путем присоединения заземляющего проводника к фланцам опорных изоляторов, раме или металлической конструкции, на которой предохранители установлены. Разрядники надежно заземляют через чугунное основание (цоколь) или выходной зажим счетчика срабатывания, присоединяя заземляющий проводник

к заземляющему болту основания каждой фазы непосредственно или через счетчик срабатывания.

При монтаже измерительных трансформаторов заземляют корпус трансформатора напряжения или корпус трансформатора тока. Кроме того, заземляют нулевую точку обмотки высокого напряжения (ВН) трансформатора напряжения, присоединяя медный гибкий провод к заземляющему болту на корпусе трансформатора. Нулевую точку или фазный провод обмотки низкого напряжения (НН) также крепят к заземляющему болту или заземляют на сборке зажимов. Закороченный зажим (неиспользованный) обмотки присоединяют к заземляющему болту трансформатора тока медным проводом.

Реакторы при горизонтальном расположении фаз заземляют путем присоединения заземляющих проводов к заземляющим болтам изоляторов. При вертикальном расположении фаз заземляют только опорные изоляторы низшей фазы. Заземляющие провода не должны образовать вокруг реакторов замкнутых контуров во избежание их перегрева. Примеры заземления отдельных аппаратов подстанций показаны на рис. 5.2.

В силовом трансформаторе с изолированной нейтралью заземляют кожух, обе направляющие, нейтраль обмотки НН при глухом заземлении и пробивной предохранитель обмотки НН. Металлические части щитов и пультов, изолированные от частей, находящихся под напряжением, соединяют с заземляющими проводниками, фундаментную раму приваривают к магистрали заземления не менее чем в двух точках. Каждую панель присоединяют к каркасу в двух-трех точках. Также заземляют камеры сборных распределительных устройств КРУ и КСО, комплектные трансформаторные подстанции КТП и т. д. Кроме того, заземляющий проводник приваривают к раме дверей и сетчатых ограждений.

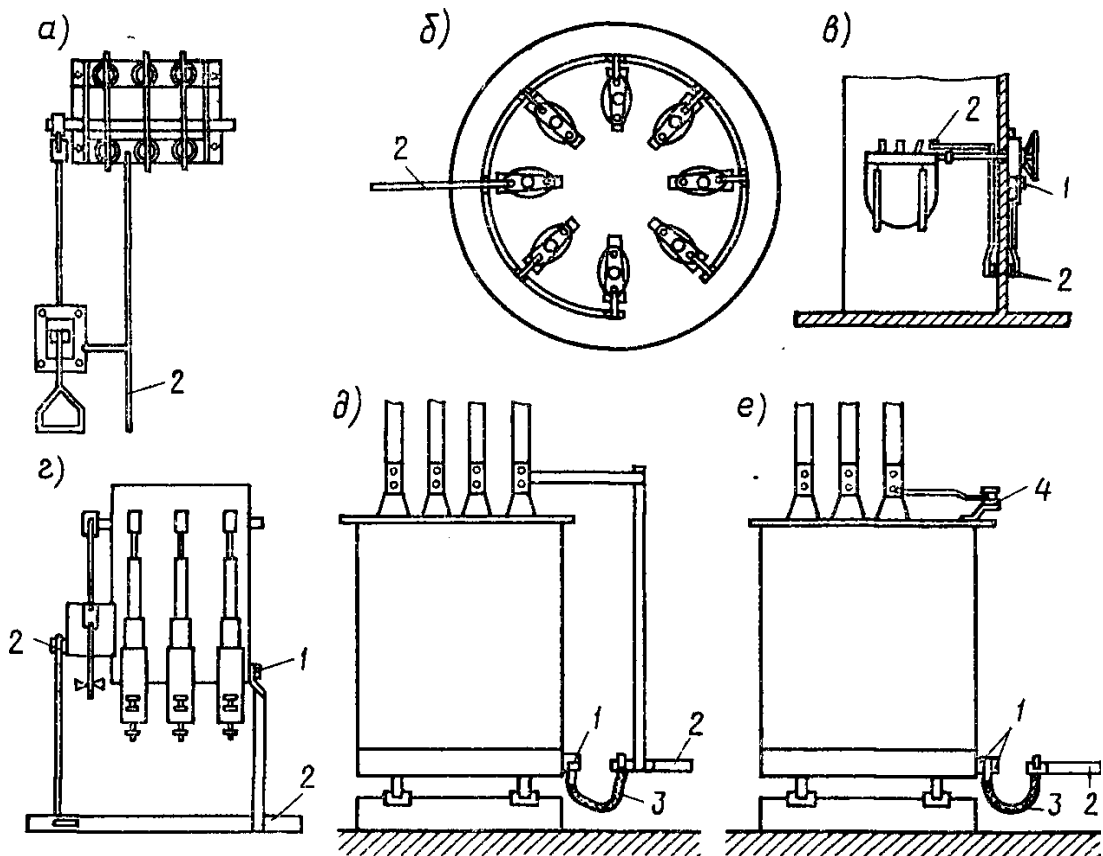


Рис. 5.2. Схемы заземления отдельных аппаратов подстанций:  
*а* - разъединителя; *б* - реактора; *в* - бакового выключателя; *г* - маломасляного выключателя; *д* - силового трансформатора с глухозаземленной нейтралью; *е* - силового трансформатора с изолированной нейтралью; 1 - заземляющий болт; 2 - магистраль заземления; 3 - гибкая перемычка; 4 - пробивной предохранитель

Для присоединения временных переносных заземлений при ремонтных работах на заземляющих шинах устанавливают планки или барашки, зачищенные до металлического блеска и смазанные вазелином. Места для наложения переносного заземления на шинах РУ оставляют неокрашенными. Отдельные элементы электрооборудования присоединяются к заземляющим проводникам параллельно, а не последовательно, так как при обрыве заземляющего проводника часть оборудования может оказаться незаземленной.

Монтаж изоляторов. Опорные и проходные изоляторы предназначены для электрической изоляции токоведущих частей друг от друга и от земли, а также для крепления шин к стенам, конструкциям и т. п. Каждый тип изолятора маркируется буквами и цифрами, указывающими назначение и характеристику изолятора по группе механической прочности на изгиб, напряжению и току



(для проходных изоляторов). Например, проходной изолятор типа 1111-10/1000 750 ИХЛ-1; здесь цифры означают: 10 и 1000 — изолятор на напряжение 10 кВ, 1000 А; 750 — разрушающее усилие, П; буквы ИХЛ-1 — климатические условия. Или П 10/1000 — проходной изолятор, фарфоровый, армированный для внутренней установки на 10 кВ и ток 1000 А. Проходной изолятор для КРУ имеет маркировку ПК.

До начала монтажа тщательно осматривают изоляторы, проверяют прочность армировки, состояние фарфора, отсутствие отбитых краев и сколов; поверхность изолятора очищают, а в проходных изоляторах, кроме того, поверхность токоведущего стержня или шины зачищают и смазывают техническим вазелином. Опорные изоляторы сначала устанавливают в крайних точках шин; между этими изоляторами натягивают шнур (или проволоку), а затем по шнуру устанавливают и выравнивают по высоте все изоляторы, подкладывая в случае необходимости под их основания толь или картон, а при установке на металлических конструкциях — листовую сталь. Прокладки не должны выступать за фланцы изоляторов. Фланцы изоляторов не должны быть «утоплены» в перегородках или стенах. При подаче на место монтажа изоляторы поднимают за фланец, а не за колпачки. После установки изоляторов проверяют и регулируют их положение в вертикальной, горизонтальной и наклонной плоскостях. Колпачки должны находиться в одной плоскости (во избежание добавочных натяжений от закрепляемых на изоляторах шин), допускаемое отклонение  $\pm 2$  мм. Оси всех стоящих в ряду опорных или проходных изоляторов не должны отклоняться в сторону более чем на 2 мм. Положение колпачков изоляторов можно выверить с помощью рейки длиной 3...4 м.

Опорные изоляторы для прокладки по ним сборных шин часто устанавливают вместе со стальными крепежными конструкциями в виде готовых укрупненных блоков с приложенными шинами, собранных в мастерских. Проходные изоляторы монтируют в той же последовательности,

что и опорные, с некоторыми изменениями, зависящими от их особенностей (наличия токоведущего стержня и формы фланца).

Стальные плиты для установки проходных изоляторов на ток 1000 А и более составляют из двух половин, изолированных друг от друга немагнитными перемычками. В стыки между половинами плит помещают прокладки из немагнитного материала с отверстиями для прохода и крепления изоляторов. Это существенно снижает индукционные потери электроэнергии в стальных плитах. Линейные вводы устанавливаются таким образом, чтобы наружная часть ввода была в положении, исключающем скопление в нем влаги и твердых осадков.

**Монтаж шин.** Технологические операции при выполнении ошиновки закрытых РУ и ПС включают: правку, резку, гнутье, монтаж контактных соединений. При отсутствии комплектных камер заводского изготовления работы по ошиновке для РУ цеховых ПС (обработка контактных поверхностей, сварка соединений, сверление для болтовых соединений и гнутье) выполняют в мастерских по эскизам, составленным по предварительным замерам. В ряде случаев применяют макетный способ заготовки узлов ошиновки.

Для монтажа шин на объекте в помещении распределительного устройства заканчивают все работы по установке опорных и проходных изоляторов и аппаратов: на металлоконструкциях (рис. 5.3, а); на штырях (рис. 5.3, б); на сквозных болтах (рис. 5.3, в). Проходные изоляторы, рассчитанные на токи 1500 А и более, укрепляют на железобетонной плите или рамах из угловой стали. Крепление шинодержателя или шины винтом к металлической головке изолятора выполняют так, чтобы конец крепящего винта не упирался в фарфоровую часть изолятора. Алюминиевые и медные шины на изоляторах устанавливают и крепят различными способами в зависимости от количества шин в каждой фазе.

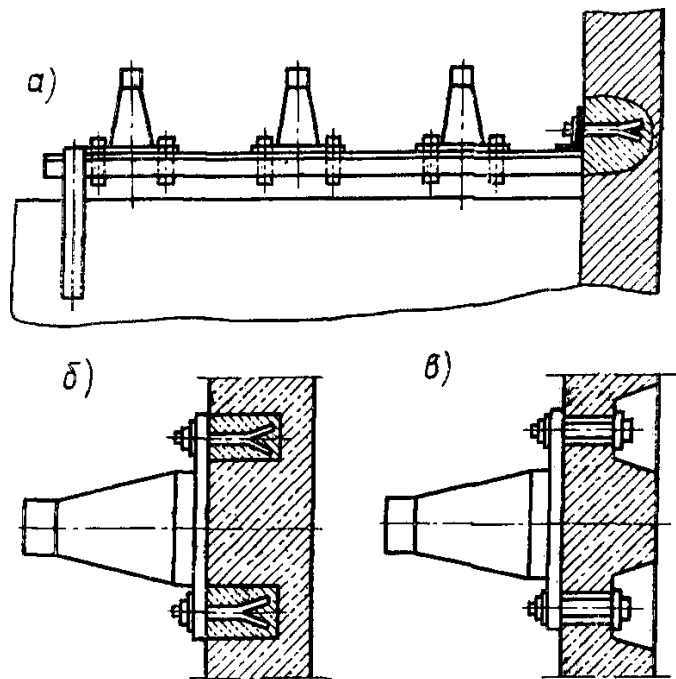


Рис.5.3. Схемы установки опорных изоляторов

Для установок, работающих на большие токи, обычно применяют многополосные шины, блоки шин и шинопроводы, заранее изготовленные в мастерских.

В однополосных шинах, укрепляемых на головках изоляторов, делают овальные вырезы для компенсации изменения длины шины при нагревании ее током, а при креплении многополосных шин между верхней планкой шинодержателя и пакетом шин оставляют зазор в 1,5—2 мм. Шины вследствие нагрева изменяют свою длину. Эти изменения тем больше, чем больше длина шин, поэтому на длинных участках ошиновки (более 20—30 м) устанавливают компенсаторы. В середине такого участка на одном шинодержателе выполняют жесткое крепление; на остальных шинодержателях шины крепят свободно с указанным зазором.

Угол в ошиновке также является своего рода компенсатором, поэтому при присоединении шин к выводам аппарата делают специальные изгибы (если они отсутствуют), а при больших сечениях полос ставят компенсаторы. Это необходимо для того, чтобы тяжение от шин не передавалось на выводы изоляторов и не привело к повреждению фарфоровой изоляции или нарушению

герметичности аппарата. В присоединениях к аппаратам гибких шин допускается усилие тяжения, создаваемое только массой гибкой шины.

Контактные соединения жестких шин при монтаже современных ПС и РУ выполняют преимущественно электросваркой, иногда используют болты и сжимы. Для соединения гибких шин и присоединения их к аппаратам применяют болтовые и прессуемые зажимы. Болтовые соединения жестких шин внахлестку с помощью сквозных болтов или сжимных накладок (плит) используют только в случае присоединения к аппаратам или в местах, где необходим разъем шин. В остальных случаях, как правило, применяют сварку.

Болтовое соединение применяют только для шин, выполненных из однородных, медно-алюминиевых переходных пластин. Болтовые соединения стальных шин с алюминиевыми не допускаются. Сварные соединения жестких шин выполняют электродуговой сваркой на постоянном или переменном токе. Сварку на постоянном токе применяют для соединения алюминиевых шин толщиной до 20 мм и медных шин толщиной до 10 мм.

Сварку производят с помощью угольно-графитированного электрода с использованием флюса (50 % хлористого калия, 30 % хлористого натрия и 20 % криолита) для алюминиевых шин и флюса на основе плавленной буры для медных шин, а также присадочных прутков из того же материала, что и соединяемые шины. Источниками питания при сварке служат сварочные агрегаты и преобразователи типа ПС-300, ПСО-300, ВД-301 (ток до 300 А), ПС-500, ВДУ-500 (ток до 500 А); ПСМ-1000, ВКСМ-1000 (ток до 1000 А); ВДМ-1601 (ток до 1600 А) и ВДМ-3001 (ток до 3000 А).

На переменном токе сваривают алюминиевые шины толщиной до 10 мм. В этом случае источниками питания служат сварочные трансформаторы типов СТЭ-34, ТЭС-300, ТД-301, ТС-500, ТД-503, а также сварочные полуавтоматы ПРМ-2 и ПРМ-4. Флюсы, присадку и электроды при сварке применяют те же, что и при постоянном токе. Однако при сварке на постоянном токе достигается более высокая производительность труда и качество шва.

Способ присоединения жестких алюминиевых шин к зажимам аппаратов выбирают в зависимости от конструкции зажима. Сложность состоит в том, что контактные части аппаратов, как правило, выполняют из меди. Если аппарат имеет несколько контактных столбов, то алюминиевые шины крепят непосредственно к выводам. Если имеется один болт на фазу, то применяют медно-алюминиевую пластину, которую и присоединяют к аппарату. В последнее время заводы электротехнической промышленности начали изготавливать специальные зажимы для присоединения алюминиевых шин. Например, у нового малообъемного (горшкового) выключателя марок ВМГ-10, ВМП-10 и других аппаратные выводы выполнены из алюминиевого сплава и имеют противокоррозионное защитное покрытие. Зачистка таких контактных поверхностей напильником или наждачной бумагой недопустима (можно повредить покрытие). Если необходима очистка, то ее осуществляют с помощью растворителей (бензин, спирт):

Гибкие шины к плоским контактным выводам аппаратов присоединяют с помощью болтовых зажимов, изготовляемых для медных проводов из сплава меди, а для алюминиевых и сталеалюминиевых проводов — из сплава алюминия или с помощью прессуемых ответвительных зажимов. В последнее время шины к аппаратам (например, к реакторам) присоединяют сваркой. Шины распределительных устройств после монтажа окрашивают ровным слоем эмали или масляной краской.

#### **5.4. Монтаж разъединителей, выключателей нагрузки, масляных выключателей и приводов**

Монтаж разъединителей. Разъединители предназначены для отключения и включения под напряжением участков электрической цепи или отдельных аппаратов при отсутствии нагрузочных токов. Это коммутационный аппарат с видимым местом разъединения в воздухе. Видимый разрыв цепи при отключенных разъединителях наглядно подтверждает возможность безопасного приближения к отсоединенным частям электроустановки. При

условиях, определенных ПУЭ и ПТЭ, допускается включение и отключение разъединителями зарядных токов воздушных и кабельных линий, тока холостого хода трансформаторов и токов небольших нагрузок.

Разъединители разделяются по числу полюсов — одно- и трехполюсные; по типу установки — внутренней и наружной установки; по номинальному напряжению и току; по способу управления — ручное и дистанционное от постороннего источника тока; по наличию или отсутствию заземляющих ножей. Для комплектования РУ и ПС на напряжение 6—10 кВ промышленных предприятий применяют однополюсные разъединители РВО и трехполюсные разъединители РВ для внутренней установки. Разновидностью последнего являются разъединители РВЗ и РВФ. Обозначения в марках разъединителей: Р — разъединитель, В - высоковольтный, О - однополюсный, З - с заземляющими ножами, Ф - фигурное исполнение; цифры обозначают номинальное напряжение (кВ) и номинальный ток (А); если в типовом обозначении имеется буква Т, она указывает климатическое исполнение (тропическое) .

Применяются и некоторые другие типы разъединителей с повышенной динамической стойкостью. Однополюсный разъединитель РВО показан на рис. 5.4. Он состоит из токопровода — двух одинаковых неподвижных контактов 3 и соединяющего их подвижного контактного ножа 4, малогабаритных опорных изоляторов 2, на которых смонтирован токопровод и металлические цоколи /, основания для установки изоляторов и для крепления разъединителя; на цоколе предусмотрен болт заземления 6. В конструкции разъединителя РВО предусмотрена еще одна деталь — зацеп с ушком 5, который предназначен для запираания ножа во включенном положении и для управления разъединителем. Зацеп исключает самопроизвольное открытие ножа под влиянием собственной массы, сотрясений и воздействия электромагнитных сил.

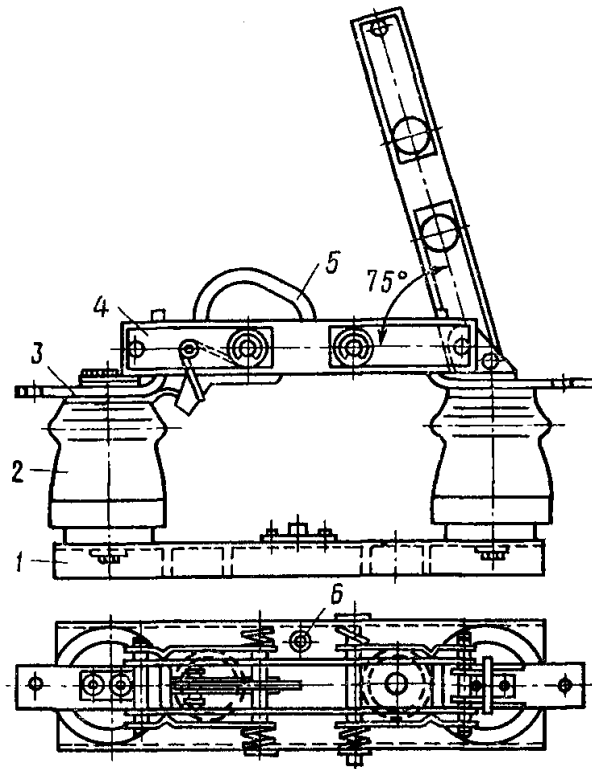


Рис. 5.4. Схема однополюсного разъединителя РВО на ток 400—600 А и напряжение 6—10 кВ

Трехполюсный разъединитель РВ показан на рис. 5.5. Он состоит из следующих частей: стальной рамы 1; шести опорных изоляторов 13, на которых укреплены медные угольники 12, являющиеся стойками неподвижных контактов; медных ножей 6; пружин 7 и стальных накладок 5; оси 9, на которой вращается нож, закрепленный в контактной стойке 5; вала 4 с приваренным рычагом 3 для сочленения с приводом и тремя рычагами 14 для соединения с ножами полюсов, фарфоровыми тягами 11; упора для ограничения угла поворота ножей 2 и болта заземления 10,

Стальные накладки на размыкающихся концах ножей являются электромагнитным замком вместо механического запирающего устройства. При больших токах они притягиваются друг к другу и, сжимая медные пластины ножа, усиливают давление в контактах. В зависимости от номинального тока разъединителя его ножи состоят из одной, двух или нескольких медных полос. Контактный нож, вращающийся на оси, выполнен из

двух полос, охватывающих неподвижные контактные стойки. Давление в контактах создают пружины. Упорная пластина ограничивает открытие ножа при отключении.

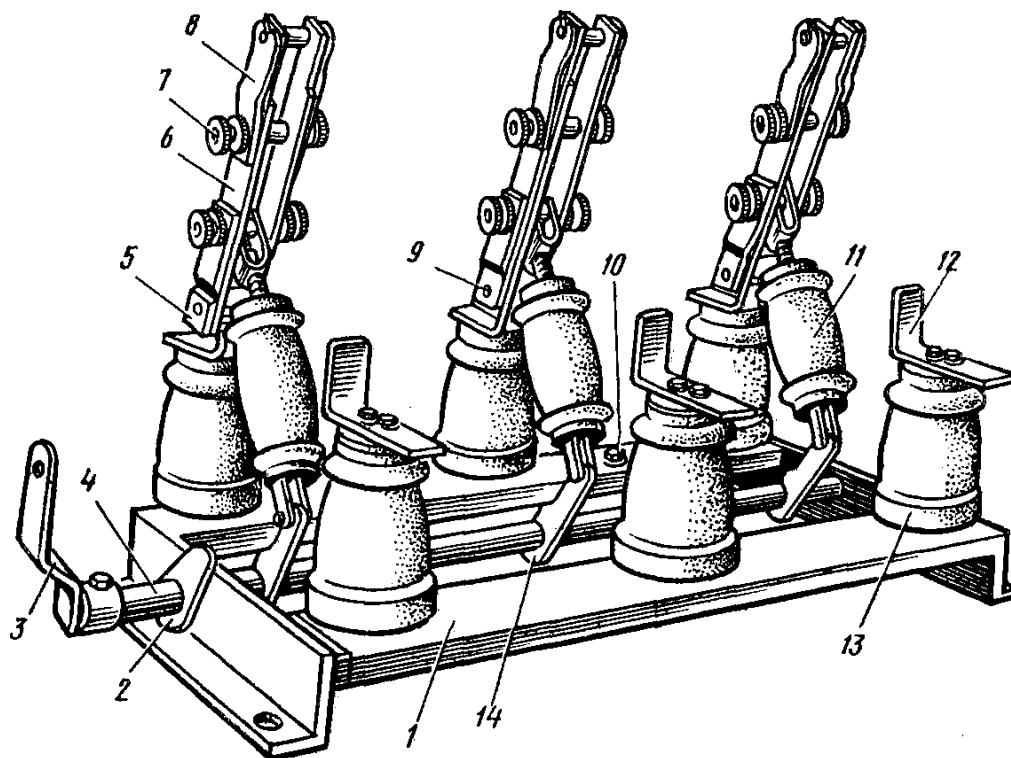


Рис. 5.5. Трехполюсный разъединитель РВ-10/600

При включении и отключении разъединителя ножи трех полюсов поворачиваются фарфоровыми тягами, которые шарнирно соединены с одной стороны с ножами, а с другой — с рычагами на валу. Приводной рычаг на валу соединяет разъединитель с его приводом. Для управления трехполюсными разъединителями на напряжение 6...10 кВ на подстанциях и РУ промышленных предприятия применяют ручные рычажные приводы, например ПР нескольких модификаций, имеющих в основном одинаковое устройство, но разные размеры деталей и рукояток.

Управление однополюсными разъединителями осуществляют специальной штангой из изоляционных материалов, имеющей на одном конце металлический крючок для зацепления за ушко контактного ножа. Открытие ножа на угол до  $75^\circ$  ограничивается упорами. При необходимости



дистанционного управления разъединителями применяют пневматические или электродвигательные приводы. Трехполюсные разъединители типа РВЗ имеют один или два вала с заземляющими контактами, укрепленными под основными неподвижными контактами. Между валами основных и заземляющих ножей предусмотрена блокировка. Заземляющие ножи включают отдельным приводом.

Ревизию разъединителей с приводами и устранение обнаруженных дефектов, как правило, производят в мастерской. Там же комплектуют опорные конструкции, крепежные детали и материалы, которые вместе с разъединителем и приводом транспортируют к месту установки. Разъединитель и привод устанавливают так, чтобы осевые линии, выверенные по отвесу и уровню, не отклонялись более чем на  $\pm 2$  мм.

После установкам разъединителя и привода и соединения их тягой устанавливают еще одну деталь — тягоуловитель. При поломке или обрыве трубчатой тяги или соединительных звеньев передач тягоуловитель предотвращает падение тяги на токоведущие части. Тягоуловитель изготавливают из проволоки диаметром 6—8 мм или из полосовой стали в виде овального кольца, внутри которого свободно перемещается тяга; в случае обрыва она не может коснуться токоведущих частей.

Завершающей операцией при монтаже разъединителей является их регулировка. При этом проверяют и регулируют следующее; центровку ножей и правильность их вхождения в неподвижные контакты; угол поворота ношей при отключении; одновременность включения ножей трехполюсных разъединителей; плотность прилегания контактных пластин; давление контактных пластин на ножи разъединителя; работу привода и сигнальных контактов. Проверяют также действие ограничительных устройств привода.

В процессе регулировки привода добиваются, чтобы включенное и отключенное положения разъединителя и привода соответствовали друг другу — при верхнем положении рукоятки рычажного привода разъединитель должен быть включен, при нижнем — отключен. В обоих крайних положениях

привод запирается защелкой. Регулировку считают законченной, если для включения и отключения разъединителя достаточно усилия руки одного человека.

Сигнальные контакты КСА, служащие для замыкания и размыкания блокировочных цепей, цепей сигнальных ламп и других вспомогательных электрических цепей, регулируют изменение положения рычагов на валике КСА и на приводе разъединителя; контакты КСА предназначены для установки с выключателями и разъединителями и имеют в зависимости от назначения от 2 до 12 цепей.

**Монтаж выключателей нагрузки.** Выключатели нагрузки или разъединители мощности предназначены для отключения токов нагрузки в электроустановках небольшой мощности на напряжение 6—10 кВ в нормальном режиме. От трехполюсных разъединителей для внутренней установки они отличаются пристроенными дугогасительными камерами с газогенерирующими вкладышами из органического стекла для гашения маломощной дуги, возникающей при отключении тока нагрузки в несколько сотен ампер.

Под действием высокой температуры электрической дуги, образуемой при размыкании контактов выключателя, органическое стекло выделяет газы, образующие под давлением интенсивный поток, который гасит дугу. Если выключатели нагрузки снабжены пристроенными к ним высоковольтными кварцевыми предохранителями, то они служат и для защиты от токов к. з. В типовом обозначении наличие предохранителей указывается буквой П; например, выключатель нагрузки типа ВН-16 не имеет предохранителей, а типа ВНП-16 снабжен предохранителями.

Выключатель нагрузки ВНП-17 отличается от ВНП-16 наличием устройства для автоматического отключения при перегорании вставок предохранителя любой фазы. Наличие заземляющих ножей обозначается буквой З. На рис. 5.6, а показаны выключатели нагрузки ВН-16. На сварной из угловой стали раме 1 установлены шесть фарфоровых изоляторов 2, на которых закреплены главная

контактная система и дугогасительные камеры 3. На трех нижних изоляторах в осевых контактах расположены оси вращения подвижных контактных ножей 4 с пружинами, обеспечивающими необходимое контактное давление. На трех верхних изоляторах закреплены разъемные контакты и дугогасительные камеры.

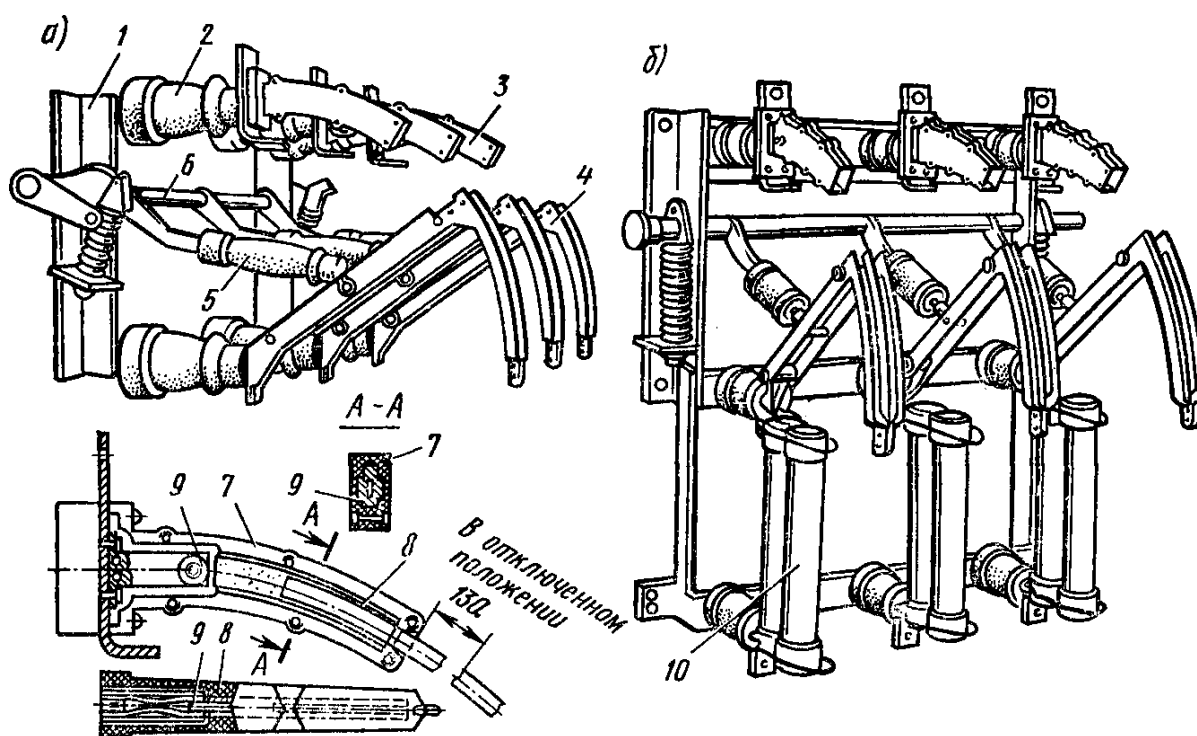


Рис. 5.6. Выключатели нагрузки: а - ВН-16; б - ВП-16

Фарфоровые тяги 5 служат для соединения ножей с валом 6 выключателя через приваренные к нему рычаги. На валу также закреплены по две отключающие пружины с каждой стороны и по одному резиновому буферу.

Пружины обеспечивают необходимую скорость отключения после освобождения механизма свободного расцепления привода, а буферы смягчают удар при отключении, ограничивая угол поворота вала. К раме выключателя прикреплены ножи заземления с помощью боковых пластин. Со стороны, противоположной ножам заземления, на раме устанавливается на болтах полурама (скоба) с предохранителями. К контактным ножам выключателя, называемым главными (в отличие от дугогасительных), стальными

держателями прикреплены гасительные ножи, имеющие форму полос, изогнутых по дуге окружности.

Дугогасительная камера изготавливается из пластмассы и состоит из двух щек 7, стянутых винтами. Внутри корпуса камеры имеются два вкладыша из органического стекла 8 и два неподвижных контакта 9. Дугогасительные ножи входят в пазы дугогасительных камер. Форма паза в камере соответствует форме дугогасительного ножа.

Контактная система устроена так, что при включении сначала замыкаются дугогасительные контакты, так как дугогасительный нож имеет большую длину, а при отключении сначала размыкаются главные контакты и затем дугогасительные. Замыкание и размыкание главных контактов происходят в воздухе, а размыкание дугогасительных контактов происходит в камерах. Выключатель ВНП-16 (рис. 5.6, б) имеет предохранители 10, которые сгорают при коротком замыкании.

Управление выключателями нагрузки осуществляют: ручным приводом ПР-17; ручным автоматическим приводом ПРА-17, с помощью которого можно отключать привод выключателя, и дистанционно имеющимся в нем электромагнитом отключения; электромагнитными приводами, которые обеспечивают ручное или дистанционное включение и дистанционное или автоматическое отключение привода выключателя.

Выключатели нагрузки устроены аналогично трехполюсным разъединителям внутренней установки, поэтому ревизию, установку и регулировку выключателей нагрузки производят теми же методами, что и разъединителей. Дополнительной операцией является ревизия дугогасительной камеры, предохранителей и механизма автоматического отключения при перегорании предохранителя (у выключателей нагрузки ВНП-17).

Установка выключателя нагрузки допускается только в вертикальном положении на стене или на специальной конструкции. Раму выключателя сначала подвешивают на двух болтах и выверяют по уровню и отвесу, определяют толщину необходимых прокладок и места их установки. Затем

приступают к попеременной затяжке болтов, одновременно следя за правильным попаданием ножей в горловины дугогасительных камер. После окончательной затяжки крепежных болтов нужно еще раз убедиться в правильном вхождении ножей в камеры.

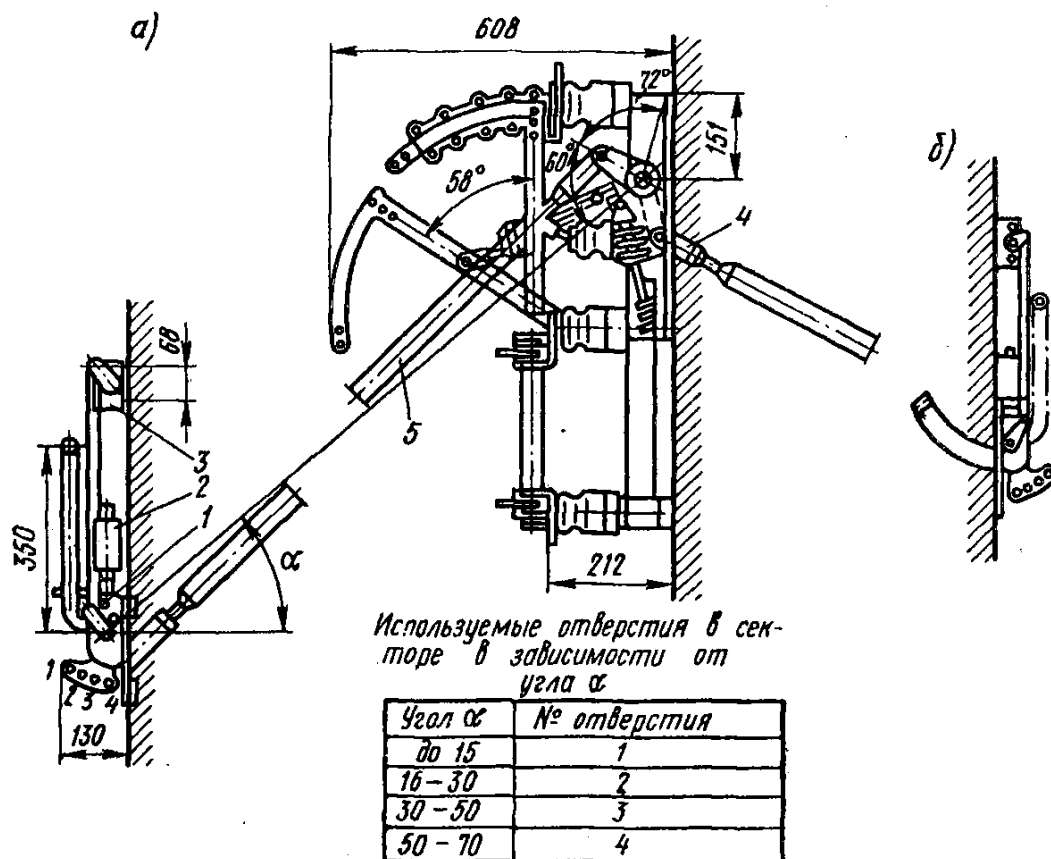


Рис. 5.7. Установка выключателя нагрузки с приводом ПРА-17:  
 а - привод с лицевой стороны выключателя; б - привод за выключателем нагрузки; 1 - привод; 2 - электромагнит отключения; 3 - контакты КСА; 4 - вилка; 5 - тяга

Все сочленения с приводом выполняют так же, как и при монтаже разъединителей. На рис. 5.7 показана установка выключателя нагрузки с приводом ПРА-17. После установки на место выключателя и закрепления рамы проверяют отсутствие перекосов и нарушения центровки ножей и обеспечения последовательности включения и отключения главных и дугогасительных контактов. Регулировку полного вхождения в гасительные камеры производят путем изменения длины тяги. Опробование выключателя нагрузки производят

путем 25 включений и отключений, после которых не должно наблюдаться нарушения регулировки работы выключателя с приводом.

**Монтаж масляных выключателей.** Оперативное включение и отключение электрооборудования или отдельных аппаратов распределительных устройств и подстанций, а также их автоматическое отключение под нагрузкой и при нарушении установленного режима работы (короткое замыкание и перегрузки) осуществляются масляными выключателями. Различают два вида масляных выключателей - многообъемные (баковые) и малообъемные (горшковые).

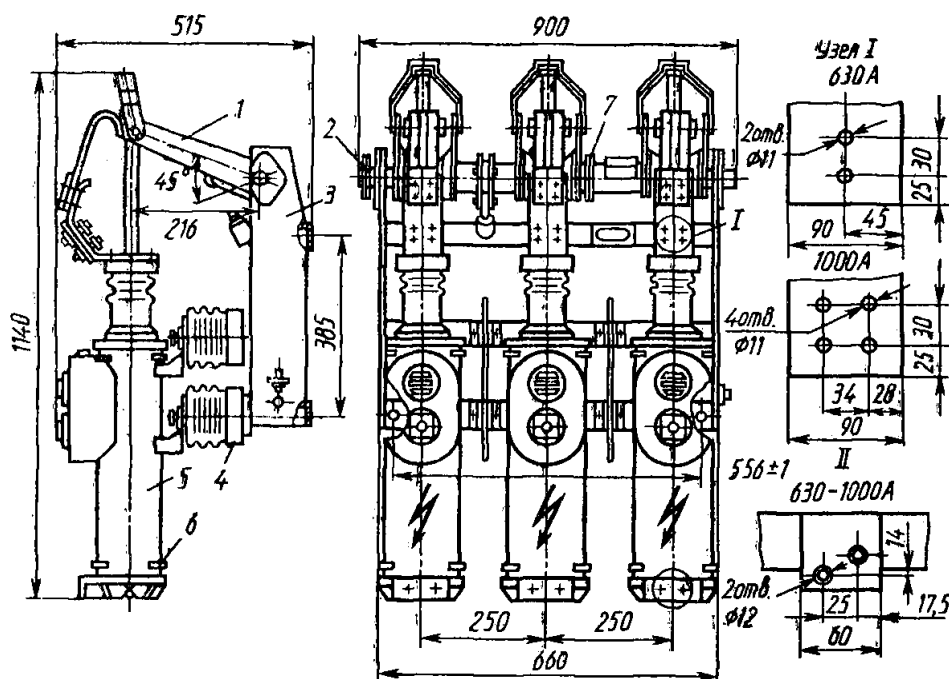


Рис. 5.8. Общий вид выключателя ВМГ-10: 1- изолирующие рычаги; 2 - рычаг бокового присоединения; 3 - рама; 4 - опорный изолятор; 5 - цилиндр (полюс); 6 - съемная крышка; 7 - рычаг среднего присоединения

Подстанции и распределительные устройства на напряжение до 10 кВ промышленных предприятий комплектуются малообъемными (горшковыми) выключателями типов ВМГ-10, ВМП-10 и др., имеющими малые габариты и массу. Их контакты облицованы икон металлокерамикой, что значительно увеличивает срок службы; дугогасительные устройства легко доступны для осмотра и ревизии; после осмотра не требуется повторная регулировка; выводы допускают непосредственное присоединение алюминиевых шин.

Основными частями выключателя ВМГ-10 (рис. 5.8) являются полюсы (цилиндры) и приводной механизм. На стальной сварной раме — основании установлены шесть опорных изоляторов, на которых укреплены цилиндры (на двух изоляторах - один цилиндр). Внутри рамы расположен приводной механизм, состоящий из вращающегося в подшипниках горизонтального вала с рычагами, отключающих пружия, масляных и пружинных буферов.

Назначение рычагов вала - их шарнирная связь с перемещающимися в направляющих контактными стержнями для среднего присоединения привода и для связи с буферными устройствами. Цилиндры выключателей на ток 600 А выполнены из стали с немагнитным швом, а на ток 1000 А — из латуни. Внутри полюса расположены изоляционные цилиндры и между ними дугогасительная камера, создающая при отключении поперечно-продольное масляное дутье. На нижней съемной крышке цилиндра закреплен неподвижный розеточный контакт, а на верхней крышке — проходной изолятор с бакелитовой трубкой внутри, служащие направляющими для подвижного контактного стержня и изоляцией для него от металлического цилиндра. Подвижной контакт состоит из стержня, колодки и гибкой связи; в нижней части стержень имеет наконечник, облицованный дугостойкой металлокерамикой. В верхней части проходного изолятора имеется уплотнение, предотвращающее выброс газов и масла из цилиндра при отключении.

Выключатель ВМП-10 изготавливают в двух исполнениях: ВМП-10 для стационарных распределительных устройств (камеры КСО) и ВМП-10К для комплектных распределительных устройств (КРУ) с ячейками выкатного типа.

У выключателя ВМП-10 в отличие от ВМП-10К расстояния между цилиндрами меньше и имеются изоляционные перегородки. Выключатель ВМП-10 (рис. 5.9) смонтирован на сварной раме. Внутри рамы расположен приводной механизм, который передает движение от привода подвижным контактам выключателя и состоит из приводного вала с рычагами, отключающих пружин и масляного и пружинного приводов. К раме на изоляторах подвешены три полюса выключателя. Для повышения стойкости

контактов против действия электрической дуги и увеличения срока их службы схемный наконечник подвижного контакта и верхние торцы пластин розеточного контакта облицованы дугостойкой металлокерамикой.

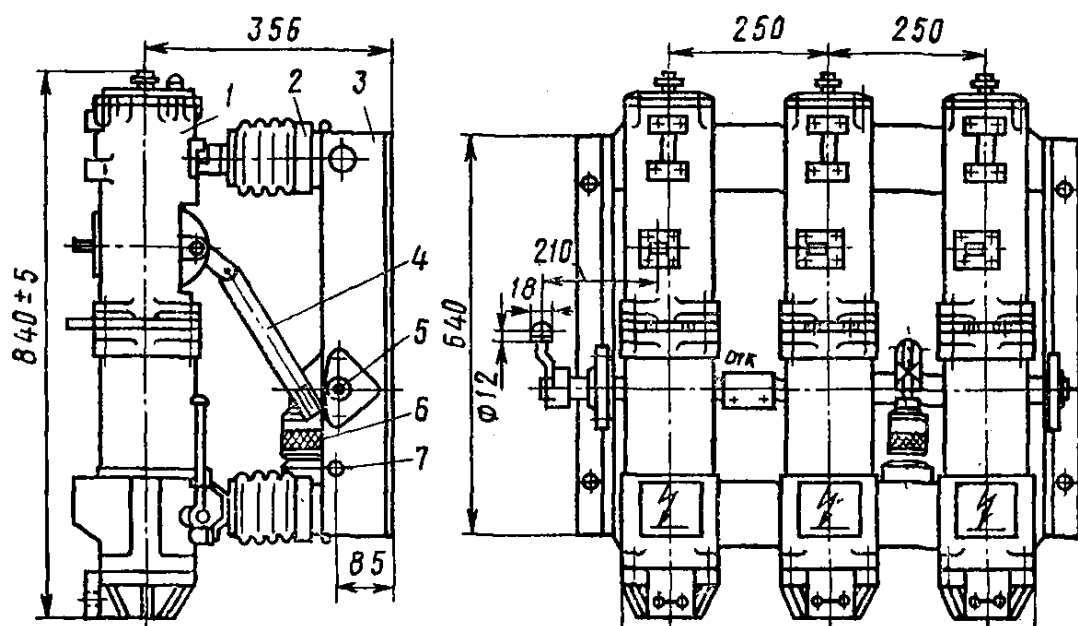


Рис. 5.9. Выключатель ВМП-10:1 - полюс; 2 - изолятор; 3 - рама; 4 - изоляционная тяга; 5 - приводной вал; 6 - масляный буфер; 7 - болт заземления

Выключатель ВМП-10 поставляют в отрегулированном состоянии, без масла. Его установка сводится к укреплению рамы болтами на основание, проверке вертикальности аппарата и соединения выключателя с приводом и токоведущих частей с шинами РУ. При ревизии после монтажа и в эксплуатации выключатель осматривают и проверяют состояние его внутренних частей. Для этого снимают с каждого полюса нижнюю крышку с неподвижным контактом, распорный цилиндр и, проверив состояние внутренних частей, вновь устанавливают снятые детали. Нижняя крышка должна плотно прилегать к фланцу. Выключатель заливают чистым и сухим трансформаторным маслом до уровня по маслоуказателю; при этом проверяют наличие и количество масла в буфере. Затем проверяют регулировочные данные выключателя: ход подвижных контактов 240...245 мм, одновременность замыкания и размыкания контактов.



**Монтаж приводов к выключателям.** Управление выключателями осуществляется приводами нескольких типов: ручными, электромагнитными, пружинными и грузовыми. Каждый привод снабжен включающим, запирающим и удерживающим механизмами. Приводы оборудованы устройствами для автоматического отключения при нарушении режимов работы, а также устройствами ручного или дистанционного управления выключателями и сигнально-блокировочными контактами.

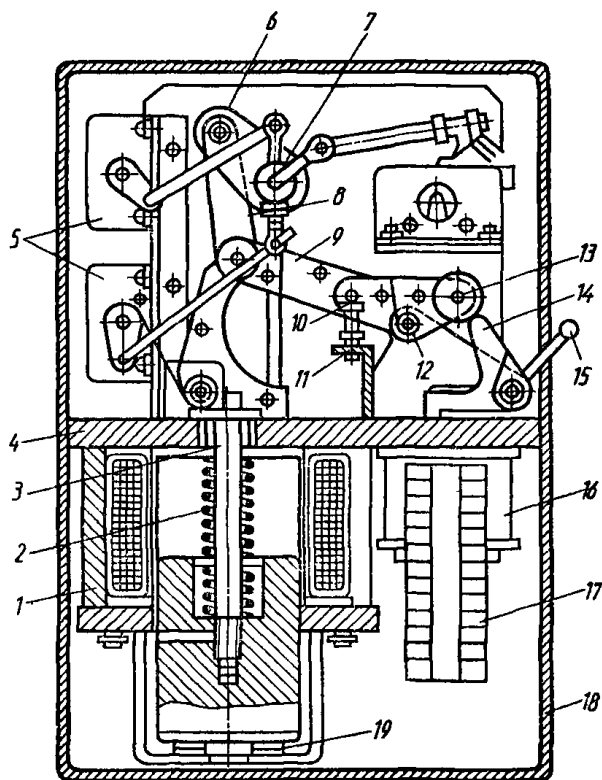


Рис. 5.10. Электромагнитный привод ПЭ-11: 1 - включающий электромагнит; 2 - отталкивающая пружина; 3 - шток; 4 - основание; 5 - вспомогательные контакты; 6 - рычаг; 7 - главный вал; 8, 9 - звенья; 10 - ось; 11 - ограничительный винт; 12 - ось; 13 - отключающий ролик; 14 - отключающий рычаг; 15 - рычаг ручного включения; 16 - отключающий электромагнит; 17 - зажимы; 18 - защитный кожух; 19 - буферное устройство

Для управления указанными выше выключателями применяют приводы: электромагнитный ПЭ-11 и пружинный ПП-67 для ВМГ-10; электромагнитный ПЭ-11 и пружинный ППМ-10 для ВМП-10. Привод ПЭ-11 (рис. 5.10) прямого действия на напряжение 110 или 220 В постоянного тока.

Замыкание и размыкание цепи электромагнита осуществляют контактором. Привод приспособлен как для дистанционного, так и для ручного отключения.

Приводы для рассматриваемых масляных выключателей поступают на монтаж в собранном и отрегулированном виде. Монтаж малообъемных выключателей и приводов производят в мастерских, где их подвергают ревизии и предварительной регулировке. Одновременно в мастерских по рабочим чертежам комплектуют и изготавливают опорные и крепежные конструкции и соединительные детали, необходимые для установки и сопряжения выключателей с приводами. Готовые аппараты в комплекте с деталями доставляют на монтажную площадку для установки. На месте монтажа привод крепят, соединяют с выключателем и проверяют в совместном действии.

Механизм привода осматривают в разных положениях, а также в процессе медленного включения и отключения от руки, при этом проверяют надежность работы всех устройств привода. Включающие, отключающие и запирающие устройства и механизмы свободного расцепления приводов выключателей, а также приводные механизмы, механизмы подвижных контактов, отключающие пружины и амортизирующие устройства выключателей должны свободно включаться и отключаться без заеданий и затирааний, не иметь перекосов и «слабины». Включающее устройство выключателя регулируют, чтобы подвижная часть включалась без жесткого и резкого удара, сжатие контактных пружин было нормальным, зацепление в приводе в конце хода включения происходило вполне надежно.

### **5.5. Токоограничивающие аппараты - предохранители высокого напряжения, реакторы и разрядники**

*Предохранители высокого напряжения* служат для защиты электроустановок небольшой мощности от токов к. з. и перегрузок. Они применяются для защиты силовых цепей (исполнение ПК — предохранитель с кварцевым заполнением) и для защиты цепей измерительных трансформаторов напряжения (исполнение ПКТ).

Предохранитель с кварцевым заполнением состоит из двух опорных изоляторов, установленных на металлическом цоколе; контактов, укрепленных на изоляторах; патрона, вставляемого в контакты. Патрон (рис. 5.11) представляет собой фарфоровую трубку, концы которой заармированы латунными колпачками - обоймами. Внутри патрона имеется плавкая вставка (припаянная к обоймам.) из медных посеребренных проволок (у предохранителей ПКТ — константановая проволока).

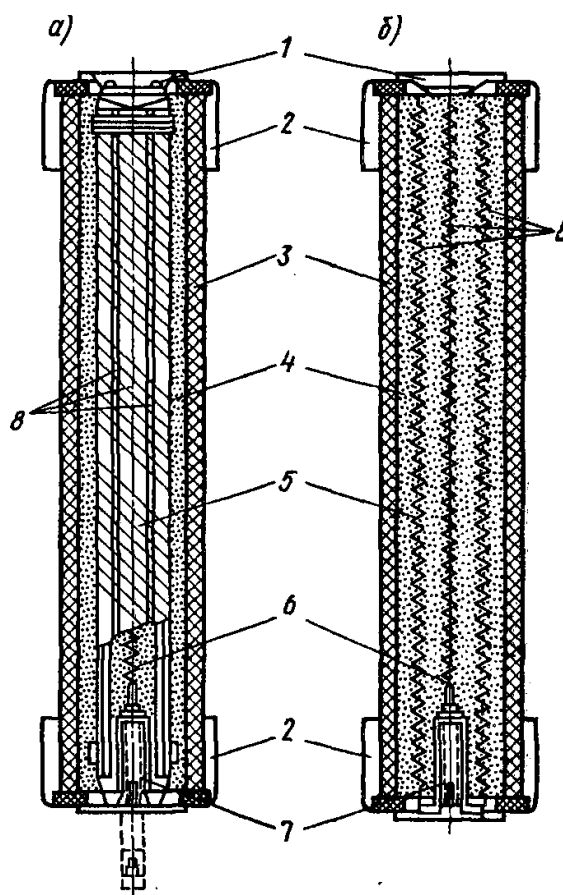


Рис. 5.11. Патроны предохранителей ПК: *a* - с плавкой вставкой на керамическом сердечнике; *б* - с плавкой вставкой, свитой в спираль; 1 - крышка; 2 - латунная обойма; 3 - фарфоровая трубка; 4 - кварцевый песок; 5 - плавкая вставка; 6 - указательная проволока; 7 - указатель срабатывания; 8 - шарик из олова

Патроны предохранителей ПК снабжены указателями срабатывания. При коротком замыкании в цепи, защищаемой предохранителями, перегорает плавкая вставка и возникающая при этом дуга гасится за счет охлаждения ее песком и образовавшихся при испарении плавкой вставки паров металла,

которые проникают между крупинками кварца, где они охлаждаются и конденсируются. Это приводит к быстрому гашению дуги. Одновременно перегорает предохранительная проволока и указатель срабатывания выталкивается пружиной наружу, поэтому указатель срабатывания позволяет быстро отыскать перегоревший патрон. Предохранитель срабатывает бесшумно и без выброса пламени. Предохранители ПК являются одновременно и токоограничивающими аппаратами, так как действуют очень быстро и разрывают цепь тока к. з. раньше, чем он успеет достичь своего максимального значения.

Предохранители монтируют на цоколе из швеллера или угловой стали и на стальной раме. Цоколь предохранителя или стальную раму устанавливают вертикально по разметке на болтах и выверяют по уровню и отвесу по основным осям. Гайки затягивают равномерно, наблюдая, чтобы оси изоляторов одной фазы строго совпадали по вертикали с продольной осью патрона и контактных губок с допуском  $\pm 0,5$  мм.

Перед монтажом предохранитель подвергают осмотру; при этом проверяют: состояние фарфоровых изоляторов и трубок, прмировку изоляторов и патронов, исправность указателя срабатывания, целость плавкой вставки и ее соответствие номинальному току патрона и предохранителя, наличие надежного контакта между губками и патронами предохранителя, состояние стальных пружинящих скоб, контактных губок, ограничительных торцовых пластин.

При установке предохранителей необходимо, чтобы патроны входили в губки без перекосов, от усилия одной руки; указатели срабатывания были обращены вниз; замки предохранителей прочно удерживали патроны от выпадения при электродинамических ударах; контактные зажимы или губки плотно охватывали цилиндрическую головку или ножи патрона. Контактные поверхности губок и патронов зачищают и покрывают слоем технического вазелина. При встряхивании проверяют полноту и плотность засыпки

кварцевого песка и отбраковывают предохранители, в которых слышен шум пересыпающегося песка.

**Реакторы** предназначены для ограничения токов к. з. в электроустановках и для сохранения уровня напряжения в сети. Конструктивно реактор состоит из медной (тип РБ) или алюминиевой (тип РБА) обмотки, бетонных колонок и опорных фарфоровых изоляторов. Монтаж реактора состоит из ревизии, установки и сушки (при необходимости). На место монтажа реактор доставляют в заводской упаковке. Перед установкой его освобождают от упаковки, очищают от пыли и стружек и подвергают тщательному осмотру для выявления дефектов, препятствующих нормальной работе реактора. Поврежденные изоляторы заменяют, погнутые витки обмотки выпрямляют; при этом изоляцию витков восстанавливают лакотканью и покрывают бакелитовым лаком. Подъем и установку фаз реактора производят с помощью швеллерной траверсы с тросовым захватом, соблюдая особую осторожность, чтобы не повредить обмотки или бетонные колонки (рис. 5.12).

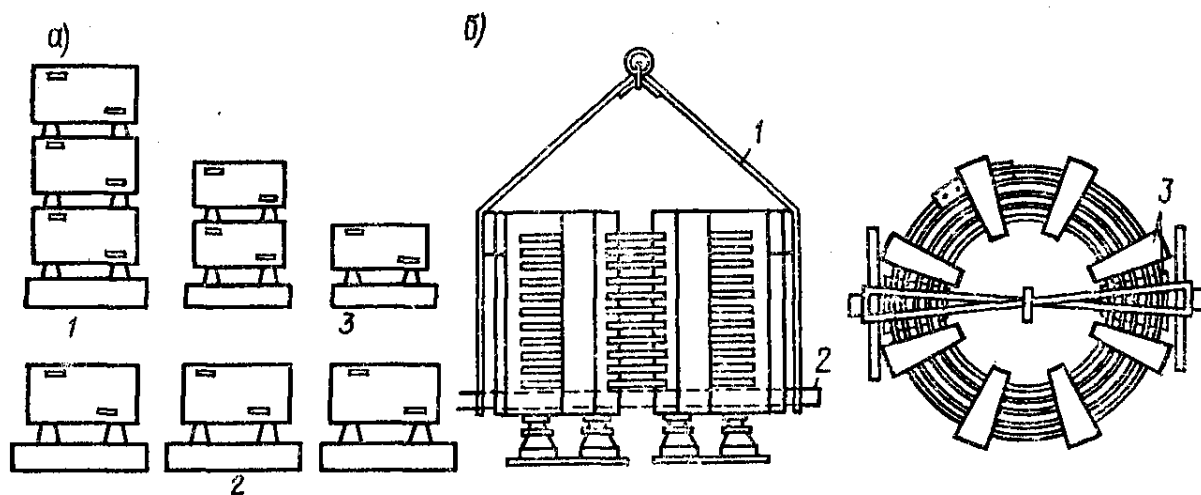


Рис. 5.12. Реактор типа РБА-10-600-6: а - способы установки трехфазного комплекта реактора; 1 - вертикально; 2 - горизонтально; 3 - ступенчато; б - крепления стропов при подъеме; 1 - стальной трос; 2 - швеллер; 3 - деревянные прокладки

После установки реактор заземляют, а также подвергают испытаниям в соответствии с ПУЭ. Сопротивление изоляции обмоток не нормируется, но оно должно быть не менее 70 % заводских данных.

**Разрядники** предназначены для защиты изоляции электроустановки и ее электрооборудования от коммутационных и атмосферных перенапряжений. Перенапряжения на шинах РУ и ПС возникают при коммутационных (внутренних) изменениях схемы и режима работы установки, например при отключении цепей с большой индуктивностью или емкостью, при отключении короткого замыкания и других переключениях, и могут кратковременно достигать трех-четырёхкратного напряжения установки.

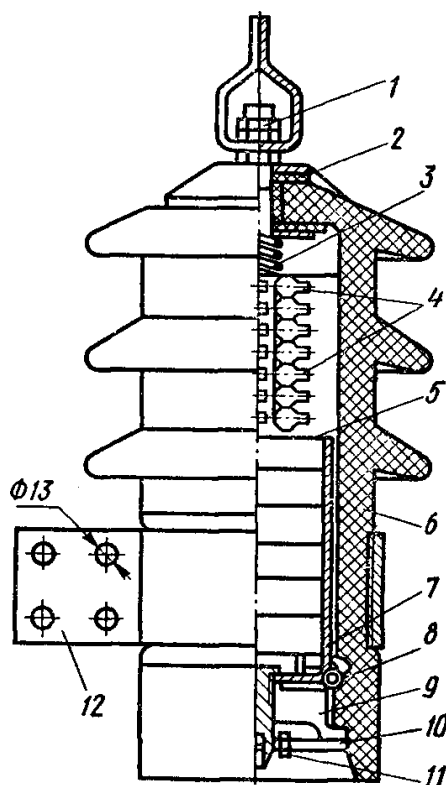


Рис. 5.13. Разрядник РВП-10:1 - ввод; 2 - прокладка из резины; 3 - пружины; 4 - искровые промежутки; 5 - колонка вилитовых дисков; 6 - фарфоровый кожух; 7 - внутренняя диафрагма; 8 - стопорная пружина; 9 - компаунд; 10 - наружная диафрагма; 11 - заземляющий болт; 12 - металлический хомут

Защитное действие разрядника заключается в снижении амплитуды волны перенапряжения до пределов, безопасных для изоляции защищаемой электроустановки. При повышении напряжения до определенных пределов пробиваются искровые промежутки-разрядники и энергия перенапряжения отводится в землю.

На ПС напряжением 6 -10 кВ применяются преимущественно вентильные разрядники типа РВП (рис. 5.13) (разрядник вентильный подстанционный). Разрядники после тщательного осмотра устанавливают на опорные конструкции, выверяют по уровню и отвесу с подкладкой в необходимых случаях под цоколь отрезков из листовой стали и закрепляют на опорах с помощью хомута болтами. Части включенного в работу разрядника, кроме заземленного цоколя, находятся под напряжением; поэтому при монтаже его располагают так, чтобы была исключена возможность случайного прикосновения к разряднику.

### 5.6. Монтаж трансформаторов тока и напряжения

Измерительные трансформаторы служат для понижения тока или напряжения первичной цепи электроустановки до значения, необходимого для питания катушек измерительных приборов, реле защиты и автоматики, приборов учета и сигнализации и других цепей. Подключение приборов и реле через измерительные трансформаторы надежно изолирует их от цепей высокого напряжения, чем обеспечивается безопасность обслуживания. Вторичные обмотки измерительных трансформаторов заземляют для защиты эксплуатационного персонала, а также для предотвращения повреждений приборов и реле, присоединенных к вторичной обмотке, в случае пробоя изоляции между обмотками (первичной и вторичной) .

Измерительные трансформаторы подразделяют на трансформаторы тока и трансформаторы напряжения. **Трансформаторы тока** предназначены для питания токовых обмоток (последовательно включенных катушек) измерительных приборов и реле.

При монтаже подстанции в большинстве случаев применяют трансформаторы тока ТПОФ, ТПЛ (рис. 5.14), ТПОЛ, ТПФМУ, ТПФМ, данные которых приведены в справочниках и каталогах. Вторичную обмотку на трансформаторе при монтаже надежно изолируют от первичной, при

этом вторичные обмотки не присоединенные к приборам, замыкают накоротко и заземляют непосредственно на зажимах трансформатора тока.

У принимаемых для монтажа трансформаторов тока в первую очередь осматривают фарфоровую изоляцию, токоведущий стержень или шины. К фарфоровой изоляции и армировке трансформаторов тока, принимаемых для монтажа, предъявляют те же требования, что и к фарфоровой изоляции и армировке опорных изоляторов. Кроме того, проверяют отсутствие повреждений кожуха, фланца и колодок вторичных выводов, имеются ли обозначения выводов и паспортная табличка.

Кроме внешнего осмотра все трансформаторы тока перед монтажом проверяют на отсутствие обрыва у вторичной обмотки, правильность маркировки выводов и других данных по ПУЭ, а также состояние изоляции обоих обмоток и исправность стального сердечника. В закрытых распределительных устройствах (ЗРУ 6—10 кВ) проходные трансформаторы тока часто применяют в качестве проходных изоляторов. Монтаж таких трансформаторов тока ведется по той же технологической схеме, что и монтаж проходных изоляторов.

Существуют различные варианты установки трансформаторов тока с проходными изоляторами. Если трансформаторы встраивают в проемы стен или межэтажных перекрытий, то между корпусом аппарата и торцовыми частями проема предусматривают зазоры 3—4 мм, чтобы заложить в зазор толстую прокладку, предохраняющую корпус трансформатора от коррозии



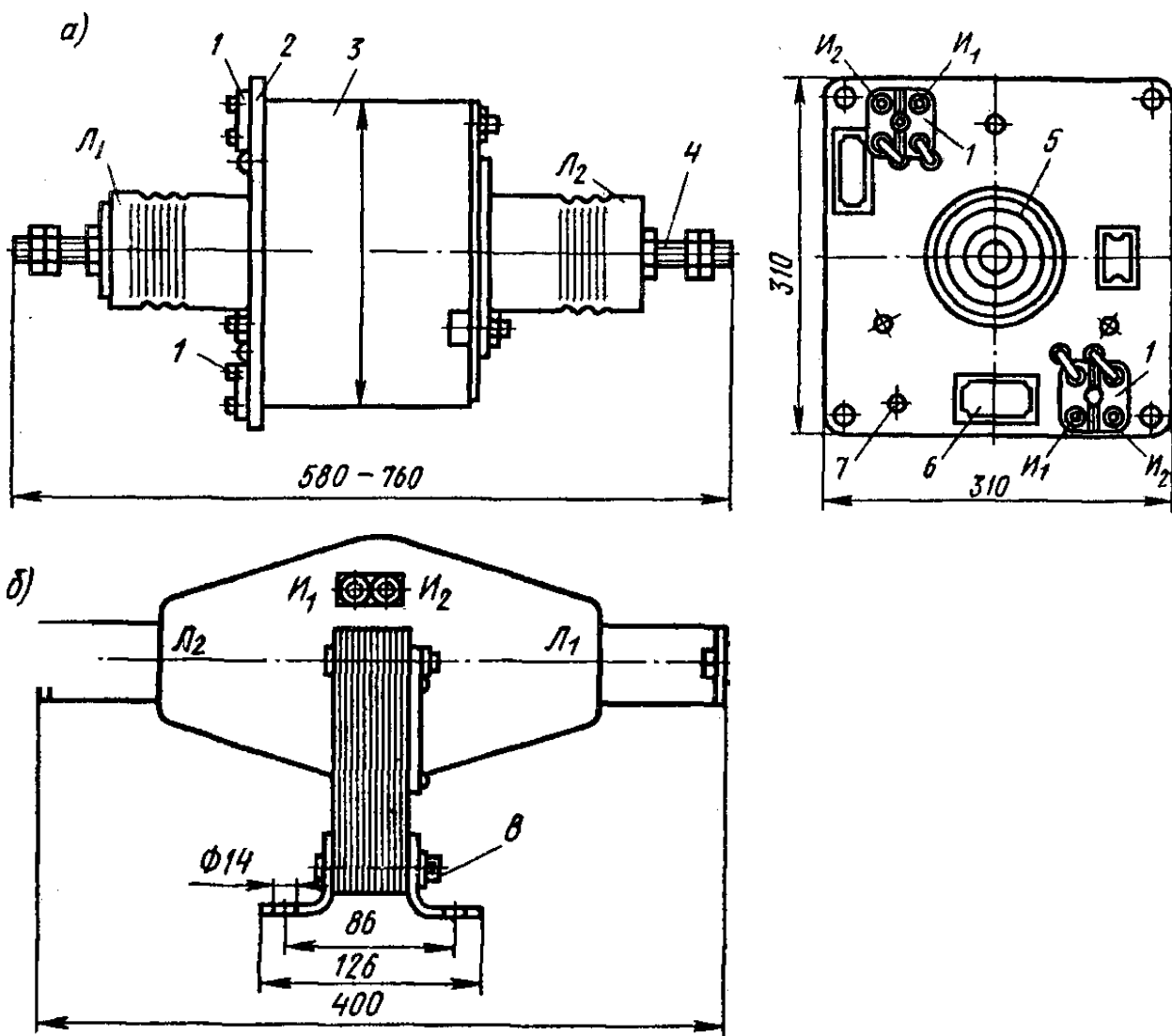


Рис 5.14. Общий вид трансформаторов тока: а - ТПОФ-10; б - ТПЛ-10; 1 - изоляционная колодка; 2 - передний фланец; 3 - кожух; 4 - стержень; 5 - изолятор; 6 - табличка с техническими данными; 7, 8 - болты заземления;  $L_1$ ,  $L_2$  - первичные обмотки;  $I_1$ ,  $I_2$  - вторичные обмотки

При установке трансформаторов в трехфазную цепь необходимо подбирать их с одинаковыми характеристиками. Такой подбор осуществляют на основании данных паспортных табличек трансформаторов и в соответствии со схемой заполнения РУ, где указано, в какой последовательности следует монтировать те или иные трансформаторы тока.

Вводы трансформаторов тока монтируют так, чтобы шины со стороны питания подходили к зажимам с пометкой  $L_1$ , а отходящие шины - к зажимам с пометкой  $L_2$ . В противном случае маркировка вторичных обмоток  $I_1$  и  $I_2$  нарушается и их концы перемаркировывают. После того как трансформаторы

тока закреплены, их вторичные обмотки и кожухи соединяют с заземлением. Выводы вторичных обмоток, если к ним не присоединяют измерительные приборы и реле, должны быть закорочены. Этим исключается возможность образования опасного напряжения на выводах и во вторичных цепях и предотвращается недопустимый нагрев сердечников трансформаторов.

**Трансформаторы напряжения** предназначены для понижения измеряемого напряжения при его значении более 400 В до напряжения 100 В, необходимого для питания измерительных приборов, цепей автоматики, сигнализации и релейной защиты от замыканий на землю. Их изготовляют двух видов: сухие - с естественным воздушным охлаждением и масляные - с масляным заполнением.

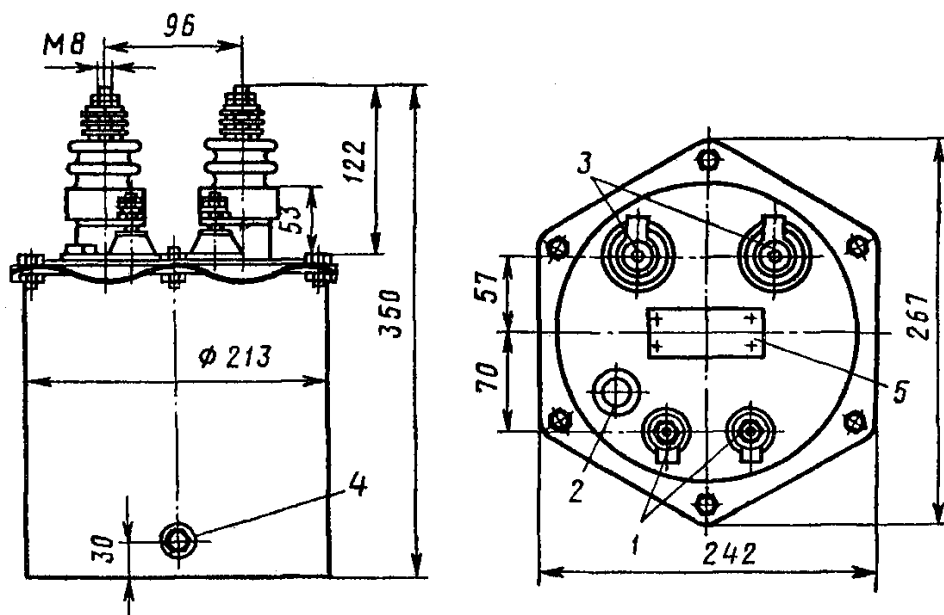


Рис. 5.15. Трансформатор напряжения НОМ-6: 1 - выводы вторичной обмотки; 2 - пробка; 3 - выводы первичной обмотки; 4 - болт заземления; 5 - заводская табличка

**Сухие трансформаторы** напряжения типа НОСК предназначены для комплектации распределительных ящиков, заливаемых компаундом. Масляный трансформатор НОМ-6 показан на рис. 5.15.

Технические характеристики трансформаторов напряжения типов НОМ-10, НТМК-10, НТМИ-10, применяемые при монтаже в ЗРУ на 6—10 кВ, приведены в справочниках и каталогах.

Перед монтажом в трансформаторах напряжения проверяют уровень масла, исправность маслоуказателя и наличие паспортной таблички, отсутствие повреждений бака, течь масла между баком и крышкой или из-под фланцев выводов. При совмещении питания цепей измерения, защиты и автоматики применяют трансформаторы напряжения НТМИ-6-66 и НТМИ-10-66.

При электрических испытаниях трансформаторов напряжения измеряют сопротивление изоляции обмоток; определяют полярности выводов высшего и низшего напряжения и проверяют коэффициент трансформации. У маслонаполненных трансформаторов напряжения перед монтажом берут пробу масла, испытывая ее в объеме, предусмотренном ПУЭ.

При монтаже трансформаторов напряжения сначала устанавливают опорную конструкцию (если трансформатор не установлен непосредственно на бетонном полу); затем поднимают на рабочее место и устанавливают трансформатор и присоединяют заземление.

Трансформатор устанавливают так, чтобы доступ к спускной пробке был со стороны коридора управления (расстояние от уровня пола до пробки должно быть не менее 200 мм) или предусматривают соответствующий приямок.

Опорные конструкции для трансформаторов напряжения могут быть разнообразного исполнения. Конструкцию для установки трансформатора НТМИ-10 изготавливают из угловой стали и закрепляют непосредственно на полу камеры. Нижний угольник вместе с основаниями стоек заливают бетонным раствором. В ряде случаев в проектах предусматривают установку в камере закрытого РУ подстанции четырех трансформаторов НОМ-10 на конструкции, изготовленной из угловой стали.

Эти трансформаторы поднимают на конструкцию блоком или талью. Во время установки трансформаторов их первичные зажимы «высокое напряжение» (ВН) должны быть закорочены и заземлены, а провода вторичной цепи «низкое напряжение» (НН) отсоединены, так как при случайном подключении к ним проводов осветительной или силовой сети на выводах первичной обмотки трансформатора появляется высокое напряжение.

Монтируя трехфазные трансформаторы напряжения, учитывают общий порядок чередования фаз, принятый в РУ. У однофазных трансформаторов вывод, имеющий маркировку Х, заземляют. Если устанавливают три однофазных трансформатора, то все выводы Х соединяют общей шиной и заземляют. Когда устанавливают два трансформатора напряжения и соединяют их в открытый треугольник, рабочую фазу со стороны НН заземляют только в том случае, если это предусмотрено проектом. Корпус каждого трансформатора присоединяют к заземляющему устройству отдельной шиной.

### **5.7. Монтаж и испытания комплектных распределительных устройств и комплектных трансформаторных подстанций**

#### **Комплектные распределительные устройства (КРУ).**

Эти устройства разделяют по способу установки в них аппаратов и приборов на два типа: КСО (камера комплектная, стационарная, одностороннего обслуживания), в которых аппараты высокого напряжения, приводы к ним и приборы установлены стационарно, без выдвижных элементов; КРУ, в которых соответствующее электрооборудование смонтировано на выкатной тележке, с выдвижными элементами. Кроме того, по условиям обслуживания КРУ бывают одностороннего обслуживания (прислонного типа) с фасадной стороны и двустороннего обслуживания, свободно стоящие с проходами с обеих сторон.

Распределительные устройства изготавливают и комплектуют из отдельных шкафов (рис. 5.16), полностью укомплектованных аппаратами первичных цепей, приборами и аппаратами защиты, измерения, учета и сигнализации, ошиновками и проводками вторичных цепей в пределах каждого шкафа в отдельности. Шкафы КРУ состоят из трех основных частей: корпуса, выкатной тележки и релейной камеры (шкафа).

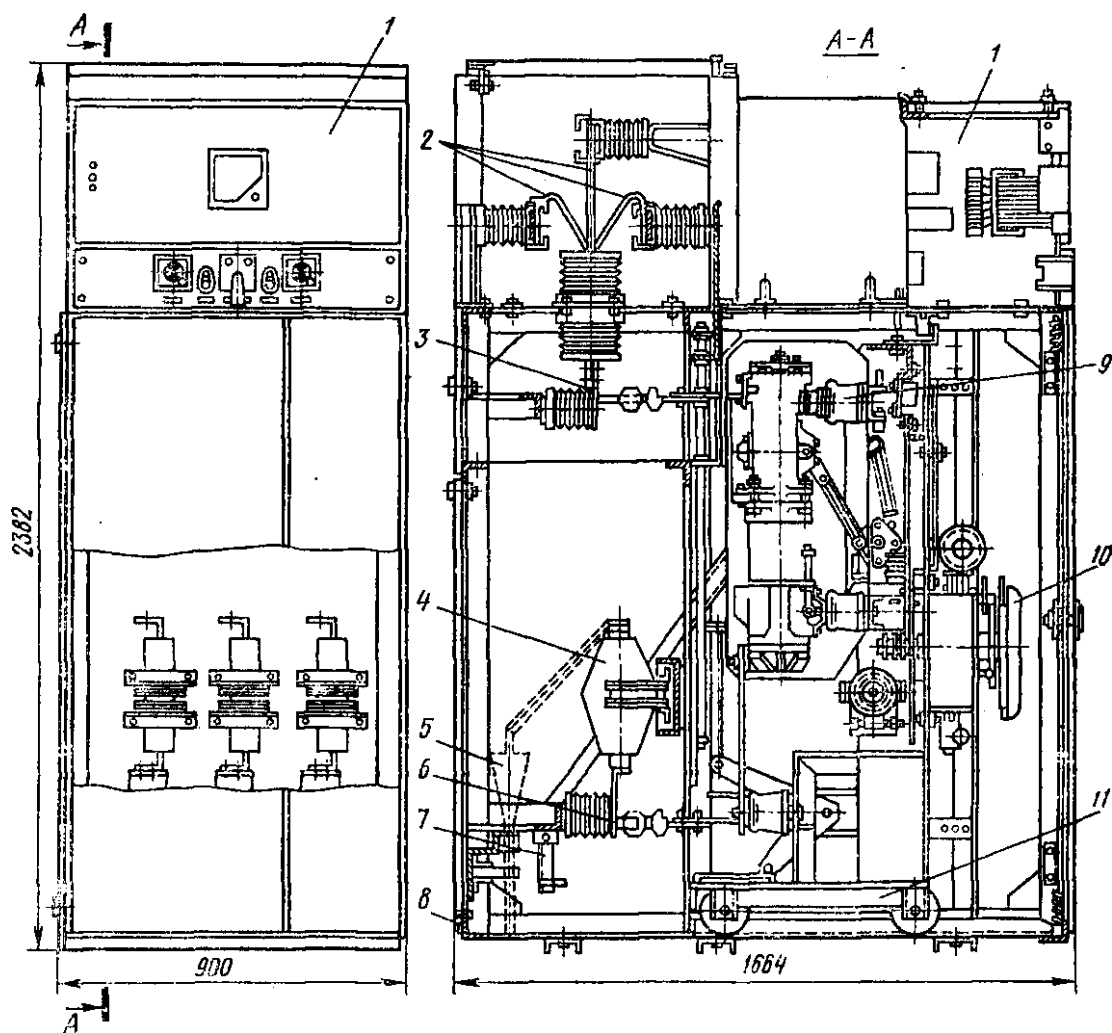


Рис. 5.16. Шкаф КРУ-2 с выключателем ВМП-10 и пружинным приводом:  
 1 - релейный шкаф; 2 - сборные шины; 3 - верхние ножи разъединителя;  
 4 - трансформаторы тока; 5 - концевые кабельные заделки; 6 - нижние ножи  
 разъединителя; 7 - заземлитель; 8 - болты для заземления;  
 9 - выключатель; 10 - привод; 11 - выкатная тележка

Они отличаются друг от друга габаритами, некоторыми конструктивными особенностями, типами встраиваемой аппаратуры и техническими характеристиками. Шкаф разделен стальными перегородками на отсеки: шинный, выкатной тележки, трансформаторов тока с кабельными заделками, верхних контактов разъединителей. Тележки выкатываются из шкафа при необходимости осмотра или ревизии аппаратуры.

В нижней части отсека имеются рельсы для направления тележки при ее перемещениях в шкафу. Отсек трансформаторов тока и концевых кабельных муфт отделен от отсека тележки съемной крышкой и шторками, которые

открываются при вкатывании тележки в шкаф и закрываются при выкатывании тележки из шкафа.

Камера стационарная отдельно стоящая (КСО) делится на три отсека листовой сталью или асбоцементными плитами, в которых соответственно размещены: сборные шины и шинный разъединитель — в верхнем, масляный выключатель и трансформаторы тока — в среднем, линейный разъединитель и кабельные заделки—в нижнем отсеках. Каркас камеры унифицированный, сварной из гнутой листовой и реже из угловой стали. На фасаде камеры закреплены две двери — верхняя и нижняя, на которые монтируют приводы выключателей и разъединителей. Аппаратуру измерения, защиты и управления размещают на верхней двери, за которой установлено сетчатое ограждение для внутреннего обзора камеры без снятия напряжения. По верху камеры проходит световой карниз, служащий одновременно световым табло, внутренним освещением и коробом для контрольных кабелей.

Безопасность обслуживания и соблюдение последовательности операций обеспечиваются устройством в камерах соответствующей механической блокировки. Камеры КСО со смонтированными в них выключателями нагрузки вместо масляных выключателей имеют несколько иное конструктивное исполнение. Типовое обозначение этих камер КСО-366, камеры с масляными выключателями имеют обозначение КСО-272 (рис. 5.17). Эти камеры в отличие от ранее изготавливавшихся камер КСО-266 выпускают по схеме с двумя заземляющими ножами на шинном и линейном разъединителях. В них повышена безопасность обслуживания, улучшен доступ к оборудованию камеры.

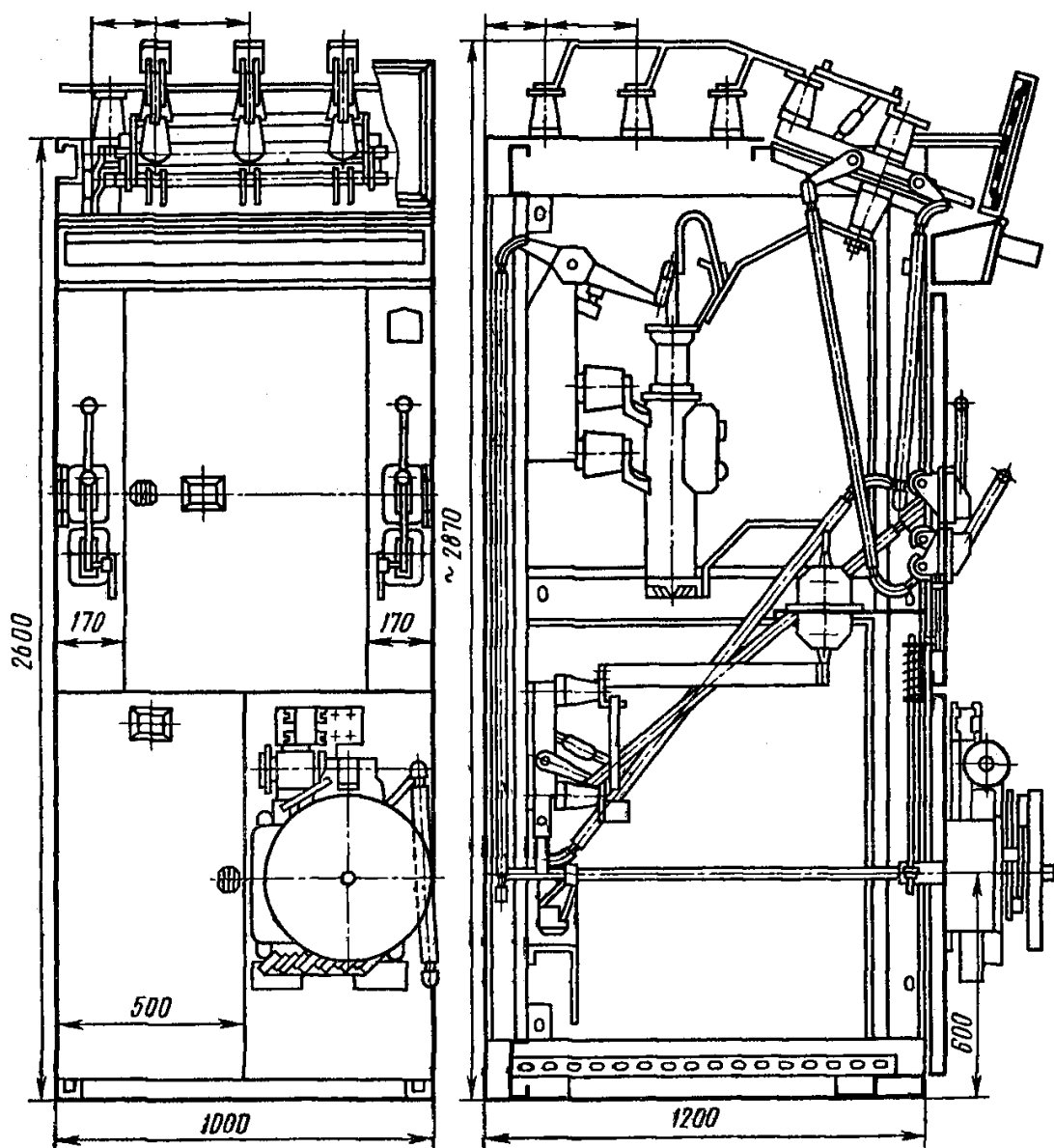


Рис. 5.17. Комплектная камера распределительного устройства КСО-272

**Комплектные трансформаторные подстанции** (рис. 5.18). Комплектная подстанция внутренней (КТП) и наружной (КТПН) установок состоит из блока ввода высокого напряжения 6—10 кВ, силового трансформатора (одного или двух) и комплектного РУ низкого напряжения

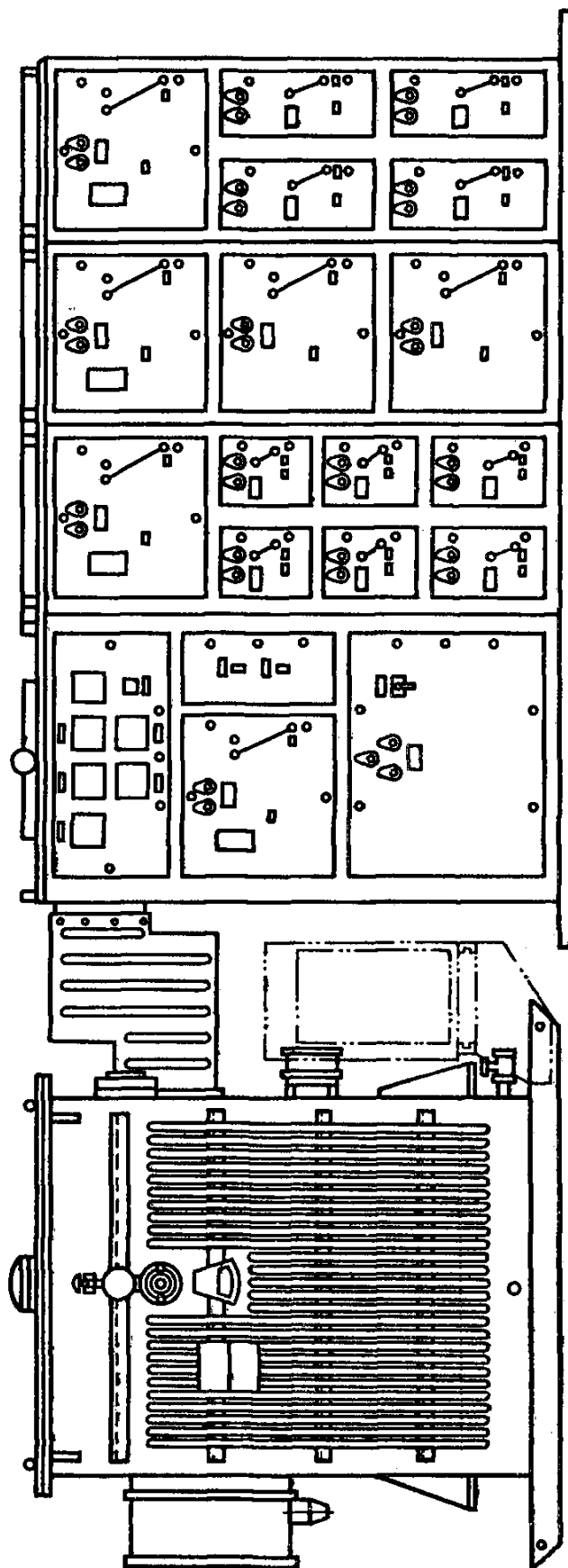


Рис.5.18. Комплексная трансформаторная подстанция



0,4 кВ с предусмотренной проектом защитно-коммутационной аппаратурой, приборами измерения, сигнализации и учета электроэнергии.

Дальнейшим техническим прогрессом в области индустриализации строительства и монтажа комплексных трансформаторных устройств являются объемные подстанции (ПС) напряжением 6—10 кВ (рис. 5.19), которые находят все большее применение.

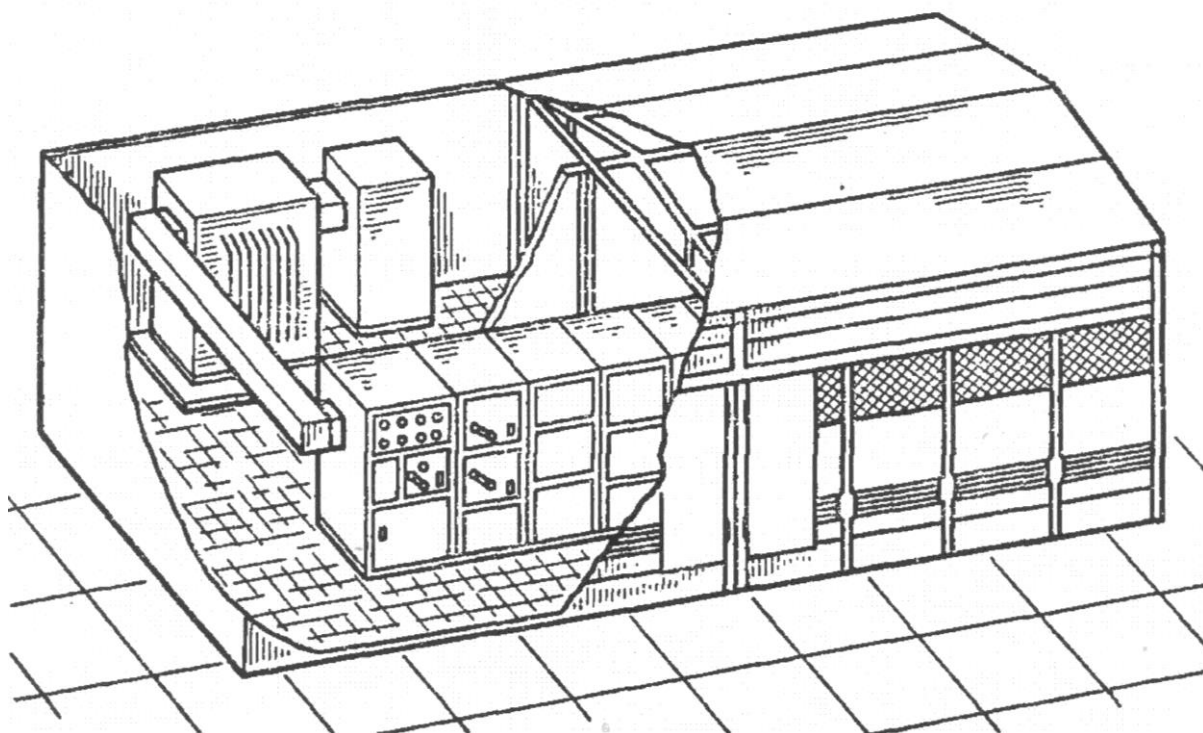


Рис. 5.19. Смонтированная трансформаторная подстанция мощностью 630—1000 кВ • А в объемном исполнении

Эти ПС полностью вместе со строительной частью изготовляют на заводе. Там же производят ревизию и наладку смонтированного электрооборудования. Подстанция доставляется на трайлере на объект монтажа и устанавливается краном на заранее подготовленную площадку или фундамент. Для пуска такой ПС необходимо лишь присоединить внешние кабельные или воздушные линии.

Наряду с объемными трансформаторными подстанциями из железобетонных панелей широко применяют ПС с металлическим каркасом, обшитым стальным оцинкованным гофрированным листом. Такую ПС изготовляют вне строительной площадки (на заводе или в монтажных

мастерских); в ней монтируют все электрооборудование, кроме трансформаторов, и в полностью готовом виде ее доставляют на объект монтажа и устанавливают на фундамент. Объемная металлическая ПС стоит дешевле и менее материалоемка, чем сборная из железобетонных панелей и тем более кирпичная. Масса ПС без трансформатора не превышает 5 т.

**Монтаж КРУ и КТП.** При монтаже комплектных устройств выполняются следующие операции: доставка блоков оборудования на место распаковки; установка на закладные основания; выверка их положения по вертикали и по однолинейности положения всех блоков, образующих ряд; стягивание их болтами между собой; приварка к основанию; электрическое соединение блоков одного с другим; прокладка и соединение сборных шин; подсоединение кабелей; ревизия и окончательная регулировка аппаратов. При современном промышленном монтаже ПС и РУ основными операциями является доставка собранных блоков к месту монтажа, перевозка внутри помещения, подъем и установка.

КРУ и КТПН монтируют в помещениях, где полностью закончены все основные строительные и отделочные работы. До начала монтажа проверяют правильность устройств закладных оснований под камеры КРУ, КСО и КТП. Закладные основания устанавливают по уровню и точно по проекту. Несущие поверхности обоих швеллеров должны быть в одной строго горизонтальной плоскости и выступать из чистого пола на 10 мм. Не менее чем в двух местах швеллеры присоединяют к контуру заземления полосовой сталью 40 X 4 мм.

Блоки КРУ, КСО и КТП на место монтажа доставляют с помощью кранов и автомобильного или железнодорожного транспорта без промежуточной выгрузки. Шкафы и камеры монтируют следующим образом. Из шкафов КРУ выкатывают тележки. Устанавливают крайний шкаф или камеру КСО и после проверки правильности установки по вертикали и горизонтали приступают к установке примыкающего к ней следующего шкафа или камеры. Проверенные шкафы и камеры скрепляют между собой болтами, но так, чтобы при этом не

появились перекосы. Закрепляют шкафы и камеры сваркой к закладным металлическим конструкциям и приступают к монтажу сборных шин РУ. После установки сборных шин всей секции выполняют затяжку болтов в контактных соединениях. При этом выполняют прокладку магистральных шинок вторичных цепей; присоединяют силовые и контрольные кабели и вкатывают тележки в шкафы КРУ, проверяя совпадение контактов тележки низкого напряжения с контактами, установленными на релейном шкафу; совпадение контактов электрических соединителей высокого напряжения, заземляющих контактов тележки с контактами заземления корпуса, а также работу шторок (шторки должны подниматься и опускаться без перекосов и заеданий) и действие механической блокировки.

При монтаже КТП и КТПН соединяют выводы трансформатора с РУ, устанавливают автоматы, монтируют заземление. Соединение шин выполняют в основном с помощью сжимных плит, контактную поверхность шин нельзя зачищать стальными щетками и наждачной бумагой во избежание повреждения имеющегося на ней противокоррозионного покрытия. Для очистки контактной поверхности ее протирают чистой тканью, смоченной в бензине. Блоки устанавливают поочередно, предварительно сняв специальные заглушки, закрывающие выступающие концы шин, и подъемные скобы с опорных швеллеров.

Выдвижные автоматические выключатели низкого напряжения проверяют на совпадение вертикальных и горизонтальных осей втычных контактов и ножей, а также динамометром определяют усилие нажатия. Кроме того, проверяют совпадение осей симметрии подвижных и неподвижных вспомогательных контактов. Для вкатывания и выкатывания автоматических выключателей применяют специальное устройство, поставляемое заводом. Монтаж завершается проверкой годности проводок и приборов, надежности крепления болтовых соединений, электрической изоляции, присоединений кабелей высокого напряжения и отходящих линий к трансформаторам.

**Испытания оборудования РУ.** Электрооборудование РУ после монтажа проходит необходимые испытания и наладку, после чего его сдают по акту в эксплуатацию. При сдаче комиссии предъявляют перечень отклонений от проекта, рабочие чертежи с нанесением на них изменений, акты скрытых работ, протоколы сушки, ревизии, формовки батарей, принципиальные схемы, а также протоколы испытаний и наладки электрооборудования с указанием исправлений, произведенных в процессе наладки. Смонтированное электрооборудование РУ предъявляют к сдаче после устранения дефектов и недоделок, обнаруженных в процессе предварительных осмотров. Объем и нормы испытаний смонтированного оборудования приведены в § 12-1. При приеме законченных электромонтажных работ комиссия проверяет соответствие их проекту и требованиям ПУЭ и СНиП.

### **5.8. Монтаж и сборка силовых трансформаторов**

Монтаж силовых трансформаторов предусматривает; погрузку, транспортировку и выгрузку; ревизию и сушку; сборку и установку; пробное включение под напряжение. В комплексе операций по монтажу трансформаторов значительное место по трудоемкости занимают такелажные работы. Доставку трансформаторов к месту монтажа осуществляют преимущественно автомобильным транспортом соответствующей грузоподъемности, тракторами на специальных транспортных приспособлениях или тягачами на автотрейлерах.

Организация монтажа трансформатора заключается в сооружении при промышленном предприятии временной мастерской, оснащенной подъемными средствами, приспособлениями, инструментами и приборами и имеющей масляное хозяйство для сушки и очистки трансформаторного масла. В тех случаях, когда мастерская отсутствует, работы по монтажу и ревизии трансформаторов проводят в одном из цехов действующего или сооружаемого предприятия или непосредственно на месте установки с возведением

временного укрытия необходимой высоты. Место, отведенное для этой цели, ограждают и предусматривают наличие противопожарного инвентаря. Особое внимание обращается на такелажные работы, связанные с монтажом трансформаторов. Для трансформаторов IV габарита мощностью до 80000 кВА (включительно) эти работы являются сложной и ответственной операцией, которую поручают лишь высококвалифицированным специалистам в области такелажных работ и которую они проводят в соответствии с «Инструкцией по монтажу силовых трансформаторов» напряжением до 100 кВ включительно.

**Транспортировка, приемка и хранение трансформаторов.** Погрузку и выгрузку трансформаторов с железнодорожной платформы или автомашины производят подъемными кранами с помощью стальных стропов за четыре подъемных крюка, приваренных к стенкам верхней рамы бака. Эти крюки рассчитаны на подъем полностью собранного и залитого маслом трансформатора. При отсутствии крана трансформаторы разгружают и перемещают с помощью лебедок, полиспастов и домкратов.

После выгрузки проверяют состояние трансформатора и ведут подготовку его к монтажу или к длительному хранению, если монтаж переносится на более поздний срок. Приемку трансформатора производят по внешнему осмотру, при этом проверяют отсутствие вмятин и повреждений бака, радиаторов, расширителя, выхлопной трубы и других деталей, герметичность уплотнений, целостность сварных швов, отсутствие трещин и отбитых краев у вводов, комплектность деталей по накладной и по демонтажной спецификации завода-изготовителя, наличие пломб на всех кранах для масла.

Порядок и условия хранения трансформаторов до монтажа имеют большое значение как с точки зрения сокращения затрат труда на ревизию и монтаж, так и длительности срока их службы после монтажа в процессе эксплуатации. Правильное хранение трансформатора обеспечивает возможность включения его под напряжение без сушки.

Трансформаторы, транспортируемые частично демонтированными, но с баком, заполненным маслом, после испытания на герметичность и установки

расширителя доливают сухим чистым маслом, не позднее чем через шесть месяцев после отправки с завода.

**Ревизия трансформаторов.** Ревизию силовых трансформаторов производят для выявления и устранения неисправностей и повреждений. Ревизии подвергают не все трансформаторы. В соответствии с ГОСТом включать в эксплуатацию трансформаторы следует без осмотра их активной части при соблюдении требований к их транспортированию и хранению, изложенных в «Инструкции по транспортированию, хранению, монтажу и вводу в эксплуатацию трансформаторов на напряжение до 35 кВ без ревизии их активных частей» (Информэнерго, 1971), При нарушении требований этой инструкции или при обнаружении неисправностей выполняют подъем их активной части для ревизии деталей, находящихся внутри бака.

Внутренний осмотр трансформатора ведут в закрытом помещении, при этом масло сливают в сухой и чистый бак, выемную часть поднимают и устанавливают на настил из досок, проверяют запрессовку обмоток (в имеющиеся между обмотками зазоры забивают дополнительные прокладки из сухого электрокартона), прочность болтовых креплений сердечника и остальных частей; ослабленные гайки и шпильки затягивают; особенно тщательно осматривают целостность демпферов отводов у места их присоединения к выводам и целостность изоляции в этом месте.

Мегаомметром напряжением 1000 В проверяют сопротивление изоляции обмоток между собой и относительно сердечника, изоляцию шпилек магнитопровода и наличие заземления сердечника. Выемную часть, бак и радиаторы промывают сухим трансформаторным маслом, после чего собирают трансформатор, уплотняют места соединений, заливают масло и на месте проводят необходимые испытания.

Результаты замеров и ревизии дают возможность судить о необходимости сушки трансформаторов; при измерениях характеристик изоляции следует руководствоваться указаниями ГОСТ «Трансформаторы силовые. Методы испытаний», ПУЭ.

**Контроль состояния изоляции трансформаторов.** Условия включения трансформаторов без сушки и необходимость сушки активной части регламентированы в заводских и в указанной выше инструкциях, которыми и следует строго руководствоваться. Трансформаторы с увлажненными обмотками включать под, рабочее напряжение нельзя. Обмотки трансформатора считают неувлажненными и сушку их необязательной в результате всестороннего рассмотрения результатов ряда испытаний, а также условий транспортирования трансформатора и его хранения до и во время монтажа. Применяют несколько методов испытания и определения степени увлажнения обмоток трансформатора, описанных ниже.

**По коэффициенту абсорбции,** т. е. соотношению сопротивлений изоляции обмоток в зависимости от времени приложения напряжения, мегаомметром измеряют сопротивления изоляции обмоток через 15 и 60 с после приложения напряжения и определяют коэффициент абсорбции, равный отношению  $R_{60} / R_{15}$

Сопротивление изоляции обмоток трансформаторов определяют мегаомметром на напряжение 2500 В с верхним пределом измерения не ниже 10 000 МОм. При измерении все вводы обмоток одного напряжения соединяются. Перед началом каждого измерения испытываемую обмотку заземляют на срок не менее 2 мин.

Показания мегаомметра необходимо отсчитывать через 60 с после приложения напряжения к изоляции обмотки; допускается за начало отсчета принимать начало вращения рукоятки мегаомметра. Наименьшее допустимое значение  $R_{60}$  обмоток трансформаторов в масле на напряжение до 35 кВ мощностью менее 10000 КВА приведены ниже.

Температура обмотки, °С	10	20	30	40	50	60	70
Сопротивление изоляции, МОм	450	300	200	130	90	60	40

Коэффициент абсорбции при хорошем состоянии изоляции трансформаторов мощностью менее 10 000 кВ • А, напряжением до 35 кВ

(включительно) при температуре 10...30 °С составляет не менее 1,3. Состояние электрической изоляции характеризуется еще и значением тангенса угла  $\delta$  диэлектрических потерь в изоляции. Тангенс угла  $\delta$  диэлектрических потерь значительно повышается при увлажнении диэлектрика, потому этим показателем широко пользуются при оценке состояния изоляции вновь вводимых в эксплуатацию масляных трансформаторов. Его значения, выраженные в процентах, не должны превышать значений, приведенных в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Напряжение обмоток высокого напряжения	Значение $\tan \delta$ при температуре обмоток, °С						
	10	20	30	40	50	60	70
До 35 кВ включительно, мощностью менее 2500 кВА	1,5	2	2,6	3,4	4,6	6	со
До 35 кВ включительно, мощностью менее 10 000 кВА	1,2	1,5	2	2,6	3,4	4,5	6

Значения тангенса угла диэлектрических потерь измеряют мостом переменного тока типа МД-16. Кроме коэффициента абсорбции и тангенса угла диэлектрических потерь степень увлажнения обмоток трансформатора характеризуется еще и соотношением емкостей обмоток, измеренных при частотах 2 и 50 Гц ( $C_2/C_{50}$ ). Этот метод носит название емкость — частота. Он основан на том, что при увлажненных обмотках трансформатора  $C_2/C_{50} \approx 2$ , а при неувлажненных обмотках (сухих)  $C_2/C_{50} \approx 1$ . Обмотки трансформатора в масле при напряжении до 35 кВ включительно, мощностью менее 10000 кВА имеют следующие наибольшие допустимые значения  $C_2/C_{50} = 1,1$  — при температуре обмотки 10 °С; 1,2 — при температуре обмотки 20° С; 1,3 — при температуре обмотки 30° С. Значение  $C_2/C_{50}$  измеряют приборами контроля влажности ПКВ-7 и ЕВ-3. Правильное показание прибор ПКВ-7 дает лишь в том случае, когда сопротивление изоляции обмоток составляет не менее 15



МОм (при температуре 10—30° С). Поэтому перед использованием прибора ПКВ-7 проверяют абсолютную величину сопротивления изоляции обмоток трансформатора. Величину  $C_2/C_{50}$  измеряют между каждой обмоткой и корпусом. Остальные обмотки при измерении заземляют.

Метод **емкость — температура** определяет зависимость емкости увлажненных обмоток от температуры. Физическая основа этого метода заключается в измерении диэлектрической постоянной изоляции, а следовательно, и ее емкости при изменении температуры. Причиной этого изменения является резко выраженная неоднородность диэлектрика, обусловленная главным образом наличием влаги в изоляции. Влияние температуры на значение диэлектрической постоянной у увлажненной изоляции проявляется сильнее, чем у сухой. Недостатком этого метода является необходимость нагрева трансформатора до 70 °С.

Значение тангенса угла диэлектрических потерь характеризует общее состояние изоляции, являясь показателем увлажнения изоляции и потерь в ней. Если изоляцию изготовить из : идеального диэлектрика, то в ней не было бы потерь и при включении на переменное напряжение, она не потребляла бы активной мощности. Практически в изоляции всегда происходит потеря энергии. Это вызывается разными причинами, в частности содержанием влаги, которая проникает в поры волокнистых материалов обмоток трансформаторов, существенно увеличивая диэлектрические потери. Поэтому при приложении к изоляции напряжения из сети потребляется не только реактивная, но и активная мощность.

Отношение активной мощности, потребляемой изоляцией, к реактивной называется **тангенсом угла диэлектрических потерь**. Активная мощность, потребляемая изоляцией, значительно меньше реактивной; отношение их измеряется сотыми долями;  $\tan \delta$  принято выражать в процентах.

Однако ни один из описанных показателей увлажнения изоляции обмоток трансформаторов, взятый отдельно, не является достаточным, чтобы по нему можно было окончательно решить вопрос о необходимости сушки

трансформатора. Решение принимается по комплексу данных. В этот комплекс кроме описанных выше показателей увлажненности изоляции обмоток входят данные о заводских испытаниях, сведения о способе хранения, перевозке и монтаже трансформатора.

Распространенный способ сушки обмоток трансформаторов - **сушка индукционными потерями** в собственном баке, под вакуумом, при опущенном масле. Бак нагревают с помощью намагничивающей обмотки из изолированного провода, накладываемой на бак трансформатора. Для создания вакуума используют вакуум-насос, трубу которого соединяют с отверстием на крышке бака.. Сушку заканчивают тогда, когда сопротивление изоляции обмоток в течение 8 ч при постоянных величинах вакуума 10—1.5 кПа и температуре 95...105 °С остается без изменения и когда незначительно выделяется конденсат или он отсутствует. Недостатком этого способа является необходимость создания вакуума. Кроме того, не всегда удается так расположить намагничивающую обмотку, чтобы происходило распределение температуры; нижние части кожуха оказываются менее нагретыми, чем средние и верхние. Неравномерный нагрев нижней части бака трансформатора устраняют устройством дополнительного подогрева путем установки под баком электропечки или дополнительной металлической конструкции с намоткой на нее части витков намагничивающей обмотки. Этот способ обычно применяют в несколько измененном варианте: вакуум насос отключают, на верхней крышке трансформатора устанавливают вентилятор, который высасывает подогретый воздух, поступающий снизу через сливное отверстие.

При температуре окружающего воздуха ниже 15 °С сушку и пропитку активной части проводят в помещении или тепляке, построенном из лесоматериалов и обитом изнутри негорючим материалом. В тепляке должно быть не менее двух дверей, расположенных в противоположных стенках, и необходимая освещенность. Запрещается устанавливать в тепляке оборудование для заливки масла и сушить загрязненные активные части трансформатора. В случае загрязнения активной части необходимо продуть ее

сухим сжатым воздухом и тщательно промыть трансформаторным маслом. При повышении температуры прогрева и сушки температура изоляции обмоток, магнитопровода и других изоляционных частей не должна превышать 105° С; стенок, дна и крышки бака - 115° С.

Сушка считается законченной для трансформаторов напряжением до 35 кВ (включительно), если значение сопротивления изоляции обмоток остается неизменным в течение не менее 6 ч при неизменной температуре обмоток (после прогрева) 95 и магнитопровода 90 °С.

**Монтаж и сборка трансформаторов.** Монтаж и сборка мощных силовых трансформаторов для закрытых и открытых установок состоят из нескольких основных операций и начинаются с установки радиаторов, маслonaполненных вводов, переключающего устройства, расширителя, газового реле, реле уровня масла, предохранительной (выхлопной) трубы, воздухоосушителя, термометров, термометрического сигнализатора и термосифонного фильтра (рис. 5.20).

Сборка радиаторов. В съемных радиаторах (до установки их на трансформатор) проверяют, полностью ли закрыты радиаторные краны на баке; испытывают на плотность сварные швы повышенным давлением и промывают радиаторы сухим трансформаторным маслом. Радиаторы испытывают повышенным давлением столбом масла, нагретого до 50...60 °С (давление создают ручным насосом), или сжатым воздухом (от компрессора). Испытания проводят при вертикальном или горизонтальном положении радиатора в течение 30 мин при давлении 50 кПа. Все заводские дефекты сварки, выявленные в результате такого испытания» устраняют газосваркой. После испытания радиаторы промывают чистым маслом, применяя для этого центрифугу или фильтр-пресс. Окончив монтаж всех радиаторов, проверяют работу кранов и заполняют радиаторы маслом.

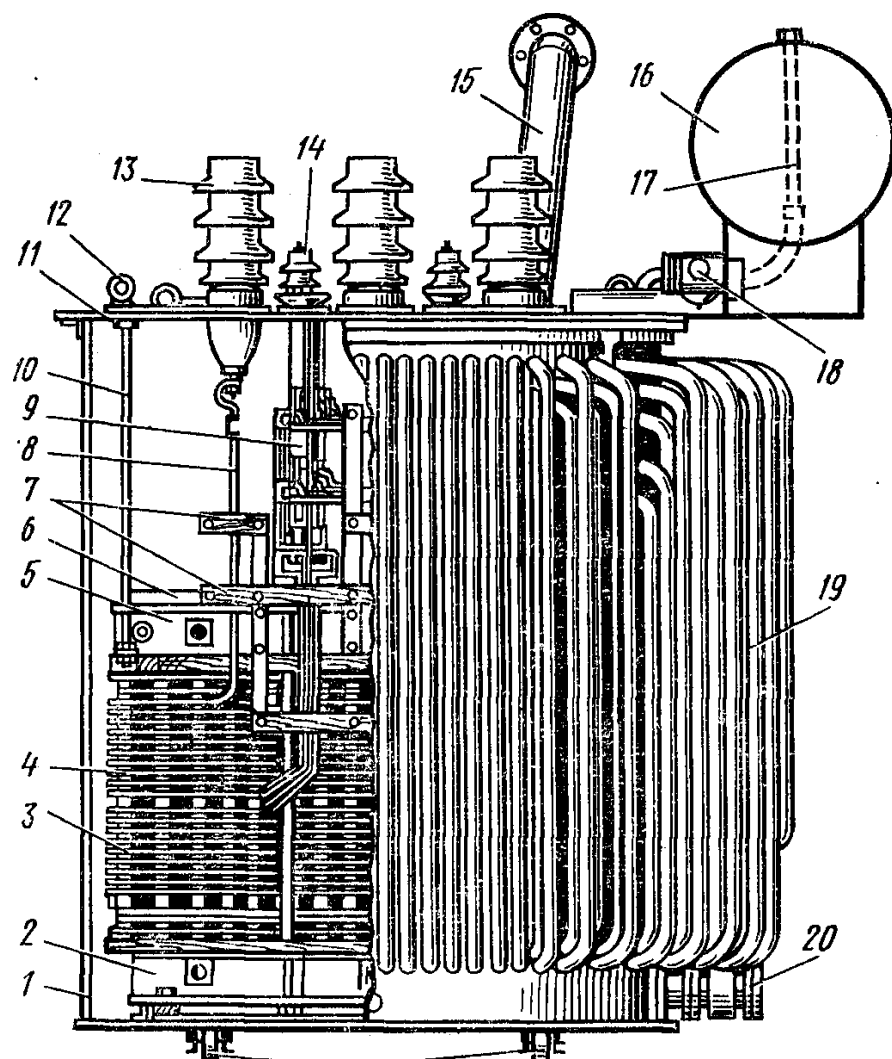


Рис. 5.20. Трехфазный силовой трансформатор мощностью 1000 кВ · А с масляным охлаждением: 1 - бак; 2,5 - нижняя и верхняя крановые балки магнитопровода; 3 - обмотка ВН; 4 - регулировочные отводы к переключателю; 6 - магнитопровод; 7 - деревянные планки; 8 - отвод от обмотки ВН; 9 - переключатель; 10 - подъемная шпилька; 11 - крышка бака; 12 - подъемное кольцо (рым); 13, 14 - вводы ВН и НН; 15 - предохранительная труба; 16 - расширитель; 17 - маслоуказатель; 18 - газовое реле; 19 - циркуляционные трубы; 20 - маслоспускной кран; 21 - катки

Перед монтажом 110-киловольтных маслонаполненных вводов снимают заглушку, закрывающую отверстие, предназначенное для установки ввода. Прокладку из маслостойкой резины заменяют новой и на ней закрепляют сварной переходной фланец. Болты фланца затягивают равномерно по всей окружности до тех пор, пока толщина резиновой прокладки не уменьшится вдвое. Затем, устанавливают резиновую прокладку на верхнее кольцо переходного фланца и приступают к опусканию ввода в переходной фланец, для чего

ввод вывешивают в центре отверстия фланца. После того как ввод вывешен над отверстием фланца, в центральную трубу ввода пропускают киперную ленту или гибкий канатик, к которому прикрепляют контактную шпильку, припаянную к концу кабеля. Шпильку вытягивают через центральную трубу.

**Монтаж переключающего устройства.** Трансформаторы с регулировкой напряжения под нагрузкой поставляют комплектно с переключающим устройством (рис. 5.21). При ревизии активной части трансформатора приходится отсоединять горизонтальный вал (разъемное звено между переключателями и контакторами) и отключать концы отводов от контакторов. После ревизии вал устанавливают на место, для этого привод переключающего устройства и подвижные контакты ставят в положение 1. Затем в соединительную муфту вала переключателя устанавливают конец горизонтального вала со шпонкой. На другом конце вала соединяют конусные диски, следя за тем, чтобы совпали риски дисков съемного вала и вала контакторов. Работу переключающего устройства после монтажа проверяют, провертывая вручную механизм от начального до предельного положения, а затем приводят переключающее устройство в действие электродвигателем.

**Монтаж расширителя и газового реле.** Перед монтажом предварительно проверенного и испытанного на герметичность расширителя (рис. 5-22) его промывают сухим и чистым трансформаторным маслом. На крышке трансформатора устанавливают два кронштейна, на которых временно закрепляют расширитель; окончательно расширитель устанавливают после присоединения к нему патрубка с газовым реле и очистки его внутренней поверхности от ржавчины до металлического блеска и покрытия лаком.

Проверенное в лаборатории газовое реле (рис. 5.23) монтируют на маслопроводе на клингеритовых (или пробковых) прокладках, покрытых бакелитовым лаком.

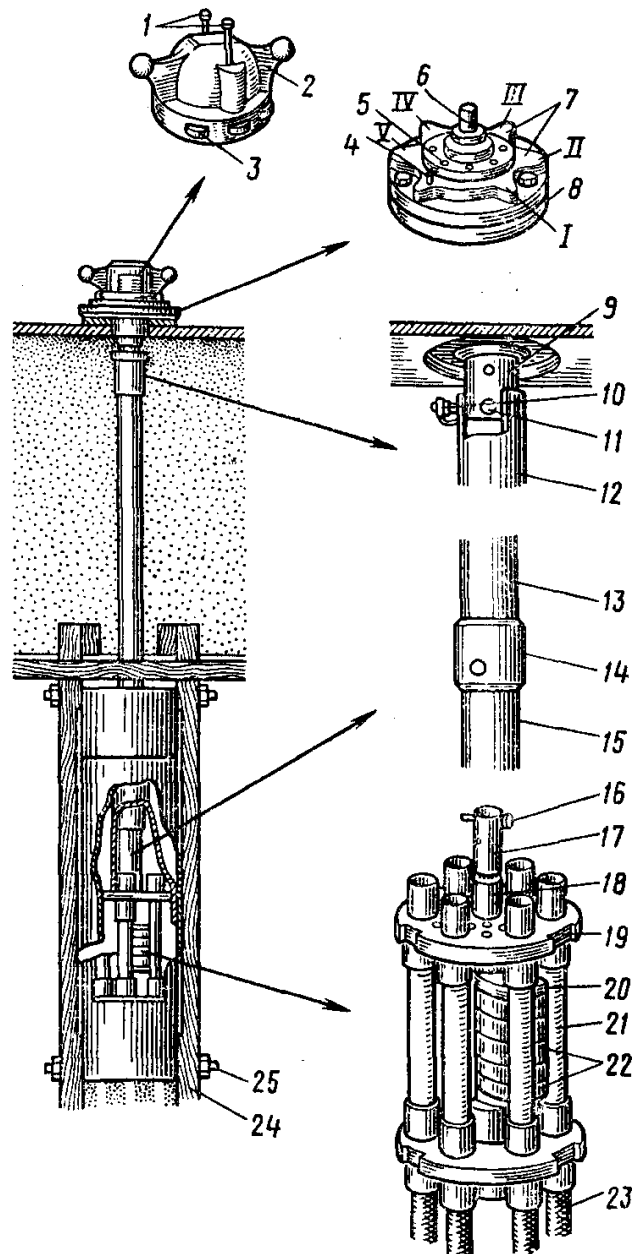


Рис. 5.21. Общий вид и детали однофазного переключателя барабанного типа: 1 - стопорные болты; 2 - колпак привода; 3 - указатель положения; 4 - упор; 5 - отверстие для стопорного болта; 6 - вал привода; 7 - выступы на крышке сальника; 8 - фланец; 9 - втулка привода; 10, 16 - штифты; 13 - штанга; 15 - валик нижней муфты; 17 - втулка переключателя; 18 - изоляционная втулка вала переключателя; 19 - гетинаксовый диск; 20 - коленчатый вал; 21 - контактный стержень; 22 - контактные кольца; 23 - кабель; 24 - вертикальная деревянная планка; 25 - шпилька из изоляционного материала; 1—V - указатели положения переключателя; 11 - валик; 12 и 14 - верхняя и нижняя муфты

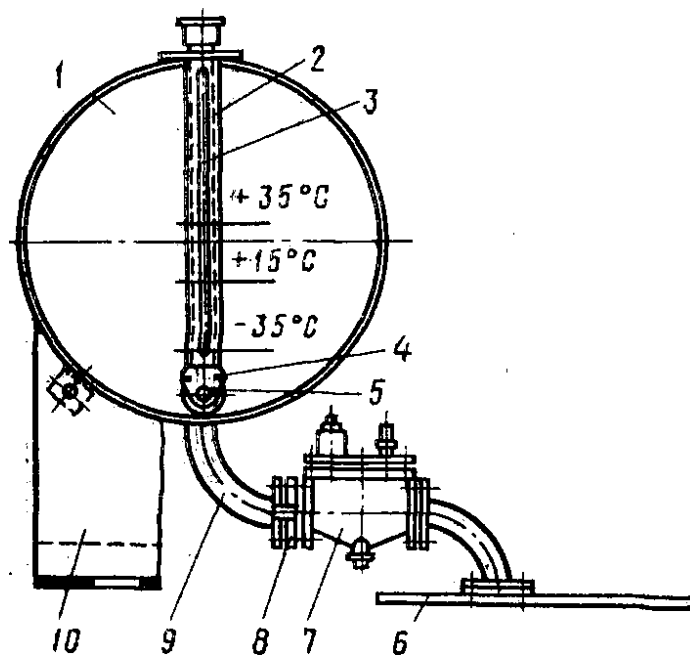


Рис. 5.22. Общий вид расширителя: 1 - бак; 2 - маслоуказатель; 3 - маслоуказательное стекла; 4 - угольник; 5 - запирающий болт; 6 - крышка трансформатора; 7 - газовое реле; 8 - плоский кран; 9 - трубопровод; 10 - опорная пластина

Смотровое окно газового реле монтируют на стороне, удобной для обозрения. Верхний фланец газового реле устанавливают горизонтально (с проверкой ватерпасом), маслопровод, соединяющий бак трансформатора с расширителем, монтируют с подъемом 1,5...2% от трансформатора в сторону расширителя для того, чтобы лучше обеспечить прохождение газов в реле. В смонтированном корпусе газового реле устанавливают поплавковую систему таким образом, чтобы стрелка на ее крышке указывала направление движения масла от бака трансформатора к расширителю. Затем окончательно устанавливают расширитель, закрепляя его хомутами и шпильками. Провода к газовому реле (для защиты их от разъедания маслом) прокладывают в хлорвиниловых трубках.

**Монтаж реле уровня масла и выхлопной трубы.** Реле уровня масла монтируют на фланце дна расширителя на уплотняющей прокладке. После установки маслоуказателя и реле уровня масла расширитель испытывают на герметичность путем заполнения его сухим трансформаторным маслом и выдержкой в течение 3 ч. Выхлопную (предохранительную) трубу,

очищенную внутри от грязи и следов ржавчины до монтажа, устанавливают на крышке трансформатора (на месте заглушки) под некоторым углом, с тем чтобы при выбросе струи масла не попало на находящиеся вблизи оборудование и на выводы трансформатора.

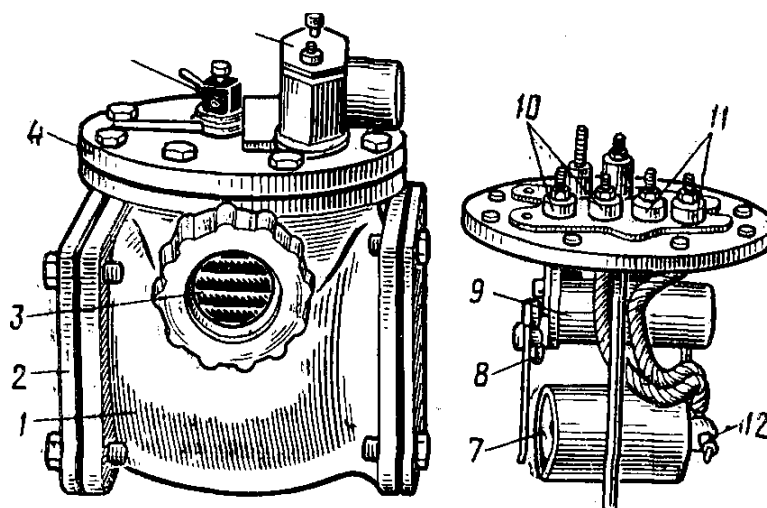


Рис. 5.23. Газовое реле ЛГ-22: 1 - корпус; 2 - фланец; 3 - смотровое окно; 4 - крышка; 5 - кран для выпуска скопившихся в реле газов; 6 - коробка зажимов; 7,9 - нижний и верхний поплавки; 8 - ртутный контакт цепи сигнализации; 10 - зажим цепи сигнализации; 11 - зажим цепи отключения; 12 - ртутный контакт цепи отключения

Перед установкой выхлопной трубы с обоих ее концов снимают заглушки, очищают и промывают их маслом. Трубу устанавливают на новой уплотняющей прокладке и затягивают равномерно на все болты. Для обеспечения большей устойчивости трубу скрепляют с расширителем или с крышкой трансформатора специальной планкой.



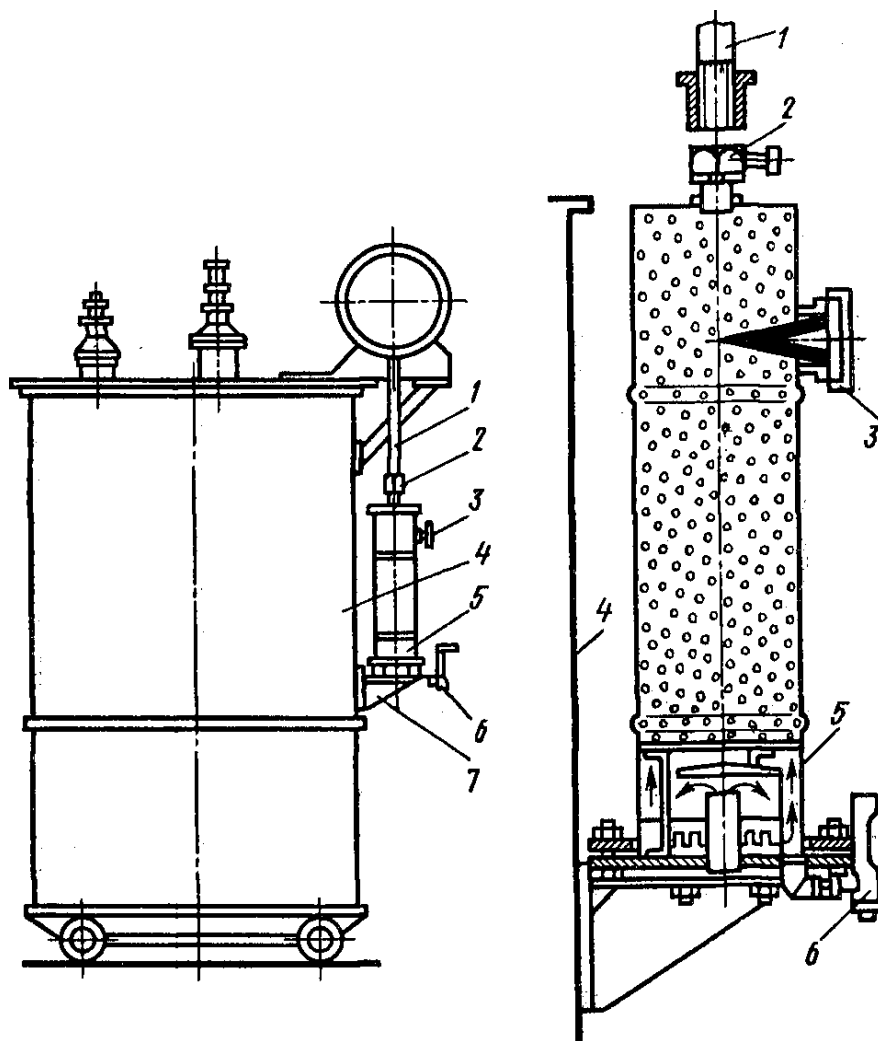


Рис. 5.24. Воздухоочистительный фильтр (воздухоосушитель): 1 - дыхательная труба; 2 - соединительная муфта; 3 - смотровое окно; 4 - бак трансформатора; 5 - масляный затвор; 6 - указатель уровня масла в затворе; 7 - кронштейн

#### **Установка воздухоочистительного фильтра (воздухоосушителя).**

Воздухоочистительный фильтр (рис. 5.24) предназначен для очистки (от влаги и промышленных загрязнений) воздуха, поступающего в расширитель трансформатора при колебании уровня масла и при изменении температуры. Воздухоосушитель представляет собой цилиндр, заполненный силикагелем. Его монтируют и включают в следующем порядке: разборка, очистка и просушка фильтра; заполнение патрона верхней части цилиндра индикаторным силикагелем и установка стекла в смотровом окне; засыпка в цилиндр обычного силикагеля (пропитанного раствором хлористого кальция) с таким расчетом, чтобы до крышки оставалось примерно 15...25 мм; приведение в рабочее состояние гидравлического затвора и заливка его чистым, сухим

маслом до отметок нормального уровня; подсоединение воздухоосушителя к дыхательной трубке расширителя.

### **Установка термометров и термометрических сигнализаторов.**

Ртутные и ртутно-контактные термометры и термометрические сигнализаторы монтируют после проверки их в лаборатории. Термометрический сигнализатор устанавливают на специальной пластине, приваренной к стенке бака, при этом на корпусе 5 прибора устанавливают резиновую прокладку (рис. 5.25). При монтаже этих приборов, устанавливаемых на гильзах, промежутки между ними и термометрами заполняют трансформаторным маслом, гильзы уплотняют.

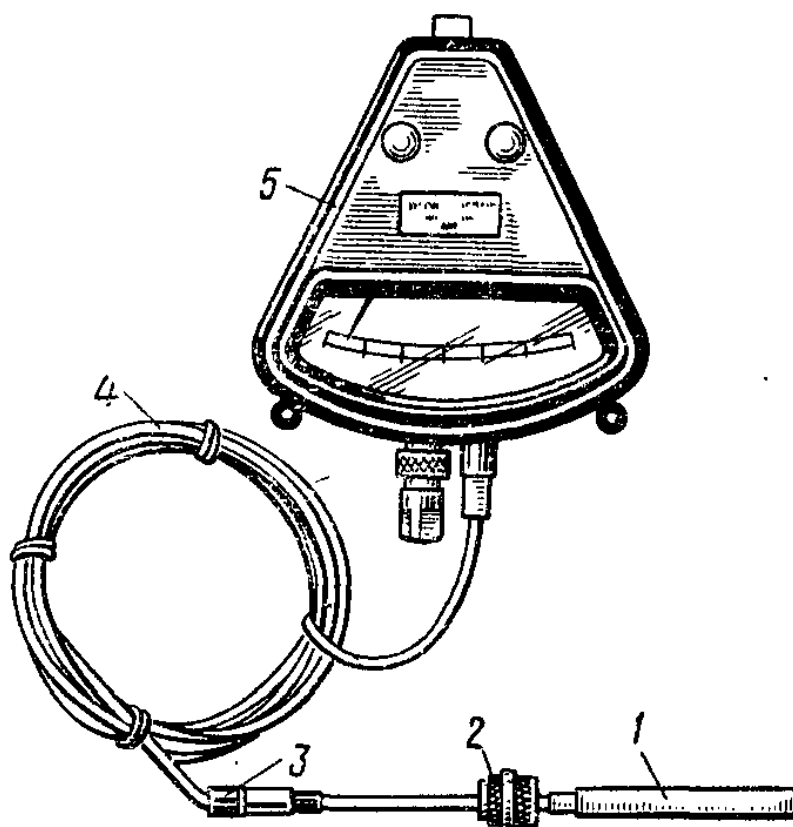


Рис. 5.25. Термометрический сигнализатор ТС-100: 1 - термобаллон; 2 - штуцер; 4 - капиллярная трубка; 5 - корпус

**Монтаж термосифонного фильтра.** Термосифонный фильтр применяют для поддержания изоляционных свойств масла и продления срока его службы. Фильтр представляет собой цилиндрический аппарат, заполненный активным

материалом — адсорбентом (крупный силикагель или активная окись алюминия сорта А-1), поглощающим продукты старения масла. Термосифонный фильтр монтируют и включают в такой последовательности: разбирают фильтр и его фильтрующее устройство; очищают фильтр и соединительные патрубки от загрязнений; промывают их чистым сухим трансформаторным маслом и собирают; снимают заглушки на радиаторных кранах и устанавливают фильтр на баке трансформатора аналогично установке радиаторов; засыпают в него чистый, сухой адсорбент, затем фильтр промывают маслом (для фильтров емкостью до 50 кг промывка необязательна) и заполняют расширитель маслом значительно выше отметок нормального уровня.

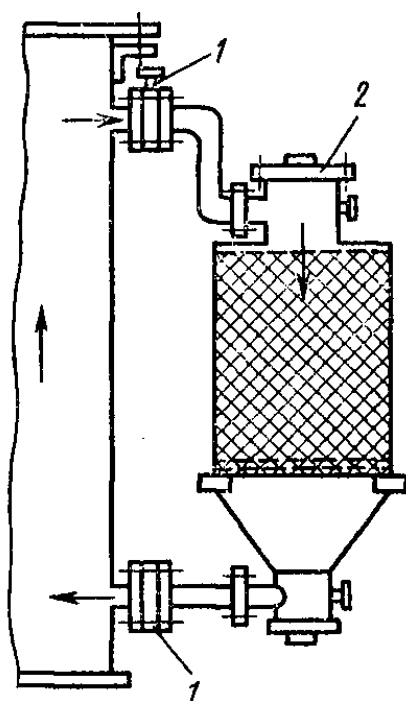


Рис. 5.26. Термосифонный фильтр: 1 - радиаторные краны;  
2 - загрузочный кран

Перед заполнением маслом из фильтра удаляют воздух, для этого на крышке фильтра имеется специальный патрубок (воздушник), масло подают через нижний патрубок фильтра. После того как из фильтра выйдет воздух, открывают верхний кран фильтра и дают стечь маслу в отдельную посуду.

Когда через фильтр пройдет некоторое количество масла, берут пробу на отсутствие механических примесей. В случае их отсутствия прекращают подачу масла и приступают к монтажу фильтра на трансформаторе. Термосифонный фильтр подключают к трансформатору только с чистым сухим маслом, термосифон устанавливают с внешней стороны бака в вертикальном положении (рис. 5.26).

Ошиновка трансформаторов. Ошиновку трансформаторов выполняют так, чтобы не создавались механические напряжения в фарфоре и других деталях вводов. В настоящее время для ошиновки трансформаторов малой мощности применяют алюминиевые шины, кабели и провода. Подсоединение их к медным шпилькам или пластинам вводов трансформаторов выполняют через медно-алюминиевые наконечники или переходные пластины. У трансформаторов малой мощности перемычки между вводами низшего напряжения и распределительным щитом обычно выполняют из проводов АПРТО или ПРТО, прокладываемых открыто на стальной полосе.

В РУ открытого типа монтируют трансформаторы специальной конструкции с изоляторами, рассчитанными для работы на открытом воздухе. Порядок монтажа этих трансформаторов такой же, как и трансформаторов для закрытых ПС. Для монтажа ошиновки трансформаторов открытых ПС применяют многожильные гибкие провода, что объясняется их небольшой стоимостью и удобствами монтажа и эксплуатации. Для монтажа и ремонта трансформаторов массой выемной или съемной части более на ПС предусматривают установку грузоподъемных устройств (порталов) — стационарных или инвентарных. После ревизии (если она выполнялась) трансформаторы заливают или доливают трансформаторным маслом, удовлетворяющим требованиям ПУЭ.

Монтаж сухих, а также герметичных трансформаторов, заполненных соволом типа ТНЗ или трансформаторным маслом типа ТМЗ, отличается некоторыми особенностями. Сухие трансформаторы (серия ТСЗ) имеют простую конструкцию — защитный кожух трансформатора изготавливают разборным прямоугольной формы из листовой стали, поэтому ревизия их до

включения сводится к внешнему осмотру. Проверяют надежность контактных соединений, отсутствие повреждений обмоток, изоляторов, изоляционных прокладок. Продувают обмотки и магнитопровод сжатым воздухом, и выполняют необходимые измерения. Если изоляция обмоток ниже нормы, то проводят сушку их в сушильной камере с обогревом воздуходувкой, с электрообогревом или в вакуумном шкафу с обогревом обмоток способом короткого замыкания. Герметичные трансформаторы, заполненные соволом, на месте установки не подлежат разборке. Их герметичность проверяют по показаниям мановакуумметра. Известные трудности представляет работа с соволом из-за его высокой гигроскопичности: при отборе пробы для испытания на электрическую прочность необходимо предохранить его от попадания влаги и пыли. При работе с соволом следует иметь в виду его токсичность и соблюдать меры предосторожности.

### **5.9. Монтаж вторичных цепей**

Для монтажа вторичных цепей ПС проектная организация выдает принципиальные и монтажные схемы, являющиеся основными рабочими чертежами при монтаже и эксплуатации. В монтажных схемах предусматривают все приборы автоматизации, измерения, защиты, управления и сигнализации, а также все соединительные контрольные кабели вторичных цепей.

**Вторичные цепи**— это провода и кабели, соединяющие между собой электрооборудование для дистанционного управления аппаратурой первичных цепей, защиты электрооборудования, измерения электрических величин в первичных цепях, осуществления различных видов оперативных управлений и сигнализаций.

Монтаж вторичных цепей ПС выполняют по схемам, входящим отдельной частью в состав проекта данного фидера или установки. Основные узлы вторичных цепей сосредоточены на щитах управления, защиты, автоматики и сигнализации. Щиты, изготовленные в виде отдельных панелей,

транспортируют к месту монтажа, где их устанавливают и присоединяют в общую схему ПС. Поступающие на объект отдельные панели щита до начала работ принимает монтажный персонал, который проверяет, чтобы конструкции щитов, смонтированная на них аппаратура, схемы соединений, а также расположение панелей в блоках соответствовали рабочим чертежам и полностью были укомплектованы электрооборудованием согласно проекту.

Каркас панелей делают сварным из гнутых и штампованных профилей листовой стали толщиной 3 мм. На боковинах панелей устанавливают перфорированные лотки с крышками для прокладки и крепления внутрипанельных проводов, наборных клемм и кабельной подводки. Крышки и перфорированный лоток вместе с каркасом панели образуют два вертикальных канала, в которые укладывают провода вторичной коммутации ПР, ПВ, АПР и АПВ.

В других конструкциях щитов применяют прокладку проводов вторичных цепей в один слой, непосредственно по стальным стенкам щитов, на изоляционных подкладках из лакоткани или электрокартона. В нижней части панели горизонтально или вертикально вдоль боковых стенок устанавливают ряды наборных зажимов для присоединения проводов друг к другу и к аппаратуре.

До начала монтажа в мастерской выполняют сборку узлов и пакетов проводов; изготавливают и комплектуют опорные и крепежные конструкции, изделия и детали для прокладки проводов и кабелей вторичных цепей. В процессе монтажа вторичных цепей применяют разные способы прокладки пакетов и потоков проводов с жестким креплением к панели—свободно висящими пакетами и без крепления к основанию, на струнах, в коробах, на лотках, перфорированных профилях, дорожках и напрямую.

Пакеты и потоки проводов заготавливают и собирают в МЭЗ по эскизам замеров с использованием шаблонов. На рис. 5.27,а - в показаны заготовки потока проводов на деревянной плите с помощью универсальных шаблонов, их

пакетировка и изгибание. На таких шаблонах с помощью перестановки шпилек можно заготавливать потоки и пакеты проводов по различным схемам.

Для изготовления по одной и той же схеме нескольких одинаковых потоков или перемычек используют простые шаблоны, выполненные из электрокартона, фанеры или другого листового материала и представляющие собой макет части или всей монтируемой панели. При формировании потоков проводов необходимо соблюдать требования инструкции: выдерживать радиус изгиба для гибких многопроволочных и однопроволочных проводов не менее пяти диаметров; избегать перекрещивания проводов при ответвлениях, а при необходимости перекрещивать их на выходе из основного потока или непосредственно у прибора; выполнять повороты одинаково и под прямым углом; производить бандажирование проводов в потоках на прямолинейных участках с шагом 150—200 мм, а также во всех местах выхода проводов.

Провода вторичной коммутации крепят винтами или скобами различной конструкции. В последнее время для крепления вторичных цепей стали широко внедрять пряжки, скобы, дюбеля и другие крепежные изделия из полимерных материалов (из капрона, полиэтилена и пластмассы). В этом случае провода прокладывают на задней стороне панели по кратчайшему пути без всякого крепления.

Для внешитовых проводок, прокладываемых за пределами панели, применяют провода ПР и АПР, которые монтируют на изоляционных клицах. Материалом для клиц служит эбонит, текстолит, карболит, гетинакс и проваренное в трансформаторном масле дерево твердых пород (бук, дуб). Выполненную на клицах проводку обычно закрывают стальным коробом, который придает проводке аккуратный, законченный вид и защищает ее от случайных повреждений. Линии, связывающие РУ со щитом управления, обычно выполняют контрольными кабелями АКСРБ, АКБРБ, АКСБ и АКСБГ, подключаемыми к сборкам наборных зажимов, укрепляемых на скобах из полосовой стали, перфорированных полос или из профильных реек. Если к месту присоединения подходят не провода, а контрольные кабели, то их концы

должны быть заделаны. Для контрольных кабелей применяют сухую концевую заделку, для кабелей с бумажной изоляцией (в стальной или пластмассовой воронке) – заделку с эпоксидным компаундом.

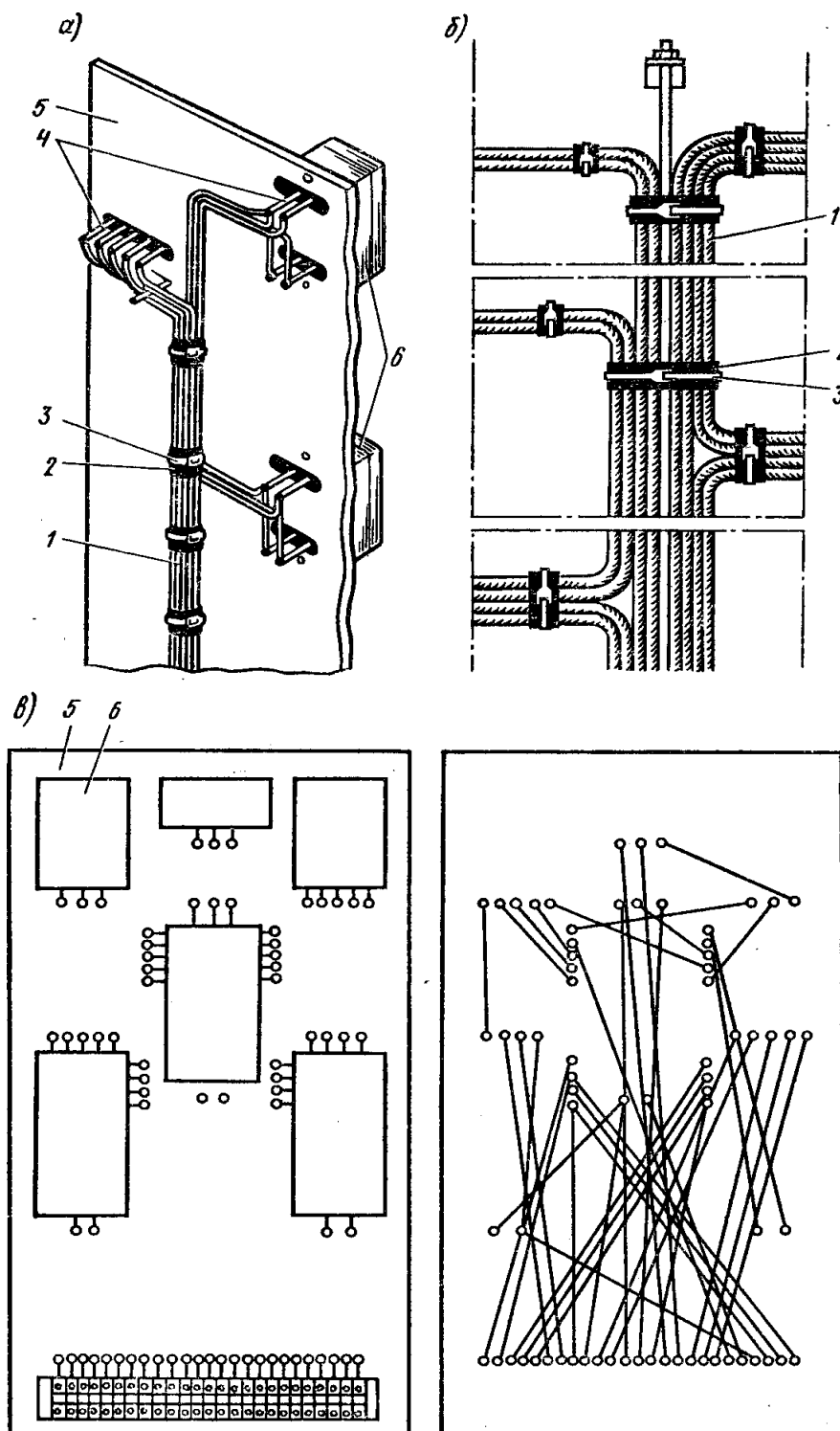


Рис. 5.27. Прокладка проводов вторичных цепей: а - свободно висящими пакетами; б- на струнах; в - «напрямую»; 1 - пакет проводов; 2 - изоляционная прокладка; 3 - полоска-пряжка; 4 - вывод аппарата; 5 - панель; 6 - аппараты



Для удобства монтажа и эксплуатации вторичных цепей маркируют все их основные элементы. Маркировка состоит из условных обозначений, наносимых на контрольные кабели, клеммы, сборки, предохранители, зажимы реле и приборов и др. Маркировка дает возможность быстро определить цепь, к которой подсоединен контрольный кабель, его жилу (или провод), фазу тока или напряжения, подводящиеся к зажиму прибора, полюс постоянного тока аппарата и др. Маркировка должна быть простой, понятной и легко запоминающейся. В пределах одной установки не должно быть одинаковых условных обозначений или индексов, характеризующих различные элементы вторичных цепей. Бирки-оконцеватели для маркировки выполняют из изоляционного материала (фарфор, пластмасса, поливинилхлоридные трубки и др.) На провода и жилы кабелей нельзя подвешивать бирки на проволоке.

#### **5-10. Монтаж аккумуляторных батарей и статических конденсаторных установок**

Монтаж аккумуляторных батарей. Этот монтаж складывается из подготовительных работ, выполняемых в мастерской и в помещении аккумуляторной батареи, а также из работ по установке батареи на объекте. При монтаже аккумуляторных батарей в помещении поддерживают температуру на уровне  $+ 10^{\circ} \text{C}$ , так как при низких температурах технические характеристики аккумуляторов ухудшаются.

По рабочим чертежам проекта и замерам заготовительного участка на месте установки батареи выдается заказ в мастерской на изготовление конструкции под изоляторы, шин и проходной плиты, на сборку и пайку пластин и подготовку электролита.

Аккумуляторные батареи монтируют на деревянных стеллажах длиной не более 6 м, которые должны быть из сухого соснового пиломатериала первого сорта влажностью не более 15 %, хорошо прошпаклеваны, дважды покрыты горячей олифой и окрашены кислотостойкой (для кислотных аккумуляторов) или щелочестойкой (для щелочных аккумуляторов) краской. Опорные

конструкции для изоляторов и раму для проходной плиты выполняют из угловой стали и окрашивают один раз кислотостойкой или щелочестойкой краской. Вторичную покраску производят после их монтажа в помещении одновременно с его покраской.

При заготовке узлов ошиновки стальные и медные шины соединяют сваркой. Концы шин, присоединяемые к аккумуляторам, облуживают. При установке стеллажи тщательно выверяют по уровню. В перечень операций по монтажу кислотных батарей входят: установка стеллажей и сосудов, сборка и пайка пластин, заполнение сосудов электролитом, формовка и испытание смонтированной батареи.

Перед началом работ по установке стеллажей в аккумуляторной должны быть закончены работы по монтажу ошиновки, освещению и вентиляции. Установку стеллажей начинают с примерочной раскладки брусьев на полу помещения с таким расчетом, чтобы расстояние между двумя рядами стеллажей было не менее 0,8 м, а между банками и стенами – не менее 150 мм. Затем размечают места установки опорных тумбочек исходя из того, что расстояние между ними должно быть 1,1...1,7 м в зависимости от типа элементов.

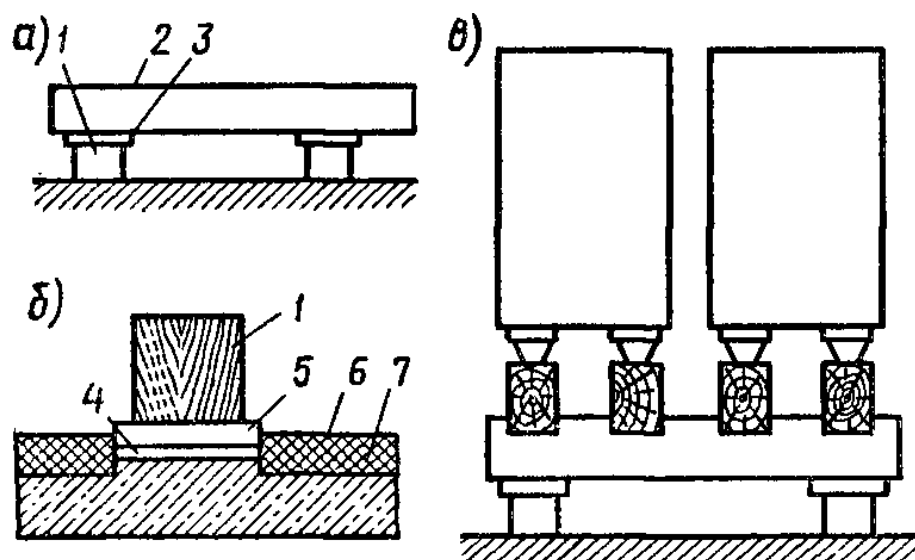


Рис. 5.28. Установка и сборка стеллажей и сосудов:

- 1 - тумбочка; 2 - стеллаж; 3 - стеклянная плитка; 4 - подливка гудроном толщиной 3...5 мм; 5 - метлахская плитка; 6 - асфальтовый пол; 7 - бетонное основание

Если пол покрыт метлахскими плитками, кислотоустойчивым кирпичом или бетоном, то опорные тумбочки устанавливают непосредственно на полу (рис. 5.28, а). При асфальтовом покрытии в местах установки тумбочек срубают слой покрытия и укладывают метлахские плитки (рис. 5.28,б).

Опорные тумбочки и плитки до их установки проверяют на отсутствие в них трещин; проверяют также стеклянные аккумуляторные банки после их распаковки. Поврежденные банки бракуют, а банки, признанные годными для монтажа, промывают дистиллированной водой и насухо вытирают чистыми тряпками и устанавливают на стеллажах. Одновременно проверяют целостность стеклянных опорных изоляторов, на которых будут устанавливать банки. На изоляторах укладывают по одной свинцовой или пластмассовой шайбе.

Сосуды устанавливают в строго вертикальном положении (рис. 5.28). Сосуды выравнивают по уровню с помощью свинцовых или пластмассовых шайб, прокладываемых между банками и изоляторами. Устойчивость каждой банки проверяют рукой (нажимают сверху и при этом сосуды не должны качаться); пластины припаивают паяльными клещами. Очистив «хвост пластины» и обхватив его клещами, пламя газовой горелки пропана направляют на хвост пластины и, дополняя присадочный материал (свинец), расплавленным свинцом заполняют форму, образуемую клещами; в качестве флюса применяют стеарин. В процессе пайки во избежание прожога пламя горелки равномерно перемещают.

После окончания пайки пробником или высокоомным вольтметром проверяют отсутствие короткого замыкания между пластинами в сосуде. После сборки и соединения пластин произвольными круглыми шинами, прокладываемых на опорных изоляторах. Шины соединяют пайкой, используя газовые (пропанбутановые) горелки; в местах спайки ставят соединительные гильзы. По окончании монтажа ошиновки шины положительной полярности окрашивают в красный цвет, а шины отрицательной полярности — в синий. Электролит готовят в деревянном баке, облицованном внутри свинцом. Для приготовления и заливки электролита применяют спецпосуду и различные

приспособления. Перед заливкой электролитом (температура менее 30 °С) аккумуляторы проверяют, затем составляют акт готовности батареи под заливку.

**Монтаж статических конденсаторных установок.** В настоящее время взамен поставки отдельных аппаратов и изделий с последующей сборкой и монтажом их на месте строительства статические конденсаторные установки поставляют крупными блоками, что позволяет широко применять современные промышленные методы монтажа, обеспечивающие надежность конденсатора и снижение стоимости.

В поставку комплексных конденсаторных установок (ККУ) входят: ячейка КРУ с выключателем, релейной защитой, измерительными приборами и другими для присоединения ККУ (заказывается заводу-изготовителю по опросному листу); конденсаторная установка, состоящая из ячейки ввода, ячеек с конденсаторами (количество зависит от мощности установки), шин для соединения ячеек конденсаторов между собой и ячейкой ввода, а также метизы для сборки при монтаже на месте установки ККУ, автоматического устройства для регулирования по требуемому параметру. При поставке в ККУ прилагается паспорт изделий и инструкции по монтажу и эксплуатации, а также указания по составлению строительного задания на установку ККУ и подвод силового и контрольных кабелей. В зависимости от способа присоединения ячейки КРУ с ячейкой ввода ККУ поставкой должны быть предусмотрены также силовые и контрольные кабели.

Монтаж ККУ на месте установки сводится к соединению ячеек друг с другом с помощью болтовых соединений; установке сборных шин; закреплению ККУ на фундаменте болтами; присоединению питающих кабелей и заземляющих проводников. Конденсаторные установки большой мощностью на напряжение 35 кВ и выше монтируют отдельными блоками, изготовленными на заводе или в мастерской и доставленными на место их установки. Электромонтажные работы выполняют в соответствии с

требованиями ПУЭ и действующих инструкций по монтажу. При этом следует учитывать особенности монтажа конденсаторных установок.

Одной из главных причин, вызывающих повреждение конденсаторов на монтаже, является, несоблюдение условий монтажа ошиновки. Присоединение шин к выводам изоляторов конденсаторов выполняют только гибким токопроводом, для того чтобы колебания температуры не могли вызвать изгибающих усилий в изоляторах. При затяжке верхних гаек на контактном стержне вывода конденсатора необходимо ключом снизу поддерживать его гайку во избежание повреждения пайки арматуры и изолятора конденсатора. Конденсаторы в ККУ жестко прикреплены к конструкциям, на которых они установлены.

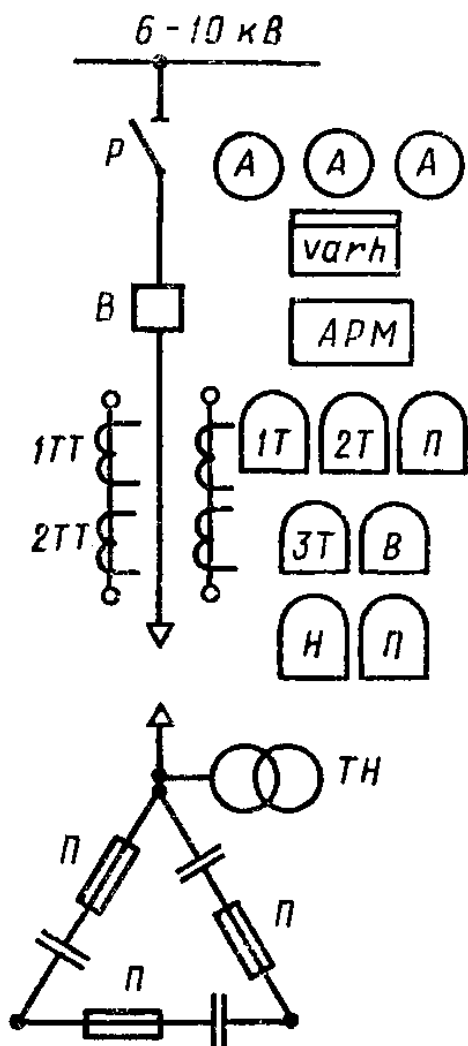


Рис. 5.29. Основные виды релейной защиты и установленные измерительные приборы ККУ напряжением 6/10 кВ: *APM* - устройство автоматического регулирования; *1T*, *2T* - мгновенная максимально-токовая защита от короткого замыкания; *3T* - максимально-токовая защита от перегрузки высшими гармониками; *H* - защита максимального напряжения; *П* - предохранители индивидуальной защиты конденсаторов

При монтаже конденсаторных установок с параллельно-последовательным соединением конденсаторов «в звезду» необходимо тщательно подбирать конденсаторы — по емкости для отдельных фаз звезды и последовательных групп. Необходимо также тщательно следить за исправностью всех контактов токоведущих и заземляющих частей, так как их

неисправность может быть причиной преждевременного выхода конденсаторов из строя. Наладка и испытание электрооборудования конденсаторных установок должны производиться в соответствии с требованиями ПУЭ. Основные виды релейной защиты и установленные измерительные приборы ККУ напряжением 6(10) кВ указаны на рис. 5.29.

### **5.11. Техника безопасности**

Приступая к работам по такелажу оборудования и аппаратуры ПС и РУ, сначала проверяют исправность такелажных и монтажных приспособлений, целостность тросов, канатов и их соответствие массе перемещаемых грузов.

Вновь поступающие рабски не, прежде чем приступить к электромонтажным работам РУ, должны пройти вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте. После обучения безопасным методам работ ежегодно должны проводиться проверка знаний персонала с присвоением ему соответствующей квалификационной группы по технике безопасности. Для овладения наиболее прогрессивными методами работы и повышения знаний должна проводиться систематическая учеба с персоналом и инструктаж на рабочем месте по технике безопасности, производственной санитарии, противопожарной охране и другим действующим правилам охраны труда и технике безопасности при производстве электромонтажных работ.

Перед монтажом ошиновки, чтобы не поранить руки, с фланцев изоляторов, болтов, шпилек перед их установкой на конструкциях РУ удаляют заусенцы. Электроконструкции и оборудование массой 30 кг поднимают только механизмами и приспособлениями.

При групповом монтаже аккумуляторных батарей целесообразно электролит готовить в мастерской централизованно. Переносить бутылки с кислотой или электролитом разрешается только вдвоем и в специальной упаковке (в корзине или ящике), а переливать — только закрепив бутылку.

Во всех случаях кислоту вливают в воду полной струей и категорически запрещается вливать воду в кислоту. Щелочь следует лить в воду также тонкой

струей. Пролитую щелочь или кислоту убирают резиновыми грушами, а при больших количествах применяют опилки. Места, залитые при монтаже кислотой или электролитом, смывают водой из шланга или соответствующими растворами (известковым шлаком).

В аккумуляторном помещении все работы с кислотой и электролитом выполняют в спецпосудах, в резиновых сапогах, фартуке и перчатках, шерстяной спецодежде и предохранительных очках. У места проведения всегда должен находиться 5 %-ный раствор пищевой соды для промывки пораженных кислотой и электролитом участков кожи. Выполнение правил техники безопасности и охраны труда является обязанностью и долгом каждого работающего.

### **Контрольные вопросы**

1. Что представляют собой распределительное устройство (РУ) и подстанция (ПС)?
2. Расскажите об этапах работ по монтажу электрооборудования ПС.
3. Как установить и отрегулировать трехполюсный разъединитель?
4. Из каких операций состоит монтаж выключателей нагрузки и приводов к ним?
5. Каковы условия включения трансформатора без ревизии его активной части?
6. Какие преимущества имеют комплектные трансформаторные ПС по сравнению с обычными?

## **6. МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И АППАРАТОВ УПРАВЛЕНИЯ**

### **6.1. Общие требования к электрическим машинам и определения**

Проведение монтажа электрических машин зависит от их мощности, габаритов, способов поставки и формы исполнения. Электрические машины малой и средней мощности поставляют заводы-изготовители в собранном виде; электрические машины большой мощности - в разобранном виде, а некоторые машины с разъемным статором.

Установку электрических машин производят так, чтобы ширина проходов между их фундаментами или корпусами, между машинами и частями зданий или оборудования была не менее 1 м в свету; допускаются местные сужения проходов между выступающими частями машин и строительными конструкциями до 0,6 м при длине не более 0,5 м. Расстояние между торцами рядом стоящих машин при наличии прохода с другой стороны машин должно быть не менее 0,3 м при высоте машин до 1 м от уровня пола и не менее 0,6 м при высоте машин более 1 м.

Ширина прохода обслуживания между машинами и лицевой стороной обслуживания пульта управления или щита управления должна быть не менее 2 м. Это расстояние считается от машины до закрытой двери или стенки шкафа. Эти требования не относятся к постам местного управления приводами. Ширина прохода между корпусом машины и торцом должна быть не менее 1 м. Проход для обслуживания между рядом шкафов с электрооборудованием напряжением до 1000 В и частями здания или оборудования должен быть не менее 1 м, а при открытой дверце шкафа — не менее 0,6 м; при двухрядном расположении шкафов проход между ними должен быть не менее 1,2 м, а между открытыми противоположными дверцами — не менее 0,6 м.

Машины мощностью до 10 кВт и малогабаритное оборудование можно устанавливать за распределительными щитами, стеллажами, пультами и тому подобными элементами распределительных устройств напряжением до 1000 В за счет местного сужения проходов в свету до значения не менее 0,6 м. При



этом расстояние от корпуса машины или аппарата до токоведущих частей щита должно быть, не менее: при напряжении ниже 660 В - 1,0 м при длине щита до 7 м и 1,2 м при длине щита более 7 м; при напряжении 660 В и выше — 1,5 м. За длину щита в данном случае принимается длина прохода между двумя рядами сплошного фронта панелей (шкафов) или между одним рядом и стеной.

Отметка верхней поверхности фундаментных плит вращающихся машин, не связанных с механическим оборудованием (преобразовательные, возбудительные, зарядные агрегаты и т. п.), устанавливается выше отметки чистого пола не менее чем на 50 мм. Отметка верхней поверхности фундаментных плит вращающихся машин, связанных с механическим оборудованием, определяется требованиями, предъявляемыми к его установке.

Для производства монтажных работ в электромашиных помещениях (ЭМП) предусматривают монтажные площадки или используют свободные площадки между оборудованием, рассчитанные на наиболее тяжелую, практически возможную нагрузку от оборудования и расположенные в зоне действия грузоподъемных устройств. Внешние контуры пола монтажной площадки обозначают краской или метлахской плиткой, отличающейся по цвету от других частей пола.

Участки ЭМП, по которым транспортируется оборудование, должны быть рассчитаны на нагрузку транспортируемого оборудования. Контуры этих участков следует обозначать краской или плиткой. Размеры монтажных площадок определяют по габариту наибольшей детали (в упаковке), для размещения которой они предназначены, с запасом в 1 м на сторону. Места установки стоек для размещения якорей крупных электрических машин на монтажных площадках должны быть особо рассчитаны, и иметь отличительную окраску.

Синхронные электрические машины и машины постоянного тока мощностью 1000 кВт и более должны иметь электрическую изоляцию одного из подшипников от фундаментной плиты для предотвращения образования замкнутой цепи тока через вал и подшипники машины. При этом у синхронных

машин должны быть изолированы подшипник со стороны возбудителя и все подшипники возбудителя. Маслопроводы этих электрических машин изолируют от корпусов их подшипников.

Электродвигатели напряжением свыше 1000 В устанавливают непосредственно в производственных помещениях, соблюдая следующие условия: электродвигатели, имеющие выводы под статором или требующие специальных устройств для охлаждения, устанавливают на фундаменте с фундаментной ямой; фундаментная яма для электродвигателя должна удовлетворять требованиям, предъявляемым к камерам, закрытым распределительным устройством (ЗРУ) напряжением свыше 1000 В; размеры фундаментной ямы должны быть не менее допускаемых для полупроходных кабельных туннелей.

Кабели и провода, присоединяемые к электродвигателям, установленным на виброоснованиях, на участке между подвижной и неподвижной частями основания, должны иметь гибкие медные жилы. Помещения для установки электрических машин и аппаратов принимают от строительных организаций под монтаж в состоянии, годном для нормального ведения работ, и с готовыми фундаментами для машин. Помещения должны иметь проемы в стенах и перекрытиях для транспортирования тяжелого и крупногабаритного электрооборудования.

Если проектом предусмотрена закладка в фундаменты труб, предназначенных для прокладки в них проводов или кабелей, то электромонтажная организация укладывает их еще до бетонирования фундамента, одновременно с вязкой арматуры. Размеры помещений, основные размеры фундаментов, размещение и размеры колодцев под анкерные болты, проемов и ниш, размещение осей фундаментов проверяют по данным чертежей проекта.

## 6.2. Подготовительные работы

Прежде чем смонтировать электрическую машину или аппарат, следует убедиться в том, что исполнение соответствует условиям среды, где их устанавливают. Электрические машины и аппараты монтируют так, чтобы они были доступны для осмотра и ремонта. Вращающиеся части машин и места сопряжения их с механизмами (муфты, шкивы, ременная передача и т. п.) защищают от случайных прикосновений ограждениями; корпуса электрических машин и пускорегулирующих аппаратов заземляют. Аппараты управления располагают ближе к электрическим машинам, в местах, удобных для обслуживания, там, где это доступно с точки зрения условий окружающей среды и технологии производства.

Электрические машины и аппараты в зависимости от их массы и габаритов поступают на монтаж от заводов-изготовителей в собранном или разобранном виде в соответствующей упаковке. Их выгружают с транспортных средств кранами (рис, 6.1) и в исключительных случаях на катках по наклонным настилам, хранят в сухих вентилируемых помещениях.

Части машин, подверженные коррозии, покрывают слоем технического вазелина или какой-либо другой смазки; шейки валов покрывают антикоррозионной смазкой, обертывают влагонепроницаемым материалом и защищают от механических повреждений. При приемке электрических машин и аппаратов под монтаж проверяют их целостность, соответствие заводских табличек требованиям проекта и комплектность. Во избежание повреждения машин и аппаратов их распаковывают осторожно в закрытом, сухом и чистом помещении, недоступном для посторонних лиц, и устанавливают на подкладках.

Непосредственно перед началом монтажа производят ревизию и регулировку электрических машин, и регулировку аппаратов. При ревизии проверяют крепление обмоток, наличие доски с выводными зажимами, исправность активной стали, отсутствие вмятин, задиров, ржавчины, состояние выводов обмоток, коллектора и щеточных устройств у машин постоянного тока

и контактных колец у машин переменного тока, шеек валов, правильность соединений обмоток, величины зазоров, сопротивление изоляции обмоток. У электрических аппаратов проверяют и регулируют одновременность включения контактов, раствор контактов, работу механизмов зацепления и срабатывания и др. Обнаруженные мелкие дефекты устраняют собственными силами. Для устранения серьезных дефектов аппараты отправляют на завод-изготовитель или в специальные ремонтные мастерские.

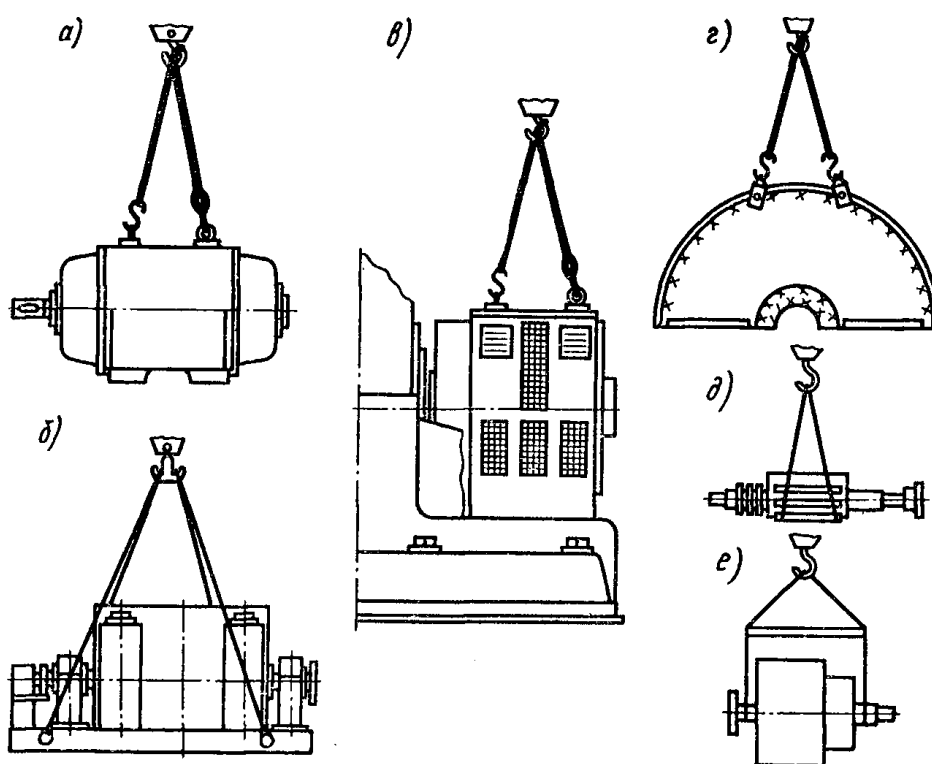


Рис. 6.1. Строповка электрических машин и их отдельных частей при перемещениях: а, б, в - собранных электрических машин; г - торцевого щита; д, е - роторы

Машины и аппараты, прибывающие на монтаж в собранном виде, разбирают только в том случае, если возникают сомнения в их исправности после транспортировки и хранения. Разборку и последующую сборку машин и аппаратов производят так, как это указано в инструкции завода-изготовителя. На первой стадии монтажа низковольтной пускорегулирующей аппаратуры, приборов контроля и защиты в соответствии с общим принципом организации электромонтажных работ размечают и пробивают гнезда, проемы и отверстия в

строительных основаниях для крепления и заделки в них опорных конструкций или крепежных деталей.

Разметку ведут по отметкам чистого пола, наносимым на стенах или перегородках (представителями строительной организации) черной краской в виде полос шириной 10 и длиной 100—150 мм в соответствии с данными чертежей проекта или по размерам, снятым с натуры, пользуясь шаблонами для ускорения этой операции (последнее особенно целесообразно при установке большого количества однотипного оборудования). Разметку начинают с нанесения основных вертикальных и горизонтальных осей мест установки оборудования, а затем размечают места заделки опорных конструкций или крепежных деталей (болтов, шпилек, дюбелей и т. п.).

На металлических опорных поверхностях оборудование крепят или непосредственно винтами и болтами, или с помощью конструкций, привариваемых электросваркой к металлическим опорным поверхностям. Крепежные детали и опорные конструкции, если они не выпускаются заводами, изготавливают в мастерской по эскизам группы подготовки производства или чертежам проекта.

### **6.3. Монтаж электрических машин**

***Машины небольшой мощности.*** Электрические машины, поступающие на монтаж в комплекте с механизмом, монтируют на второй стадии производства электромонтажных работ, когда полностью подготовлены площадки или конструкции для их установки. У электродвигателей с подшипниками скольжения подшипники промывают и заполняют маслом. Заводскую смазку подшипников качения при установке небольших машин обычно не заменяют. Проверяют состояние изоляции обмоток электрических машин и, если возникает необходимость, сушат обмотки. Подготовленные таким образом машины доставляют на монтажную площадку, где их устанавливают, выполняют сопряжение двигателей с рабочими механизмами и генераторов с двигателями и подключают к сети через пускорегулирующие аппараты. Перед

установкой электродвигателей по установочным размерам изготавливают и устанавливают крепежные конструкции и детали.

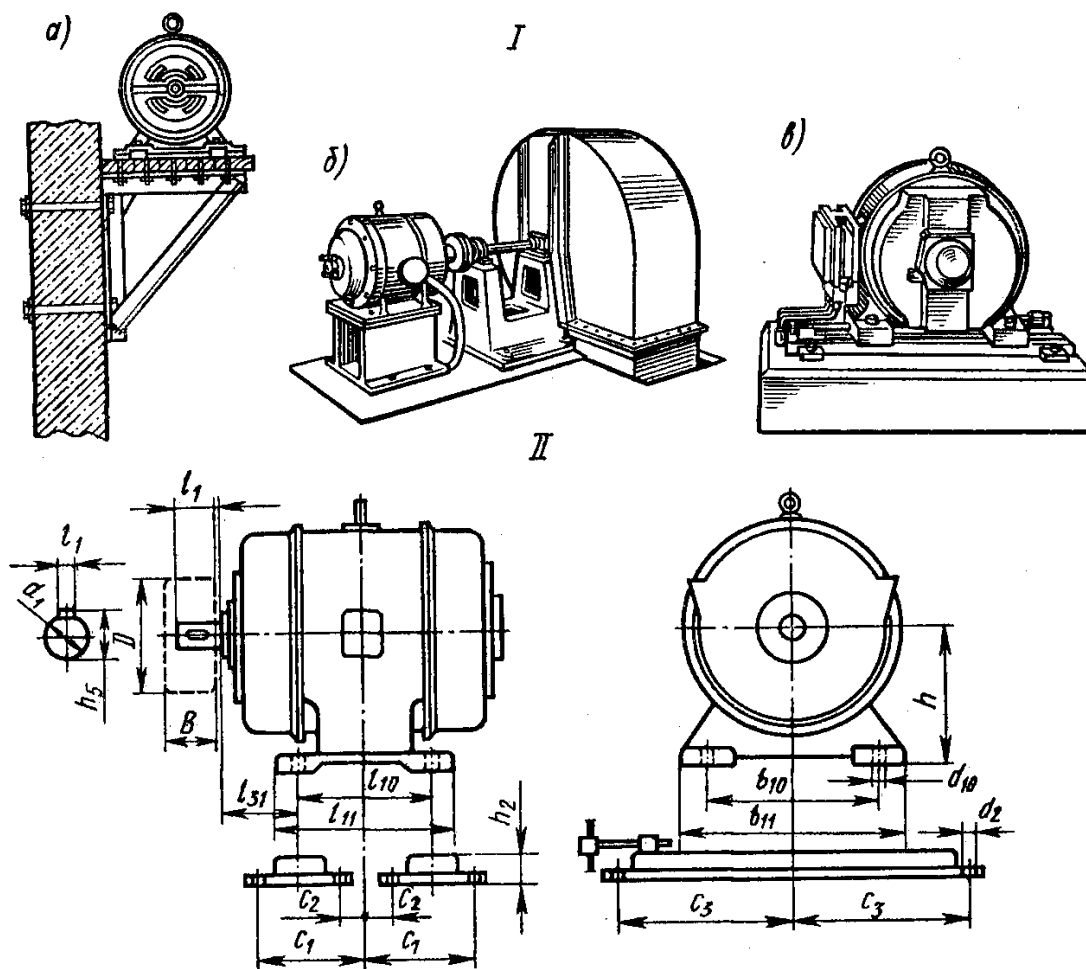


Рис. 6.2. Установка электродвигателей небольшой мощности (I) и обозначения установочных размеров (II);  $d_1$ ,  $l_1$  - диаметр и длина рабочего конца вала;  $b_1$  - ширина шпонки;  $b_{10}$ ,  $l_{10}$  - расстояние между отверстиями в лапах в поперечной и продольной осях;  $b_{11}$ ,  $l_{11}$  - наибольшее расстояние лап в поперечной и продольной осях;  $h$  - высота оси вращения машины;  $d_{10}$  - диаметр отверстий в лапах;  $l_{31}$  - расстояние между отверстием в лапах и началом рабочего конца вала;  $D$ ,  $B$  - диаметр и ширина шкива;  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  - расстояния от центральной линии до отверстий в салазках;  $h_2$  - высота салазок;  $d_2$  - диаметр отверстий в салазках

Электродвигатели устанавливают на металлических конструкциях (рис. 6.2,а), непосредственно на полу (рис. 6.2,б) или на фундаменте и крепят с помощью болтов. При сопряжении электродвигателя с рабочим механизмом через ременную передачу его устанавливают на салазках, которые дают возможность изменять расстояние между валами электродвигателя и рабочей машины и тем самым регулировать натяжение приводного ремня (рис. 6.2,в).

Электродвигатели поднимают на площадку, где их устанавливают с помощью кранов, блоков или талей.

Электродвигатели соединяют с рабочими механизмами с помощью соединительных муфт различных конструкций, а также через зубчатую, ременную (клиноременную) или фрикционную передачу. При всех способах сопряжения положение электродвигателя проверяют по уровню и отвесу и регулируют с помощью металлических прокладок. При ременной передаче необходимым условием правильного сопряжения электродвигателя с механизмом является соблюдение параллельности валов, а также расположение средних линий их шкивов на одной прямой линии. Центровку соединяемых муфтой валов электродвигателя и приводимого им во вращение рабочего механизма производят с помощью двух скоб, закрепленных на валах электродвигателя и рабочего механизма (рис. 6.3,г). Поворачивая одновременно валы электродвигателя и механизма на 90, 180, 270, 360 °, добиваются, чтобы расстояния *a* и *b* между центровочными скобами были постоянны. Биение полумуфт и соосность валов допускаются в пределах соответственно в зависимости от типа муфты и числа оборотов двигателя от 0,02 до 0,05 мм и от 0,04 до 0,15 мм. При зубчатой передаче добиваются параллельности валов электродвигателя и механизма и правильного зацепления зубчатых шестерен, т. е. одинакового зазора между зубьями сопрягаемых шестерен по всей их толщине. Несоосность соединяемых валов должна быть не более 0,5°.

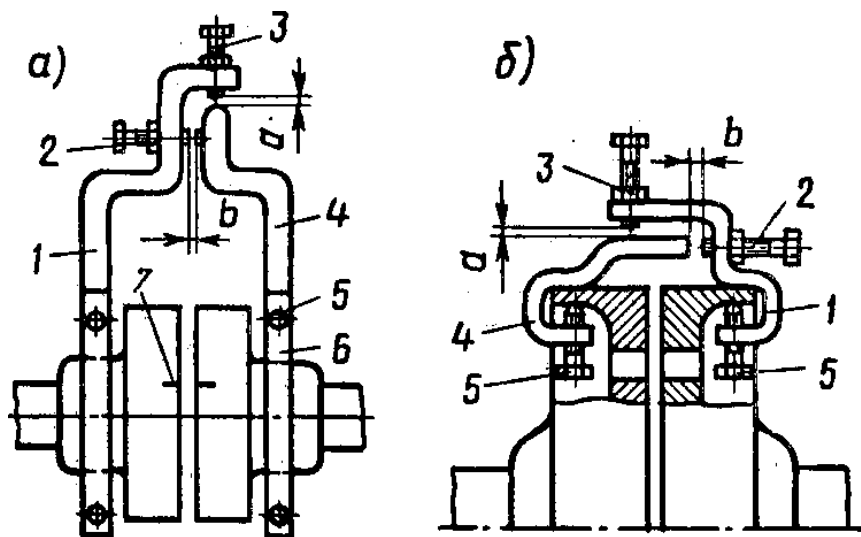


Рис. 6.3. Центровка валов: *а* - центровочные скобы для центровки по втулкам полумуфт; *б* - для центровки по ободам полумуфт; 1,4 - скобы; 2,3 - болты для измерения зазоров; 5 - крепежные болты; 6 - хомут; 7 - риски

**Электрические машины большой мощности.** Электрические машины переменного и постоянного тока, поступающие на место установки в собранном виде, устанавливаются без разборки, но с предварительной ревизией. Монтаж начинают с установки фундаментной плиты, рамы или салазок на фундамент с металлическими прокладками толщиной 10 мм и более для грубой и 0,5...5 мм для точной выверки горизонтального положения плиты, рамы или салазок. Прокладки устанавливают по всему периметру опорных плоскостей через каждые 400 мм так, чтобы они выступали за края плиты, рамы и салазок на 25...50 мм. Одновременно в анкерные колодцы вставляют фундаментные болты. Около фундаментных болтов с обеих сторон располагают прокладки. Горизонтальное положение фундаментных плит, рам и салазок проверяют по уровню, с помощью индикатора. Регулируют плиты с помощью прокладок (рис. 6.4, *Г*).



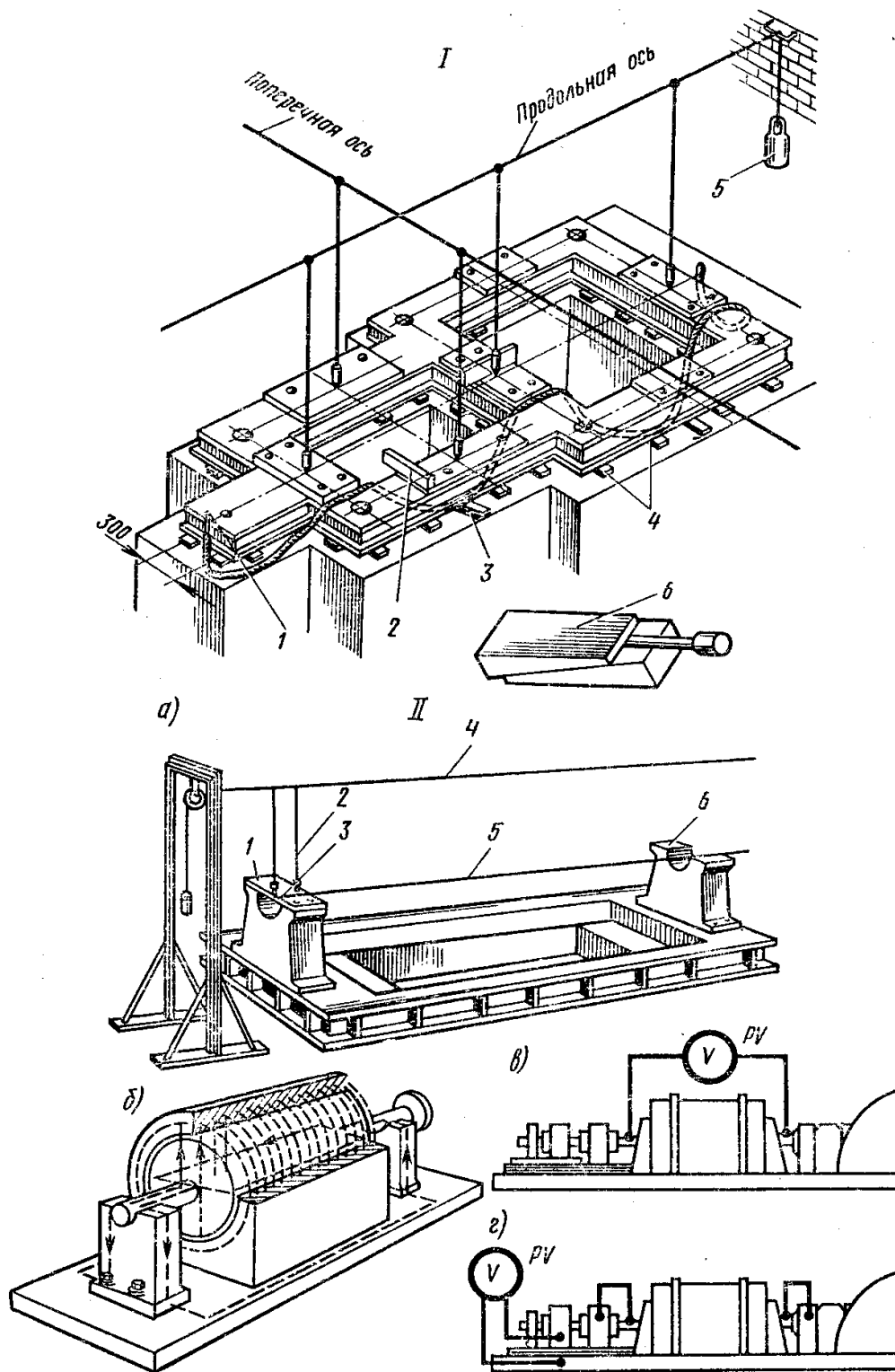


Рис. 6.4. Фундаментная плита и схема установки и проверки изоляции подшипниковых стояков: I - установка фундаментной плиты: 1 - гидростатический уровень; 2 - уровень; 3 - стальной клин; 4 - прокладка; 5 - груз; 6 - клиновый домкрат; II - установка подшипниковых стояков (а) и проверка изоляции; 1 - пластина; 2 - отвес; 3 - риска; 4 - монтажная струна; 5 - контрольная струна; 6 - стояк; б, з - схема прохождения тока через подшипник; в, г - проверка изоляции стояка подшипника проверочных линеек, уложенных на опорные плоскости.

После того как фундаментные плиты, рамы и салазки окончательно выверены, на них устанавливают электрическую машину и выверяют сопряжение осей валов электрической машины и рабочего механизма по центровочным скобам.

Если монтируют агрегат из двух и более электрических машин (например, двигатель — генератор — возбуждатель), то регулировку положения линий валов начинают с машины, имеющей два подшипника. Вал этой машины устанавливают строго горизонтально, а линии валов у промежуточных подшипников — по плавной кривой, соответствующей естественному прогибу валов от собственной массы. При сопряжении двух валов, имеющих три подшипника, наклоны шеек вала, лежащего на двух подшипниках, не должны изменяться при присоединении второго вала. Это достигается регулировкой третьего подшипника в вертикальной плоскости.

Правильность сопряжения проверяют измерением величины биения конца вала, имеющего один подшипник, с помощью индикатора.

После окончательной проверки положения электрической машины на фундаментной плите, раме или салазках, сопряжения ее с рабочими механизмами и сдачи по акту фундамент вместе с плитой, рамой или салазками заливают цементным раствором. При этом тщательно заполняют отверстия, в которых заделаны фундаментные болты и зазоры под плитой, рамой или салазками. Если позволяет конструкция плиты или рамы, то цементным раствором заполняют всю их внутреннюю часть, оставляя свободными лишь места прохода болтов сквозь плиту.

Затем мегаомметром проверяют состояние изоляции обмоток электрической машины, воздушные зазоры в «междужелезном» пространстве по всей окружности (для разных машин они различны в зависимости от требований заводских инструкций), промывают и заливают чистым маслом подшипники скольжения. В машинах постоянного тока проверяют состояние коллектора, щеток, щеточного механизма.

Монтаж разобранных машин производят в такой последовательности: распаковка и размещение узлов на монтажной площадке; очистка, ревизия и продувка их сжатым воздухом; подготовка фундамента; установка фундаментной плиты; монтаж стояков подшипников; установка статора на плиту; монтаж ротора, центровка и сопряжение валов; пригонка вкладышей и уплотнение подшипников скольжения; выверка воздушных зазоров и осевого разбега ротора; регулировка коллектора или контактных колец; монтаж щеточного механизма, а также систем принудительной смазки и принудительной вентиляции; монтаж внутренних соединений машины и ее внешних цепей; сушка изоляции (при необходимости); пробный пуск и регулировка систем машины; балансировка ротора машины (при необходимости); приемосдаточные испытания машины; фиксация частей машины после обкатки на фундаментной плите с помощью установочных штифтов; оформление технической документации и сдачи машины в эксплуатацию.

Установка и выверка фундаментной плиты или рамы при монтаже электрических машин, поступающих на монтажную площадку в разобранном виде, выполняется так же, как и монтаж машин, прибывающих в собранном виде. Монтаж начинают с установки подшипниковых стояков по заводским рискам и контрольным шпилькам (рис. 6-4, II, *a*). Подшипники разбирают, их опорные поверхности освобождают от защитных покрытий, ржавчины и забоин. Перед установкой подшипниковых стояков под них на плиту укладывают металлические прокладки общей толщиной 4—5 мм, с помощью которых в дальнейшем регулируют положение подшипников по высоте, а также изолирующие прокладки под одним или двумя стояками, чтобы исключить разъедание шеек паразитными токами.

В качестве изолирующих прокладок применяют пластинки из прочного изоляционного материала толщиной 2—5 мм. Болты и контрольные шпильки изолируют бакелитовыми или прессшпановыми трубками с толщиной стенки 2 мм, а фланцы маслопроводов — электрокартоном. Сопротивление изоляции

подшипникового стояка, измеренное мегаомметром на 1000 В должно быть не менее 0,5 МОм (рис. 6.4, в, г). Затем в подшипниковые стоянки устанавливают нижние вкладыши подшипников и на них укладывают ротор машины, предварительно смазав шейки его вала чистым машинным маслом.

Чтобы убедиться в отсутствии перекоса вкладышей подшипников, ротор проворачивают на несколько оборотов. Далее выверяют (предварительно) совпадения валов электрической машины и рабочего механизма с насаженными полумуфтами с помощью линейки и щупа и устанавливают осевые зазоры (разбег) между торцами вкладышей подшипников и заточками (галтелями) вала. Эти зазоры необходимы для свободного удлинения вала при его нагревании и для возможной самоустановки ротора под влиянием магнитного поля электрической машины (сборка машины должна обеспечить симметричное расположение сердечников статора и ротора, однако при сборке может быть допущена некоторая погрешность, что приводит к самоустановке ротора).

Осевые зазоры по обе стороны вкладышей подшипников регулируют с учетом того, что со стороны внешних подшипников, т. е. подшипников со стороны расположения контактных колец или коллектора, они должны быть больше. У машин с диаметром шейки вала до 200 мм эти зазоры у ближайшего к полумуфте подшипника принимают равными 2—4 мм, а при диаметрах более 200 мм — 2 % диаметра вала.

Вал ротора проверяют индикатором на отсутствие радиального биения в шейках, местах установки уплотнений подшипников и щитов статора, а также вблизи ступицы ротора. Для валов с диаметром шейки вала до 200 мм допустимая величина биения 0,02 мм. Убедившись в правильности установки ротора в подшипниках, еще до установки статора производят регулировку совмещения валов так, как это описано выше.

После этого ротор поднимают краном, отводят в сторону и на место устанавливают статор электрической машины, руководствуясь заводскими рисками на отдельных его частях и контрольными шпильками (рис. 6.5). Правильность установки статора выверяют по струне, натянутой вдоль оси

подшипниковых стояков, и по штихмасу, с помощью стальных прокладок, подкладываемых под опорные лапы статора.

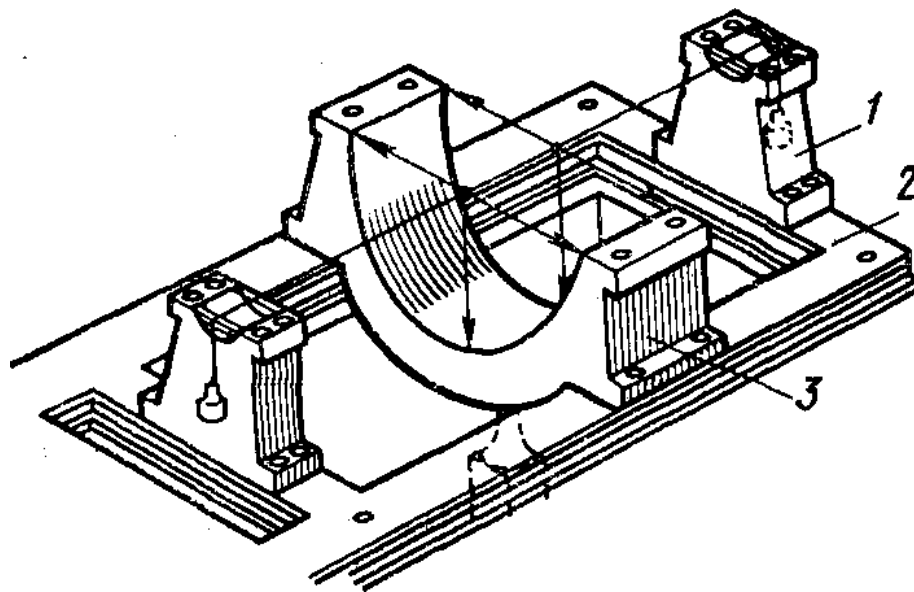


Рис. 6.5. Вывеска подшипниковых стоек 11 станин электрических машин:  
1 — стойка подшипника; 2 — рама; 3 — станина машины

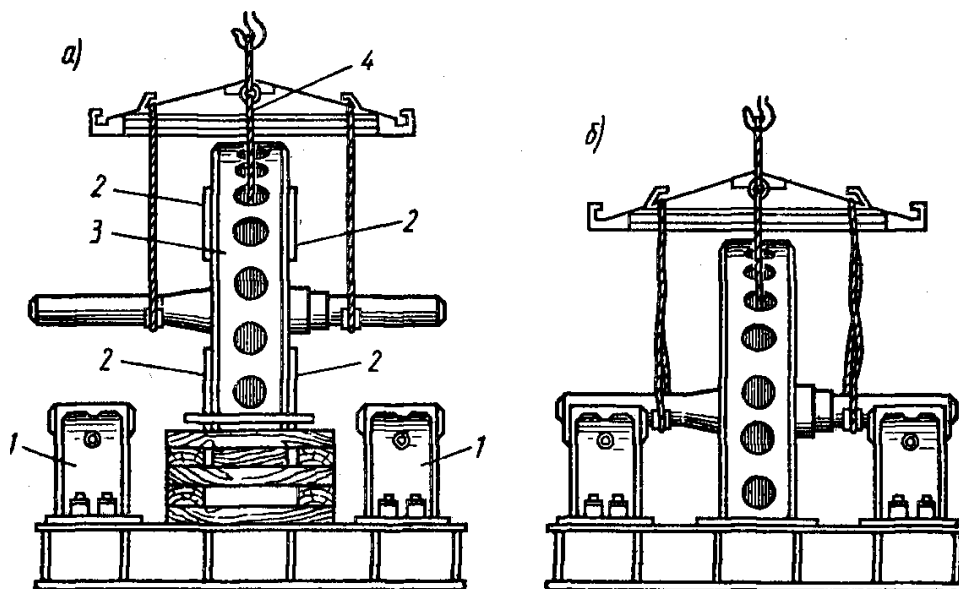


Рис. 6.6. Ввод ротора в статор: а — строповка и подъем статора и ротора;  
б — установка вала в подшипники и опорных лап на плиту; 1 —  
подшипниковый стояк; 2 — пакет электрокартона; 3 — станина статора;  
4 — средний строп

Затем снимают один из подшипниковых стояков, ротор заводят в статор, перемещают его внутри статора до выхода полумуфты за пределы статора и

укладывают на деревянные прокладки для того, чтобы переставить статоры на роторе и полностью ввести его в статор. Снятый подшипниковый стояк устанавливают на определенное место; ротор укладывают в подшипники (рис. 6.6) и еще раз проверяют осевые зазоры.

После того как положение ротора в подшипниках выверено, окончательно регулируют положение статора так, чтобы оси симметрии сердечников статора и ротора совпадали, и регулируют зазор между статором и ротором. Зазоры измеряют щупом в четырех диаметрально противоположных точках. В машинах постоянного тока зазоры измеряют под серединой каждого полюса. Перед закрытием подшипников проверяют зазоры между верхним вкладышем подшипника и шейкой вала и между вкладышем и крышкой подшипника (рис. 6.7). Зазор определяют по толщине сплюснутых при затяжке болтов предварительно заложенных в подшипник проволок.

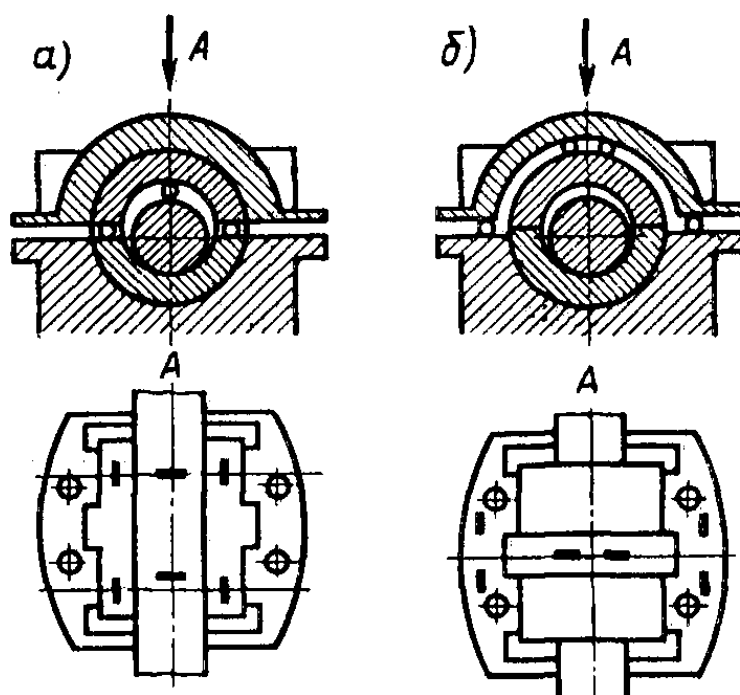


Рис. 6.7. Зазоры в подшипниках (контрольные точки): *а* — между вкладышем и валом; *б* — между вкладышем и крышкой (черными точками и прямоугольниками показаны места заложения свинцовой проволоки)

Затем выполняют внутренние соединения обмоток, регулируют щеточный механизм, монтируют масляную или воздушную системы охлаждения, измеряют вибрацию подшипниковых опор. Затем определяют среднеквадратичное значение вибрационной скорости, которое должно быть не

свыше 4,5 мм/с, и приступают к сушке машины (если это требуется). Окончательные результаты регулировок и измерений заносят в монтажный паспорт электрической машины.

#### **6.4. Сушка электрических машин**

Электрические машины сушат при неудовлетворительных изоляционных характеристиках, указывающих на увлажненность изоляции. Сушку проводят до установки электрических машин в том случае, если они долгое время хранились в помещении и измерения показывают на увлажненность изоляции. Обмотки электрических машин перед сушкой очищают от загрязнений и осевшей пыли, продувая сухим и чистым воздухом. В случае длительного непосредственного попадания воды на обмотки измерения и испытания, связанные с подачей напряжения, следует выполнять после контрольного прогрева и подсушки путем внешнего нагрева. Сушку путем пропускания тока по обмоткам электрических машин можно выполнять, если сопротивление изоляции обмоток статора машин переменного тока и обмотки якоря машин постоянного тока не менее 50 кОм, а сопротивление изоляции обмоток ротора машин переменного тока и обмоток возбуждения машин постоянного тока не менее 20 кОм.

Корпус машины, подготовляемой для сушки, должен быть надежно заземлен. Сушку машин в зависимости от местных условий выполняют внешним нагревом, инфракрасными лучами, индукционными потерями в сердечнике, потерями в проводниках обмоток, током к. з. и т. п. (рис. 6.8).

Во время сушки в наиболее нагреваемых частях обмоток электрических машин, на поверхности стального ротора и статора систематически измеряют температуру ртутными термометрами, температурными детекторами (термометры сопротивления или термопары, закладываемые заводом-изготовителем машины в труднодоступные точки машины) или рассчитывают температуру обмоток по замерам сопротивления обмоток.

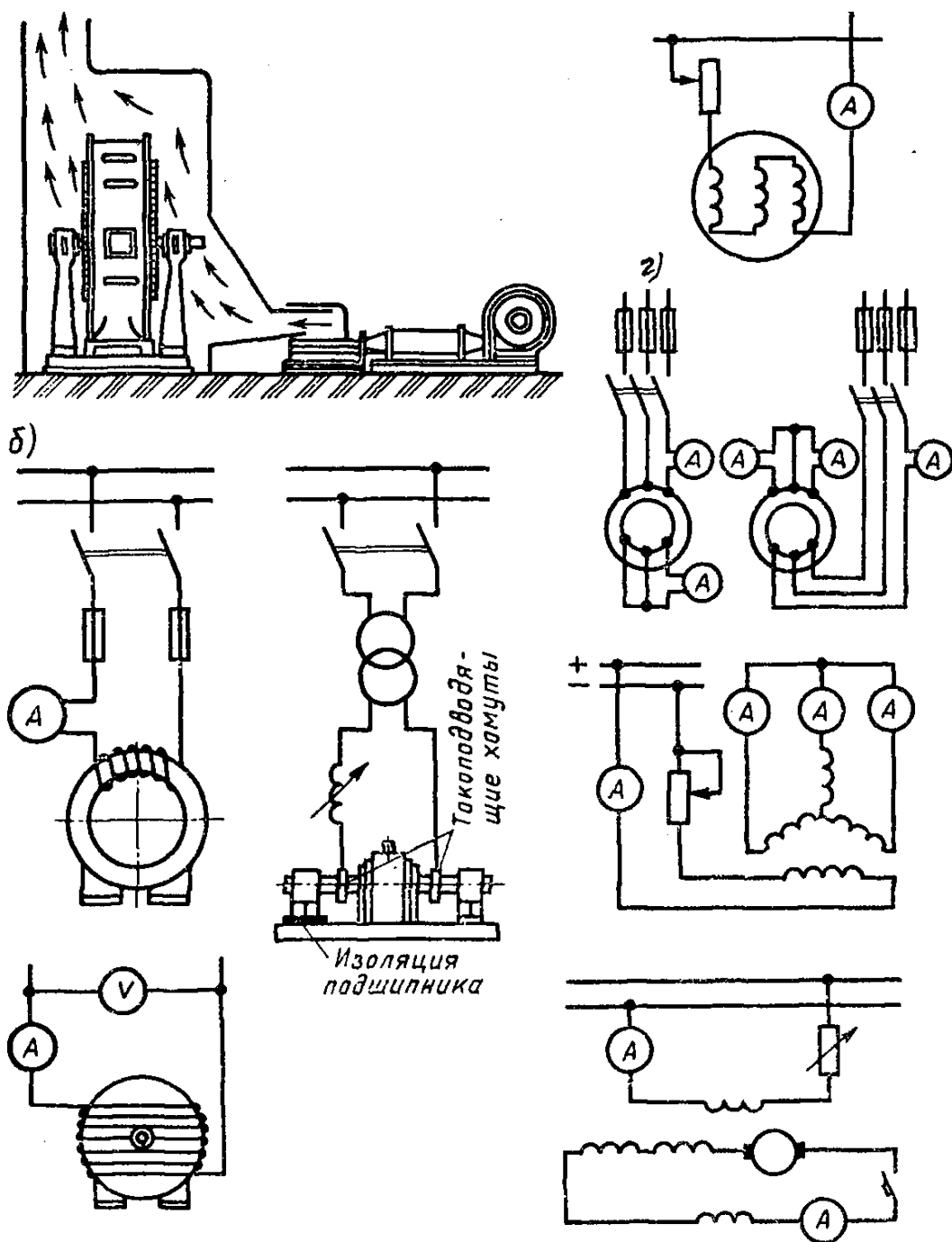


Рис. 6.8. Способы сушки машин: *а* - непосредственный нагрев теплым воздухом; *б* - метод индукционных потерь; *в* - метод потерь в обмотках; *г* - метод короткого замыкания обмоток

В процессе сушки ведут журнал, в который кроме заводских характеристик, места установки машины, метода сушки и другого заносят электрические параметры и температуру во всех контролируемых точках машин, а также вычерчивают кривые изменения температуры и сопротивления изоляции обмоток во времени.



Сдачу-приемку смонтированных электрических машин проводят в соответствии с требованиями СНиП. После предъявления необходимой сдаточной документации персонал заказчика при участии представителей монтажной и наладочной организаций проводит комплексные испытания на холостом ходу и оформляет акт сдачи-приемки электрических машин.

### **6.5. Монтаж аппаратов управления**

Панели распределительных щитов, щитов управления и защиты, относящихся к аппаратам управления, устанавливают в щитовом помещении или непосредственно в цехе на заранее подготовленном основании (обычно на направляющих из швеллерной стали). Установку начинают со средней в ряду панели. Панели выверяют по уровню и отвесу и соединяют между собой и с направляющими посредством болтов или электросваркой. После этого распаковывают приборы и аппараты (перед отправкой щитов на монтаж из мастерской приборы защиты и измерительные приборы снимают и упаковывают отдельно), чистят их, еще раз проверяют исправность подвижной и контактной систем, отсутствие обрывов и комплектность, устанавливают на панели и подключают к ним провода вторичной коммутации.

Под корпуса реле ставят прокладки из электрокартона, а крепежные болты снабжают резиновыми шайбами. Затем снятые для удобства транспортирования сборные шины устанавливают на место и налаживают приборы и аппараты. Все приборы и аппараты располагают строго вертикально, за исключением тех, которые по условиям нормальной работы должны находиться в горизонтальном или наклонном положении (здесь должна быть соблюдена строгая горизонтальность установки или прибор должен быть укреплен точно под требуемым углом наклона).

Станции управления в мастерской собирают в щиты (ЩСУ), монтируя на стальном каркасе, затем перевозят на площадку и устанавливают в специальные помещения или на площадках в цехах, вблизи от обслуживаемых ими электродвигателей. При установке на каркасе станций управления между ними

оставляют небольшие зазоры. Панели крепят к каркасу болтами. Иногда панели магнитных станций (обычно одиночные) монтируют в шкафах и в таком виде отправляют в цех.

Магнитные пускатели, контакторы, пусковые ящики и другие аппараты устанавливают в комплекте с кнопками управления. Магнитный пускатель вместе с кнопочной станцией, а часто и целая группа магнитных пускателей, устанавливаемых в одном месте, одновременно с опорной конструкцией представляют собой монтажные узлы и блоки, изготавливаемые централизованно в мастерских. Такие готовые узлы устанавливают на заготовленные заранее крепежные устройства. Магнитные пускатели и контакторы устанавливают в строго вертикальном положении; нормальная высота их установки от пола 1500—1700 мм. Металлические конструкции, на которых крепят пусковые устройства, а также металлические кожухи магнитных пускателей, кнопок управления и контакторов надежно заземляют, подключая к ним ответвления от заземляющей шины или любого другого заземляющего проводника. Пример крепления аппаратов управления показан на рис. 6.9.

Пусковые реостаты с масляным охлаждением устанавливают на металлической или железобетонной конструкции (в виде стула) и крепят к ней четырьмя болтами. Высоту конструкции для установки реостата выбирают с таким расчетом, чтобы маховичок реостата находился на высоте 700—800 мм от пола. Реостаты с воздушным охлаждением устанавливают на металлических конструкциях, укрепленных на стене, с зазором между опорной поверхностью и секциями реостата 50—100 мм для лучшего их охлаждения.

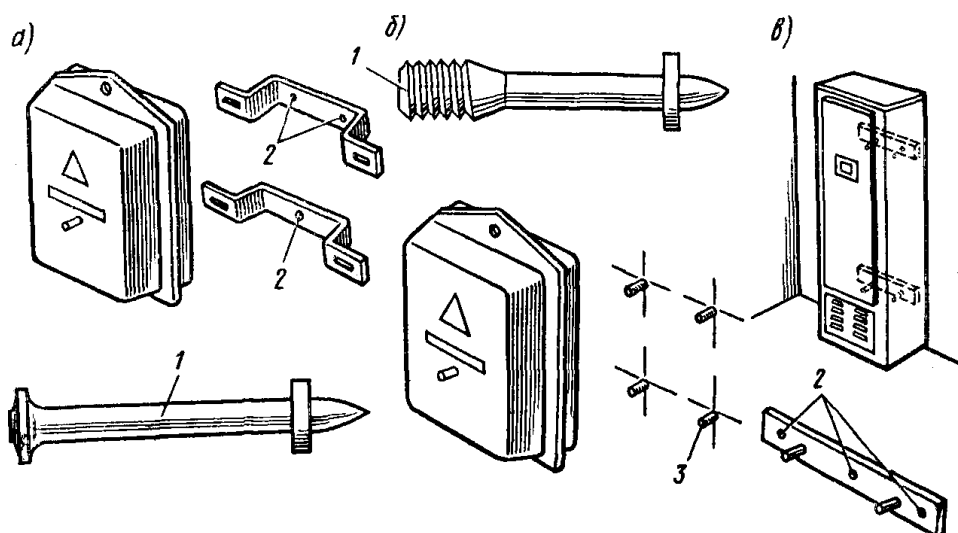


Рис. 6.9. Крепление аппаратов управления; а — несъемное; б — съемное; в — комбинированное крепление шкафов; 1 — дюбель-гвоздь; 2 — место пристрелки детали дюбель-гвоздями; 3 — дюбель-винт

Кулачковые контроллеры и командоаппараты монтируют подобно пусковым реостатам с масляным охлаждением. Контроллер или командоаппарат устанавливают непосредственно на опорной поверхности или через дополнительную конструкцию по отвесу и уровню так, чтобы высота штурвала над полом была не более 1100 мм. При их установке следует обеспечить хороший обзор рабочего места и удобство управления.

### 6.6. Техника безопасности

Помещения, в которых монтируют электрические машины, освобождают от лесов, строительного мусора и обеспечивают достаточным освещением. Все проемы в перекрытиях закрывают щитами или ограждают прочными перилами. Каналы в полу на время монтажа при отсутствии постоянных перекрытий закрывают временными щитами. Границы монтажных площадок, рассчитанных на массу подлежащих монтажу машин, четко обозначают. При недостаточной прочности площадок временно под них устанавливают дополнительные опоры.

Все применяемые для подъема тяжелых деталей подъемные устройства, а также тросы должны периодически проходить осмотры и испытания для проверки их пригодности и иметь соответствующий паспорт. При

необходимости устраивают сплошные настилы со сплошными ограждениями, исключая падение предметов с высоты. Кроме общих мер, обеспечивающих безопасность персонала при производстве работ, соблюдают следующие меры предосторожности: не оставляют на весу поднятые конструкции или оборудование; не производят перемещение, подъем и установку щитов, блоков магнитных станций без принятия мер, предупреждающих их опрокидывание; не крепят стропы, тросы и канаты за изоляторы, контактные детали или отверстия в лапах; внимательно следят за подаваемыми сигналами.

Для производства наладочных работ в действующих или находящихся под напряжением электроустановках руководитель группы наладчиков должен оформить допуск к работе, получив от эксплуатирующей организации соответствующий наряд, и совместно с лицом, допущенным к работе, проверить наличие условий, обеспечивающих безопасное ведение работ. В местах, где имеется или может появиться высокое напряжение, от эксплуатационного персонала должен быть назначен наблюдающий.

### ***Контрольные вопросы***

1. В какой последовательности надо выполнять операции по монтажу собранных машин?
2. Каковы особенности и последовательность операций при монтаже разобранных машин?
3. Как выверяют зазоры стояковых подшипников скольжения при их монтаже?
4. В каком порядке и с помощью, каких приспособлений выполняют центровку валов электрических машин?
5. Какими способами и как сушат изоляцию электрических машин при их монтаже?

## 7. МОНТАЖ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ КРАНОВ

### 7.1. Общие сведения

Электроснабжение крана осуществляется с помощью главных троллеев, в том числе с помощью малогабаритного троллейного шинопровода, стационарных питательных пунктов, по токосъемным контактам которых скользят укрепленные на кране отрезки троллеев («контактные лыжи»); кольцевого токоподвода; гибкого кабеля; стационарного токоподвода (для кранов, установленных на фундаменте). Исполнение электрооборудования (электродвигатели, аппараты и т. п.) кранов должно соответствовать условиям окружающей среды.

Неизолированные токоведущие части электрооборудования крана ограждают, если их расположение не исключает случайного прикосновения к ним лиц, находящихся в кабине управления, на галереях и площадках крана, а также возле него. Электрооборудование с неизолированными токоведущими частями (магнитные контроллеры, ящики сопротивлений и др.), с которого автоматически снимается напряжение при входе в места его расположения, а также электрооборудование, установленное в аппаратных кабинах и других электропомещениях, закрытых во время эксплуатации крана, не ограждается.

В аппаратных, кабинах и других электропомещениях ширина проходов, расположенных как с лицевой, так и с задней стороны щитов и панелей, имеющих сплошные или сетчатые ограждения, должна быть не менее 0,6 м. Расстояние от неогражденных неизолированных токоведущих частей, расположенных на высоте менее 2,2 м по одну сторону прохода до стены и оборудования с изолированными или огражденными токоведущими частями, расположенными по другую сторону прохода, должно быть не менее 1,2 м.

Главные троллеи крана выполняются, как правило, из стали. Эти троллеи допускается выполнять из алюминиевых сплавов. Применение меди и биметалла для главных троллеев и троллеев крана должно быть специально обосновано. Троллеи делают жесткими или гибкими; они могут подвешиваться на тросах и располагаться в коробах или каналах. При применении жестких

троллеев необходимо предусматривать устройства для компенсации линейных изменений от температуры и осадки здания.

При питании крана электроэнергией гибким кабелем следует руководствоваться требованиями ПУЭ к передвижным токоприемникам. Прокладку проводов на кранах выполняют на лотках, в коробах и трубах, применяя провода и кабели, как с медными, так и с алюминиевыми жилами сечением для вторичных цепей не менее  $2,5 \text{ мм}^2$  для медных и  $4 \text{ мм}^2$  для алюминиевых жил.

Вторичные цепи на кранах, работающих с жидким, и горячим металлом (разливочные, заливочные и завалочные краны, краны нагревательных колодцев и др.), и на быстроходных кранах (уборочные краны, перегружатели) выполняются проводами и кабелями с медными жилами и термостойкой изоляцией.

Алюминиевые жилы проводов и кабелей в первичных цепях кранов должны быть многопроволочными сечением не менее  $16 \text{ мм}^2$ . Провода и кабели с однопроволочными алюминиевыми жилами в первичных цепях кранов не применяются.

На электроталях, работающих как отдельно, так и входящих в состав других грузоподъемных машин, применяют защищенные провода с медными жилами сечением: во вторичных цепях и цепях электромагнита тормоза — не менее  $0,75 \text{ мм}^2$ ; в цепях электродвигателей — не менее  $1,5 \text{ мм}^2$ ; кроме того, в указанных случаях допускается применение защищенных проволочных проводов с алюминиевыми жилами сечением  $2,5 \text{ мм}^2$ .

Присоединение посторонних токоприемников к главным троллеям магнитных кранов, кранов, транспортирующих жидкий металл, не допускается. Заземление и зануление на кранах выполняют в соответствии с требованиями ПУЭ. Считается достаточным, если части, подлежащие заземлению или занулению, присоединены к металлическим конструкциям крана; при этом должна быть обеспечена непрерывность электрической цепи металлических конструкций. Если электрооборудование крана установлено на его заземленных

металлических конструкциях и на опорных поверхностях предусмотрены зачищенные и незакрашенные места для обеспечения электрического контакта, то дополнительного заземления не требуется.

Рельсы кранового пути должны быть надежно соединены на стыках (сваркой, приваркой перемычек достаточного сечения, приваркой к металлическим подкрановым балкам) для создания непрерывной электрической цепи. В электроустановках, для которых в качестве защитного мероприятия применяется заземление или зануление, рельсы кранового пути должны быть соответственно заземлены или занулены.

При установке крана на открытом воздухе рельсы кранового пути, кроме того, должны быть соединены между собой и заземлены; при этом для заземления рельсов необходимо предусматривать не менее двух заземлителей, присоединяемых к рельсам в разных местах.

Стыки рельсов, по которым перемещается кран, надежно соединяют путем приварки перемычек, образуя непрерывную электрическую цепь. Кроме того, на кранах, установленных на открытом воздухе, рельсы подкранового пути соединяют между собой. При управлении с пола корпуса кнопочных аппаратов управления, если они выполнены не из изоляционного материала, заземляют не менее чем двумя проводниками.

Различают мостовые краны: однобалочные и двухбалочные (рис. 7.1), с ручным и электрическим приводом, с кабиной управления и управляемые с пола (земли). В зависимости от типа грузозахватного органа мостовые краны подразделяют на крюковые (с одним или двумя крюками), магнитные (с подъемным электромагнитом) и грейферные. Некоторые краны снабжаются специальными грузозахватными органами (клещами, лапами и т. п.). По способу расположения мостовые краны бывают опорными и подвесными.

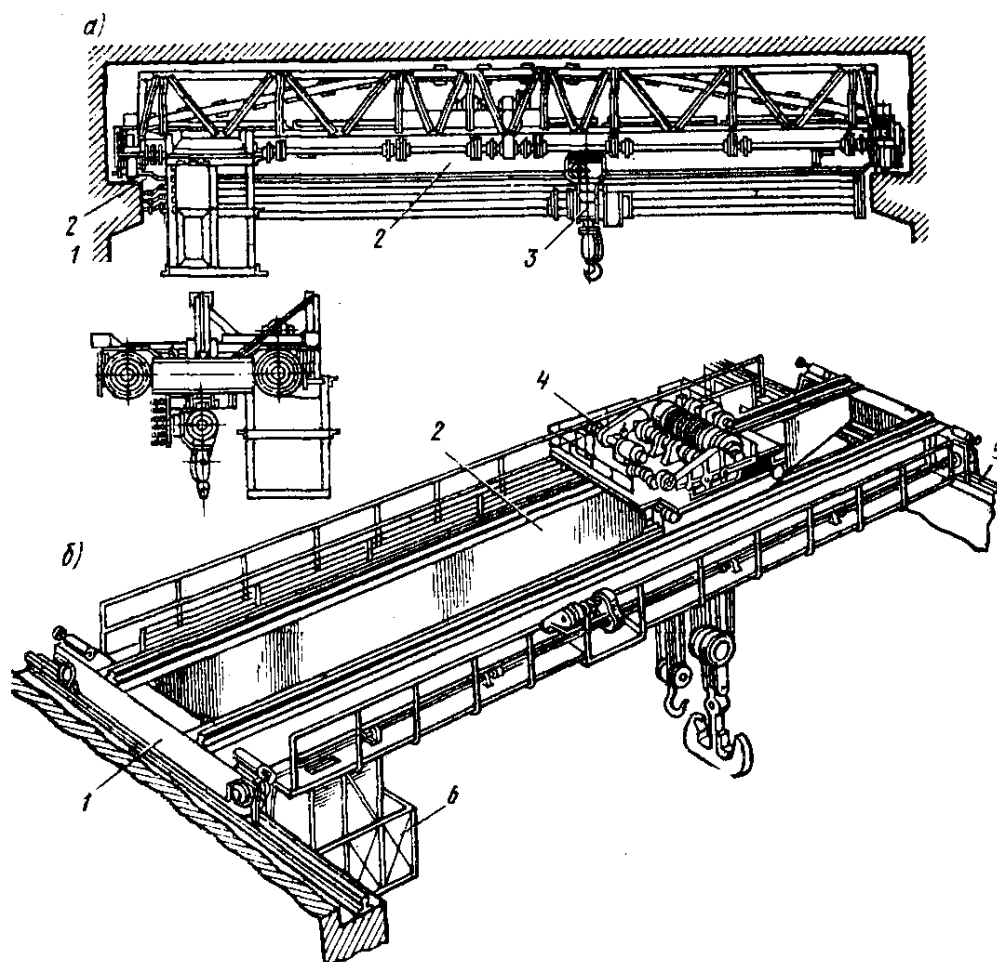


Рис. 7.1. Типы мостовых кранов: *а* — однобалочный; *б* — двухбалочный; 1 — концевая балка; 2 — главная продольная балка (мост); 3 — тельфер; 4 — тележка; 5 — подкрановые пути; 6 — кабина управления

Применяют также краны специального назначения: для выталкивания слитков из изложниц; клещевые для обслуживания шахтных нагревательных печей, мурдозавалочные краны, предназначенные для завалки твердой шихты в печи и др. Для вертикального и горизонтального перемещения грузов по однорельсовому пути в виде двутавровой балки применяют электротали (тельферы).

На электрических кранах устанавливают электродвигатели, пусковые и регулировочные сопротивления, тормозные электромагниты, контроллеры, защитную, пускорегулирующую, сигнальную, блокировочную и осветительную аппаратуру, конечные выключатели, токосъемники, электротали. Аппараты управления краном размещают в кабине управления так, чтобы можно было работать сидя.



## 7.2. Монтаж троллеев и электропроводки

**Монтаж троллеев.** Троллейные провода выполняют из гибких голых проводников круглого или профильного сечения, из стали жестких профилей (уголок, швеллер, рельс и т. п.) или в виде закрытых троллейных шинопроводов. Троллейные провода из гибких проводников подвешивают с жестким или свободным креплением. Стальные жесткие профили на опорных конструкциях закрепляют жестко. В качестве опорных конструкций применяют кронштейны различных типов и тролледержатели (рис. 7.2).

Монтаж троллейных проводников состоит из работ, выполняемых на строительной площадке, и комплектации в мастерских. Стальные троллеи свободной подвески иногда комплектуют из нескольких стальных проводов круглого сечения диаметром 6—8 или 10 мм (провода соединяют в пучок с помощью коромысла). При такой конструкции должно быть достигнуто одинаковое усилие тяжения каждого провода в пучке для получения необходимого контакта между каждым проводом и токосъемником.

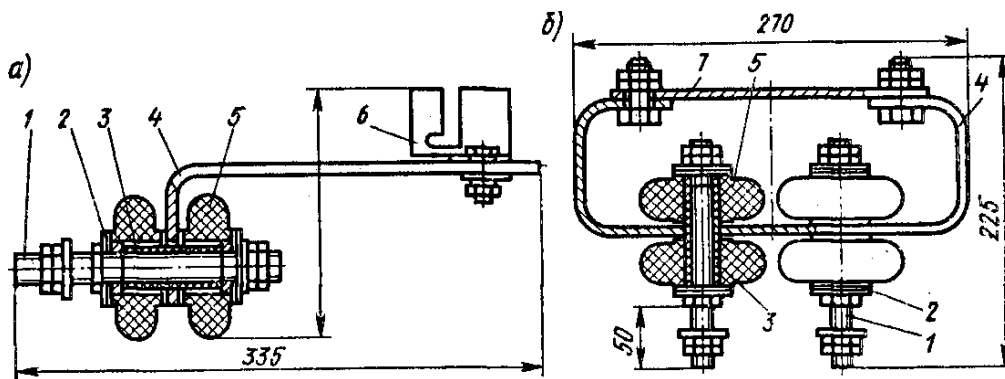


Рис. 7.2. Тролледержатели: *a* — типа ДТ-2И-М; *б* — типа ДТН-2А-1;  
1 — шпилька с гайками; 2 — резиновые шайбы; 3 — полиэтиленовые трубки;  
4 — несущая стальная скоба; 5 — изоляторы троллейбусные;

Концы стальных круглых проводов следует соединять электросваркой на стыковом сварочном аппарате. Одновременно ведут комплектацию опорных конструкций заводского изготовления. Последняя операция в мастерских — сборка блоков троллеев. Размер блоков определяется возможностью перевозки их на монтаж. Обычно блоки делают длиной 6 м. При сборке блоков на

опорные конструкции устанавливают троллеедержатели и на них монтируют троллеи. Собранные таким образом блоки троллеев доставляют на место их установки, монтируют с применением инвентарных подмостей или люлек подобно монтажу шинопроводов (см. рис. 2.27).

Работу по монтажу главных троллеев начинают с разметки горизонтальной линии трассы, которая отбивается по отметкам подкранового рельса. Затем размечают места установки опорных конструкций, а для троллеев из гибких проводников также и места закрепления натяжных устройств. Максимальное расстояние между опорными конструкциями для жестких троллейных проводников принимают 2—3 м, для гибких — 6 м.

Опорные конструкции к металлическим и железобетонным подкрановым балкам крепят приваркой, пристреливанием пистолетом или с помощью заделанных в балки крепежных деталей. Натяжные устройства к стенам крепят сквозными болтами. Троллеи натягивают до получения стрелы провеса такой величины, при которой токосъемник может свободно продвигаться между полками опорных конструкций, а необходимый контакт между троллеем и токоприемником осуществляется за счет массы троллея.

Для гибких троллеев свободной подвески опорные конструкции, прикрепленные к подкрановым балкам, служат лишь в качестве поддерживающих опор, на которых монтируют детали из изоляционных материалов. Для гибких троллеев жесткой подвески применяют троллейный провод специального профиля и крепят его жестко на каждой опоре к изолятору (рис. 7.3, а). Такие троллеи подвешивают в такой последовательности: троллей укладывают на опорные конструкции; его концы закрепляют и натягивают до допустимого предела; временно их закрепляют на поддерживающих изоляторах, а затем, выбрав натяжной муфтой, образовавшийся излишек длины, окончательно закрепляют провод.

Участок крановых троллеев в пределах ремонтного загона электрически изолируют от рабочей части троллеев с помощью изолирующих стыков.

Изоляцию стыков выполняют в виде воздушных зазоров такой ширины, чтобы при нормальной работе токоъемник перекрывал этот зазор.

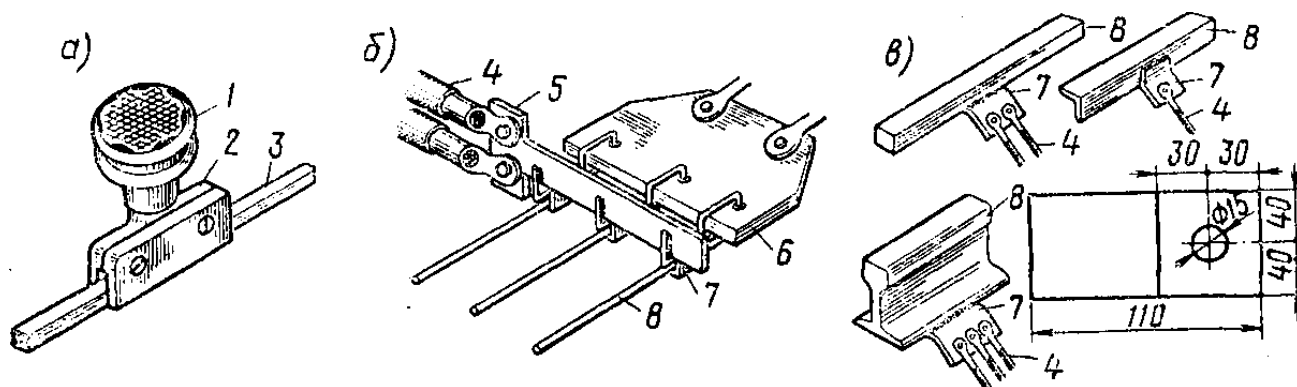


Рис. 7.3. Отдельные узлы монтажа троллеев: 1 — изолятор; 2 — держатель; 3 — провод; 4 — питающий провод; 5 — контактная планка; 6 — коромысло; 7 — зажим; 8 — троллеи

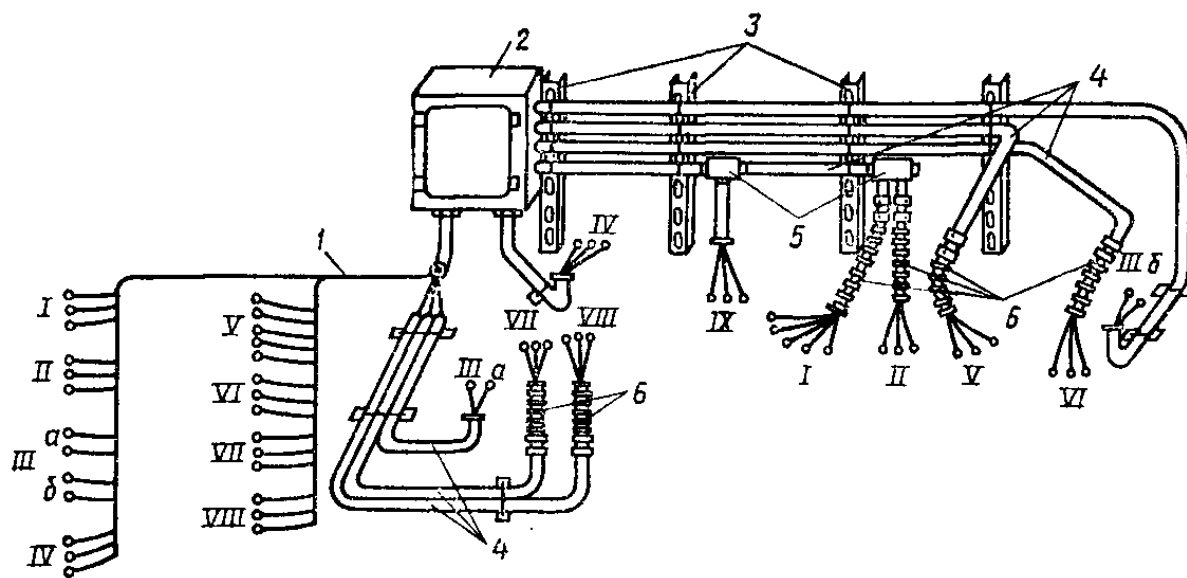


Рис. 7.4. Блок электропроводки для тележки мостового крана:  
 I — струна (сталь круглая); 2 — протяжной ящик; 3 — перфорированный профиль; 4 — стальные трубы; 5 — коробка ответвительная; 6 — металлорукава; выводы I, II — статорные и роторные концы электродвигателя тележки; IIIa, IIIб — выключатели конечные главного и вспомогательного подъема; IV — тормоз вспомогательного подъема; V, VI — статорные и роторные концы электродвигателя главного подъема; VII, VIII — статорные и роторные концы электродвигателя вспомогательного подъема; IX — тормоз тележки

Питающие провода или кабели подсоединяют к гибким троллеям со свободной и жесткой подвесками с помощью контактного башмака (рис. 7.3, б). Причем при свободной подвеске питание подводят только к одному из концов троллейной линии. Питающие провода или кабели к троллеям жесткой конструкции подсоединяют через питающие планки (рис. 7.3, в).

**Монтаж электропроводки.** Этот монтаж на кранах выполняют в стальных трубах, в коробах, непосредственно по крану проводом или кабелем марок, соответствующих условиям окружающей среды (см. гл. 2), путем заготовки блоков электропроводки в мастерских (рис. 7.4). Условия окружающей среды влияют также на выбор типа проводки, определяемой проектом. Трубы и короба при подходах к зажимам контроллера располагаются так, чтобы оставалось место для свободного доступа к частям контроллера. Концы труб при подходе к аппаратуре и провода, выходящие из труб, надежно и жестко закрепляют.

Подводку к ящикам сопротивления выполняют голыми проводами или шинами, прочно закрепленными как в наконечниках, так и в месте соединения их с изолированным проводом или кабелем. Места соединения питающих проводов с выводами обмоток электродвигателей изолируют прорезиненной лентой, лентой из лакоткани и затем повторно прорезиненной лентой, укладывая каждую изоляцию в два слоя.

### **7-3. Монтаж электрических машин и аппаратов**

Аппаратуру и электропроводку кабины крана монтируют в мастерских. Затем кабину доставляют на строительную площадку, устанавливают на кран и подключают к электрической схеме крана. Пускорегулирующие сопротивления, собираемые в виде ящиков сопротивления, промышленность выпускает в открытом и защищенном исполнениях. На кранах их располагают или в кабине управления, или на мосту, а в помещениях щитов станций управления — вверху у стены с таким расчетом, чтобы сократить по возможности длину соединительных проводов и обеспечить отвод теплоты,

выделяемой ими при работе, не ухудшая этим условий работы проводов и другой аппаратуры.

Ящики сопротивлений устанавливают так, чтобы их элементы располагались «на ребро». Ящики сопротивлений в количестве не более трех можно укреплять непосредственно один над другим. При большем количестве (не более шести) для них изготавливают металлический каркас в виде этажерки. При установке следят за тем, чтобы выводы от элементов сопротивлений находились с одной стороны ящиков сопротивлений. Все соединения между ящиками выполняют голыми стальными или медными проводами и шинами. Ошиновку делают максимально короткой.

Тормозные электромагниты устанавливают непосредственно у шкива электродвигателя (на место, предусмотренное для этой цели при изготовлении агрегата на заводе) и закрепляют болтами. При установке обеспечивают строго вертикальное положение электромагнита и одинаковый зазор между тормозными колодками и барабаном по всей длине колодок; при этом перекосяк недопустим. Не должно быть также заеданий и перекосов якоря электромагнита, так как они вызывают перегревы и даже сгорание его обмотки. Сопряжение якоря с тормозом делают так, чтобы обеспечить плавный спуск и подъем тормозных колодок.

В чертежах, присылаемых заводами-изготовителями, обычно указывают место в кабине, где должны находиться барабанные или кулачковые контроллеры. Для устранения вибраций частей контроллера и предохранения проводов от поломок и ослабления контактных соединений контроллеры следует прочно крепить или к полу или к конструкциям. Установленные контроллеры проверяют по отвесу и уровню. Для удобства обслуживания высота штурвала контроллеров над уровнем пола кабины — не более 1150 мм.

Конечные выключатели передвижения мостовых кранов размещают на специальных конструкциях по бокам поперечной фермы крана, а выключатели передвижения тележки — на концах ее направляющих. Ограничительные рейки или выключающие упоры относительно отключающего рычага конечного

выключателя должны фиксироваться так, чтобы их оси совпадали. Длину ограничительной рейки и место установки отключающего упора определяют в зависимости от длины пути торможения при максимальной скорости движения подвижной части механизма. Электрооборудование кранов в настоящее время монтируется промышленным методом на заводах-изготовителях или в мастерских электромонтажных заготовок.

#### **7.4. Техника безопасности**

Особенности монтажа электрооборудования кранов требуют соблюдения соответствующих мер безопасности. Все места, откуда возможно падение людей, должны быть ограждены. Вход на кран допускается только по специально устроенной для этого лестнице с перилами. Инструменты, материалы и оборудование поднимать на кран следует только с помощью пеньковой веревки.

Зону под монтируемым краном ограждают и вывешивают плакат **«Прход запрещен. Вверху работают»**. Работа с электроинструментом допускается лишь в резиновых перчатках и галошах; при этом инструмент должен быть заземлен. Электроэнергию к электроинструменту подводят по шланговому проводу с исправной изоляцией. В местах, где можно упасть, работают в предохранительном поясе. Электросварочные провода должны иметь надежную изоляцию, а сварщик — работать в резиновых галошах или сапогах. Запрещается использование смонтированных троллеев в качестве подводки электроэнергии при производстве работ. Категорически запрещается передвигаться по подкрановым путям.

#### **Контрольные вопросы**

1. Как монтируют главные троллейные токопровода с жестким и свободным креплением?
2. Как монтируют электропроводку на кране?

3. Назовите прогрессивные методы монтажа электрооборудования кранов и тельферов.

4. Какие особые меры техники безопасности следует соблюдать *при* монтаже электрооборудования кранов?

## **РАЗДЕЛ ВТОРОЙ. НАЛАДКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

### **8. НАЛАДКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

#### **8.1. Общие сведения об электродвигателях**

Номинальными данными электродвигателей являются данные, указанные на заводском щитке электродвигателя. Они характеризуют его номинальный режим работы, например номинальную мощность, номинальное напряжение, номинальный ток, номинальную частоту вращения. Термин «номинальный» может применяться и к данным, не указанным на электрическом щитке электродвигателя, но относящимся к номинальному режиму работы, например номинальный момент вращения, номинальное скольжение. При переменном токе под напряжением и током, если нет иных указаний, понимают их действующие значения.

Номинальным режимом работы электродвигателя называется режим работы, который установлен для двигателя заводом-изготовителем и при котором он должен работать в течение всего срока службы.

Продолжительным номинальным режимом работы электродвигателя называется режим его работы при неизменной номинальной нагрузке, продолжающийся столько времени, что превышения температуры всех частей электродвигателя при неизменной температуре охлаждающей среды достигают практически установившихся значений.

Кратковременным номинальным режимом работы электродвигателя является режим его работы, при котором периоды неизменной номинальной нагрузки, при неизменной температуре охлаждающей среды, чередуются с периодами отключения двигателя; при этом периоды нагрузки не настолько длительны, чтобы превышения температуры всех частей двигателя могли достигнуть практически установившихся значений, а периоды остановки двигателя настолько длительны, что все части его приходят в практически холодное состояние.

Повторно-кратковременным номинальным режимом работы электродвигателя называют такой режим его работы, при котором



кратковременные периоды неизменной номинальной нагрузки при неизменной температуре охлаждающей среды чередуются с кратковременными периодами отключения двигателя (паузами), причем как рабочие периоды, так и паузы не настолько длительны, чтобы превышения температуры отдельных частей электродвигателя могли достигнуть установившихся значений. Повторно-кратковременный номинальный режим работы характеризуется относительной продолжительностью включения, то есть отношением продолжительности рабочего периода к продолжительности цикла (суммарной продолжительности рабочего периода и паузы). Относительная продолжительность включения обозначается через ПВ. Согласно стандарту, ПВ составляет 15, 25, 40 и 60% продолжительностью одного цикла не более 10 мин.

За номинальную мощность электродвигателей принимается полезная механическая мощность на валу, выраженная в ваттах или киловаттах.

Номинальным напряжением трехфазного электродвигателя называется междуфазное (линейное) напряжение его.

Нагрузкой электродвигателя называется мощность, которую он развивает в данный момент времени. Нагрузка выражается в ваттах или киловаттах либо в вольтамперах, киловольтамперах, а также в процентах или в долях номинальной мощности. При нагрузке, равной номинальной мощности, пользуются термином «номинальная нагрузка». Нагрузка может быть задана током, потребляемым электродвигателем в данный момент времени, и выражена в амперах, процентах или в долях номинального тока.

Холодным состоянием электродвигателя называется состояние, при котором температура любой его части отличается от температуры охлаждающей среды (воздуха) не более чем на  $3^{\circ}$ .

### **Некоторые данные, необходимые при наладке электродвигателей.**

Асинхронный трехфазный двигатель, как и все электрические двигатели, состоит из двух основных частей: неподвижного статора и вращающегося внутри него ротора. Как статор, так и ротор имеют обмотки из витков медного

или алюминиевого проводника, уложенные в пазах. Роторная обмотка может быть либо фазной, при которой концы каждой фазы выводятся на контактные кольца, насаженные на валу ротора, либо замкнутой накоротко и не имеющей выводов.

Принцип действия асинхронного трехфазного двигателя основан на том, что переменный ток, проходя по трехфазной обмотке статора, создает вокруг него магнитное поле, вращающееся с частотой питающей сети переменного тока. Силовые линии поля пересекают витки обмотки ротора (замкнутой либо накоротко, либо через сопротивление) и индуцируют в ней электродвижущую силу (э. д. с), вызывающую в обмотке ротора ток. Ток ротора, в свою очередь, создает магнитное поле, взаимодействующее с вращающимся полем статора и заставляющее ротор двигателя вращаться в направлении, соответствующем направлению вращения поля статора.

Частота вращения магнитного потока статора зависит от частоты сети и от числа полюсов статорной обмотки и определяется формулой:

$$n = 60f/2p$$

где  $f$  - частота сети;  $2p$  — число пар полюсов статорной обмотки.

Частота вращения ротора меньше частоты вращения поля статора на величину скольжения. Это условие необходимо для работы асинхронного двигателя, так как если бы ротор вращался с той же угловой скоростью, что и вращающееся поле статора, то есть синхронно, то витки роторной обмотки не пересекались бы силовыми линиями поля статора и в роторе не индуцировался бы ток, а следовательно, исчезла бы причина, вызывающая его вращение.

Скольжение нормальных асинхронных двигателей обычно находится в пределах от 1.5 до 7 %. Меньшая величина относится к более мощным двигателям (табл. 8.1).

Таблица 8.1. Примерные частоты вращения ротора асинхронного двигателя при частоте 50 Гц

Число полюсов	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	
	поля статора (синхронная)	ротора
2	3000	2920
4	1500	1440
6	1000	970
8	750	730
10	600	575
12	500	480
16	375	360
20	300	285
24	250	240

Примечание. На 12 пар полюсов и более производятся преимущественно двигатели мощностью выше 100 кВт.

Промышленность выпускает специальные двигатели единой серии в модификации с повышенным скольжением. Скольжение ротора таких двигателей достигает 8... 14 %.

## 8.2. Пуск электродвигателя

Для того, чтобы двигатель при пуске мог прийти во вращение, развиваемый им начальный момент должен быть больше, чем статический момент сопротивления приводимого механизма, но для того чтобы уже начавший вращаться двигатель достиг заданной частоты вращения, развиваемый им момент должен быть выше момента сопротивления приводимого механизма в течение всего периода пуска агрегата при изменении частоты вращения от нуля до номинальной.

Двигатели с фазным ротором дороже короткозамкнутых, и, кроме того, они менее рациональны по эксплуатационным показателям. Поэтому в практике во всех случаях, когда это возможно, стремятся применять двигатели с короткозамкнутым ротором.

Характерная особенность асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором – это сравнительно незначительный начальный (пусковой) момент и большой пусковой ток. У современных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором пусковой ток достигает от 4- до 10-кратного значения номинального тока. Недостатками этого двигателя являются малый пусковой момент и большой ток.

В противоположность двигателям с фазным ротором, пусковой режим которых может благоприятно регулироваться сопротивлением включенного в цепь ротора, у двигателей с коротко замкнутым ротором режим пуска определяется их естественными механическими характеристиками.

Поэтому обычно применяемые способы пуска двигателя с коротко замкнутым ротором не могут увеличить начальный момент двигателя по сравнению с его пусковым моментом на естественной характеристике.

Наиболее распространенный и удобный в эксплуатации способ пуска двигателя с коротко замкнутым ротором - прямой пуск от полного (номинального) напряжения сети.

Вместе с тем не всегда можно применить прямой пуск двигателей с коротко замкнутым ротором. В отдельных случаях возникает необходимость в ограничении пускового тока или пускового момента двигателя, которая может диктоваться условиями питающей сети, а величины пускового момента - характером механизма.

Если прямой пуск двигателя с коротко замкнутым ротором по перечисленным выше причинам невозможен, то могут применяться следующие способы пуска, снижающие пусковой ток и пусковой максимальный момент:

- переключение обмотки статора со звезды на треугольник;
- переключение числа пар полюсов;
- включение через симметричное активное сопротивление или реактор в цепи статора;
- включение через активное несимметричное сопротивление в цепи статора;

- включение через автотрансформатор.

### 8.3. Типы электродвигателей

**Электродвигатели серии А2 и А02.** В настоящее время в сельскохозяйственном производстве используют асинхронные электродвигатели с коротко замкнутым ротором единой серии А2 и А02, а также их модификации в исполнении для сельского хозяйства (тип А02...СХ).

В последнее время стали применять также более современные электродвигатели, имеющие улучшенные эксплуатационные данные.

Номинальные данные электродвигателей (мощность, ток, напряжение, частота вращения и др.), относятся к работе машин на высоте до 1000 и над уровнем моря, при температуре окружающей среды 40 °С. Электродвигатели единой серии А2, А02 и АОЛ2 общего применения предназначены для привода механизмов с нормальными пусковыми характеристиками.

Обозначение типа электродвигателя расшифровывается следующим образом: А - защищенное исполнение, АО - закрытое обдуваемое исполнение, АОЛ — закрытое обдуваемое исполнение двигателя с алюминиевой оболочкой, цифра 2 характеризует серию. Первая цифра после дефиса - порядковый номер габарита (наружного диаметра сердечника статора), вторая - порядковый номер длины электродвигателя (сердечника статора), дальше - число полюсов, характеризующих частоту вращения двигателя. Например, А02-52-4 означает асинхронный двигатель общего применения, закрытого обдуваемого исполнения, 5-го габарита, 2-й длины, четырехполюсный.

На базе основного исполнения двигателей общего назначения с короткозамкнутым ротором изготавливают их электрические модификации с повышенным пусковым моментом (АОП2), с повышенным скольжением (АОС2), многоскоростные (А02).

Подробная расшифровка типов двигателей единой серии приведена в таблице 8.2.

## Электродвигатели с повышенным пусковым моментом АОП2

Электродвигатели АОП2 предназначены для привода механизмов, отличающихся сравнительно большой статической и инерционной нагрузкой в момент пуска и сравнительно стабильной нагрузкой при полной частоте вращения.

У электродвигателей АОП2 отношение начального пускового момента к номинальному составляет 1,7...1,8, а отношение начального пускового тока к номинальному - 6,0...,7,5.

Таблица 8.2. Подробная расшифровка типов двигателей единой серии

Исполнение	Оболочка	Буквенные обозначения	
		общего применения	с повышенным пусковым моментом[
Защищенное	Чугунная	A2	-
Закрытое	Чугунная	A02	АОП2*
обдуваемое	Алюминиевая	АОЛ2	АОЛ2*
Влаго- и морозостойкое	Чугунная	A02...BMC	АОП2...BMC
Химически стойкое	Чугунная	A02...X	АОП2...X
Малошумное	Чугунная	A02...Щ	
Тропическое	Чугунная	A02...T	АОП2...T

• Двигатели серии A02 (АОЛ2) 1...3-го габарита имеют повышенные значения

Электродвигатели с повышенным пусковым моментом по конструкции ничем не отличаются от электродвигателей A02, за исключением исполнения ротора, который имеет залитую алюминием двойную клетку. С целью увеличения пускового момента вращения магнитный ноток ряда электродвигателей АОП2 несколько повышают по сравнению с электродвигателями A02 путем соответствующего изменения числа витков и сечения провода обмотки статора.

Номинальные мощности и частоты вращения (синхронные) электродвигателей АОП2 ничем не отличаются от номинальных мощности и скоростей вращения электродвигателей A02 соответствующих габаритов, за

исключением того, что электродвигатели АОП2 не изготавливаются на частоту вращения 3000 мин<sup>-1</sup> (синхронную).

Габаритные и установочные размеры, а также масса электродвигателей АОП2 такие же, как и у электродвигателей А02 данной формы исполнения, по способу монтажа применительно к соответствующему номеру габарита и длины.

### **Электродвигатели с повышенным скольжением АОС2**

Электродвигатели с повышенным скольжением в закрытом обдуваемом исполнении АОС2 предназначены для привода:

- механизмов, в том числе металлообрабатывающих станков, характеризующихся наличием относительно больших маховых масс и неравномерным ударным характером графика нагрузки (молотов, ножниц, прессов, штамповочных станков, кузнечно-ковочных машин и т. п.), а также для приводов с пульсирующим характером нагрузки (поршневых компрессоров малой мощности и т. п.);
- механизмов с большой частотой пусков и реверсов для уменьшения пусковых потерь и облегчения теплового режима электродвигателей, а также для привода механизмов, у которых требуется максимально сократить продолжительность пуска или реверса;
- небольших лебедок, подъемно-транспортных механизмов и т. п.

Электродвигатели с повышенным скольжением характеризуются высоким отношением пускового момента к номинальному, находящимся в пределах 1,7...2,2, при кратности пускового тока не более 7, а также тем, что максимальному моменту соответствует скольжение не менее 50 %.

По конструкции электродвигатели ЛОС2 ничем не отличаются от электродвигателей А02, за исключением исполнения ротора, который имеет уменьшенное сечение пазов и заливку не алюминием, а алюминиевым сплавом с увеличенным удельным сопротивлением, что и обеспечивает повышенное скольжение. С целью повышения пускового и максимального моментов вра-

щения магнитный поток электродвигателей АОС2 несколько повышен по сравнению с электродвигателями ЛО2 путем соответствующего изменения числа витков и сечения провода обмотки статора.

В отличие от электродвигателей А02 электродвигатели АОС2 не имеют твердой шкалы мощностей. Их номинальные мощности относятся к повторно-кратковременному режиму работы, с продолжительностью включения ПВ – 25 %, который для них является номинальным.

Номинальное скольжение электродвигателей АОС2 в зависимости от типоразмера электродвигателя и частоты вращения (синхронной) находится в пределах 6,6... 16 %.

Номинальные частоты вращения (синхронные) электродвигателей АОС2 те же, что и у электродвигателей ЛО2.

### **Электродвигатели А02 на две, три и четыре частоты вращения**

Многоскоростные электродвигатели предназначены для привода механизмов со ступенчатой регулировкой частоты вращения, например металлообрабатывающие стайки, некоторые виды лебедок, механические колосниковые решетки и т. п.

Электродвигатели на две частоты вращения имеют одно-двухслойную обмотку статора с возможностью переключения ее на два числа полюсов, кратных двум, за исключением электродвигателей с числом полюсов 4...6, которые имеют две отдельные обмотки, уложенные в одни и те же пазы.

Электродвигатели на три и четыре частоты вращения имеют две отдельные двухслойные обмотки статора. При этом у электродвигателей на три частоты вращения одна из обмоток имеет переключение на два числа полюсов, кратных двум, вторая — на одно число полюсов; у электродвигателей на четыре частоты вращения переключаются на два числа полюсов обе обмотки.

Число выводных концов у двухскоростных электродвигателей 6, трехскоростных - 9, четырехскоростных - 12.



У многоскоростных электродвигателей нет твердой шкалы мощностей. Их мощности установлены либо из условий допустимого превышения температуры обмотка статора, либо из условий наиболее благоприятных пусковых характеристик. Номинальная мощность при переходе от меньших скоростей вращения к большим, возрастает. Номинальный момент вращения на валу уменьшается.

Двухскоростные электродвигатели на 4...6 полюсов имеют два исполнения: с постоянным моментом вращения и с постоянной мощностью.

Многоскоростные электродвигатели по конструкции ничем не отличаются от электродвигателей Л02 (А0J12) основного исполнения на одну частоту вращения, кроме выполнения обмотки статора и оформления доски зажимов в коробке выводов для трех- и четырехскоростных электродвигателей (9 зажимов для трехскоростных и 12 — для четырехскоростных).

В двух- и трехскоростных электродвигателях 1...5-го габарита на 1500/3000 мин<sup>-1</sup> предусмотрено использование сердечников статора (без обмотки) четырех полюсных электродвигателей основного исполнения, а в электродвигателях 6...9-го габарита (за исключением двухскоростных 6...8-го габарита) - сердечников статора шести полюсных электродвигателей.

Все многоскоростные электродвигатели, их габаритные и установочные размеры такие же, как и у электродвигателей Л02 данной формы исполнения, по способу монтажа применительно к соответствующему номеру габарита и длины.

### **Взрывонепроницаемые электродвигатели серии ВАО**

Взрывонепроницаемые электродвигатели серии ВАО разработаны на базе двигателей серии А02 (в них полностью совпадают диаметры статора, установочные и некоторые другие размеры) предназначены для работы в закрытых помещениях, где возможно образование метановоздушной смеси и смеси воздуха с угольной пылью взрывоопасной концентрации, а также во взрывоопасных помещениях и наружных установках всех классов.

Обозначение типа двигателя расшифровывается аналогично.

Число выводных концов у двухскоростных электродвигателей - 6, трехскоростных - 9, четырехскоростных - 12.

Двигатели серии ВАО имеют исполнение, предназначенное для привода трубопроводной запорной арматуры. Эти двигатели рассчитаны для работы в повторно-кратковременном режиме (имеют обозначение ВАОА, например ВАОА 32-4), а также при температуре окружающей среды от  $-40$  до  $+40$  °С и относительной влажности воздуха до 97 % при температуре  $+35$  °С.

Соединяют двигатель с приводным механизмом при помощи муфты или зубчатой прямозубой цилиндрической передачи.

#### **ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ СЕРИИ 4А**

**Электродвигатели серии 4А** по сравнению с двигателями серий А2, А02 и АОЛ2 более совершенны и предназначены для их замены в ближайшие годы. Преимущества их следующие: масса двигателей по сравнению с двигателями А2, А02 уменьшена в среднем на 18%; меньшие габариты; меньшие высоты оси вращения; большие пусковые моменты; меньший уровень воздушного шума и вибрации; удобство монтажа; повышенная надежность.

Шкала мощностей и установочные размеры соответствуют рекомендациям Международной электротехнической комиссии (МЭК). По степени защиты предусмотрены два исполнения: закрытое обдуваемое (1Р44) и защищенное (1Р23).

Обозначение типа электродвигателя расшифровывается следующим образом. Например, 4АХ90LА2: 4 — номер серии; А — асинхронный; Н — защищенный 1Р23 (для 1Р44 обозначения не дается); А — алюминиевые станина и щиты; Х — алюминиевая станина и чугунные щиты (если станина и щиты чугунные, обозначение не дается); 90 — высота оси вращения; SM, L — установочные размеры по длине корпуса согласно МЭК; А, В — длина сердечника; 2 — число полюсов. Электродвигатели рассчитаны на работу при температуре окружающей среды от  $-20$  до  $+40$  °С и относительной влажности воздуха до 80 % при температуре  $+25$  °С.

## Электродвигатели единой серии АЗ и АОЗ

Электродвигатели серии АЗ относятся к единой серии асинхронных трехфазных электродвигателей, имеющих брызгозащищенное (1Р22/23) исполнение, предназначены для механизмов работающих в закрытых помещениях с нормальной атмосферой при температуре окружающего воздуха до +40°.

Электродвигатели АЗ имеют короткозамкнутые роторы. Буква Л обозначает защищенное исполнение, цифра после буквы — серию; следующие цифры — габарит машины (высоту оси вращения); буква S (M) после цифр - длину двигателя, следующая цифра - число полюсов.

Электродвигатели ЛОЗ также относятся к единой всесоюзной серии асинхронных трехфазных двигателей, имеющей по сравнению с существующими ряд преимуществ: меньшую массу на единицу мощности; меньшие габариты; повышенные энергетические показатели; соответствие установочных размеров рекомендациям МЭН и СЭВ; высокую эксплуатационную надежность. Двигатели выполняются с применением новых прогрессивных изоляционных материалов. Конструкция подшипникового щита предусматривает замену смазки без разбора подшипникового узла.

Исполнение двигателей закрытое (1Р44). Электродвигатели предназначены для привода вентиляторов, дымососов, насосов и другого оборудования, установленных в помещениях с запыленной, химически неагрессивно и невзрывоопасной средой, и рассчитаны на работу при температуре окружающей среды от -20 до 40 °С.

Буквы ЛО обозначают закрытое обдуваемое исполнение, цифра после букв - серию; следующее число - высоту оси вращения, буква S (M) после цифр — длину двигателя, цифра после этой буквы — число полюсов.

Скорость нарастания температуры обмоток статора в режиме короткого замыкания для двухполюсных двигателей - не более 7 %, а для двигателей других частот вращения — не более 6 %.

Двигатели имеют твердую шкалу мощностей, аналогичную серии Л2 и Л02. Пределы мощностей и соответствующие им габариты указаны в табл. 8.3. Исполнение двигателей по способу монтажа новой серии такое же, как и двигателей Л2 и Л02.

Таблица 8.3. Пределы мощностей и соответствующие им габариты асинхронных двигателей серии А3 и А03

Частота вращения (синхронная), мин <sup>-1</sup>	Мощность, кВт	Габариты
3000	0,8...100	0...9
1500	0,6...100	0...9
1000	0,4...75	0...9
750	3,0...55	4...9
600	17,0...40	8...9

#### 8.4. Специальные электродвигатели

**Электродвигатели А02...СХ.** Сельскохозяйственное исполнение распространяется на закрытые обдуваемые электродвигатели с 3-го по 7-й габарит единой серии.

Электродвигатели предназначены для привода сельскохозяйственных машин и механизмов, рассчитаны для работы при температуре окружающей среды от -45 до +40 °С, относительной влажности воздуха до 98 % при +20°.

Электродвигатели могут работать в помещениях, длительно содержащих в воздухе химически активные примеси: аммиака - до 0,03, сероводорода - до 0,03, углекислого газа - до 14,7 г/м<sup>3</sup>.

Возможно кратковременное увеличение концентрации аммиака до 0,09 г/м<sup>3</sup>. Допускаются облив электродвигателей дезинфицирующими растворами и пребывание их в среде аэрозолей.

Электродвигатели изготавливаются на напряжение 380 В, частотой 50 Гц. Они могут длительно работать при пониженном напряжении до 90 и 80 % от номинального значения со снижением мощности соответственно на 5 и 15 %.

При снижении напряжения сети до 80 % от номинального значения электродвигатели обеспечивают работу с сохранением на валу момента, равного номинальному, в течении 6 мин.

Обозначения топов электродвигателей соответствуют для двухполюсных машин - единой серии А02, для четырех- и шести полюсных 3-го и 4-го габаритов - также Л02, а для 5...7-го габарита - АОП2 с добавлением во всех случаях индекса «СХ» после обозначения полюсности, например: А02-31-2СХ-А 02-31-6СХ; АОП2-51-4СХ.

**Электродвигатели Да...С.** Электродвигатели сельскохозяйственного исполнения Да...С предназначены для привода сельскохозяйственных машин и механизмов. Электродвигатели выпускают в химически влаго морозостойком исполнении для работы при температуре окружающей среды от -45 до +40 °С, относительной влажности до  $95 \pm 3$  % при температуре 35 °С. Они рассчитаны на возможное попадание воды и снега, длительное содержание химически активных примесей в воздухе (аммиак - 0,03, сероводород - 0,03, углекислый газ - 14,7 г/м<sup>3</sup>).

Электродвигатели сельскохозяйственного назначения имеют монтажное уплотнение на валу, предотвращающее проникновение внутрь воды и пыли; обеспечивают устойчивость против струн дезинфицирующего раствора из шланга диаметром до 10 мм, под давлением до 0,15 МПа, с расстояния не ближе 1 м в течение 2 мин; против воздействия аэрозолей продолжительностью до 24 ч (с последующим обмывом электродвигателя); при эксплуатации в окружающей среде, содержащей до 1,10 г/м<sup>3</sup> летучей соломистой или хлопьевидной пыли.

Промышленность выпускает проверенные, испытанные и готовые к установке электродвигатели. Распаковывать их следует только в помещении, предназначенном для их установки или хранения. В холодное время года электродвигатели нужно выдержать в помещении до принятия им температуры окружающего воздуха и только после этого приступать к распаковке, очистке от пыли и проверке состояния свободного конца вала.

Хранят электродвигатели в чистом и сухом помещении при температуре воздуха не ниже 5°.

### **Электродвигатели серии 4А сельскохозяйственного назначения**

Электродвигатели серии 4А сельскохозяйственного назначения выполняют мощностью до 30 кВт при синхронных частотах вращения 3000, 1500 и 1000 мин<sup>-1</sup> на напряжение 380 В. Шкала мощностей и увязка последних с установленными размерами соответствуют основному исполнению электродвигателей серии 4А с высотами вращения 160 и 180 мм.

Двухполюсные электродвигатели выполняют на базе серии 4Л основного исполнения, четырех- и шести полюсные - на базе электрической модификации основного исполнения серии 4А с повышенным пусковым моментом. Все электродвигатели сельскохозяйственного назначения имеют повышенные моменты, что обеспечивает запуск их при полной загрузке производственного механизма, запуск и устойчивую работу при пониженном напряжении.

Все двигатели выполняют в закрытом обдуваемом исполнении, с чугунными ребренными корпусами и чугунными подшипниковыми щитами.

В электродвигателях применены обмоточные и установочные провода, пропиточные и лакокрасочные материалы, антикоррозионные покрытия, стойкие к воздействию повышенной влажности, агрессивных сред животноводческих помещений, дезинфицирующих растворов и аэрозолей.

По показателям надежности и долговечности, виброакустическим характеристикам, эстетическому оформлению электродвигатели сельскохозяйственного исполнения соответствуют общей серии 4А.

### **8.5. Наладка и испытание асинхронных электродвигателей напряжением до 1000 В с короткозамкнутым ротором**

Электропривод — электромеханическое устройство, посредством которого осуществляется движение рабочих органов производственного механизма. Электрическая часть электропривода состоит из электродвигателя и

электрической аппаратуры, включенной по той или иной схеме. С помощью электроаппаратуры управляют электродвигателем, а через него и движением рабочих органов механизма.

Механическая часть может иметь в своем составе ряд элементов, как, например, редукторные передачи, преобразователи движения, коробки скоростей, муфты сцепления и т. п.

Электроприводы делятся на три группы:

- групповой привод;
- однодвигательный привод;
- многодвигательный привод.

Групповой привод представляет собой такую систему, при которой один электродвигатель приводит в движение группу производственных машин.

Однодвигательный привод — система, при которой каждая машина приводится в движение отдельным, связанным только с ней электродвигателем.

Многодвигательный привод — система, при которой каждый рабочий орган приводится в движение отдельным электродвигателем. Для многодвигательного привода характерно наличие того или иного вида связи между его отдельными электродвигателями.

Цены на наладку электроприводов изменяются в зависимости от категорий сложности схем управления.

**Первая категория сложности.** Схема - с дистанционным управлением, с помощью магнитного пускателя, контактора или автомата.

**Вторая категория сложности.** Схема - с дистанционным управлением, с контроллерной или контакторно-релейной аппаратурой, с количеством блокировочных цепей до 5.

**Третья категория сложности.** Схема — с дистанционным управлением, функциональной или защитной контакторно-релейной аппаратурой (конечные и путевые выключатели, реле, датчики и другие, требующие настройки или регулировки), с пуском или работой в функции пути, времени и других

параметров либо с торможением электрическим или механическим, с количеством блокировочных цепей до 10.

Под блокировочной цепью в схеме следует понимать электрическую цепь, состоящую из одной пары контактов или любого элемента аппарата, прибора или устройства и двух проводов, посредством которых осуществляется зависимость работы данной схемы от работы другой схемы или отдельных аппаратов, приборов, устройств, не входящих в рассматриваемую схему. Блокировочные связи внутри одной схемы между отдельными аппаратами не входят в расчет количества блокировочных цепей, определяющих сложность схемы.

До начала наладочных работ необходимо ознакомиться с актом ревизии электродвигателя, представляемым монтажной организацией.

При первом включении после монтажа или капитального ремонта электродвигателя производят: внешний осмотр; проверку схемы соединения обмоток; измерение сопротивления постоянному току; измерение сопротивления изоляции; испытание электрической прочности изоляции обмоток повышенным напряжением промышленной частоты; пробный пуск двигателя; проверку работы электродвигателя на холостом ходу под нагрузкой.

При периодических проверках выполняют следующее: внешний осмотр, измерение сопротивления изоляции, испытание электрической прочности изоляции, проверку работы электродвигателя под нагрузкой.

После окончания всех наладочных работ составляют протокол испытаний и дают заключение о пригодности электродвигателя для эксплуатации.

**Примечание.** По изложенной программе испытывают электродвигатели переменного тока напряжением ниже 1000 В, мощностью до 300 кВт.

### **Внешний осмотр**

При внешнем осмотре проверяют:

- соответствие паспортных данных электродвигателя проекту и механизму;
- наличие всех деталей;



- отсутствие механических повреждений корпуса, выводной коробки, устройств охлаждения;
- отсутствие повреждения подводящих проводов (обрывов, изломов, нарушений изоляции и т. д.);
- отсутствие каких-либо заеданий, царапин, ударов и т. п. при вращении вала от руки;
- наличие заземляющей проводки от электродвигателя до места присоединения к общей сети заземления;
- правильность внутренних соединений обмоток (звезда или треугольник),

**Проверка схемы соединения обмоток.** Статоры большинства двигателей переменного тока имеют шесть выводов, соответствующих началам и концам фазных обмоток. Предписанные стандартом обозначения выводов приводятся в табл. 8.4.

Таблица 8.4. Обозначение выводов обмоток статора

Фаза	Обмотка статор	
	начало	конец
I	C1	C4
II	C2	Cо
III	C3	C6

В малых трехфазных асинхронных машинах, где буквенное обозначение выводимых концов затруднено, допускается применение обозначений концов разноцветными проводами в соответствии с табл. 8.5

Таблица 8.5. Обозначение выводов обмоток статора цветными проводами

Схема соединения обмотки	Число выводов	Вид вывода	Цвет вывода	
			начало	конец
Открытая	6	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза	Желтый Зеленый Красный	Желтый с черным Зеленый с черным Красный с черным

«В звезду»	3 или 4	Первая фаза Вторая фаза Третья фаза Нулевая фаза	Желтый Зеленый Красный Черный	- - - -
«В треугольник»	3	Первый зажим Второй зажим Третий зажим	Желтый Зеленый Красный	- - -

Обычно выводы всех фаз статорной обмотки присоединяют к зажимам, как указано на рисунке 8, а. Приведенная конструкция дает возможность получить соединение «в звезду» при горизонтальном расположении перемычек (рис. 8, б) и соединение «в треугольник» при их вертикальном расположении (рис. 8, в).

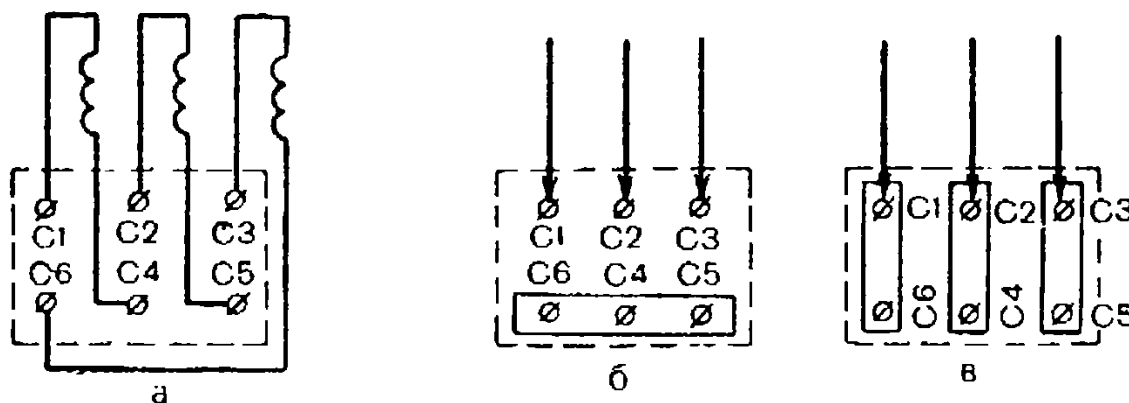


Рис. 8.1. Выводы обмоток статора электродвигателя: а - схема присоединения обмоток к выводным зажимам; б - включение обмоток статора «в звезду»; в - включение обмоток статора «в треугольник»

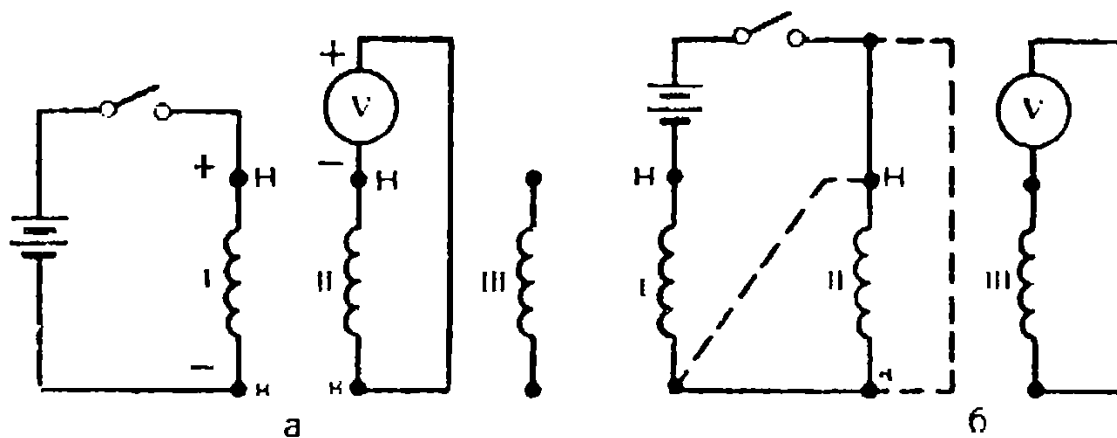


Рис. 8.2. Проверка маркировки выводов статора с помощью источника постоянного тока: а - при раздельном включении обмоток; б - то же, при парном включении; I, II, III - обмотки статора

В некоторых машинах обмотки статора соединены «в звезду» наглухо, и на доску зажимов выведено только четыре вывода: фазы С1, С2, С3 и нулевая точка 0. Выводы фазного ротора обозначают буквами Р1, Р2, Р3.

У асинхронных двигателей с переключаемым числом полюсов выводы секционированных обмоток обозначают дополнительными цифрами спереди прописных букв; цифра указывает число полюсов машины при данном соединении. Обозначения даны в таблице 23.

Таблица 8.6. Обозначение выводов секционированных обмоток асинхронных двигателей

Секционированные обмотки		Двухскоростные двигатели	
первая	вторая	для четырех	для восьми
		полюсов	полюсов
1С1	2С1	4С1	8С1
1С2	2С2	4С2	8С2
1С3	2С3	4С3	8С3
1С4	2С4	4С4	8С4
1С5	2С5	4С5	8С5
1С6	2С6	4С6	8С6

При отсутствии маркировки концов обмоток взаимную их согласованность проверяют индуктивным методом на постоянном или переменном токе. У крупных машин согласованность обмоток рекомендуется проверять даже при наличии заводской маркировки. Предварительно определяют полярность концов и находят парные выводы каждой фазы.

### Метод проверки напряжением постоянного тока

Маркировку выводов проще всего проворить или определить с помощью аккумуляторов (или сухого элемента) и вольтметра. Батарею включают импульсом на одну из фаз, как показано на рис. 8.2, а, к другим фазам поочередно подсоединяют вольтметр.

Путем присоединения выводов подбирают такое включение вольтметра, при котором в момент подачи напряжения от батареи стрелка прибора дает

отклонение вправо. В этом положении против полюса батареи и минуса вольтметра находятся начала фазных обмоток. Для контроля переносят батарею на другую фазу и повторяют опыт.

Дополнительно проверяют маркировку выводов в спорных или ответственных случаях также с помощью батареи и вольтметра, но при парном включении фаз (рис. 8.2, б). Две фазы соединяют последовательно (попарно) между собой и импульсами включают на батарею. К третьей фазе подсоединяют вольтметр. Если первые две фазы соединены одноименными зажимами (как указано на рисунке (8.2, в) сплошными линиями), вольтметр не будет реагировать на включение батареи. При соединении фаз разноименными зажимами (пунктирные линии) в моменты включения и отключения батареи стрелка вольтметра будет давать отклонения.

**Метод проверки напряжением переменного тока.** Две произвольные фазы статора соединяют последовательно и включают на пониженное напряжение сети переменного тока (рис. 8.3). При отсутствии пониженного напряжения можно последовательно с обмотками включить реостат или лампу. На третью свободную фазу подключают вольтметр переменного тока или лампу. Если первые две фазы соединены одноименными выводами (на рисунке указано сплошными линиями), то вольтметр (или лампа) покажет отсутствие напряжения на третьей фазе. При соединении двух фаз равноименными зажимами (пунктирные линии) вольтметр или лампа покажет наличие напряжения. Аналогично определению взаимного соответствия выводов первых двух фаз маркируют выводы третьей фазы.

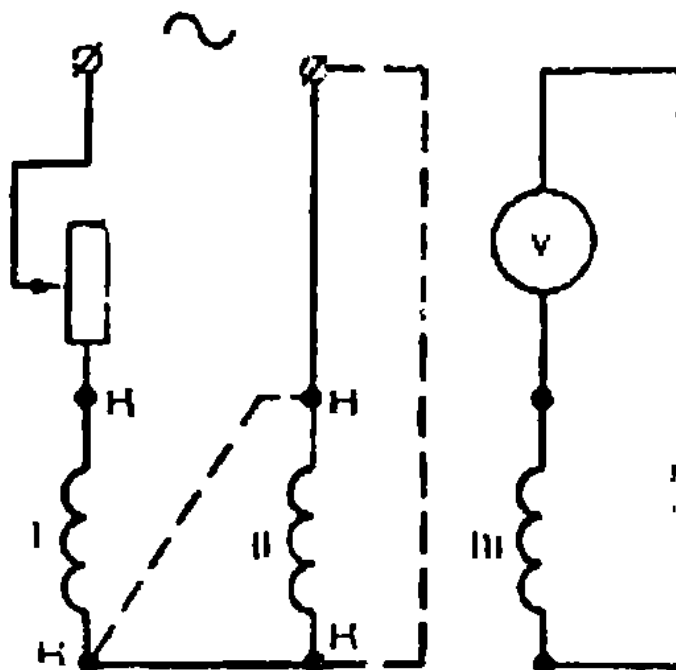


Рис. 8.3. Проверка маркировки выводов статора с помощью источника переменного тока: I, II, III — обмотки статора

**Определение начала и конца разных обмоток электродвигателей при помощи стенда МИИСП.** Для определения выводов обмоток статора асинхронных электродвигателей при помощи стенда сначала находят пофазно выводы обмоток. Для этого один вывод подключают к общей клемме постоянного тока «+общ.», а остальные - поочередно к клемме «-4В».

По наличию тока в цепи судят о принадлежности обоих выводов к общей фазе. На этих выводах закрепляют бирки  $C_1$  и  $C_2$  (начало и конец первой фазы). Аналогично определяют выводы второй фазы. Оставшиеся выводы будут принадлежать третьей фазе. Не снимая с клемм стенда выводов второй фазы, устанавливают напряжение 1...2 В.

Вывод обмотки, присоединенной к клемме «+ общ.», сразу маркируют как начало второй фазы  $C_3$ , а вывод на минусовой клемме — как конец  $C_5$ . По выводам первой фазы, а затем третьей подключают милливольтметр стенда. При включении стенда в обмотке, подключенной к милливольтметру, будет индуцироваться электродвижущая сила того же направления, что и во второй фазе, то есть плюс будет на начале, а минус на конце обмотки. При отклонении стрелки милливольтметра вправо, вывод которой был соединен с клеммой

« + общ.», помечают  $C_1$ , а с минусом —  $C_4$ . Аналогично определяют выводы третьей фазы.

### **8.6. Измерение сопротивления постоянному току и изоляции**

Согласно ПУЭ, измерение сопротивления обмоток электродвигателей напряжением до 1000 В постоянному току не требуется. Измеряют сопротивление постоянному току реостатов и пускорегулировочных сопротивлений, а также общее сопротивление и целостность отпаяк. Величина сопротивления должна отличаться от паспортных данных не более чем на 10% от средней величины.

**Измерение сопротивления изоляции.** Электроизоляционные материалы применяют для изоляции проводников обмотки одни от другого, между фазами и относительно земли (корпуса) Выбор изоляционных материалов для изоляции обмоток определяется условиями работы машины и свойствами изоляционных материалов.

Наиболее важное свойство этих материалов — электрическая прочность, которая определяется пробивным напряжением и выражается в киловольтах на 1 мм толщины изоляционного материала. Если изоляция состоит из отдельных слоев различных материалов, то напряжение, действующее на такую изоляцию, распределяется по слоям неравномерно. Может оказаться, что один из слоев, на который приходится наибольшее напряжение (на единицу толщины), будет пробит. В частности, из-за неплотного прилегания слоев изоляции образуются прослойки воздуха, пыль и влага которые под воздействием напряжения ионизируются, что приводит к постепенному разрушению соседних слоев изоляции.

Места, где секции обмотки выходят из пазов машины, являются более слабыми, так как, кроме неравномерной электрической нагрузки, в этом месте наиболее часты механические повреждения изоляции.

Важной характеристикой изоляционных материалов является их теплостойкость, то есть способность электроизоляционных материалов и

наделяй выдерживать кратковременное и длительное воздействие высокой температуры, а также резкие смены температур.

Таким образом, сопротивление изоляции машины зависит от качества и свойств изоляционных материалов; толщины и поверхности изоляции между частями машины, находящимися под напряжением, и корпусом машины; содержания влаги в изоляции, температуры и т. д. Все это приводит к тому, что сопротивление изоляции не будет постоянным и не всегда может служить совершенно достаточным критерием для установления состояния изоляции и степени ее надежности.

Однако сопротивление изоляции характеризует электрическую прочность, которую необходимо знать перед основными испытаниями. Измерение сопротивления изоляции должно предшествовать испытанию электрической прочности изоляции повышенным напряжением.

При проведении пусконаладочных работ сопротивление изоляции обмоток каждой фазы измеряется по отношению к заземленному корпусу и двум другим заземленным фазам.

При профилактической проверке сопротивление изоляции может быть измерено без отключения обмоток друг от друга совместно с подводными проводниками; обмотки отключают от схемы только при необходимости определения мест с пониженной изоляцией.

Согласно ПУЭ, сопротивление изоляции обмоток статора электродвигателей до 1000 В должно быть не менее 0,5 МОм при температуре 10...30 °С.

Во время наладки нормы контроля изоляции должны согласовываться с последними инструкциями и действующими правилами.

Сопротивление изоляции обмоток электродвигателя измеряют мегомметром на напряжение 1000 В следующим образом.

Зажим экрана мегомметра присоединяют к корпусу машины; от второго зажима гибкий провод с надежной изоляцией (типа магнето) подводят к выводу обмотки, коллектору или иному испытываемому элементу машины. Ручку мегомметра следует вращать со скоростью примерно 120 об/мин. При

испытании небольших машин, имеющих незначительную емкость, стрелка прибора быстро устанавливается в положение, соответствующее сопротивлению изоляции, и отсчет производят уже через несколько секунд от начала вращения индуктора. По окончании испытания сохранившийся на обмотке потенциал высокого напряжения снимают путем ее заземления на 1...2 мин. Заземляющий проводник сначала надежно присоединяют к корпусу машины, а затем другим концом подводят к выводу обмотки.

При пользовании мегомметром необходимо соблюдать установленные правила техники безопасности. Особую осторожность проявляют при испытании изоляции обмоток без отсоединения подводящих проводов, ибо в этом случае возможно возникновение напряжения на удаленных участках, где работают люди.

Сопротивление изоляции желательно измерять при нагретых машинах; следует иметь в виду, что замеры, выполненные при температуре ниже 10 °С, совершенно не показательны.

Сопротивление изоляции машины резко снижается по мере ее нагревания; степень снижения зависит от сорта изоляционных материалов, сорта применяемого при пропитке обмоток компаунда и конструктивных особенностей.

По опыту наладки нового, вводимого в эксплуатацию оборудования сопротивление изоляции машин, измеренное при температуре около 20 °С, как правило, значительно превышает 0,5 МОм и находится в пределах от 5 до 100 МОм.

Падение сопротивления изоляции обмоток ниже указанных значений вызывается разными причинами: проникновением в толщу изоляции влаги, поверхностной влажностью или оседанием токопроводящей пыли на выводах, обмотках и коллекторе машины.

В этих случаях рекомендуется продуть машину, почистить салфетками выводы обмоток и повторно измерить сопротивление изоляции. Если окажется, что очистка деталей не помогла, нужно произвести поверхностную сушку



обмоток и их выводов с помощью воздуходувки, а затем провести контрольное измерение сопротивления изоляции.

Как правило, электрические машины мощностью до 100 кВт и напряжением до 380 В включают без сушки даже в тех случаях, когда сопротивление изоляции их менее 0,5 МОм.

Из практики эксплуатации известно, что асинхронные двигатели вспомогательных приводов, включающиеся иногда при сопротивлении изоляции 100 КОм и ниже, в ходе работы постепенно подсушивались и затем служили много лет. Однако включение при пониженном сопротивлении изоляции машин, не прошедших испытания повышенным напряжением, допустимо только в тех случаях, когда имеются запасные машины и стоимость подвергаемой риску машины намного ниже технико-экономических потерь из-за простоев оборудования.

Показания мегомметра зависят от длительности приложения напряжения к обмоткам. В упрощенной форме это явление можно объяснить следующим образом: при неувлажненной изоляции во время подачи напряжения емкость машины постепенно заряжается, ток зарядки (ток утечки) снижается и мегомметр показывает увеличение сопротивления изоляции. В случае увлажненной изоляции II при наличии каких-либо токопроводящих дорожек (например, по слою пыли или по каналу пробоя) показания мегомметра быстро устанавливаются и перестают возрастать. На основании обобщения опыта наладки и эксплуатации асинхронные двигатели с номинальным напряжением до 500 В могут быть включены (кратковременно) при минимальных показаниях мегомметра, приведенных в табл. 8.7.

Таблица 8.7. Минимальные показания мегомметра для включения асинхронных двигателей

P, кВт	0,3	0,3...2.0	2...20	40...200		
t, °C	20	20	20	20	40	60
R, КОм	100	10	50	400	100	10

Примечание. Здесь  $t$  — минимальная температура, при которой должно оцениваться сопротивление изоляции.

При низких показателях сопротивление изоляции обмоток должно контролироваться после каждого кратковременного включения двигателя, а в случае дальнейшего снижения сопротивления изоляции (не связанного с нагревом) повторные включения необходимо прекратить и просушить машину.

Минимальный норматив 10 кОм указан для машин мощностью 0,3...2 кВт. Этот норматив, взятый из практики, является очень низким, и включать двигатели при таком сопротивлении изоляции допустимо только в тех случаях, когда из-за них задерживается пуск ответственных агрегатов. Включать рекомендуется на 5...20 с, а затем на 2...5 мин с последующей проверкой изоляции. Подобные включения (если это допускает механизм) желательно повторить несколько раз. Изоляция должна улучшиться вследствие вентиляции и частичного прогрева током.

Машины очень малых мощностей (меньше или равных 0,3 кВт) имеют обычно относительно слабую изоляцию, чувствительную к токам утечки; кроме того, такие машины легко высушиваются с помощью рефлекторов (мощностью 60 Вт) или вентиляторов (до 50 Вт). По указанной причине для микромашин нижний норматив составляет 100 КОм.

Для машин мощностью 40...200 кВт даны три контрольные температуры 20, 40, 60 °С. Наиболее показательными являются измерения при повышенных температурах (00° и более). Поэтому машины ответственных и малодоступных механизмов (например, крановых приводов) желательно специально нагревать воздуходувками до 30° и испытывать при таких температурах. Вместе с тем опыт показывает, что двигатели напряжением 380 В, мощностью до 200 кВт можно испытывать и при меньших температурах (10 и 20 °С), для которых даны соответствующие нормативы сопротивления изоляции.

### **8.7. Испытание электрической прочности изоляции обмоток**

Испытание машин на заводах изготовителях, а также после перемотки в электроремонтных цехах производят повышенным напряжением переменного тока промышленной частоты синусоидальной формы и строго нормированной величины. На месте монтажа испытывать повышенным напряжением машины, входящие в схему электропривода, по нормам ПУЭ не обязательно; выполняют только по усмотрению заказчика. Испытания проводят в течение 1 мин напряжением, равным 80% испытательного напряжения, которым испытывался электродвигатель на заводе-изготовителе.

Изоляция обмоток машин имеет большой запас прочности, и для нее испытание повышенным напряжением является безвредным. Пробои изоляции новых машин при включении на рабочее напряжение бывают очень редко, поэтому организация испытаний высоким напряжением может быть оправдана только в случае длительного хранения в сыром помещении или при сборке машины на месте монтажа.

Испытания повышенным напряжением производят по окончании всех монтажных и наладочных работ, предшествующих пробному пуску. Перед началом испытаний убеждаются, что показатели увлажненности обмоток машины удовлетворяют нормам.

Каждую обмотку статора испытывают относительно корпуса и двух других заземленных обмоток на полностью собранном электродвигателе.

У электродвигателей, не имеющих выводов каждой фазы в отдельности, допускается испытание всей обмотки относительно корпуса.

Для испытаний рекомендуется пользоваться переносной установкой ИВК, позволяющей изменять напряженно в пределах 0...2000 В.

#### **Правила пользования установкой ИВК**

1. Работа с установкой ИВК допускается при соблюдении условий, предусмотренных правилами техники безопасности при производстве работ в устройствах и на оборудовании напряжением выше 1000 В.

2. Работают с установкой два лица.
3. Перед включением установку заземляют.
4. Выходные клеммы 0...2000В соединяют специальным кабелем с испытуемым объектом.
5. Клеммы 220В соединяют с сетью переменного тока 220В или с соответствующим выходом регулятора напряжения.
6. Клеммы 0...250В соединяют с соответствующими клеммами регулятора напряжения.
7. Рукоятку регулятора «Напряжение» устанавливают в крайнее положение, соответствующее напряжению на выходе 0 В.
8. Включают регулятор напряжения в сеть, при этом должна загореться зеленая сигнальная лампа, указывающая, что напряжение подано на цепи управления приставки.
9. Устанавливают переключатель (И—Т) в положение «И» для измерения выходного напряжения приставки, нажимают кнопку «Пуск» (КЗ), при этом должна загореться красная сигнальная лампа, указывающая, что трансформатор включен.
10. Удерживая кнопку (КЗ) «Пуск» в нажатом положении плавно поворачивают рукоятку регулятора напряжения и устанавливают по киловольтметру испытательное напряжение. Переводят переключатель (II—I) в положение «I» для измерения тока утечки и следят за током утечки.
11. При повышенных токах утечки (более 125 мА) или пробое изоляции испытуемого объекта установка автоматически отключается. Повторно включают установку по п.п. 7, 8, 9 и 10 «Правил пользования».
12. По окончании испытания установку отключают от питающей сети.

Испытание производит квалифицированный наладочный персонал в присутствии представителей монтажной организации и заказчика, в ответственных случаях желательно также присутствие представителя завода - изготовителя машины. Перед испытанием проверяют сопротивление изоляции мегомметром. Поднимают напряженно плавно или ступенями, не превышаю-

щими 5% полного значения; время повышения испытательного напряжения от половинного до полного - не менее 10 с. Продолжительность испытания полным напряжением — 1 мин. Снижают напряжение также постепенно до значения не более 1/3 испытательного, после чего установку отключают. По окончании испытания обмотку разряжают, соединив её с корпусом машины. И вновь проверяют сопротивление изоляции мегомметром.

Машину можно считать выдержавшей испытание, если в течение минуты не произойдет пробоя или частичного нарушения изоляции, что может быть выявлено показаниями приборов, а также внешними признаками: по выделению дыма, специфического запаха и звука, напоминающего шелест, или визуальным наблюдением искры на поверхности изоляции.

В случае полного пробоя изоляции испытательную установку отключает автомат. Вероятность пробоя изоляции может быть обнаружена по непрерывному возрастанию тока утечки во время поддержания испытательного напряжения (1 мин). В этом случае испытание приостанавливают и внимательно обследуют обмотку машины.

### **Пробный пуск двигателя**

По окончании наладочных работ по проверке и испытанию аппаратов, схем управления и испытанию неподвижного электродвигателя производят пуск последнего. При первой включении электродвигателя на 2...3с проверяют направление вращения, состояние ходовой части, надежность действия отключающих устройств.

Кратковременно включение повторяют 2...3 раза, постоянно увеличивая длительность включения во всех случаях получения сигнала о неисправностях схемы управления машины или механизма привода наладчик обязан без предупреждения отключить двигатель.

## Проверка электродвигателя на холостом ходу и под нагрузкой

Проверку на холостом ходу производят при отсоединенном механизме. В случае невозможности отсоединения, проверяют при ненагруженном механизме.

Сила тока холостого хода не нормируется. Продолжительность проверки – 1 ч.

В некоторых случаях при наладке возникает необходимость проверки тока холостого хода электродвигателя, который определяют по формуле:

$$I_{x,x} = I_n / \sin \varphi_n - (\cos \varphi_n / 2 \mu_n),$$

где  $\mu_n = M_{\max} / M_n$  находится в пределах 1,7...2,2

Одновременно проверяют нагревание подшипников, обмоток в доступных местах и стали, отсутствие заметной вибрации, характер шума подшипников.

После проверки на холостом ходу, переходит к проверке под нагрузкой. При этом контролируются токи в каждой фазе. Проверяют при мощности, потребляемой электродвигателем из сети. При этом для электродвигателей с регулируемой скоростью вращения определяют пределы регулирования.

Для обеспечения нормальной работы электродвигателя поддерживают напряжение на шинах в пределах от 100 до 105% номинального. Допускается работа электродвигателя при отклонении напряжения от 5 до 10% номинального, при этом ток статора не должен превышать номинального более чем на 5 %.

После пробного включения на 20...30 мин приступают к включению двигателя с механизмом на обкатку. Обкатка, производимая в течение 8 ч или более, служит для шлифовки подвижных связей механизмов, выявления слабых мест схемы управления и проверки электрооборудования на нагревание. В отличие от предыдущих пусков режим испытания при обкатке диктуется механиками, производившими монтаж технологической части установки.

Двигатели, допускающие только повторно-кратковременный режим работы (например, крановые и металлургические), соединенные обычно с

механизмами, имеющими ограниченный ход, обкатывают по специально составленному графику или в условиях эксплуатации.

### **Контрольные вопросы**

1. Особенности электродвигателей сельскохозяйственного назначения.
2. Какой должна быть минимальная масса фундамента для установки электродвигателя?
3. Какие режимы работы электродвигателей вы знаете?
4. Как испытывается прочность изоляции электрических двигателей?
5. Порядок проверки электродвигателей на холостом ходу и под нагрузкой.
6. Как производится проверка маркировки выходных концов обмотки статора?

## **9. НАЛАДКА ЦЕПЕЙ И АППАРАТОВ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В**

### **9.1. Общие понятия об электрических цепях**

Нормальная работа электрооборудования и всей электроустановки зависит не только от качества и состояния электрооборудования, но и от электрических соединений, связывающих электрооборудование данной электроустановки в единую систему. Благодаря этим соединениям образуются электрические цепи — первичные (силовые), которые включают первичное оборудование, и цепи вторичной коммутации, в которые входит оборудование вторичной коммутации.

Первичные цепи служат для осуществления энергетических функций: производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии; цепи вторичной коммутации — для контроля за работой основного (первичного) оборудования и управлении режимом его работы. Воздействие цепей вторичной коммутации на первичные цепи осуществляется через элементы непосредственного управления соответствующим первичным оборудованием (обмотки управления электрических машин и электромагнитных аппаратов, управляющие электроды электронно-ионных и полупроводниковых приборов, приводы коммутационных аппаратов и др.). Информация о состоянии первичной цепи поступает во вторичную цепь через первичные преобразователя (измерительные трансформаторы, блок-контакты коммутационных аппаратов, датчики).

Наиболее наглядно электрические цепи изображают на чертежах в виде принципиальных схем, на которых все элементы электрической цепи имеют условные обозначения в соответствии с ЕСКД.

Схемы первичных цепей энергетических установок чаще всего бывают однолинейные и трехлинейные, схемы вторичной коммутации - совмещенные и развернутые. При наладочных работах применяют преимущественно принципиальные однолинейные схемы первичных цепей и развернутые схемы вторичных цепей.



Кроме того, применяют схемы внутренних соединений, относящиеся к электрическим цепям внутри отдельных конструктивно-обособленных частей электроустановки (аппаратов, щитовых панелей, блоков), и схемы внешних соединений, относящиеся к электрическим цепям, расположенным между частями электроустановки, и заканчивающиеся на их выводных зажимах. Первые бывают как принципиальные, так и монтажные, а вторые - только монтажные.

Цепи вторичной коммутации обычно намного сложнее первичных цепей, поскольку они содержат значительно большее количество элементов. Поэтому проверка цепей и аппаратов вторичной коммутации составляет основной объем работ при проверке электрических цепей наладиваемой электроустановки.

**Терминология.** При наладке аппаратов низкого напряжения принято пользоваться следующими терминами:

- номинальный ток аппарата - ток, определяемый условиями нагрева главной цепи аппарата в его основном номинальном режиме. Иногда, например, по условиям коммутации, номинальный ток устанавливается меньшим, чем допустимо по нагреву;
- номинальный рабочий ток аппарата — определяемый применением аппарата в данных условиях;
- номинальное напряжение главной цепи аппарата - наибольшее напряжение, для работы при котором предназначен аппарат;
- номинальное рабочее напряжение - напряжение сети, в которой в данных условиях может работать аппарат;
- номинальное напряжение по изоляции - напряжение, по которому выбирают напряжение для испытания изоляции, а также расстояния между частями аппарата;
- втягивание, отпадание - действие аппарата, при котором якорь электромагнитной системы перемещается из одного крайнего положения в другое;

- напряжение (ток) втягивания — значение повышающегося напряжения (тока) катушки электромагнита, при котором начинается (и должно полностью закончиться) притягивание якоря;
- напряжение (ток) отпадания — значение снижающегося напряжения (тока) катушки, при котором начинается (и должно полностью закончиться) отпадание якоря;
- выдержка времени — время от момента подачи команды в цепь управления до момента переключения контактов;
- уставка выдержки времени, тока, напряжения - значение заданной величины выдержки времени, тока или напряжения срабатывания;
- коэффициент возврата - отношение напряжения (тока) отпадания к напряжению (току) втягивания;
- ход якоря (сердечника) - расстояние в линейном измерении или угол поворота подвижной части электромагнита;
- воздушный зазор - расстояние между подвижной и неподвижной частями электромагнита (включая толщину металлической немагнитной прокладки и зазоры между неподвижными частями), измеренное по условной магнитной силовой линии, проходящей через ось сердечника;
- дугогасительная камера - часть аппарата, предназначенная для гашения электрической дуги и ограничения распространения ионизированных газов и пламени;
- дугогасительная камера с магнитным дутьем — дугогасительная камера с дутьем, в которой для перемещения дуги имеется катушка или постоянный магнит, создающие магнитное поле в зоне дуги;
- дугогасительная камера с узкой щелью - дугогасительная камера, у которой существенный фактор при гашении дуги - охлаждение ее стенками камеры;
- дугогасительная камера с депонной решеткой — дугогасительная камера, в которой существенным фактор при гашении дуги — разделение ее на

ряд последовательно соединенных коротких дуг, горящих между металлическими пластинами, образующими решетку;

- дугогасительные рога контактора — электроды, предназначенные для обеспечения движения в определенном направлении электрической дуги, возникающей на контактах контактора, и облегчающие ее гашение;
- магнитная система - совокупность ферромагнитных деталей контактора, предназначенная для локализации в ней основного магнитного поля;
- магнитопровод - магнитная система или ее часть в виде отдельной конструктивной единицы;
- сердечник - часть магнитопровода, имеющая обмотку;
- магнитный стержень - сердечник, имеющий форму призмы или цилиндра;
- ярмо - часть магнитопровода, не имеющая обмотки;
- полюс магнитопровода - часть магнитопровода, предназначенная для входа или выхода рабочего магнитного потока в окружающую немагнитную среду;
- немагнитный зазор - промежуток в магнитной цепи, не заполненный магнитным материалом;
- электромагнитный экран - часть контактора, предназначенная для получения заданного распределения магнитного поля, действие которого основано на использовании вихревых токов;
- демпферная обмотка - обмотка, предназначенная для получения заданного распределения магнитного поля, действие которого основано на использовании высокой магнитной проницаемости материала экрана;
- демпферная обмотка - обмотка, предназначенная для создания магнитного потока, противодействующего изменению магнитного потока, созданного другой обмоткой или постоянным магнитом;
- размагничивающая обмотка - обмотка, служащая для создания магнитного потока, уменьшающего магнитный поток, созданный другой обмоткой или постоянным магнитом:

- провал контакта - расстояние, на которое может сместиться контакт-деталь (подвижный или неподвижный.) при удалении одного из контактов-деталей, препятствующих перемещению другого контакта-детали после их соприкосновения;
- раствор контакта - кратчайшее расстояние между подвижным и неподвижным контактами-деталью в их разомкнутом положении;
- начальное нажатие контакта - контактное нажатие, действующее в момент начала касания или в момент начала расхождения коммутирующих контактов;
- конечное нажатие контакта - контактное нажатие, действующее в замкнутом положении коммутирующих контактов;
- механическая износостойкость контактора — способность контактора в определенных условиях выполнять определенное число операций без тока в цепи главных и свободных контактов, оставаясь после этого в состоянии, предусмотренном инструкцией;
- коммутационная износостойкость контактора— способность контактора выполнять в определенных условиях определенное число операции при коммутации его контактами цепей, имеющих заданные параметры, оставаясь после этого в предусмотренном состоянии;
- повторно - кратковременный режим аппарата - режим, при котором работа с постоянной нагрузкой, продолжающаяся менее чем необходимо для достижения аппаратом установившейся температуры при неизменной температура охлаждающей среды, чередуется с отключениями, во время которых он не успевает охладиться до температуры охлаждающей среды;
- продолжительность включения (ПВ) - отношение времени пребывания контактора, работающего и повторно-кратковременном режиме во включенном состоянии, к длительности цикла (обычно эта величина выражается в процентах).

В области тепловых реле применяют следующую терминологию:

- пограничный ток - минимальный ток, при котором данное реле в заданных условиях срабатывает при достаточно продолжительной перегрузке по достижении установившегося теплового состояния;
- ток уставки реле - наибольший ток реле, при котором в заданных условиях, несмотря на достаточно продолжительную нагрузку током и установившееся тепловое состояние, гарантируется несрабатывание реле;
- номинальный ток уставки - ток уставки в любом положении регулятора при номинальных условиях;
- номинальный ток теплового элемента - номинальный ток уставки реле с данными тепловыми элементами при нулевом положении регулятора уставки;
- номинальный ток реле - наибольший номинальный ток тепловых элементов, которые могут быть установлены в данном реле;
- тепловой элемент - орган реле (реагирующий на нагрев), состоящий из теплового термобиметаллического элемента и нагревателя. Тепловые элементы изготавливают на разные номинальные токи. В тепловых элементах сменной частью является нагреватель.

В области плавких предохранителей применяют следующую терминологию:

- основание предохранителя - несъемная часть плавкого предохранителя, имеющая выводы для включения в цепь. У резьбовых предохранителей основание - несъемная нижняя часть предохранителя;
- контакты основания - токоведущая часть основания, обеспечивающая электрическую связь контактов плавкой вставки с подводными проводами;
- плавкая вставка - часть предохранителя, в которой происходит отключение цепи, электрического тока, подлежащая замене после срабатывания предохранителя;
- контакты плавкой «ставки» - ее части, предназначенные для электрического соединения с контактами основания или непосредственно с подводными проводниками электрической цепи;

- плавкий элемент - часть плавкой вставки, расплавляющаяся при срабатывании предохранителя;
- указатель срабатывания - часть предохранителя, указывающая на его срабатывание;
- боек предохранителя - часть предохранителя, механически воздействующая на контакты вспомогательной цепи или расцепляющее устройство другого аппарата и обычно совмещаемая с указателем;
- корпус плавкой вставки - ее часть, в которой размещены детали. Широко применяют также термины «патрон» или «трубка»;
- наполнитель плавкой вставки - дугогасящее вещество, размещенное в плавкой вставке (обычно плавкий элемент полностью погружен в наполнитель);
- пропускаемый ток - максимальное значение тока, достигнутое при срабатывании предохранителя;
- ток плавления - мгновенное значение тока, соответствующее в процессе отключения моменту достижения узким перешейком плавкого элемента температуры плавления материала;
- напряжение отключения - мгновенное значение напряжения, которое появляется на выводах плавкой вставки или предохранителя в процессе его срабатывания (обычно интересуются наибольшим значением этого напряжения);
- время плавления - интервал времени от момента начала протекания сверхтока через предохранитель до момента достижения узким перешейком плавкого элемента температуры плавления материала (при этом имеется в виду, что сверхток имеет такое же значение, которое достаточно для расплавления плавкого элемента);
- преддуговое время - интервал времени от момента начала протекания тока через предохранитель до момента возникновения дуги (для многих предохранителей преддуговое время ненамного превышает время

плавления, но в тех случаях, когда ток идет долго по расплавленному металлу, преддуговое время и время плавления могут сильно отличаться);

- время дуги - интервал времени между моментом появления дуги и моментом ее окончательного погасания.

## 9.2. Требования к аппаратам защиты и вторичным цепям

**Аппараты защиты.** В сельскохозяйственном производстве средний срок службы электродвигателей - 3...4 года, то есть ежегодно выходит из строя 25...30% от общего количества работающих электродвигателей.

Главные условия надежной работы электродвигателей - правильный их выбор по исполнению в зависимости от условий окружающей среды и по нагрузке, а также надежная защита, то есть правильный выбор и настройка аппаратуры защиты, и в первую очередь от перегрузки (перегрева).

Для защиты электродвигателей от короткого замыкания и перегрузок применяют защиту, осуществляемую автоматическими выключателями с тепловыми и комбинированными расцепителями и магнитными пускателями со встроенными в них тепловыми реле, а также специальную встроенную температурную защиту.

Обследование состояния эксплуатации электродвигателей в хозяйствах показывает, что только 70...80% из них имеют в качестве пускозащитной аппаратуры автоматические выключатели и магнитные пускатели, а остальные - рубильники и пакетные выключатели.

Большой частью автоматические выключатели не защищают электродвигатели вследствие неправильного выбора и настройки защиты. Более 30% нагревательных элементов тепловых реле неправильно выбраны и не настроены. Для правильной и технически грамотной организации защиты электродвигателей от перегрузок необходимо: знать номенклатуру и технические данные защитных аппаратов; уметь выбирать защитную аппаратуру; уметь настраивать аппараты защиты применительно к конкретным условиям.

Аппараты защиты по своей отключающей способности должны соответствовать токам короткого замыкания в начале защищаемого участка сети.

Автоматы - предохранители пробочного типа - включают в сеть таким образом, чтобы при вывинченной пробке предохранителя (автомата) винтовая гильза его оставалась без напряжения, для чего защищаемый (отходящий) проводник присоединяют к винтовой гильзе предохранителя (автомата).

Каждый автомат защиты имеет надпись, указывающую номинальный ток аппарата, величину уставки расцепителя или номинальный ток плавкой вставки, требующиеся для защищаемой ими цепи. Надписи наносят на аппарате или схеме, которую вывешивают вблизи места установки защитных аппаратов.

Электрические сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания с наименьшим временем отключения и обеспечением, по возможности, требований селективности.

При этом защита обеспечивает отключение аварийного участка при коротких замыканиях в конце защищаемых линий:

- одно-и многофазное - в сетях с глухозаземленной нейтралью;
- двух- и трехфазное — в сетях с изолированной нейтралью.

Аппараты защиты располагают в доступных для обслуживания местах таким образом, чтобы была исключена возможность их механических повреждений, а также опасность для обслуживающего персонала и окружающих предметов.

Аппараты защиты с открытыми токоведущими частями поручают обслуживать только квалифицированному персоналу.

Аппараты защиты устанавливают во всех местах сети, где сечение проводников уменьшается (по направлению к местам потребления электроэнергии), или в местах, где это необходимо для соблюдения селективности.



**Вторичные цепи.** Рабочее напряжение вторичных цепей допускается не выше 440 В постоянного и 400 В переменного тока, при этом исполнение присоединяемых аппаратов должно соответствовать условиям окружающей среды и требованиям техники безопасности.

Изоляция вторичных цепей с рабочим напряжением не выше 60 В, в которых применяются аппараты связи и телемеханики, должна соответствовать нормам для устройства связи, если питание их обеспечивается от отдельных источников питания.

Соединение контрольных кабелей допускается при условии, если длина трассы превышает строительную длину кабеля. В этих случаях жилы кабеля соединяют пайкой и в местах соединений устанавливают соединительные муфты.

В одном контрольном кабеле допускается объединение цепей управления, измерения, защиты и сигнализации постоянного и переменного тока, а также цепей, питающих электроприемники небольшой мощности (например, электродвигатели задвижек). Возможно также применение общих кабелей для разных объектов.

Кабели, подходящие к панели, присоединяют к сборкам зажимов или выводам испытательных блоков, а подходящие к выводам измерительных трансформаторов или отдельных аппаратов — непосредственно к ним.

Аппараты в пределах одной панели соединяют между собой непосредственно, без завода соединяющих проводов на промежуточные зажимы. На зажимы или испытательные блоки выводят испытательные цепи, которыми включают испытательные проверочные аппараты и приборы.

Промежуточные зажимы устанавливают только там, где провод переходит в кабель; объединяются одноименные цепи (сборка зажимов цепей отключений, сборка зажимов цепей напряжения); требуется включать переносные испытательные и измерительные аппараты, если нет испытательных блоков или аналогичных устройств.

Зажимы, относящиеся к разным присоединениям или устройствам, выделяют в отдельные сборки.

Сборки зажимов блок-контакта включателей, разъединителей и аппараты устанавливают, а заземляющие проводники монтируют так, чтобы была обеспечена безопасность обслуживания сборок и аппаратов вторичных цепей без снятия напряжения с первичных цепей напряжением выше 1000 В.

На панели или сбоку зажимов предусматривают устройства (испытательные зажимы или блоки), обеспечивающие без отсоединения проводов и кабелей:

- отключение панелей от цепей тока, напряжения и оперативного тока закорачиванием токовых цепей;
- присоединение к панели испытательных аппаратов для проверки и наладки устройства.

В схемах защит во вторичных цепях трансформаторов тока заземление осуществляют в одной точке, в удобном для присоединения месте (распределительное устройство или щит управления).

Для защит, объединяющих несколько комплектов трансформаторов тока, допускается заземление через разрядник напряжением не более 1000 В с шунтирующим сопротивлением 100 Ом для стекания статического заряда.

Вторичные обмотки трансформаторов напряжения заземляют при помощи соединения нулевой точки или одного из концов обмотки с заземляющим устройством.

Заземление вторичных обмоток трансформаторов напряжения выполняют на сборке зажимов.

Для трансформаторов напряжения, соединенных «в звезду», допускается заземление вторичных обмоток через пробивной предохранитель.

Трансформаторы напряжения защищают от коротких замыканий во вторичных цепях с предохранителями или автоматами. Предохранители и автоматы устанавливают во всех приземленных проводах после сборки, за исключением обмоток, соединенных в разомкнутый треугольник. У таких обмоток ставят только один автомат или предохранитель на испытательной жи-

ле, используемый для испытаний защиты нулевой последовательности и для периодического контроля цепей разомкнутого «треугольника». Предохранители можно не устанавливать при отсутствии разветвленной цепи.

Устанавливать на заземленных проводах предохранители, переключатели блок-контактов и подобные им аппараты запрещается.

На электростанциях и подстанциях с постоянным оперативным током выполняют автоматические устройства контроля изоляции оперативного тока.

Вторичные цепи отдельного присоединения питают оперативным током, как правило, через отдельные для этого соединения предохранители или автоматы.

**Пускорегулирующие аппараты.** Для группы электродвигателей, служащих для привода одной машины или же ряда машин, осуществляющих единый технологический процесс, как правило, применяют общий аппарат или комплект пусковых аппаратов, если это оправдывается требованиями удобства или безопасности эксплуатации. В остальных случаях каждый электродвигатель должен иметь отдельные аппараты управления.

Аппараты управления должны отключать одновременно от сети все проводники, находящиеся под напряжением.

Применение в цепи отдельных электродвигателей аппаратов управления, отключающих от сети не все проводники, находящиеся под напряжением, допускается при наличии нескольких электродвигателей на данном технологическом механизме (например, на станке) или на данной группе механизмов, связанных общим технологическим процессом (например, на автоматической линии), и общего для всей группы электродвигателей разъединяющего аппарата, отключающего все проводники при необходимости длительного останова всей группы электродвигателей.

При наличии управления из нескольких мест применяют аппараты (выключатели, переключатели), исключающие возможность дистанционного пуска механизма или линии, остановленной на ремонт.

Питание цепей управления электродвигателями допускается как от главных цепей, так и от других источников электроэнергии, если это вызывается необходимостью.

Во избежание внезапных пусков электродвигателя при восстановлении напряжения в главных цепях (когда внезапный пуск недопустим) предусматривают блокировочную связь, обеспечивающую автоматическое отключение главной цепи во всех случаях исчезновения напряжения в ней.

Для включения и отключения короткозамкнутых электродвигателей мощностью не более 10 кВт допускается применение рубильников.

Пускорегулирующие аппараты обязательно защищают от токов короткого замыкания.

Использовать штепсельные соединения для управления переносными электродвигателями можно лишь при мощности электродвигателей не более 1 кВт.

Штепсельные соединения, служащие для присоединения передвижных электродвигателей мощностью более 1 кВт, обеспечивают блокировкой, при которой отключение и включение соединения возможно только при отключенном положении пускового аппарата в главной силовой цепи электродвигателя.

Включение катушек магнитных пускателей, контакторов и автоматов в сети напряжением до 100 В с заземленной нейтралью производят, как правило, на междуфазное напряжение.

Допускается включать катушки указанных выше аппаратов на фазное напряжение, если обеспечивается одновременное отключение всех трех фаз ответвления к данному электродвигателю автоматом, а при защите предохранителями - специальными устройствами, действующими на отключение пускателя или контактора при сгорании предохранителей в любых фазах или в одной и двух фазах.

При включении катушки на фазное напряжение нулевой вызов катушки должен быть надежно присоединен либо к нулевой жиле кабеля или

отдельному изолированному проводнику, либо непосредственно к заземленному корпусу аппарата (внутри его).

Пусковые аппараты электродвигателей, питаемых по схеме блока трансформатор - электродвигатель, как правило, размещают на стороне большего напряжения трансформатора без установки коммутационных аппаратов между трансформатором и электродвигателем.

Аппараты управления располагают ближе к электродвигателю в местах, удобных для обслуживания, если по условиям экономичности, удобства обслуживания и расхода кабелей не требуется иное размещение.

Если с места, где установлен аппарат управления электродвигателя, не виден приводимый им механизм и если этот механизм обслуживает постоянный персонал, для предотвращения несчастных случаев предусматривают следующие мероприятия:

- установку кнопки электродвигателя рядом с механизмом;
- сигнализацию или звуковое оповещение о предстоящем пуске механизма;
- размещений вблизи электродвигателя приводного механизма аппаратов для аварийного отключения электродвигателя, исключающих возможность дистанционного пуска.

На корпусах аппаратов управления и разъединяющих аппаратов наносят четкие знаки, позволяющие легко распознавать включенное или отключенное положение рукоятки аппарата.

**Программа наладки и испытаний аппаратов и цепей.** При проведении пусконаладочных работ производят:

- внешний осмотр;
- проверку аппаратов;
- проверку схем управления, сигнализации, блокировок; измерение сопротивления изоляции;
- испытание электрической прочности изоляции вторичных цепей повышенным напряжением переменного тока;

- опробование работы аппаратов и цепей вторичной коммутации при пониженном и номинальном напряжении оперативного тока.

При периодических проверках работу выполняют по той же программе, кроме проверки схем управления, сигнализации и блокировок.

**Внешний осмотр.** При внешнем осмотре проверяют:

- соответствие установленных аппаратов и приборов проекту и защищаемому механизму и завершение всех монтажных работ;
- наличие оконцевателей на проводах и жилах контрольных кабелей в панелях управления, бирок на кабелях с указанием марки кабеля и направления его прокладки;
- параметры обмоток реле, катушек магнитных пускателей;
- наличие и исправность тепловых элементов реле и соответствие их параметров защищаемому электродвигателю;
- отсутствие вблизи тепловых реле реостатов, приборов отопления, струи воздуха от вентилятора и т. п.;
- отсутствие механических повреждений (обрывов, изломов, нарушений изоляции, трещин, сколов на корпусах приборов и реле, плотность прилегания и целостность стекол реле и приборов и т. д.);
- надежность крепления аппаратов и правильность их установки ;
- состояние основных и блокировочных контактов у пускателей, контакторов, реле, ключей, кнопок управления и т. д.; отсутствие пыли, грязи, ржавчины;
- целостность заземляющей проводки от аппаратов до места присоединения ее к общей сети заземления;
- отсутствие прокладок, аретиров и других элементов, ограничивающих ход подвижных частей во время транспортировки;
- отсутствие перекосов контактов и механических частей, заеданий и залипаний подвижных частей аппаратов в промежуточных положениях

(свободный ход подвижных частей аппаратов проверяется нажатием руки на подвижную часть);

- наличие и исправность возвратных пружин подвижной системы;
- наличие растворов и провалов у главных контактов и блок-контактов (время определяется ходом подвижной системы пускателя с момента замыкания контактов до момента замыкания магнитной системы). Величины растворов и провалов должны соответствовать указанным величинам в прикладываемой к пускателю инструкции.

У реверсивных пускателей также проверяют надежность работы механической блокировки с целью предотвращения одновременного срабатывания двух контакторов.

**Проверка.** Перед проверкой аппарат отключают от схемы и измеряют сопротивление изоляции токоведущих частей. Пускатели и электромагнитные реле проверяют в два этапа:

- на механическую регулировку;
- на напряжение срабатывания и отпадания.

В объем механической регулировки входят следующие операции:

- проверка плотности прилегания якоря к ярму;
- проверка крепления демпферных витков;
- зачистка рабочих поверхностей главных и блокировочных контактов (если в том имеется необходимость);
- проверка отсутствия затирания между контактами и дугогасительными камерами;
- проверка крепления катушки;
- регулировка растворов и провалов главных контактов и одновременности их замыкания. Проверка нажатия контактов;
- затяжка всех болтов, гаек, а также установка недостающих деталей.

После механической регулировки проверяют на напряжение срабатывания и отпадания. Для этого пользуются автотрансформатором ЛАТР-1 и вольтметр.

При проверке напряжения срабатывания напряжение повышают плавно, но с достаточной скоростью, чтобы избежать перегрева катушки магнитного пускателя или реле, так как в момент срабатывания пускатели переменного тока потребляют мощность значительно (в 5...10 раз) большую, чем во включенном состоянии.

При определении напряжения отпадания напряжение катушки пускателя и реле уменьшают плавно от величины  $U_H / 10$  момента отпадания подвижной магнитной системы.

По техническим требованиям аппараты переменного тока должны четко включаться при подаче на втягивающие катушки напряжения, равного 85%  $U_H$ .

Аппараты постоянного тока должны включаться при напряжении 68%  $U_H$  при температуре окружающей среды 20 °С. Следует учесть, что напряжение срабатывания аппаратов постоянного тока зависит от температуры окружающей среды. Для уточнения результатов измерений можно внести поправку на отклонение температуры от 20°С  $\pm 10$  °С соответствует изменению напряжения  $\pm (2.5...3\%) U_H$ .

Напряжение отпадания аппаратов переменного тока должно происходить при понижении напряжения до 0,35...0,5 $U_H$ .

Для аппаратов постоянного напряжения отпадания не лимитируются, и они могут иметь любые значения.

К контакторам, реле и автоматическим включателям предъявляются общие требования. Например, условия работы: высота над уровнем моря - не более 1000 м; температура окружающего воздуха от - 40 до + 40 °С, относительная влажность окружающего воздуха не более 90% при температуре +20 °С и не более 50% - при температуре +40 °С.



**Автоматические выключатели\*.** Автоматические воздушные выключатели (автоматы) оборудованы устройствами защиты, ручным или электромагнитным приводом, удерживаются во включенном положении с помощью рычажного механизма защелки. Автоматы рассчитаны на отключение больших мощностей, возникающих в аварийных режимах.

Допустимое количество и частота включений автоматов значительна ниже, чем у контакторов. Важное свойство автоматов — малое собственное время отключения, что во многих случаях имеет решающее значение для защиты электроприводов с полупроводниковыми приборами. Благодаря отмеченным достоинствам, с каждым годом автоматы находят все более широкое применение. Конструкция автоматов сложнее других электромагнитных аппаратов, и для их обслуживания требуется более высокая квалификация.

Большинство установочных автоматов, выпускаемых промышленностью, предназначено для схем асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Они включаются вручную, но имеют механизм моментного включения, обеспечивающий быстрое (и полное) замыкание контактов независимо от скорости движения рукоятки.

Такой же принцип, предохраняющий контакты от подгорания, заложен в современных однополюсных автоматах и маломощных выключателях (например, для цепей осветительной нагрузки).

По видам защиты автоматы делятся:

- с электромагнитным расцепителем, предназначенным для защиты от коротких замыканий;
- с тепловым расцепителем, служащие для защиты от перегрузок;

---

\* Обязательной проверке подлежат автоматы с I и выше 200 А, остальные проверяют по требованию заказчика. Протокол проверки выключателя приведен в приложении. Автоматы могут иметь дополнительные устройства, например блок-контакты, независимый расцепитель для дистанционного отключения (должно оговариваться при заказе).

- с комбинированным (электромагнитным и тепловым) расцепителем;
- с расцепителем минимального напряжения.

**Автоматы, служащие для защиты асинхронных двигателей, должны удовлетворять следующим условиям:**

$$U_{н.а} \geq U_{н.с}$$

$I_{н.р} \geq I_{н.дв}$  - для двигателей повторно-кратковременного режима при ПВ = 25 % или длительного режима работы с легкими условиями пуска;

$I_{н.а} \geq 1,5 I_{н.дв}$  - для двигателей, работающих в напряженном повторно-кратковременном режиме, а также для двигателей с длительным режимом работы, но с тяжелыми условиями пуска, где  $U_{н.с}$  - номинальное напряжение сети;  $I_{н.дв}$  - номинальный ток двигателя;  $U_{н.а}$ ,  $I_{н.а}$  - номинальные напряжение и ток автомата.

Автоматы с электромагнитным расцепителем характеризуются током уставки электромагнитного расцепителя:

$$I_{уст. \text{ элмаг}} = (7 \dots 10) I_{н.а}$$

Ток уставки электромагнитного элемента, с учетом неточности срабатывания расцепителя и отклонений действительного пускового тока от каталожного значения, должен соответствовать:

**для двигателя с короткозамкнутым ротором**

$$I_{уст. \text{ элмаг}} \geq (1,5 \dots 1,8) I_{пуск};$$

**для двигателя с фазовым ротором**

$$I_{уст. \text{ элмаг}} \geq (2,5 \dots 3,0) I_{н.дв};$$

**для группы короткозамкнутых двигателей**

$$I_{уст. \text{ элмаг}} \geq (1,5 \dots 1,8) [\sum I_{н.дв} + (I_{пуск} - I_{н.дв})]$$

где  $I_{пуск} - I_{н.дв}$  - для двигателя, у которого разность имеет наибольшую величину;

### для группы двигателей с фазовым ротором

$$I_{уст. \text{ элмаг}} \geq (1,5 \dots 2) I_{н.дв} + \Sigma I_{н.дв},$$

где  $I_{н.дв}$  - для двигателя, у которого это значение наибольшее в группе.

**Автоматы, установленные в цепях фидеров, питающих сборки.** Для обеспечения селективности на вводах сборок, от которых через выключатели ЛИ-50-ЗМТ питаются электродвигатели, устанавливаются выключатели только с тепловыми расцепителями, имеющими малое время срабатывания при больших кратностях токов.

Номинальный ток теплового расцепителя (допустимый ток при температуре окружающего воздуха, отличной от 25 °С) должен быть равен или больше суммарного номинального тока электродвигателей, питающихся от сборки:

$$I_{н.уст.тепл} \geq \Sigma I_{н.дв},$$

где  $\Sigma I_{н.дв}$  - сумма номинальных токов электродвигателей.

Защита не должна срабатывать при затяжном самозапуске электродвигателей. Проверяют по время-токовой характеристике выключателя:

$$I_{пуск} = K_{пуск} - \Sigma I_{н.дв},$$

где  $I_{пуск}$  - пусковой ток электродвигателей;  $K_{пуск}$  - коэффициент, учитывающий отношение пускового тока электродвигателя к номинальному.

Для выключателей, имеющих только обратно зависимую характеристику, коэффициент чувствительности должен быть (согласно ПУЭ) не менее 3:

$$K_{ч} = I_{кз.мин} / I_{н} \geq 3,$$

где  $I_{кз.мин}$  - минимальный ток КЗ на шинах сборки;  $I_{н}$  - номинальный ток теплового расцепителя.

**Автоматы, установленные в цепях электромагнитов включения масляных выключателей.** Для защиты цепей электромагнитов включения масляных выключателей применяют, например, выключатели АЗ113 и АЗ123 с комбинированными расцепителями.

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя должен быть больше тока электромагнита включения:

$$I_{уст.элмагн} \geq (1,25 \dots 1,5) I_{элмагн}$$

где  $I_{элмагн}$  - ток электромагнита включения,

Тепловой элемент комбинированного расцепителя должен отключить выключатель при протекании через электромагнит тока включения до достижения катушкой электромагнита предельно допустимой температуры.

Время, за которое катушки нагреваются до предельно допустимой температуры, для применяемых в настоящее время приводов составляет 15...30 с в зависимости от типа катушки. Проверяют по верхней части время-токовой характеристики.

Автоматы с тепловым расцепителем характеризуются номинальным током уставки теплового расцепителя:

$$I_{н.уст.тепл} = (0,63 \dots 1,0) I_{н.а} .$$

Во всех случаях, когда температура окружающей среды в месте установки автомата отличается от температуры, при которой калибруется автомат на заводе (обычно 25 °С), ток теплового расцепителя должен быть пересчитан по формуле:

$$I_{н.расц.} = I_{н.а} [1 + 0,06(t_{н.окр} - t_{окр})] = \alpha I_{н.а} .$$

Автоматы с комбинированными расцепителями характеризуются:

- током установки электромагнитного расцепителя  $I_{н.элмагн}$ ;
- током установки теплового расцепителя  $I_{н.уст.тепл}$ .

Автоматы с расцепителями минимального напряжения характеризуются:

- напряжением включения автомата;
- напряжением отключения автомата.

Например, автомат АП-50, снабженный расцепителем минимального напряжения (с катушкой на 127, 220 или 380 В), может включаться при напряжении сети не ниже 80% номинального, отключение его произойдет при снижении напряжения сети до 50% номинального.

**Электромагнитные элементы автоматов.** Электромагнитные элементы проверяют поочередно испытательным током каждого полюса автомата.

Проверка электромагнитных расцепителей, не имеющих тепловых элементов, не представляет сложности, так как испытательный ток может быть поднят от нуля до величины срабатывания расцепителя.

При проверке электромагнитных элементов комбинированных расцепителей следует учитывать, что тепловой элемент может отключить автомат раньше, чем сработает электромагнитный элемент.

Кроме того, длительное прохождение испытательного тока через тепловой элемент может вызвать порчу последнего. Учитывая все замечания, сделанные выше, проверять электромагнитные элементы рекомендуется следующим образом:

#### **Проверка электромагнитных расцепителей, не имеющих тепловых элементов**

Автомат включают вручную и к одному из полюсов присоединяют нагрузочное устройство. При помощи регулирующего устройства, включенного последовательно с проверяемым электромагнитным элементом, устанавливают испытательный ток на 15...30% ниже тока уставки автоматов. При этом токе автомат не должен отключаться. Затем испытательный ток поднимают до величины, при которой отключится автомат. При этом ток срабатывания не должен превышать тока уставки больше чем на 15...30%. После отключения автомата испытательный ток уменьшается до 0, и в том же порядке проверяют электромагнитные элементы в остальных полюсах автомата. Если автомат удовлетворяет указанным условиям, то он пригоден к нормальной эксплуатации.

## **Проверка электромагнитных элементов комбинированных расцепителей**

К нагрузочному устройству подключают эквивалентное сопротивление, равное полному сопротивлению одного полюса испытываемого автомата (имеется в виду суммарное сопротивление теплового элемента, электромагнитного и коммутирующих проводов). При помощи регулирующего устройства и амперметра, включаемого в цепь эквивалентного сопротивления, устанавливают ток на 15...30 % ниже тока уставки автоматов.

Не изменяя величины установившегося испытательного тока, отключают от нагрузочного устройства эквивалентное сопротивление и вместо него поочередно включают все полюсы автомата. При этом автомат не должен отключаться. После этого эквивалентное сопротивление вновь присоединяют к нагрузочному устройству и устанавливают испытательный ток на 15...30 % выше тока уставки автоматов. Затем, не изменяя установившегося испытательного тока, отключают от нагрузочного устройства эквивалентное сопротивление и вместо него поочередно включают все полюсы автомата. При этом от воздействия каждого электромагнитного элемента автомат должен отключаться.

Чтобы убедиться, что отключение происходит от действия электромагнитных элементов, а не от тепловых, необходимо после каждого отключения незамедлительно (пока не остыли тепловые элементы) вручную выключить автомат. Если автомат включается нормально, следовательно, он был отключен от действия электромагнитного элемента.

При срабатывании теплового элемента повторное включение автомата не произойдет.

## **Проверка тепловые элементы автоматов**

Проверка каждого теплового элемента на срабатывание при пополюсной нагрузке испытательным током (рис. 9.1,а). В каждом полюсе автомата смонтирован свой тепловой элемент, воздействующий на общий расцепитель автомата. Проверяют тепловые элементы двух-, трехкратным током.

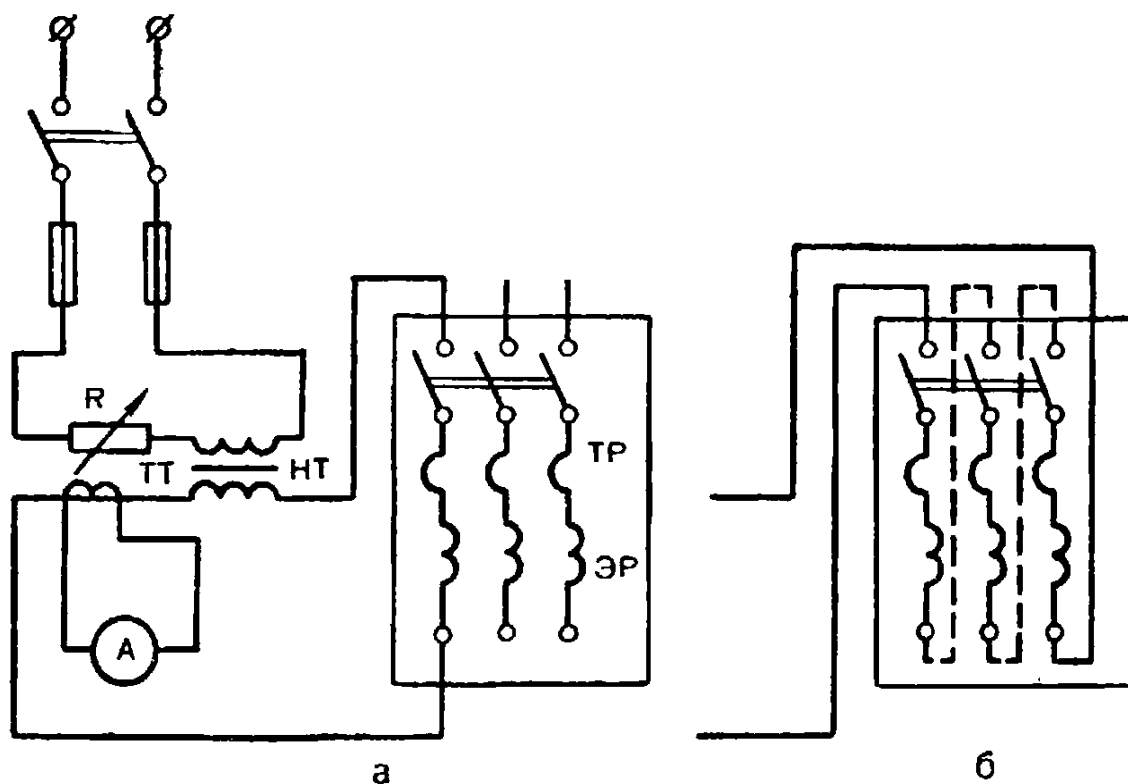


Рис. 9.1. Схемы включения фаз автоматов для проверки тепловых и электромагнитных расцепителей: а – включение одной фазы автомата; б - включение фазы при одновременной нагрузке всех полюсов автомата испытательным током; R - реостат; ЭР - электромагнитный расцепитель; ТР - тепловой расцепитель; НТ - нагрузочный трансформатор; ХТ - трансформатор тока

Если тепловой элемент не сработает в не произойдет отключения автомата за максимально допустимое время, определяемое из время-токовой характеристики автомата, то необходимо незамедлительно отключить испытательный ток во избежание порчи автомата. Такой автомат к эксплуатации непригоден и дальнейшим испытаниям не подлежит.

У всех тепловых элементов, удовлетворяющих условиям испытания на срабатывание, проверяют характеристики при одновременной нагрузке испытательным током всех полюсов автомата.

**Проверка характеристики тепловых элементов при одновременной нагрузке всех полюсов автомата испытательным, током (рис. 9.1,б). Для**

этой цели все полюсы соединяют последовательно, автомат включают вручную и все его тепловые элементы нагружают испытательным током.

Через определенное время автомат от воздействия тепловых элементов на расцепитель должен отключиться. Если время отключения автомата находится в пределах, указанных в характеристике, то можно считать, что он пригоден к нормальной эксплуатации. В противном случае проверяют тепловые элементы на начальный ток срабатывания.

Иногда при отсутствии специальных нагрузочных устройств защита автоматов может быть проверена с помощью асинхронных короткозамкнутых двигателей.

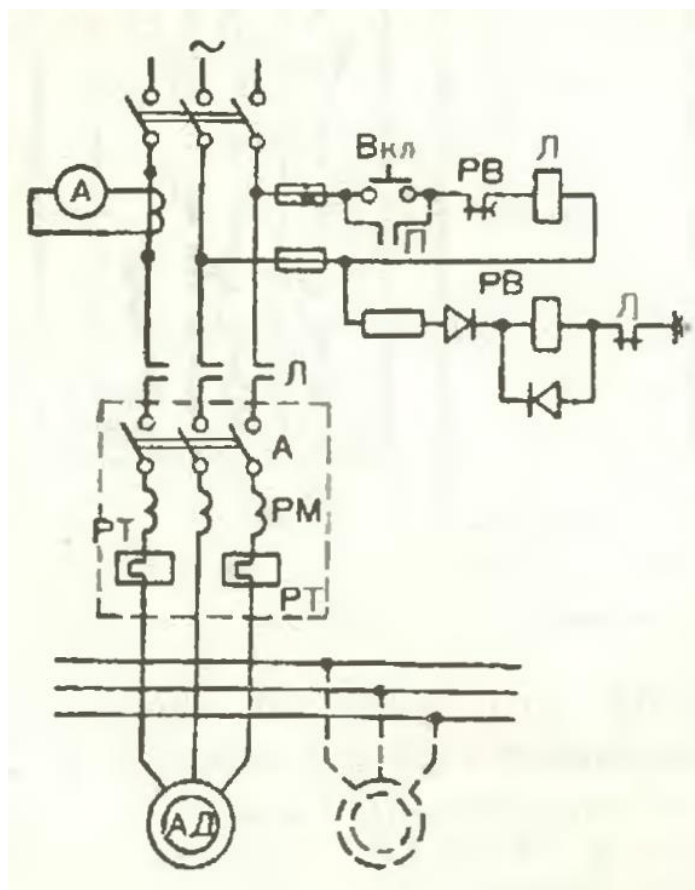


Рис. 9.2. Использование асинхронного двигателя для испытания защиты автомата: АД - асинхронный двигатель; РТ - тепловое реле; РВ - реле времени; РМ - электромагнитное реле; Л - промежуточное реле

Максимальную защиту большинства установочных автоматов настраивают на десятикратный (по отношению к номинальному) ток. Подбирают различные асинхронные двигатели (например, из резерва или вышедшие из строя из-за повреждения механической части); пусковой ток одних двигателей должен



быть несколько ниже, а других — несколько выше уставки мгновенных расцепителей автомата. Двигатели кратковременно включают через автомат; при этом поочередно заклинивается по два максимальных реле разных фаз. Для проверки тепловой защиты двигатель включают па две фазы. Длительность включения рекомендуется ограничивать (рис. 9.2) с помощью электромагнитного реле времени РВ, настраиваемого примерно на 2 с.

Такая длительность протекания пусковых токов ( $I_{пуск} = 5...7 I_n$ ) лежит в пределах термической устойчивости двигателя.

### **Проверка тепловых элементов на соответствие техническим условиям завода-изготовителя по начальному току срабатывания**

Автоматы, у которых время срабатывания при испытании двух-, трехкратным током получилось меньше допустимого, проверяют на несрабатывание испытательным током  $1,1 I_n$ .

Если автомат не отключится в течение 1 ч, его характеристика удовлетворяет техническим условиям завода и такой автомат пригоден к эксплуатации. В противном случае его бракуют.

Автоматы, у которых время срабатывания при испытании получилось выше допустимого, проверяют в зависимости от типа автомата испытательным током, равным  $1,2... 1,45 I_n$  на срабатывание.

Если автомат отключится на время, не более указанного в заводских инструкциях, то основная характеристика его тепловых элементов - начальный ток срабатывания - находится в пределах, гарантируемых заводом. Такой автомат пригоден к нормальной эксплуатации.

**Тепловые реле магнитных пускателей.** Для проверки соответствия реле требованиям защищаемого электродвигателя необходимо определить:

- соответствие типа реле (номинальный ток реле  $I_p$ ) и номинального тока нагревательного элемента номинальному току электродвигателя;

- время срабатывания реле в функции от тока реле с холодного состояния;
- время срабатывания реле в функции от тока реле после подогрева нагревательного элемента номинальным током.

Тепловое реле может надежно защищать двигатель только при условии, что законы нагрева и охлаждения теплового элемента реле подобны законам нагрева и охлаждения двигателя.

Следует иметь в виду, что при температуре окружающей среды ( $t_{окр}$ ) выше 35 °С допустимая нагрузка двигателя снижается (его номинальный ток уменьшается примерно на 1 % на каждый градус превышения температуры). При температуре окружающей среды ниже 35 °С, наоборот, допустимая нагрузка двигателя увеличивается.

В случае, когда  $t_{окр} \neq t_{н\ окр}$ , номинальный ток нагревателя  $I_{н.нагр}$  необходимо привести к действительной температуре:

$$I_{н.нагр} \approx I_{н.нагр} [1 - 0,01\sigma 0,1(t_{окр} - t_{н\ окр})]$$

где  $\sigma$  - изменение номинального тока нагревателя на каждые 10 °С разницы величины  $t_{окр}$  по сравнению  $t_{н\ окр}$ , %.

Величина  $\sigma$  в среднем равна:

5 % для реле серии ТРП

4 % для реле серии ТРТ

2 % для реле серии ТРН

Точные данные  $\sigma$  приводятся в паспортах реле.

Учитывая, что  $I_{нагр} \approx I_{н.дв}$  находят расчетное значение, по которому регулируют уставку или выбирают нагревательный элемент реле.

При включении нагревательных элементов через отдельные дополнительные трансформаторы тока реле и нагреватели выбирают аналогично, то в расчетных формулах вместо  $I_{н.дв}$  подставляют величину:

$$I_{н.дв} = I_{н.дв} / K_{m\ m}$$

где  $K_{m\ m}$  — коэффициент трансформации тока.

Рекомендуемая методика настройки следующая:

- регулировочный рычаг реле выставляют в среднее положение;
- испытательную схему включают в сеть с помощью регулирующего аппарата. Ток нагрузки поднимают до номинального тока защищаемого объекта;
- тепловые элементы остаются под током в течение 2 ч. Считается, что за 2 ч внутри реле установится постоянная температура. В течение этого времени тепловые реле не должны вызывать ложного отключения объекта;
- по прошествии 2 ч ток нагрузки поднимают сверх номинального на 20 %. Начиная с этого момента, реле должно отключать объект не менее чем через 20 мин.

Если при нагрузке на 20% тепловое реле за 20 мин не сработает, начинают медленно перемещать регулятор в сторону срабатывания реле до момента его отключения. Для контроля полученной установки испытание реле можно повторить.

В тех случаях, когда с помощью регулировочного рычага не удастся получить требуемую настройку, заменяют нагревательный элемент реле. По окончании настройки наносят краской метку на корпусе реле около выставленных рычагов.

Методика настройки реле, описанная выше, приемлема только в тех случаях, когда испытывается небольшое количество реле.

При наладке большого количества аппаратуры из-за чрезмерной продолжительности этот метод не применяют.

Настройку в таком случае производят следующим образом: включают испытательную схему, и ток на нагревателе поднимают до величины трехкратного от номинального.

Для тепловых реле ТРТ, ТРН и ТРП время срабатывания должно быть не более величин, указанных на графиках ампер-секундных характеристик. Следует иметь в виду, что:

- а) нагревательные элементы калибруются заводом-изготовителем при температуре окружающей среды 35 или 40 °С
- б) тепловые реле допускают работу при токах до 10-, 15-кратных от номинального в кратковременном режиме;
- в) ток в цепи размыкающего контакта в длительном режиме не должен превышать 8 А при напряжении до 380 В.

В случае, если время срабатывания реле при нагрузке трехкратным током выходит за установленные пределы, реле проверяют по полной программе.

Величины растворов, провалов и нажатий главных контактов и блок-контактов должны находиться в определенных пределах, соответствующих техническим требованиям.

Малое нажатие контактов в условиях повышенной влажности и агрессивной среды вызывает их перегрев и окисление, что в итоге приводит к работе электродвигателей на двух фазах. Чрезмерное нажатие препятствует включению двигателей при пониженном напряжении (часто бывает в сельских протяженных сетях). Недовключение магнитной пускателя (между якорем и ярмом есть зазор) вызывает увеличение тока в катушке, в результате чего изоляция обугливается.

### **9.3. Настройка защитных характеристик тепловых реле на стенде МИИСП**

Защитной характеристикой реле или автомата называется зависимость времени срабатывания от тока, проходящего через нагревательный элемент реле. Различают две зоны защитных характеристик: зону времени срабатывания реле с холодного состояния и зону срабатывания с горячего состояния, то есть когда реле прогрето током уставки. Ток уставки — это наибольший ток, при котором реле с нагревательным элементом при данном положении регулятора тока уставки находится на грани срабатывания, но не срабатывает при длительной работе.

У тепловых реле типа ТРН ширина зоны зависит от разброса и расстояния параметров реле, нагревательных элементов, а также от их смещения при

установке и положении регулятора тока уставки. При повороте регулятора тока уставки в сторону знака «+» защитная характеристика опускается, реле срабатывает при нагреве биметаллической пластины до большей температуры, при этом время срабатывания реле меньше зависит от температуры окружающего воздуха. При одинаковой кратности перегрузки двигатель будет отключаться быстрее, запуск двигателя из холодного состояния с разбегом более 10 с не обеспечивается.

При повороте регулятора тока уставки в сторону знака «-» защитная характеристика поднимается, срабатывание реле происходит при меньшей температуре. При одинаковой кратности перегрузки двигатель будет отключаться через промежуток времени, примерно в 2 раза больший. Поэтому настройка защиты, прежде всего, предполагает правильный выбор нагревательного элемента с учетом времени разбега электродвигателя, его номинального тока, характера нагрузки рабочей машины и ее некоторых особенностей. Например, при неравномерном характере нагрузки с большим коэффициентом неравномерности нагревательный элемент следует выбирать на ток на 20...30 % превышающий номинальный ток электродвигателя, а для центробежных насосов нагревательные элементы необходимо выбирать по рабочему току. Это объясняется тем, что в последнем случае при обрыве фазы рабочий ток в двух других фазах увеличивается всего на 25...35 %.

При наладке реле на стенде защитную характеристику можно привести к некоторой усредненной характеристике.

Порядок работы на стенде следующий. Нагревательный элемент реле подключают к клеммам переменного тока с соответствующим пределом его регулирования, блок контакты - к клеммам БК. Затем проводят регулировку с учетом того, что поворотом регулятора тока уставки в реле ТРН в сторону знака «+» или знака «-» на каждое деление ток уставки увеличивается или уменьшается на 5 %. Таким образом достигается равенство тока уставки и номинального тока электродвигателя.

Затем, предварительно установив ручку регулятора напряжения в начальное положение, увеличивают ток до величины  $1,5 I_{уст}$ . Если нагревательный элемент выбран и установлен правильно, а также правильно выбрана тепловая уставка, то реле сработает за время, определяемое по кривой защитной зоны из холодного состояния, соответствующей положению регулятора уставки. Граничные кривые зоны соответствуют положениям регулятора на отметке «+5» и «-5».

Нагревательные элементы из трансформаторной стали (марки Э-31, Э-310, Э-43 и другие, имеющие содержание кремния 3...4 %) имеют удельное сопротивление, равное сопротивлению марганца и константана, и более высокой температурный коэффициент сопротивления.

Высокий температурный коэффициент сопротивления приводит к более значительному выделению тепла, чем в обычном элементе при сравнительно небольших, но опасных перегрузках электродвигателя. При этом реле становится более чувствительным и реагирует на перегрузку 5 %. Работа реле протекает при более высоких температурах нагревательного элемента, а это значит, что реле будет работать с меньшими погрешностями в зависимости от окружающей температуры. Реле становится более точным.

Физическая сущность процесса нагрева элемента из пластины трансформаторной стали заключается в следующем: при увеличении тока сверх номинального тока нагревателя последний нагревается интенсивно и благодаря высокому температурному коэффициенту резко увеличивает сопротивление, а следовательно, и потребляемую мощность. Это вызывает выделение дополнительного тепла, резкий рост сопротивления и потребляемой нагревателем мощности. Процесс здесь лавинообразный. Ток в нагревателе при этом практически не изменяется в связи с тем, что сопротивление нагревателя остается малым по сравнению с сопротивлением обмоток электродвигателя и полностью определяется режимом электродвигателя.

Таблица 9.1. Зависимость номинального тока нагревательных элементов от ширины плоскости и толщины листа

Ширина нагревательного элемента, мм	Номинальный ток (А) при толщине стали	
	0,35 мм	0,5 мм
6	9,0	16,4
7	11,0	18,8
8	13,0	20,1
9	14,5	21,3
10	15,0	22,3
11	17,5	23,2
12	19,0	24,1
13	21,0	25,2
14	22,0	26,2
15	23,5	27,1
16	25,0	<b>28,0</b>

В качестве материала для изготовления нагревательных элементов можно использовать листы трансформаторной стали от силовых трансформаторов толщиной 0,2, 0,35 и 0,5 мм. Перед изготовлением элементов трансформаторную сталь отжигают. Для этого ее нагребают до 800..1000 °С последующим медленным охлаждением (угасание костра) со скоростью 3...6° в минуту. После отжига сталь становится менее хрупкой, лучше обрабатывается, более устойчива к коррозии. При изготовлении большого количества элементов набор пластин стягивают болтами и двумя толстыми пластинами и фрезеруют на станке.

Таблица 9.2. Ориентировочная зависимость номинального тока нагревательных элементов от длины, ширины и толщины пластины

Ширина нагревательного элемента, мм	Длина, мм	Номинальный ток (А) при толщине стали 0,35 мм
6	120	4,0
	100	4,6
	80	5,5
8	120	4,6
	100	5,5
	80	6,5
10	120	5,5
	100	6,6
	80	7,8
12	120	6,4
	100	7,8
	80	9,5

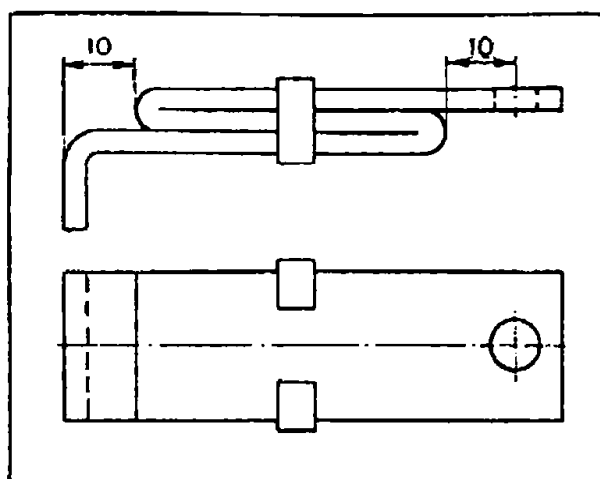


Рис. 9.3. Нагревательный элемент из полосы (с дополнительным изгибом)

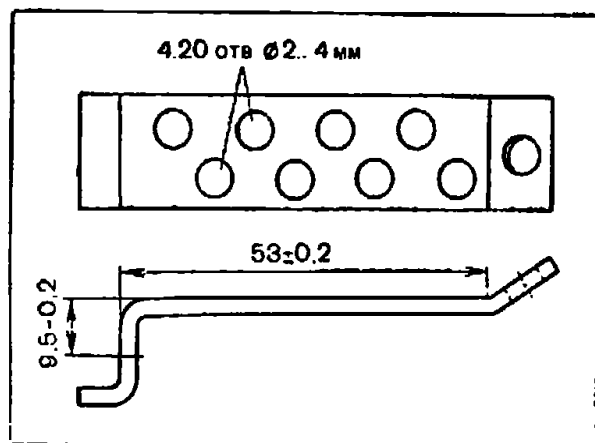


Рис. 9.4. Нагревательный элемент с отверстиями диаметром 2... 4 мм)

Контактные части нагревательного элемента меднят или лудят, а элемент покрывают печным или кремнийорганическим лаком.

В табл. 9.1 приведена ориентировочная ширина нагревательных элементов, рассчитанных на большие токи, а в табл. 9.2 - нагревательных элементов с дополнительным изгибом (по форме нагревательных элементов, показанных на



рис.9.4), а также рабочая длина нагревательного элемента (расстояние заготовки между отверстиями).

### **Подгонка нагревательных элементов**

При настройке тепловых реле наладчику приходится подгонять имеющиеся заводские нагревательные элементы, просверливая ряд отверстий диаметром 3...3,5 мм (рис. 9.4) или стачивая их по ширине.

При подгонке нагревательного элемента на меньший ток необходимо знать конечное сопротивление, которое определяют по справочнику или рассчитывают по формуле:

$$R=P/I_{н.нагр}^2$$

где  $P$  - мощность, потребляемая одним полюсом реле (для каждого типа реле приводится в паспорте магнитного пускателя);

$I_{н.нагр}$  - номинальный ток нагревателя.

При подгонке нагревательных элементов автоматов АП-50 на токи 25 А и выше надо руководствоваться следующим. Нагревательные элементы состоят из двух подковообразных элементов, один из которых биметаллический, с регулировочным винтом. Если снять один элемент, то ток срабатывания уменьшится в 2 раза. Кроме того, регулятор тока уставки позволяет уменьшить ток срабатывания еще на 37 %. А при сверлении и стачивании элементов (но ток более чем на 30 % первоначальных размеров) можно снизить ток срабатывания на 50...60 %.

#### **9.4. Настройка защиты электродвигателей для гермоклапанов и задвижек**

Характерная особенность работы электродвигателей указанных приводов - повторно-кратковременный режим. Конструктивное исполнение приводов гермоклапанов и задвижек предусматривает отключение электродвигателей как в конечных положениях, так и в любом промежуточном положении при превышении крутящего момента на валу электродвигателя.

Однако этой защиты недостаточно, так как имеют место случаи отказа в срабатывании муфты или конечных выключателей, вследствие чего двигатель останавливается в заторможенном состоянии. Это обстоятельство вынуждает прибегать к защите от трехфазного торможения.

Опыт наладки показал, что двигатель может быть надежно защищен и отключен в течение 15...25 с с момента торможения. Для защиты двигателей в настоящее время применяют тепловые реле серии ТРН, имеющие температурную компенсацию.

Настройку защиты производят следующим образом: отсоединяют одну обмотку электродвигателя на магнитном пускателе. Включают электродвигатель и замеряют ток в одной из двух его обмоток, находящихся под напряжением  $I_{дв.фаз.торм.}$ . Измерение проводят оперативно во избежание сгорания обмоток двигателя;

известно, что ток трехфазного торможения равен пусковому току электродвигателя:

$$I_{тр.фазн.торм.} = I_{пуск}$$

Зная, что ток в обмотках электродвигателя при двухфазном торможении равен 87 % пускового тока, определяют:

$$I_{тр.фазн.торм.} = I_{дв.фаз.торм.}/0,87;$$

пользуясь графиком ампер-секундной характеристики реле, с холодного состояния определяют кратность тока уставки реле, соответствующую времени срабатывания 20 с;

находят ток уставки реле:

$$I_{уст} = I_{тр.фазн.торм.}/ \text{Кратность}$$

подбирают нагревательный элемент, соответствующий току установки, и испытывают реле током  $I_{тр.фазн.торм.}$ .

Реле должно сработать не позднее 23 с.

## **9.5. Проверка схем управления, сигнализации, блокировки**

Проверку производят с целью определения соответствия выполненных схем управления сигнализации и блокировок принципиальных схем проекта.

Перед проверкой знакомятся с проектом, характером технологического процесса, работой оборудования, контролируют работоспособность принципиальных схем проекта.

Схемы проверяют путем прозвонки каждого провода и сверки отдельных участков цепи с принципиальными схемами. Одновременно подключают и затягивают винтовые соединения на аппаратах (нулевые провода не подключают). Последовательность проверки цепей зависит от сложности схем, территориального расположения оборудования, количественного состава бригады и некоторых других особенностей. Прозвонку производят с помощью омметра, комбинированного прибора, прозвоночного аппарата, телефонных трубок.

Все обнаруженные ошибки монтажа немедленно исправляют силами монтажной организации. Допустимые отклонения от проекта отмечают в исполнительных схемах.

Все элементы полностью собранных схем должны надежно функционировать в предусмотренной проектом последовательности при значении их оперативного тока, приведенного в табл.9.3. Любое изменение схем с целью улучшения работы согласовывают с проектной организацией и заказчиком.

### **Измерение сопротивления изоляции**

По время измерения сопротивления изоляции измерительные приборы, исполнительные механизмы и электрическую аппаратуру отключают. Полупроводниковые элементы и приборы отпаивают или закорачивают. Провода и кабели подключают к сборкам зажимов соединительных коробок, щитов

Таблица 9.3. Значение напряжений оперативного тока, при которых должно обеспечиваться нормальное функционирование схем

Название схем	Напряжение оперативного тока, % от номинального	Примечание
Схемы защиты и сигнализации в установках напряжением выше 1000 В	80, 100	Для простых схем «кнопка - магнитный пускатель» работу при пониженном напряжении не проверяют Изменяют напряжение на входе в блок питания
Схемы управления в установках напряжением выше 1000 В:		
включение	90, 100	
отключение	80, 100	
Релейно-контакторные схемы в установках напряжением до 1000 В	90, 100	
Бесконтактные схемы на 85, 100, 110 логических элементах		

Сопротивление изоляции относительно земли электрически связанных цепей релейной защиты, электроавтоматики, телемеханики и всех других вторичных цепей поддерживают для каждого присоединения на уровне не ниже 1 МОм. Сопротивление изоляции вторичных цепей с применением аппаратуры пониженного напряжения (60 В и ниже), нормально питающихся от отдельного источника, поддерживают не ниже 0,5 МОм.

Сопротивление изоляции для цепей напряжением выше 60В измеряют мегомметром на 1000 В (табл. 28), для цепей 60 В и ниже - мегомметром на 500 В.

#### **Испытание электрической прочности изоляции вторичных цепей повышенным напряжением переменного тока**

Испытанию подвергают электрически связанные цепи релейной защиты, электроавтоматики и другие вторичные цепи, за исключением тех, где применяется аппаратура пониженного напряжения (60 В и ниже).

Испытательное напряжение изоляции принимают равным 1000 В переменного тока.

Таблица 9.4. Наименьшие допустимые сопротивления изоляции аппаратов вторичных цепей и электропроводки напряжением до 1000 В

Испытуемая изоляция	Напряжение мегомметра, В	Сопротивление изоляции, МОм	Примечание
<p>Вторичные цепи управления, защиты, измерения и т.п. в электроустановках до 1000 В:</p> <p>шины оперативного тока и шины на щите управления;</p> <p>каждое присоединение вторичных цепей и цепей питания приводов выключателей и разъединителей</p> <p>Вторичные цепи управления, защиты, сигнализации в релейно-контактных схемах установок напряжением до 1000 В</p> <p>Цепи бесконтактных схем системы регулирования и управления, а также присоединенные к ним элементы</p> <p>Осветительные проводки</p>	500...1000	10	<p>Испытания проводят при отсоединенных шинах</p> <p>Испытания проводят со всеми присоединенными аппаратами</p> <p>Испытания проводят со всеми присоединенными аппаратами</p> <p>По данным завода-изготовителя</p> <p>Испытания проводят без установленных ламп. Изоляцию проверяют между проводами и землей</p> <p>Для каждой секции Распределительного устройства</p>
	500...1000	1	
	500...1000	0,5	
	1000	0,5	
	500...1000	0,5	
Распределительные устройства, щиты и токопроводы до 1000 В	500...1000	0,5	

Продолжительность приложения испытательного напряжения - 1 мин для каждого присоединения.

Испытание напряжением промышленной частоты, равным 1 кВт изоляции электрооборудования, кроме ответственных вращающихся шин может быть заменено измерением поминутного значения сопротивления изоляции мегомметром на напряжение 2500 В. При выполнении испытаний соблюдают требования правил техники безопасности.

### **Опробывание работы аппаратов и цепей вторичной коммутации при пониженном и номинальном напряжении оперативного тока**

Проверка работы аппаратов является заключительным этапом наладки и испытаний вторичных цепей перед их включением в постоянную работу. Перед проверкой устанавливают все предохранители, сигнальную арматуру, подключают нулевые провода.

Регулируемое напряжение (табл. 9.5) подают в схему любым регулятором напряжения.

В ходе проверки схем определяют: соответствие работы схем чертежам проекта; соответствие сигнализации положению аппаратов; четкость и правильность действия блокировок; отсутствие ложных срабатываний.

Проверкой аппаратов и схем при пониженном напряжении устанавливают: четкое и надежное срабатывание аппаратов; отсутствие гудения магнитной системы пускателей, реле и т. п.

Таблица 9.5. Напряжение и количество операций при испытании аппаратов

Операция	Напряжение на шинах оперативного тока, % от номинального	Количество операций
Включение	90	5
Включение и отключение	100	5
Отключение	80	10

По окончании всех вышеуказанных работ составляют протокол испытаний и дают заключение о пригодности аппаратов и цепей к эксплуатации.

## 10. НАЛАДКА ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

В ценах на наладку заземляющих устройств учтены затраты на следующие работы:

а) при измерении сопротивления заземлителей относительно земли (очаг, контур):

- ознакомление с технической документацией; осмотр заземляющего устройства;
- определение места и забивка вспомогательных электродов в грунт;
- сборка схемы;
- проведение замеров в трех точках для контура, в одной точке — для очага;
- разработка схемы, оформление протокола;

б) при проверке наличия цепи между заземлителями и заземленными элементами:

- осмотр заземляющего устройства;
- подготовка мест присоединения приборов и производство измерений;

в) при определении удельного сопротивления грунта; ознакомление с заданным;

- выбор места и глубины забивки электродов; забивка электродов в грунт; сборка и разборка схемы;
- определение сопротивления заземлителей относительно земли;
- расчет удельного сопротивления грунта;

г) при замере полного сопротивления фаза — нуль: ознакомление с технической документацией и электроустановкой;

- подготовка мест присоединения приборов: проверка качества контактных соединений (простукиванием) магистрали и отпаяк нулевого провода; сборка схемы и проведение замеров.

## 10.1. Требования к заземляющим устройствам

Требования СНиП и ПУЭ на монтаж и испытания заземляющих устройств распространяются на установки постоянного и переменного тока.

Заземление электроустановок выполняют:

- при напряжении 500 В и выше переменного и постоянного тока во всех случаях;
- при номинальных напряжениях выше 36 В переменного тока и 110 В постоянного тока в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках.

Заземления электроустановок не требуется для переменного тока при номинальном напряжении 36 В и ниже, для постоянного тока - при 110 В и ниже.

Эти требования обязательны во всех случаях, за исключением взрывоопасных установок.

К частям, подлежащим заземлению, относятся:

- корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т. п.;
- приводы электрических аппаратов;
- вторичные обмотки измерительных трансформаторов;
- каркасы камер распределительных устройств, распределительных щитов, щитов и пультов управления, щитков и шкафов;
- металлические конструкции распределительных устройств, металлические кабельные конструкции, металлические корпуса кабельных муфт, металлические оболочки и брони силовых и контрольных кабелей, металлические оболочки проводов, стальные трубы электропроводки и другие металлические конструкции, связанные с установкой электрооборудования;
- металлические корпуса передвижных и переносных электро-приемников.

Заземлению не подлежат:



- арматура подвесных штырей опорных изоляторов, кронштейны и осветительная арматура при установке их на деревянных опорах линий электропередачи и на деревянных конструкциях открытых подстанций, если это потребуется по условиям защиты от атмосферных перенапряжений;
- оборудование, установленное на заземленных металлических конструкциях; при этом для обеспечения электрического контакта на опорных поверхностях должны быть предусмотрены зачищенные и незакрашенные места;
- корпуса электроизмерительных приборов, реле и т. п., установленных на щитах, щитках, в шкафах, а также на стенах камер распределительных устройств;
- электроприемники с двойной изоляцией;
- рельсовые пути, выходящие за территорию электростанций, подстанций распределительных устройств и промышленных предприятий;
- съемные или открывающиеся части на металлических заземленных каркасах и камерах распределительных устройств, ограждений, шкафов, дверей и т. п.

Допускается вместо заземления отдельных электродвигателей, аппаратов и другого оборудования, установленного на станках, заземлять станины станков при условии обеспечения надежного контакта между корпусами электрооборудования и станиной.

Каждый заземляемый элемент электроустановки присоединяют к заземлителю или к заземляющей части отдельного ответвления. Последовательное включение в заземляющий проводник нескольких заземляемых частей установки запрещается.

Ответвления к однофазным электроприемникам для их заземления осуществляют отдельным (третьим) проводником. Использование для этой цели нулевого (рабочего) провода ответвления запрещается.

У мест ввода заземляющих проводников в здание устанавливают опознавательные знаки либо делают вводы, обозримые снаружи. Открыто проложенные заземляющие проводники, за исключением нулевых проводов, а также все конструкции, провода и полосы сети окрашивают в черный цвет.

Допускается окраска открытых заземляющих проводников в иные цвета соответственно с оформлением помещения, но при этом они должны иметь в местах присоединений и ответвлений не менее двух полос черного цвета на расстоянии 150 мм друг от друга.

В электроустановках напряжением до 1000 В медные или алюминиевые заземляющие проводники имеют площади сечения, не менее приведенных в табл. 10.1 значений.

Таблица 10.1. Площади сечения медных и алюминиевых заземляющих проводников в электроустановках напряжением до 1000 В

Заземляющие проводники	Медь, мм <sup>2</sup>	Алюминий, мм <sup>2</sup>
Голые проводники при открытой прокладке	4,0	6,0
Изолированные провода	1,5	2,5
Заземляющие жилы кабелей или многожильных проводов в общей защитной оболочке с фазными жилами	1,0	1,5

В электроустановках напряжением до 1000 В с глухим заземлением нейтрали для обеспечения автоматического отключения аварийного участка заземляющие проводники выбирают с таким расчетом, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой провод возникал ток короткого замыкания, превышающий не менее чем в 3 раза номинальный ток плавкой вставки ближайшего предохранителя и в 3 раза — номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратно зависимую от тока характеристику.

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсечку), проводник должен быть выбран таким, чтобы в петле фаза — нуль был обеспечен ток короткого замыкания,

равный уставке тока мгновенного срабатывания, умноженной на коэффициент, учитывающий разброс (заводские данные), и на коэффициент запаса 1.1.

При отсутствии заводских данных для автоматов с номинальным током 100 А кратность тока короткого замыкания относительно уставки следует принимать равной 1,4, для прочих автоматов — 1,25.

Полная проводимость заземляющих проводников во всех случаях должна быть не менее 50% проводимости фазного проводника.

В случаях, когда эти требования не удовлетворяются в отношении величины токозамыкания на корпус или нулевой провод, отключение при замыканиях обеспечивают при помощи специальных защит.

Независимо от выполнения указанных требований при проектировании условия токоотключения проверяют испытаниями или измерениями допуска электроустановки к эксплуатации, а также периодически в процессе ее эксплуатации.

В сетях напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью для проверки обеспечения отключения замыканий между фазным и нулевым проводами ток замыкания определяют по приближенной формуле:

$$I_3 = U_{\phi} / (Z_n + Z_m / 3),$$

где  $U_{\phi}$  - фазное напряжение сети;

$Z_n$  - полное сопротивление проводов петли фаза - нуль;

$Z_m$  - полное сопротивление трансформатора току замыкания на корпус.

В цепи нулевых проводов, если они одновременно служат для цепей заземления, не должно быть разъединяющих приспособлений и предохранителей. Допускается, однако, применение таких выключателей, которые одновременно с отключением нулевых проводов отключают также все провода, находящиеся под напряжением.

Однополюсными выключателями выключают фазные, а не нулевые провода. Заземляющие проводники в помещениях делают доступными для осмотра. Это требование не относится к нулевым жилам, металлическим оболочкам кабелей,

трубопроводам скрытой электропроводки, находящимся в земле металлоконструкциям, а также к проводникам заземления, проложенным в трубах.

В помещениях сухих, не содержащих едких паров и газов, заземляющие проводники допускается прокладывать непосредственно по стенам.

В сырых и особо сырых помещениях и в помещениях с едкими парами заземляющие проводники прокладывают на расстоянии от стен не менее чем на 10 мм.

Заземляющие проводники предохраняют от химических воздействий. В местах перекрещивания заземляющих проводников с кабелями, трубопроводами, железнодорожными путями, а также в других местах, где возможны механические повреждения заземляющих проводников, последние должны быть защищены.

Использование специально проложенных заземляющих проводников для иных целей не допускается.

## **10.2. Элементы заземляющих устройств**

Заземляющие устройства состоят из трех элементов:

- а) грунта (земли), свойства которого определяются его удельным сопротивлением: хороший грунт (влажный, глинистый) имеет удельное сопротивление до  $1 \cdot 10^4$  Ом·см; плохой (сухой песок, каменистые участки) — более  $10 \cdot 10^4$  Ом·см;
- б) искусственных заземлителей, которые обычно выполняются из погруженных в землю стальных электродов; ПУЭ рекомендует к искусственным заземлителям присоединять сваркой естественные заземлители - все имеющие надежное соприкосновение с землей металлические и железобетонные элементы зданий и сооружений, металлические конструкции и оборудование (оболочки кабелей, трубопроводы и т. п.), которые могут быть использованы для стекания токов в землю;

в) заземляющих магистралей и проводников — наружных (наземных) проводников, связывающих отдельные заземлители с заземлителями с подлежащим заземлению оборудованием.

**Объем приемо-сдаточных испытаний.** Согласно ПУЭ, вводимые в эксплуатацию заземляющие устройства подвергают приемо-сдаточным испытаниям:

- проверке состояния элементов заземляющего устройства;
- проверке состояния пробивных предохранителей в установках напряжением до 1000 В;
- проверке полного сопротивления петли фаза — нуль в установках напряжением до 1000 В с глухим заземлением нейтрали (проводится для наиболее удаленных, а также наиболее мощных электроприемников; проверке подвергают не менее 10% общего количества электроприемников);
- измерению сопротивления заземляющих устройств;
- проверке наличия цепи между заземлителями и заземленными элементами;
- проверке соответствия сечения или проводимости заземляющих проводников.

**Проверка состояния элементов заземляющего устройства** Состояние элементов заземляющего устройства определяют путем выборочного осмотра элементов, находящихся в земле, со вскрытием грунта, а остальных - в пределах допустимости.

При осмотре проверяют соответствие проекту площади сечения, глубины заложения заземлителей. Надежности соединений элементов искусственного заземлителя (труб, полос и др.), а также соединений искусственного заземлителя с естественными, соответствие проекту защиты заземляющих

проводников от механических повреждений (в местах, где возможны механические повреждения) и т. д.

**Проверка состояния пробивных предохранителей.** Предохранители подвергают наружному осмотру, при котором проверяют состояние наружной поверхности и внутренних частей, отсутствие сколов, трещин, загрязнения фарфоровой изоляции, целостность слюдяной прокладки, чистоту разрядных поверхностей электродов.

Для проверки исправности пробивных предохранителей измеряют сопротивление изоляции и определяют пробивное напряжение промышленной частоты. Сопротивление изоляции (его измеряют мегомметром на 250 В) не нормируется. На основании опытных данных сопротивление изоляции должно быть не менее 4 МОм.

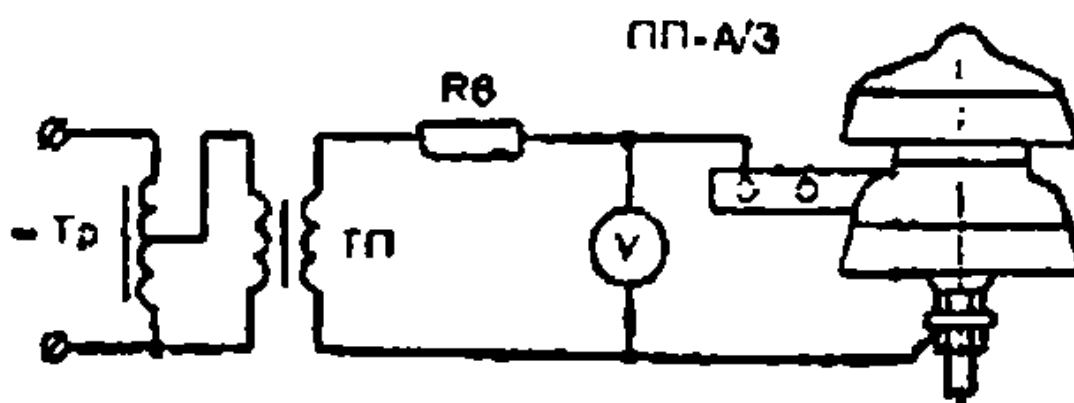


Рис. 10.1. Схема измерения напряжения пробоя пробивного предохранителя

По схеме на рис. 10.1. при помощи регулировочного Тр и повысительного ТП трансформаторов поднимают напряжение до пробоя промежутка в пробивном предохранителе. Балластное сопротивление  $R_b = 5...10$  КОм ограничивает ток пробоя, защищая разрядные поверхности от подгорания, и облегчает фиксирование напряжения, при котором произошел пробой.

Если пробивное напряжение соответствует данным табл. 10.2, то его снижают и снова повышают до  $0,75 U_{проб}$ . Если при этом не наступает пробой, то испытательную установку отключают и повторно измеряют сопротивление изоляции. При существенном снижении сопротивления

изоляции (более 30%) следует разобрать предохранитель, зачистить подгоревшие разрядные поверхности и повторить испытания, увеличив балластное сопротивление.

Предохранитель считается исправным, если сопротивление его изоляции не ниже 1 МОм и пробивное напряжение находится в пределах, указанных в табл. 10.2..

Таблица 10.2. Основные технические данные пробивных предохранителей разрядников типа ПП-А/3 (в двух исполнениях)

Исполнение	Номинальное напряжение, В	Пределы пробивного напряжения, В	Разрядный промежуток (толщина слюдяной прокладки), мм
Первое	220	351...500	0,08±0,02
Второе	300	701...1000	0,21±0,03

### 10.3. Проверка полного сопротивления петли фаза-нуль

Целью проверки является определение тока короткого замыкания между фазами и заземляющими проводниками. Ток этот должен иметь определенную кратность по отношению к номинальному току плавкой вставки или расцепителя автомата защищаемого присоединения.

Сопротивление петли фаза - нуль состоит из сопротивлений трансформатора, фазного провода и нулевого провода (или специального провода, прокладываемого для соединения корпусов оборудования с нейтралью трансформатора). При протяженных линиях и больших мощностях трансформаторов измерение сопротивления петли допустимо без учета сопротивления трансформатора.

Проверяют для наиболее удаленных и мощных электроприемников, но не менее чем для 10% их общего количества. Проверку можно производить расчетом по формуле:

$$Z_{nem} = Z_n + Z_m/3$$

где  $Z_n$  - полное сопротивление проводов петли фаза — нуль;

$Z_m$  - полное сопротивление питающего трансформатора току замыкания на корпус.

Для алюминиевых и медных проводов удельное сопротивление можно принять равным 0.6 Ом/км. Значения сопротивления  $Z_m$  даны в паспорте трансформатора.

Если расчет показывает, что кратность тока однофазного короткого замыкания на 30% превышает допустимые кратности по табл. 10.3, то можно ограничиться расчетом. В противном случае надо произвести измерения по схеме на рис. 10.2. Следует учитывать, что если в измеряемой цепи есть стальные проводники, их сопротивление при малых токах значительно больше, чем при фактических токах короткого замыкания. Поэтому в таких случаях сопротивление при измерениях будет несколько больше, чем при фактических токах короткого замыкания (измеряют без отключения оборудования).

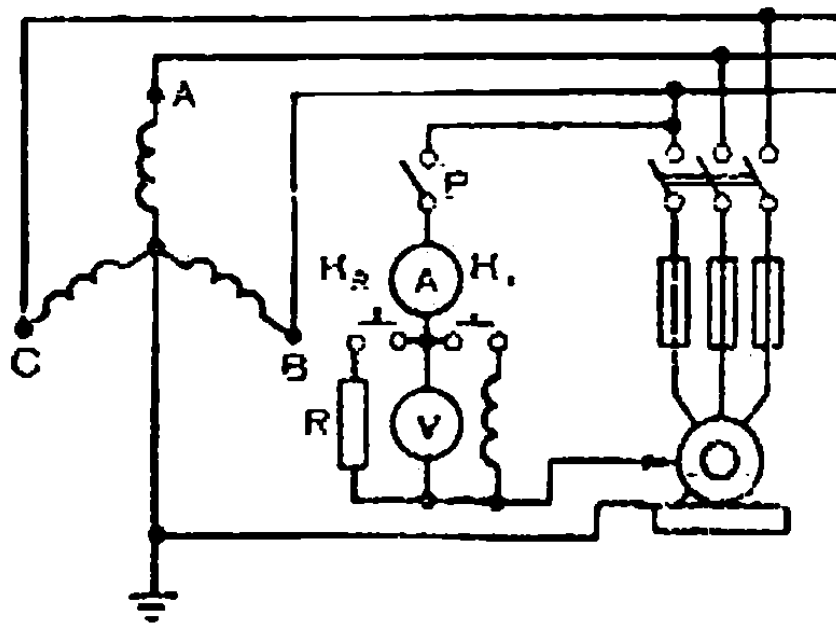


Рис. 10.2 Схема измерения сопротивления петли (фаза трансформатора, фазный провод, заземляющий провод)



Таблица 10.3. Наименьшая допустимая кратность тока однофазного короткого замыкания относительно номинальных уставок защитных устройств

Виды защиты сети от однофазных замыканий	Кратность тока однофазного короткого замыкания относительно уставки защиты для сети, проложенной в помещении	
	невзрыво-опасном	взрыво-опасном
Плавкий предохранитель	3	4
Автомат с обратной зависимой от тока характеристикой	3	6
Автомат с электромагнитным расцепителем, если известен коэффициент разброса уставки:		
$K_p$ (по данным завода)	$1,1K_p$	$1,1K_p$
то же, при отсутствии заводских данных по $K_p$ при $I_n$ уставки:		
до 100 А	1,4	1,4
более 100 А	1,25	1,25

При включенном рубильнике Р и отключенных кнопках снимают показания вольтметра. С помощью кнопки  $K_R$  включают активное сопротивление R и определяют ток и напряжение, которые должны быть несколько меньше, чем до включения нагрузки. Активное сопротивление петли может быть вычислено из выражения:

$$r_n = \Delta U_1 / I_R \text{ Ом,}$$

где  $\Delta U_1$  - разность показаний вольтметра при отключенном и включенном сопротивлении  $R_1$ ;

$I_R$  - ток в петле при включении сопротивления.

Повторяют измерения тока и напряжения с помощью кнопки К, (кнопка  $K_R$  отключена). По результатам измерений узнают индуктивное сопротивление петли:

$$x_{II} = \Delta U_2 / I_x$$

где  $\Delta U_2$  - разность показаний вольтметра при отключенном и включенном

сопротивлении  $x$ ;

$I_x$  - ток в петле при включении сопротивления  $x$ .

Полное сопротивление петли определяют по формуле:

$$Z_n = (r_n + x_n)^{0,5} .$$

В качестве активного сопротивления может быть использовано проволочное сопротивление порядка 7... 12 Ом, рассчитанное на кратковременный ток 20...30А. Индуктивным сопротивлением могут быть дроссели и катушки с железным сердечником. Колебания напряжения в сети могут привести в процессе измерения к ошибочным выводам.

На аналогичном принципе основан прибор типа М-417, который измеряет разность модулей фазных напряжений до и после включения нагрузочного сопротивления с фазовым углом сдвига  $\varphi_n = 32^\circ$ .

Прибор используют при температуре окружающего воздуха от - 30 до 40 °С и относительной влажности до 90% (при 30 °С).

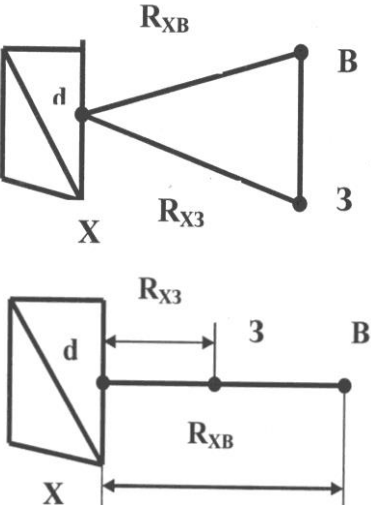
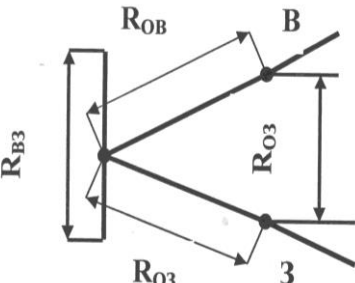
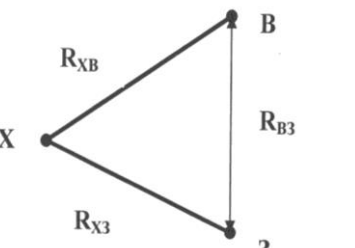
#### 10.4. Измерение сопротивления заземляющих устройств

Сопротивление растеканию тока заземлителя или контура заземления для электроустановок  $R$  нормируется ПУЭ. Оно не должно превышать значений, указанных в табл. 10,4 для электроустановок напряжением выше 1000 В с токами замыкания на землю  $I_3$  более 500 А—0,5.

Таблица 10.4. Наименьшие размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников (согласно ПУЭ)

Конструктивное выполнение заземлителей и проводников	В зданиях	В наружных установках	В земле
Круглые сплошные с диаметром, мм	5,0	6,0	6,0
Прямоугольные:			
с площадью сечения, мм <sup>2</sup>	24,0	48,0	48,0
толщиной, мм	3,0	4,0	4,0
Угловая сталь с толщиной полок, мм	2,0	2,5	4,0
Стальные газопроводные трубы с толщиной стенок, мм	2,5	2,5	3,5
Стальные тонкостенные трубы с толщиной стенок, мм	1,5	Не допускается	

Таблица 10.5. Рекомендуемые взаимные расположения и минимальные расстояния между испытуемым и вспомогательными электродами

Заземлитель	Расположение вспомогательных заземлителей	Минимальные расстояния, м
<p>Сложный контурный:  двулучевая схема</p> <p>однолучевая схема</p>		$80 \leq (R_{XB} = R_{XZ} = 2R_{BZ}) \geq 2d$ $160 \leq (2R_{XZ} = R_{XB}) \geq 3d$
Лучевой		$(R_{OB} = R_{OZ} = 2R_{BZ}) \geq 1/2$
Сосредоточенный		$R_{XB} = R_{XZ} = R_{BZ} \geq 20$

Примечание. *B* - вспомогательный заземлитель; *Z* - зонд; *X* - испытуемый заземлитель; *d* - большая диагональ; *l* - линия точных измерений.

Прежде чем приступить к измерению сопротивления растеканию заземлителя, необходимо ознакомиться с проектом на выполнение заземлителя и актом на скрытые работы по заземлению. Последний представляет либо заказчик, либо представители той организации, которая выполняла задания проекта. Если в акте указано, что заземление выполнено по проекту, а все отклонения согласованы с авторами проекта, то приступают к осмотру открытых элементов заземляющего устройства. При осмотре проверяют, чтобы

проводники и заземлители были выполнены с площадью сечения не меньшей, чем указано в табл. 10.4 и в проекте. Надежность сварки проверяют простукиванием молотком; сварка проводников должна быть выполнена внахлестку.

Таблица 10.6. Минимальные допустимые сопротивления заземляющих устройств

Номинальное напряжение сети и ли установки, В	Характеристика установки или заземленного объекта	Измеряемая величина	Максимально допустимое сопротивление заземляющего устройства, Ом	Примечание
Электроустановки выше 1000 В	Установки с большими токами замыкания на землю (свыше 500 А)	Сопротивление заземляющего устройства каждого объекта	0,5 (с учетом естественных заземлителей)	Сопротивление искусственного заземляющего устройства должно быть не более 10 Ом
	Установки с малыми токами замыкания на землю (500 А и менее)	Сопротивление заземляющего устройства каждого объекта	125*/ I 250**/ I	В сетях без компенсации емкостных токов сопротивление должно быть не более 10 Ом
До 1000 В	Все электрооборудование, за исключением генераторов и трансформаторов мощностью 100 кВА и менее	Сопротивление заземляющего устройства	4	
	Генераторы и трансформаторы мощностью 100 кВА и менее, нейтрали которых присоединены к заземляющему устройству.	То же	10***	
	Установки с глухим заземлением нейтрали	Сопротивление повторных заземлений нулевого провода	10	

\* Для заземляющего устройства, одновременно используемого для электроустановок напряжением до 1000 В,  $I$  — расчетный ток замыкания на землю А.

\*\* Для заземляющего устройства, используемого только для электроустановок напряжением выше 1000 В.

\*\*\* Согласно ПУЭ, для электроустановок напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью при удельном сопротивлении земли более 100 Ом-м допускается увеличение сопротивления заземляющих устройств пропорционально  $\rho_{\phi}/100$ , а для всех других систем пропорционально  $\rho_{\phi}/500$ , где  $\rho_{\phi}$  — фактическое удельное сопротивление земли в месте расположения заземлителя. Увеличение допускается не более чем в 10 раз.

Элементы заземляющих устройств не окрашивают (ржавчина допустима). Подземная часть заземляющего устройства должна иметь связь с земной не менее чем в двух местах. Выборочно осматривают участки заземляющего устройства, находящиеся в земле, после вскрытия заземлителей в нескольких местах. Осматривают места подключения естественных заземлителей.

При измерении сопротивления заземлителей создают искусственную цепь тока через испытуемый заземлитель. Для этого на некотором расстоянии от последнего располагают вспомогательный заземлитель, подключаемый вместе с испытуемым заземлителем к источнику питания. Для измерения падения напряжения в сопротивлении испытуемого заземлителя в зоне нулевого потенциала располагают зонд.

Точность измерения сопротивления заземлителей зависит от взаимного расположения испытуемого и вспомогательных заземлителей и от расстояния между ними (табл. 10.5).

В качестве вспомогательного заземлителя и зонда применяют стальные неокрашенные электроды диаметром 10...20 мм, длиной 0,8...1 м.

Электроды забивают в плотный естественный (ненасыпной) грунт на глубину не менее 0.5 м.

Места в грунте с большим сопротивлением, в которое нужно забить вспомогательные заземлители, уплотняют либо увлажняют водой, раствором соли или кислоты.

В практике наладочных работ наибольшее распространение получил метод измерений с помощью специального прибора - измерителя сопротивлений заземления типа М-4И6 (максимально допустимые сопротивления заземляющих устройств приведены в табл. 10.6).

Измерители М-416 предназначены для измерения сопротивлений заземляющих устройств, активных сопротивлений, их также используют для определения удельного сопротивления грунта.

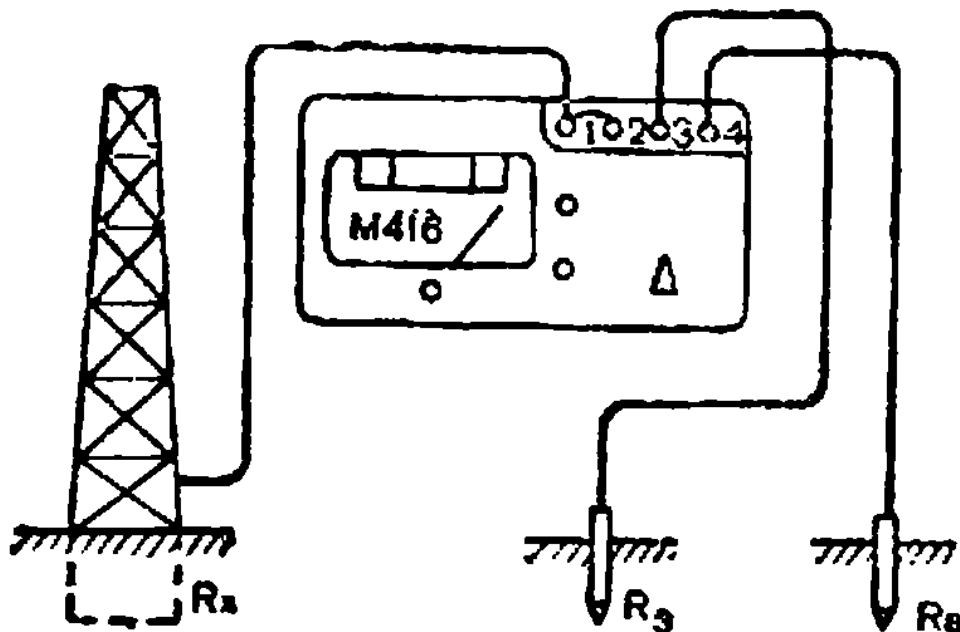


Рис. 10.3. Подключение прибора по трехзажимной схеме:  $R_x$  - измеряемое сопротивление;  $R_B$  - сопротивление вспомогательного заземления;  $R_3$  - сопротивление зонда

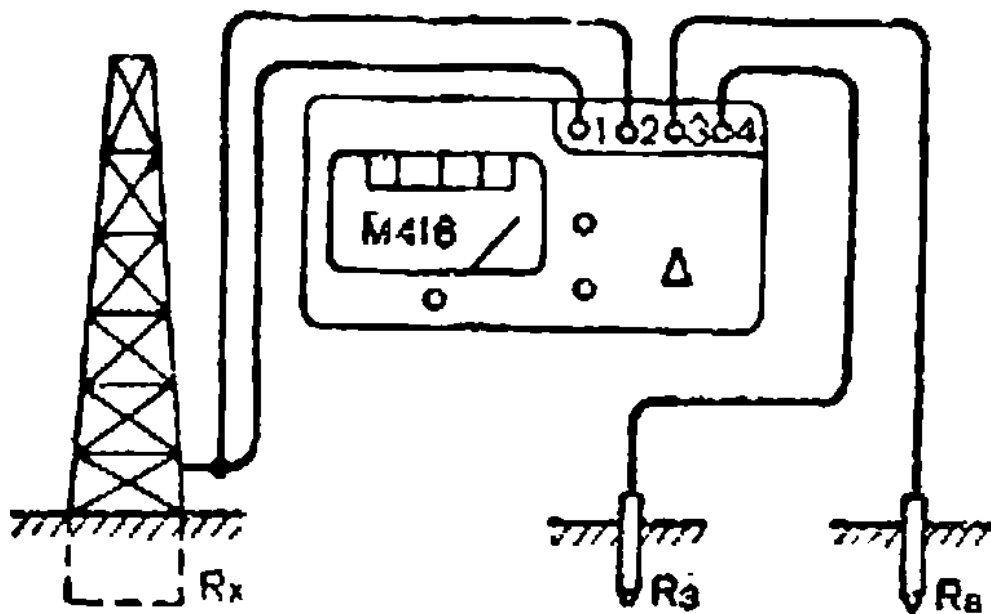


Рис. 10.4. Подключение прибора по четырехзажимной схеме

Прибор рассчитан для работы при температуре окружающего воздуха от — 25 до - 60° и относительной влажности до 95% при температуре +35°.

Принцип действия прибора основан на компенсационном методе измерения с применением вспомогательного заземлителя и потенциального электрода (зонда). Прибор имеет четыре диапазона измерения: 0,1... 10; 0,5...10; 2...20 Ом и 10... 1000 Ом.

Для подключения измеряемого сопротивления, вспомогательного заземления и зонда на приборе имеется четыре зажима, обозначенных цифрами 1, 2, 3, 4. При грубых измерениях сопротивления заземления и измерениях больших сопротивлений зажимы 1 и 2 соединяют перемычкой и прибор подключают к измеряемому объекту по трехзажимной схеме (рис. 10.3). При точных измерениях снимают перемычку с зажимов 1 и 2 и прибор подключают по четырехзажимной схеме (рис. 10.4). Это позволяет исключить погрешность, вносимую сопротивлением соединительных проводов и контактов.

Перед работой переключатель устанавливают в положение «Контроль 0 Ом», нажимают кнопку и вращением ручки «Реохорд» добиваются положения стрелки индикатора на нулевой отметке. На шкале расхода при этом должно быть показание  $5 \pm 0,35$  Ом при нормальных климатических условиях и номинальном напряжении источника питания.

Прибор рассчитан для работы при напряжении источника питания от 3,8 до 4,8 В.

При измерении прибор располагают в непосредственной близости от измеряемого заземления, так как при этом на результате измерения меньше сказывается сопротивление проводов, соединяющих  $R_x$  с зажимами 1, 2.

Стержни, образующие вспомогательный заземлитель и потенциальный электрод (зонд), устанавливают на расстояниях, указанных в табл. 10.5. Глубина погружения в грунт должна быть не менее 500 мм.

Во избежание увеличения переходного сопротивления заземлителя и зонда стержни забивают в грунт прямыми ударами, стараясь не раскачивать их.

При грунтах с высоким удельным сопротивлением измерения будут приближительными.

Для повышения точности измерения уменьшают сопротивление вспомогательных заземлителей путем увлажнения почвы вокруг них или увеличивают их количество.

Дополнительные стержни забивают на расстоянии не менее 2...3 м друг от друга. Все стержни, образующие контур зонда или вспомогательного заземлителя, соединяют между собой.

Измерение проводят по схемам, указанным на рис. 10.3 и 10.4 в зависимости от величины измеряемого сопротивления и точности измерения.

В случае измерения по схеме, изображенной на рис.10.3 в результате измерения входит сопротивление провода, соединяющего зажим 1 с  $R_x$ . поэтому такое включение используют, когда не требуется точное измерение или при измерении сравнительно больших (больше 1 Ом) сопротивлений.

Для сложных заземлителей, выполненных в виде контура с протяженным периметром, расстояние между контуром, вспомогательным заземлителем и зондом должно быть не менее указанного в табл.10.3, где  $d$ — наибольшая диагональ контура измеряемого заземляющего устройства, м.

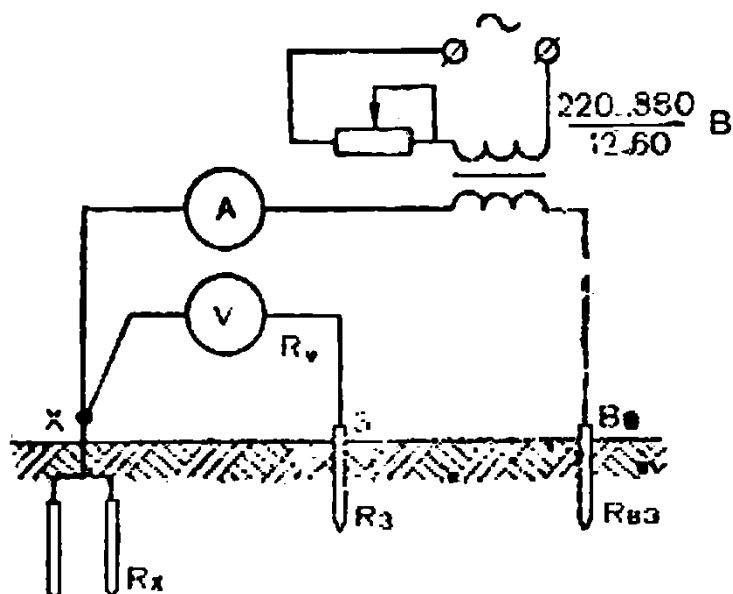


Рис. 10.5. Измерение сопротивления растеканию заземлителя методом амперметра-вольтметра



Независимо от выбранной схемы, измеряют в следующей последовательности :

- а) переключатель В1 устанавливают в положение «х1»;
- б) нажимают кнопку и, вращая ручку «Реохорд», добиваются максимального приближения стрелки к нулю.

Результат измерения равен произведению показания шкалы «Реохорд» на множитель. Если измеряемое сопротивление окажется больше 10 Ом, переключатель устанавливают в положение «х5», «х20» или «х-100» и повторяют операцию б.

Для получения высокой точности и чувствительности измерений, при достаточной чувствительности приборов, что иногда требуется при исследовательских измерениях, применяют схему с амперметром и вольтметром (рис. 10.5). Питание схемы непосредственно от сети недопустимо из-за влияния на результаты измерения проводимости изоляции сети. Для питания схемы могут быть использованы сварочные, нагрузочные и котельные трансформаторы. Амперметр и вольтметр подключают к испытуемому заземлителю отдельными проводами, так как в противном случае при случайном отсоединении от заземлителя соединенных вместе проводов вольтметр окажется под полным напряжением и может быть поврежден.

Сущность метода заключается в измерении тока  $I$ , проходящего через испытуемый заземлитель, и напряжения  $U$  между заземлителем и зондом.

Сопротивление испытуемого заземлителя:  $R = U / I$ .

Для достаточной точности измерения сопротивление вольтметра должно быть значительно больше сопротивления зонда, которое может достигать 1...2 кОм. Для того чтобы погрешность не превышала 2 %, сопротивление вольтметра должно быть, по крайней мере в 50 раз больше сопротивления зонда.

Перед измерениями при отключенной схеме убеждаются по вольтметру в отсутствии посторонних токов в земле. Если же есть значительные напряжения от посторонних токов, то необходимо их устранить (например, отключить

электросварку) либо, когда устранение невозможно, изменить место расположения зонда.

Влияние посторонних токов можно снизить увеличением тока в испытательной цепи. Измерения проводят только тогда, когда нет постороннего напряжения либо оно незначительно. При измерении малых сопротивлений достаточным является ток 20...25 А. Если при измерениях сила тока достаточна для отклонения стрелки вольтметра, но стрелка не отклоняется или отклоняется слабо, необходимо измерить сопротивление зонда. Для этого провод токовой цепи отсоединяют от испытуемого заземлителя и присоединяют к зонду. Остальная часть схемы остается прежней, и сопротивление зонда определяют делением измеренного напряжения на ток.

Для измерения сопротивления вспомогательного заземлителя достаточно провод, идущий к вольтметру, отсоединить от испытуемого и присоединить к вспомогательному заземлителю. Сопротивление последнего определяют так же, как и для зонда.

Исходя из условий техники безопасности, желательно применять как можно меньшее напряжение. Если применение безопасного напряжения не представляется возможным, необходимо принять меры, исключающие появление людей и животных в районе вспомогательного заземлителя.

**Оценка результатов измерений.** Результаты намерений сопротивления растеканию сравнивают с нормами, приведенными в табл. 10.3. Если измеренные сопротивления превышают нормы, то проверяют, подключены ли все естественные заземлители, измеряют удельное сопротивление грунта в разных местах в районе электроустановки. Результаты измерений удельного сопротивления грунта сравнивают с данными проекта и получают от проектной организации новое решение по улучшению заземлителя.

Если результаты измерений удовлетворяют нормам, то дают заключение о допустимости использования заземлителя в данной электроустановке. В протоколе испытаний указывают дату испытаний, состояние грунта (сухой,

влажный, мерзлый). Если испытаниям предшествовали дожди, и грунт был увлажнен, то в процессе дальнейшей эксплуатации в наиболее неблагоприятное (для заземлителя) время года повторяют испытания.

**Измерение удельного сопротивления грунта.** При приемосдаточных испытаниях измерения удельного сопротивления грунта не производят. По просьбе проектных организаций или когда результаты измерений сопротивления растеканию оказываются хуже расчетных, удельное сопротивление грунта определяют в нескольких местах в районе испытываемого заземлителя. Измерения производят при помощи измерителя М-416 или методом амперметра-вольтметра.

Измерение удельного сопротивления грунта при помощи прибора М-416 производят аналогично измерению сопротивления заземления. При этом к зажимам 1 и 2 вместо  $R_x$  присоединяют дополнительный электрод в виде металлического стержня или трубы известных размеров (см. рис. 10,3 и 10.4).

Вспомогательный заземлитель и зонд располагают от дополнительного электрода на расстояниях, указанных в табл. 10.5.

В местах забивки стержня вспомогательного заземлителя и зонда растительный или насыпной слой удаляют.

Удельное сопротивление грунта на глубине забивки трубы подсчитывают по формуле:

$$\rho = 2,73R[1/(\ell q 4\ell/d)] \text{ Ом/см,}$$

где  $R$  - сопротивление, измеренное измерителем заземления, Ом;

$\ell$  - глубина забивки трубы, см;

$d$  — диаметр трубы, см.

**Проверка наличия цепи между заземлителями и заземленными элементами.** Проверяют целостность проводников, соединяющих аппаратуру с контуром заземления, надежность болтовых соединений, а также наличие

непосредственной связи каждого аппарата с магистралью заземления или заземленными металлическими конструкциями. Последовательное подключение отдельных аппаратов недопустимо.

Величина сопротивления связи не нормируется, но практикой установлено, что хорошее подсоединение к заземлителю обеспечивает сопротивление связи 0,05...0,1 Ом. Поэтому помимо внешнего осмотра качества соединений производят также электрические измерения: данные этих измерений нужны для эксплуатационных измерений как исходные.

Сопротивления связи измеряют различными способами, в том числе мостами постоянного тока, методом амперметра-вольтметра (рис. 10.6).

В случае измерения мостами постоянного тока, при малых значениях сопротивления между заземлителями и заземленными элементами, из полученного результата необходимо вычесть значение сопротивления соединяющих проводов.

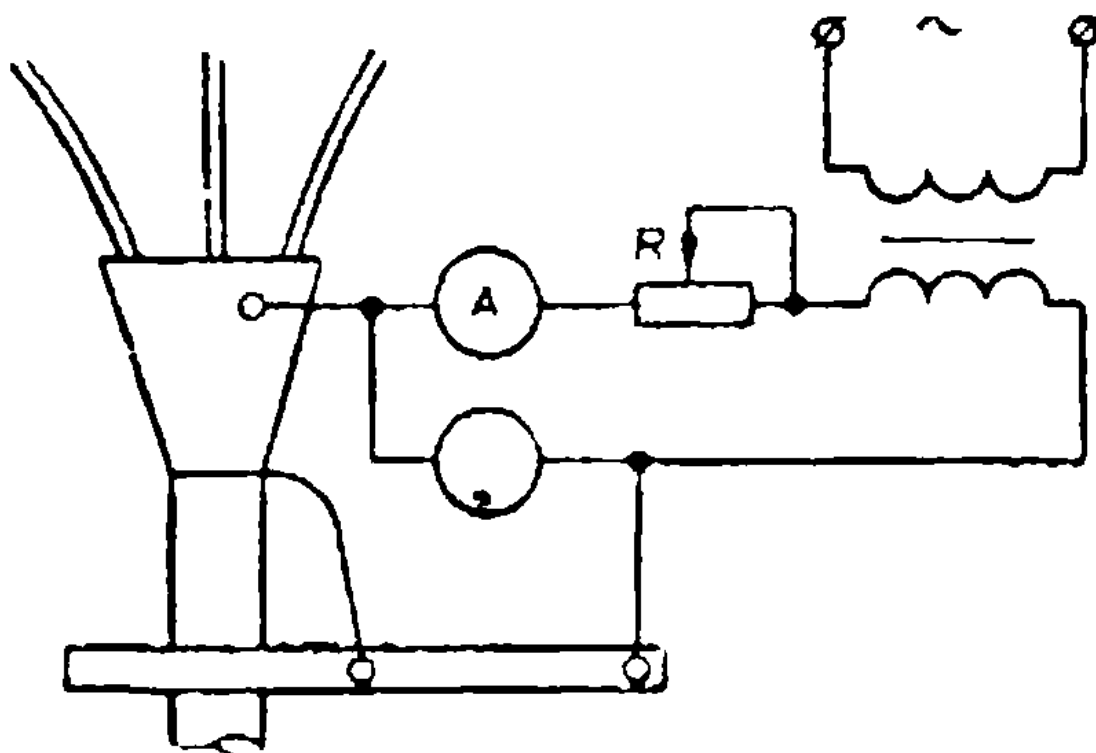


Рис. 10.6. Измерение сопротивления связи методом амперметра-вольтметра

### **Контрольные вопросы**

1. Что можно использовать в качестве естественных заземлителей?
2. Величина максимального сопротивления заземляющих устройств.
3. Какими приборами измеряется сопротивление растекания тока в землю?
4. Как измеряется удельное сопротивление грунта?
5. Чему равно повторное заземление заземлителей?

## 11. НАЛАДКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

### 11.1. Объем испытаний

Общие технические требования к силовым трансформаторам (и автотрансформаторам) определяются ПУЭ и ПТЭ, в которых предусмотрены также программы типовых и контрольных испытаний.

Объем приемо-сдаточных испытаний, обусловленный ПУЭ, следующий.

1. Определение условий включения трансформаторов без сушки.
2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты:
  - а) изоляции обмоток вместе с вводами (для обмоток масляных трансформаторов и автотрансформаторов — не обязательно);
  - б) изоляции доступных стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок (испытание проводится в случае осмотра активной части).
3. Измерение сопротивления обмоток постоянному току. Измерение производится на всех ответвлениях, если это не требует выемки сердечника.
4. Измерение тока холостого хода при номинальном напряжении.
5. Проверка работы переключающего устройства и снятие круговой диаграммы.
6. Осмотр и проверка устройств охлаждения (в соответствии с заводской инструкцией).
7. Проверка целостности заземления ярмовых балок, прессующих колец и магнитопровода (в случае осмотра активной части залитых маслом и сухих трансформаторов).
8. Фазировка трансформатора.
9. Испытание включением толчком на номинальное напряжение. В процессе 3...5-кратного включения трансформатора на номинальное напряжение не должны иметь места явления, указывающие на неудовлетворительное состояние трансформатора. Трансформаторы, смонтированные по схеме блока с генераторами, допускается включать в сеть подъемом напряжения с нуля.
10. Испытание вводов.
11. Испытание встроенных трансформаторов тока.

## 12. Испытание трансформаторного масла.

Приведенный объем приемо-сдаточных испытаний распространяется на масляные реакторы и дугогасящие катушки.

Трансформаторы мощностью 1000 кВА и менее испытываются в объеме, предусмотренном п. 1, 3, 8, 9, 12.

Для определения некоторых параметров и решения других вопросов при проведении наладочных работ возникает необходимость в дополнительных испытаниях и измерениях, методика проведения которых рассматривается ниже.

Перед началом испытаний необходимо провести внешний осмотр трансформатора, в процессе которого проверить исправность бака и радиаторов, состояние изоляторов, уровень масла, положение радиаторных кранов и крана на маслопроводе к расширителю, целость маслоуказательного стекла, заземление трансформатора.

### **11.2. Определение условий включения трансформаторов без сушки**

Условия включения масляных трансформаторов без сушки определяются «Инструкцией по контролю состояния изоляции трансформаторов перед вводом в эксплуатацию».

Объем проверки состояния изоляции и условия включения без сушки зависят от мощности, напряжения и условий транспортировки трансформаторов.

**I группа.** В нее входят трансформаторы мощностью менее 2500 кВА, напряжением 35 кВ включительно, транспортируемые с маслом.

Условия включения без сушки трансформаторов этой группы таковы.

а. Уровень масла — в пределах отметок маслоуказателя.

б. Масло без следов воды, а пробивное напряжение его — в соответствии с нормами, приведенными в табл. 11.1.

Таблица 11.1. Минимально допустимые значения пробивного напряжения  
пробы масла трансформаторов

Класс напряжения обмотки ВН, кВ	Пробивное напряжение масла на стандартном разряднике, кВ
До 15 включительно	25
15...35	30
60...220	40
330...500	50*

\*Пробивное напряжение пробы остатков масла допускается не менее 45 кВ

в. Величина  $R_{60}/R_{15}$  не ниже 1,3 при температуре 10... 30° С.

г. Если условие а не соблюдено, но обмотки и трансформатор покрыты маслом, или если не выполнено условие б, но в масле нет следов воды и пробивное напряжение масла ниже, чем требуемое не более чем на 5 кВ, дополнительно определяется отношение  $C_2/C_{50}$  или  $\text{tg } \delta$  обмоток в масле, если производится ревизия со сливом масла, то измеряется величина  $\Delta C/C$  активной части без масла. Значения  $C_2/C_{50}$ ,  $\text{tg } \delta$  или  $\Delta C/C$  должны удовлетворять нормам, приведенным в табл. 11.3, 11.4, 11.5.

Достаточным для включения без сушки является соблюдение одной из следующих комбинаций условий:

для трансформаторов мощностью до 100 кВА

1) а, б; 2) б, г; 3) а, г.

Для остальных трансформаторов I группы 1) а, б, в; 2) б, в, г; 3) а, в, г.

**II группа.** В нее входят трансформаторы мощностью менее 10 000 кВА, напряжением до 35 кВ включительно, транспортируемые с маслом, но без расширителя.

Условия включения без сушки трансформаторов этой группы таковы.

а. Кожух трансформатора герметичный.

б. Масло без следов воды, а пробивное напряжение его — в соответствии с нормами, приведенными в табл. 11.1.



в. Величина  $R_{60}/R_{15}$  не ниже 1,3 при температуре 10...30° С, а  $C_2/C_{50}$  - в соответствии с нормой, приведенной в табл. 11.5.

г. Если одна или обе указанные в пункте в величины не удовлетворяют нормам, дополнительно измеряется  $\text{tg } \delta$  обмоток в масле. Эта величина должна удовлетворять нормам, приведенным в табл. 11.3, или расхождение ее с данными заводского протокола, приведенными к температуре измерений на монтаже, не должно превышать 30% в сторону ухудшения.

Таблица 11.2. Минимально допустимые значения  $R_{60}$  обмоток трансформаторов в масле

Класс напряжения обмотки ВН	Температура обмотки. °С						
	10	20	30	40	50	60	70
До 35 кВ включительно, мощность меньше 10000 кВА	450	300	200	130	90	60	40
До 35 кВ включительно, мощность 10 000 кВА и больше, 110 кВ независимо от мощности	900	600	400	260	180	120	80

Примечание. Значения  $R_{60}$  относятся ко всем обмоткам данного трансформатора.

д. Если величина  $\text{tg } \delta$  не удовлетворяет нормам,  $\text{tg } \delta$  масла превышает 0,6 % и нет данных заводских измерений, следует измерить величину  $\Delta C/C$  активной части трансформатора без масла \*или величину  $C_T/C_X$  при контрольном прогреве в масле. Нормы для этих величии приведены в табл. 11.4, 11.6.

Для включения трансформаторов II группы без сушки достаточно выполнения условий в одной из следующих комбинаций: 1) а, б, в; 2) а, б, г; 3) а, б, д.

**III группа.** В эту группу входят трансформаторы мощностью 10 000 кВА и более, напряжением до 35 кВ включительно, транспортируемые с маслом, но без расширителя.

Условия включения без сушки трансформаторов этой группы таковы.

а. Кожух трансформатора герметичный.

б. Масло без следов воды, а пробивное напряжение его - в соответствии с нормами, приведенными в табл. 11.1.

Таблица 11.3. Максимально допустимые значения изоляции  $\text{tg } \delta$  (%) обмоток трансформатора

Класс напряжения обмотки ВН	Температура обмотки, С						
	10	20	30	40.	50	60	70
До 35 кВ включительно, мощность меньше 2500 кВА	1,5	2	2,6	3,4	4,6	6	8
До 35 кВ включительно, мощность меньше 10 000 кВА	1,2	1,5	2	2,6	3,4	4,5	6
До 35 кВ, мощность 10 000 кВА и большей 110 кВ независимо от мощности	0,8	1	1,3	1,7	2,3	3	4

Примечание. Значение  $\text{tg } \delta$  относится ко всем обмоткам данного трансформатора.

Таблица 11.4 Наибольшие значения  $\Delta\text{C}/\text{C}$  (%) обмоток трансформаторов без масла

Класс напряжения обмотки высокого напряжения	Температура, °С				
	10	20	30	40	50
До 35 кВ включительно, мощность меньше 10 000 кВА ( $\Delta\text{C}/\text{C}$ в конце ревизии)	13	20	30	45	75
То же (разность между значениями $\Delta\text{C}/\text{C}$ в конце и начале ревизии, приведенными к одной температуре)	4	6	9	13,5	22
До 35 кВ включительно, мощность 10 000 кВА и больше; 110 кВ и больше независимо от мощности ( $\Delta\text{C}/\text{C}$ в конце ревизии)	8	12	18	29	44
До 35 кВ включительно, мощность 10 000 кВА и больше; 110 кВ и больше независимо от мощности (разность между значениями $\Delta\text{C}/\text{C}$ в конце и начале ревизии, приведенными к одной температуре)	3	4	5	8,5	13

в. Величины  $\Delta\text{C}/\text{C}$ , измеренные в конце ревизии (если таковая проводится), не превышают значений, приведенных в табл. 11.4; кроме того, приращение отношения  $\Delta\text{C}/\text{C}$ , измеренного в конце и в начале ревизии и приведенного к одной температуре, не превышает значений, указанных в табл. 11.4.

г. Величины  $R_{60}$ ,  $C_2/C_{50}$  или  $\operatorname{tg} \delta$  измеренные после окончания монтажа и заливки маслом, удовлетворяют нормам, приведенным в табл. 11.2, 11.3, 11.5 или  $R_{60}$  и  $\operatorname{tg} \delta$  не отличаются от заводских данных, приведенных к температуре изоляции при измерении этих характеристик на монтаже, более чем на 30% в сторону ухудшения.

д. Величины  $\operatorname{lg} \delta$  обмоток, измеренные после окончания монтажа и заливки маслом, если не предусмотрен осмотр активной части трансформатора с измерением  $\Delta C/C$ , должны удовлетворять требованиям условия з.

Таблица 11.5. Максимально допустимые значения  $C_2/C_{50}$  обмоток трансформаторов в масле

Класс напряжения обмотки высокого напряжения	Температура обмотки, °С		
	10	20	30
До 35 кВ включительно, мощность меньше 10000 кВА	1,1	1,2	1,3
До 35 кВ включительно, мощность 10 000 кВА и больше; 110 кВ независимо от мощности	1,05	1,15	1,25

Таблица 11.6. Максимальные, допустимые значения  $C_T/C_x$ , трансформатора в масле

Класс напряжения обмотки высокого напряжения	$C_T/C_x$
До 35 кВ включительно, мощность меньше 10 000 кВА	1,1
До 35 кВ включительно, мощность 10 000 кВА и больше; 110 кВ и больше независимо от мощности	1,06

е. Если одна из величин, указанных в условиях з и д, не удовлетворяет нормам, измеряют величины  $R_{60}$  и  $\operatorname{tg} \delta$  обмоток в масле при той же температуре изоляции, при которой эти величины измерялись на заводе.

Расхождение между полученными при измерении и заводскими данным не должно превышать 30% в сторону ухудшения.

Для включения трансформаторов III группы без сушки достаточно выполнение условий в одной из следующих комбинаций: 1) *a, б, в, г*; 2) *a, в, г, д*; 3) *a, б, в, е*.

**IV группа.** К этой группе относятся трансформаторы напряжением 110 кВ и выше, транспортируемые с маслом, но без расширителя.

Условия включения без сушки трансформаторов этой группы таковы.

*a.* Кожух трансформатора герметичный.

*б.* Масло без следов воды, а пробивное напряжение его - в соответствии с нормами, приведенными в табл. 11.1.

*в.* Величины  $\Delta C/C$ , измеренные в конце ревизии (если таковая проводится), не превышают значений, указанных в табл. 11.4; кроме того, приращение отношения  $\Delta C/C$ , измеренного в конце и в начале ревизии и приведенного к одной температуре, не превышает значений указанных в табл. 11.4.

*г.* Величины  $R_{60}$  и  $tg \delta$  обмоток, измеренные после окончания монтажа и заливки маслом, удовлетворяют нормам, приведенным в табл. 11.2, 11.3, или  $R_{60}$  и  $tg \delta$  не отличаются от заводских данных, приведенных к температуре измерения при монтаже, более чем на 30% в сторону ухудшения.

Для включения без сушки трансформаторов IV группы достаточно выполнения условий в одной из следующих комбинаций: 1) *a, б, г* (если ревизия активной части не предусмотрена); 2) *a, б, в, г* (если предусмотрен осмотр активной части со сливом масла).

**V группа.** В нее входят трансформаторы напряжением 110 кВ и выше, транспортируемые без масла.

Условия включения без сушки трансформаторов этой группы таковы:

*a.* Кожух трансформатора герметичный.

*б.* Масло без следов воды, а пробивное напряжение его - в соответствии с нормами, приведенными в табл. 11.1. Значение  $tg \delta$  для масла при температуре

20° не более 0,6% (при большей величине  $tg \delta$  измерение сопротивления изоляции обмотки следует проводить без масла).

в. Индикаторный силикагель — голубого цвета, или индикатор увлажнения согласно заводской инструкции не показывает увлажнения.

г. Величина  $\Delta C/C$ , измеренная в конце ревизии, не превышает значений, приведенных в табл. 11.4. Кроме того, приращение  $\Delta C/C$ , измеренных в конце и в начале ревизии и приведенных к одной температуре, не превышают данных табл. 11.4.

д. Величины  $R_{60}$  и  $tg \delta$  для обмоток, измеренные после окончания монтажа и заливки масла, не отличаются от заводских данных, приведенных к температуре измерения при монтаже, более чем на 30% в сторону ухудшения.

Для включения трансформаторов V группы без сушки достаточно выполнения условий в одной из следующих комбинаций: 1) а, б, в, г, д 2) а, б, в, д (если ревизия активной части не предусмотрена).

Условия включения без сушки сухих трансформаторов определяются в соответствии с указаниями завода-изготовителя.

### 11.3. Методика измерения характеристик изоляции

Следует помнить, что при определении характеристик изоляции температура ее должна быть не ниже 10° С.

Измерения можно начинать не ранее, чем через 12 ч после окончания заливки масла в бак трансформатора. При определении характеристик изоляции все доступные вводы испытуемых обмоток следует соединить между собой, бак трансформатора надежно заземлить, заземляющий провод присоединить к специальному заземляющему болту.

Прежде всего измеряют значения  $R_{из}$ ,  $C$ ,  $\Delta C$  проводов, соединяющих приборы с трансформатором. Длина проводов должна быть как можно меньше, поэтому приборы нужно располагать поближе к трансформатору.

Измеренное значение  $R_{из}$  проводов должно быть не меньше верхнего предела измерения мегомметра. Если величину  $\Delta C$  и  $C$  проводов можно отсчитать по прибору, вносится поправка вычитанием  $\Delta C$  и  $C$  проводов из результатов измерения полностью собранной схемы с испытуемым трансформатором.

Характеристики изоляции измеряют по следующим схемам:

двухобмоточные трансформаторы

ВН —бак, НН

НН —бак. ВН

ВН + НН — бак

трехобмоточные трансформаторы

ВН - бак, СН, НН

СН - бак, ВН, НН

НН - бак, ВН, СН

ВН + СН - бак, НН

ВН + СН + НН - бак,

где ВН, СН и НН — соответственно обмотки высокого, среднего и низкого напряжения.

При измерении все неиспытываемые обмотки и бак трансформатора необходимо заземлить (совместно). Вначале измеряют  $R_{15}$  и  $R_{60}$  затем - остальные характеристики трансформатора.

Температуру изоляции трансформатора, не подвергавшегося нагреву или подогреву, принимают равной температуре верхних слоев масла, измеренной термометром. Если температура масла ниже  $+10$  °С, трансформатор следует нагреть. При этом температуру изоляции принимают равной средней температуре обмотки высокого напряжения, определяемой по сопротивлению обмотки постоянному току. Это сопротивление измеряют не раньше, чем через 60 мин после окончания нагрева током или через 30 мин после внешнего нагрева.

Соппротивление изоляции измеряют по приведенным выше схемам мегомметром на 2500 В с верхним пределом измерения не ниже 10 000 МОм. Емкость и  $\operatorname{tg} \delta$  обмоток измеряют мостом переменного тока по перевернутой схеме. Измерение  $\operatorname{tg} \delta$  на трансформаторах, залитых маслом, можно проводить при напряжении, не превышающем 60% заводского испытательного напряжения испытуемой обмотки, но не выше 10 кВ. При измерениях на трансформаторах, не залитых маслом, если испытуемая обмотка класса напряжения ниже 35 кВ, испытательное напряжение не должно превышать 3 кВ.

При сушке трансформатора без масла  $\operatorname{tg} \delta$  разрешается измерять при напряжении не выше 220 В.

Отношения  $C_2 / C_{50}$  и  $\Delta C / C$  определяют для каждой из обмоток специальными приборами; остальные обмотки вместе с баком заземляют.

Перед началом измерения испытуемую обмотку заземляют не меньше, чем на 2 мин.

При определении  $C_r / C_x$  емкость трансформатора  $C_r$  измеряют при температуре не ниже 70 °С, а  $C_x$  - при температуре на 50° С ниже температуры измерения  $C_r$ . В обоих случаях емкость измеряют мостом переменного тока. Если нет моста, для трансформаторов напряжением до 35 кВ и мощностью меньше 10 000 кВА можно измерять емкости методом вольтметра — амперметра.

Значения  $\operatorname{tg} \delta$ , измеренные на заводе, приводят к температуре измерения на монтаже с помощью коэффициента  $K$ , значения которого приведены в табл. 11.7 и на рис. 11.1.

**Примеры. 1.** Пусть согласно заводским данным (измерение по схеме ВН - бак, НН), при температуре 61 °С  $\operatorname{tg} \delta = 1,1\%$ ; температура изоляции трансформатора при измерении на монтаже равняется 20°С,  $\Delta t = t_2 - t_1 = 41^\circ\text{C}$ . По рис. 11.1 находим  $K_x = 3,1$ .

Таблица 11.7. Значения коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$ 

$t_2 - t_1, ^\circ\text{C}$	$K_1$	$K_2$	$t_2 - t_1, ^\circ\text{C}$	$K_1$	$K_2$
5	1,15	1,23	40	3,0	5,1
10	1,31	1,5	45	3,5	6,2
15	1,51	1,84	50	4,0	7,5
20	1,75	2,25	55	4,6	9,2
25	2,0	2,75	60	5,3	11,2
30	2,3	3,4	65	6,1	13,9
35	2,65	4,15	70	7,0	17

Величина  $\text{tg } \delta$ , приведенная к  $20^\circ\text{C}$ , составляет  $1,1/3,1 = 0,35\%$ . На монтаже  $\text{tg } \delta$  не должен превышать этой величины больше чем в 1,3 раза.

2. Пусть у трансформатора напряжением 35 кВ мощностью 1000 кВА на монтаже при температуре изоляции трансформатора  $+15^\circ\text{C}$   $\text{tg } \delta = 1,6\%$ . Эта величина не должна превышать нормированное значение  $\text{tg } \delta$ . Поскольку в табл. 11.3 даны нормированные значения  $\text{tg } \delta$  при температурах, кратных десяти, для сравнения необходимо определить нормированное значение  $\text{tg } \delta$  при температуре  $+15^\circ\text{C}$ . Указанное в табл. 11.3 значение  $\text{tg } \delta$  (например, при  $20^\circ\text{C}$ ) с помощью коэффициента  $K_1$  приводят к температуре  $15^\circ\text{C}$ : для  $t_2 - t_1 = 20 - 15 = 5^\circ\text{C}$  имеем  $K_1 = 1,15$ . Норма  $\text{tg } \delta$  при  $+15^\circ\text{C}$   $2/1,15 = 1,74\%$ .

Значения  $R_{60}$ , измеренные на заводе, приводят к температуре измерения на монтаже, а нормированные значения  $R_{60}$ , для температур, не кратных десяти, определяют, выполняя пересчет с помощью коэффициента  $K_2$  значения которого приведены в табл. 11.7 и на рис. 11.1.

**Примеры. 1.** Данные заводского протокола: при температуре  $61^\circ\text{C}$   $R_{60} = 450$  МОм (измерение по схеме ВН—бак, НН), температура изоляции трансформатора при монтаже равняется  $21^\circ\text{C}$ ,  $t_2 - t_1 = 40^\circ\text{C}$ . Согласно данным табл. 11.7 (или рис. 1.1),  $K_2 = 5,1$ .

Сопротивление изоляции, приведенное к  $21^\circ\text{C}$ ,  $R_{60} = 450 \cdot 5,1 = 2300$  МОм.



На монтаже сопротивление изоляции должно быть не ниже 70% этого значения, т. е. не ниже  $2300 \times 0,7 = 1610$  Мом.

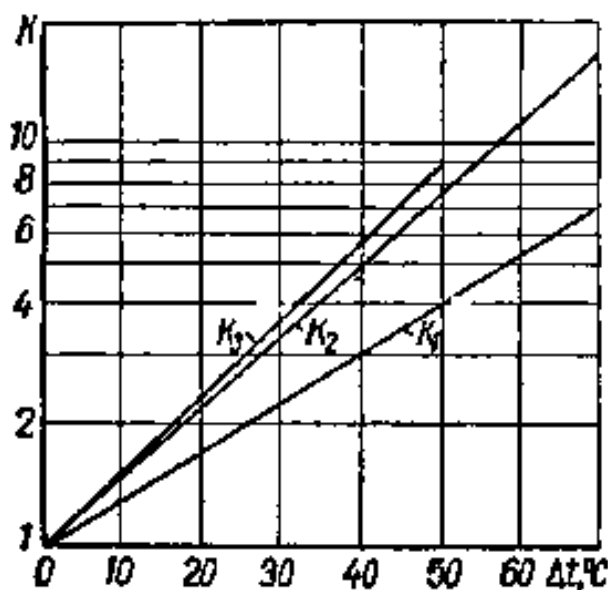


Рис. 11.1. График определения коэффициентов  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  для пересчета величин соответственно  $\operatorname{tg} \delta$ ,  $R_{60}$  и  $\Delta C/C$

2. Данные измерения на монтаже для трансформатора напряжением 35 кВ мощностью 6300 кВА таковы:  $R_{60} = 500$  Мом при температуре изоляции трансформатора  $13^\circ \text{C}$ . Эта величина должна быть не ниже нормированного значения  $R_{60}$ . Поскольку в табл. 11.2 даны нормированные значения при температурах, кратных десяти, для сравнения необходимо определить нормированное значение  $R_{600}$  при  $13^\circ \text{C}$ . Для этого указанную в табл. 11.2 норму (например, при  $20^\circ \text{C}$ ) 300 Мом с помощью коэффициента  $K_2$  приводят к температуре  $13^\circ \text{C}$ . Для  $t_2 - t_1 = 20 - 13 = 7^\circ \text{C}$  имеем  $K_2 = 1,3$ . При  $13^\circ \text{C}$   $R_{60} = 300 \times 1,3 = 390$  Мом.

Таблица 11.8 Значения коэффициента  $K_3$ 

$t_2 - t_1, ^\circ\text{C}$	$K_3$	$t_2 - t_1, ^\circ\text{C}$	$K_3$
5	1,25	30	3,7
10	1,55	35	4,6
15	1,95	40	5,7
20	2,4	45	7
25	3	50	8,8

Приведение  $\Delta C/C$ , измеренного в конце ревизии при температуре обмотки высокого напряжения  $t_1$  к температуре этой обмотки  $t_2$ , измеренной в начале ревизии, выполняется путем умножения на коэффициент температурного пересчета  $K_3$  (табл. 11.8, рис. 11.1).

**Пример.** Начальное значение  $\Delta C/C$  обмотки высокого напряжения трансформатора напряжением 110 кВ при температуре изоляции обмотки  $+20^\circ\text{C}$  равно 4%; в конце ревизии при температуре обмотки  $15^\circ\text{C}$  отношение  $\Delta C/C = 6\%$ ,  $t_2 - t_1 = 5^\circ\text{C}$ ,  $K_3 = 1,25$ .

Величина  $\Delta C/C$ , приведенная к  $20^\circ\text{C}$ , составляет  $6 \times 1,25 = 7,5\%$ . Разность значений  $\Delta C/C$  в конце и в начале ревизии, приведенных к  $20^\circ\text{C}$ :  $7,5 - 4 = 3,1\%$ . Полученная разность, согласно данным табл. 11.4, не должна превышать 4%.

Если условия транспортировки, хранения, монтажа и включения трансформаторов без сушки не соблюдены, трансформатор следует подвергнуть контрольному прогреву или сушке. Если нет оснований предполагать, что изоляция значительно увлажнена, то допускается контрольный прогрев в масле при температуре верхних слоев его  $70\dots 80^\circ\text{C}$ .

При этом периодически измеряют характеристики изоляции. Прогрев прекращают при соответствии характеристик изоляции требуемым по инструкции нормам, но не ранее, чем через 24 ч после достижения температуры  $70\dots 80^\circ\text{C}$ .

#### **11.4. Испытание электрической прочности главной изоляции обмоток трансформаторов повышенным напряжением**

Величины испытательных напряжений приведены в табл. 11.9. Продолжительность приложения напряжения - 1 мин. Трансформатор считается выдержавшим испытание, если не произошло пробоя или перекрытия изоляции, отмеченных по звуку разрядов в баке, выделению газов, дыма или по показанию приборов (при пробое напряжение падает, а ток увеличивается).

Таблица 11.9. Напряжение промышленной частоты (кВ) для испытания обмоток силовых трансформаторов

Объект испытания	Номинальное напряжение испытываемой обмотки, кВ									
	до 3	3	6	10	15	20	35	110	150	220
Силовые трансформаторы, дугогасящие катушки и другие объекты с нормальной изоляцией и вводами, рассчитанными на номинальное напряжение	4,5	16	22	31	40	49	76	180	247	360
Силовые трансформаторы с облегченной изоляцией (в том числе сухие трансформаторы)	2,7	9	14	21	33	-	-	-	-	-

#### **Испытание изоляции стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок**

Сопротивление изоляции доступных стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок измеряется мегомметром на напряжение 1000...2500 В. Перед измерением сопротивления изоляции ярмовых балок, отсоединяются проводники, соединяющие магнитопровод с другими заземленными элементами трансформатора. Величина сопротивления изоляции не нормируется, однако оно не должно быть ниже нескольких МОм. Наиболее распространенной причиной низкой изоляции являются заусеницы и грязь под стальными шайбами.

При удовлетворительных результатах измерения изоляция стяжных шпилек и ярмовых балок испытывается напряжением 1000 в промышленной частоты. Продолжительность испытания — 1 мин.

### **11.5. Измерение сопротивления обмоток постоянному току**

Измерения выполняются при установившейся температуре. В качестве температуры обмотки при измерении для масляных трансформаторов (собранных), не подвергавшихся нагреву, может быть принята установившаяся температура верхних слоев масла. Для сухих трансформаторов и сердечников масляных трансформаторов, вынутых из масла, температура окружающего воздуха, если трансформатор находился в данных условиях в течение времени, достаточного для выравнивания температур (обычно от 3 до 19 ч в зависимости от мощности трансформатора).

Ввиду большой индуктивности обмоток время установления тока при измерении значительно и измеряется иногда десятками минут. Для сокращения этого времени в цепь тока последовательно включают активное сопротивление (реостат), уменьшая тем самым постоянную времени цепи. Если измерение проводится методом амперметра-вольтметра, то время нарастания тока может быть сокращено подачей на обмотку в течение первых двух-трех секунд несколько большего напряжения (шунтированием реостата), чем при измерениях.

Измеренные сопротивления обмоток различных фаз на одноименных ответвлениях не должны отличаться от средней величины сопротивления или от заводских данных более чем на 2%. Кроме того, должна соблюдаться одинаковая для всех фаз и соответствующая положениям переключателя закономерность изменения сопротивления постоянному току в различных положениях переключателя. Особое внимание следует обращать на закономерность изменения сопротивления по отпайкам у трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой, где встречаются нарушения закономерности из-за неправильного сочленения валов переключателя и

привода, неправильной работы привода, а также ошибочного подсоединения отпаек обмоток к переключающему устройству.

### 11.6. Опыт холостого хода трансформатора при номинальном напряжении

Опыт холостого хода проводят для измерения тока и потерь холостого хода. Кроме того, по результатам измерений может быть определен ряд характеристик трансформатора.

При опыте холостого хода к одной из обмоток трансформатора (обычно низкого напряжения) при разомкнутых остальных обмотках подводят номинальное напряжение номинальной частоты практически синусоидальной формы и симметричное при испытании трехфазных трансформаторов (рис. 11.2).

При испытании трехфазных трансформаторов величина подведенного напряжения определяется из выражения

$$U_{подв} = (U_{AB} + U_{BC} + U_{AC})/3. \quad (11.1)$$

Согласно ПУЭ можно принимать в качестве  $U_{подв}$  величину напряжения, подводимого к крайним фазам А и С.

Ток холостого хода определяется в процентах номинального: для однофазных трансформаторов

$$I_o = I_{изм}/I_{ном} \% ; \quad (11.2)$$

для трехфазных трансформаторов при номинальном напряжении

$$I_o = [(I_A + I_B + I_C)/3I_{ном}]100 \quad (11.3)$$

В трехфазных трансформаторах токи холостого хода различных фаз за счет различной длины пути потока каждой фазы несколько отличаются по своей величине. Величина тока средней фазы обычно на 20...35% меньше тока средних фаз.

Потери трехфазного трансформатора

$$P_o = C_w (a_1 \pm a_2),. \quad (11.4)$$

где  $C_w$  - постоянная ваттметра;

$a_1$  и  $a_2$  - показания ваттметров.

Потери холостого хода:

в однофазном трансформаторе

$$P_o = P_{cm} + I_o^2 R_\phi; \quad (11.5)$$

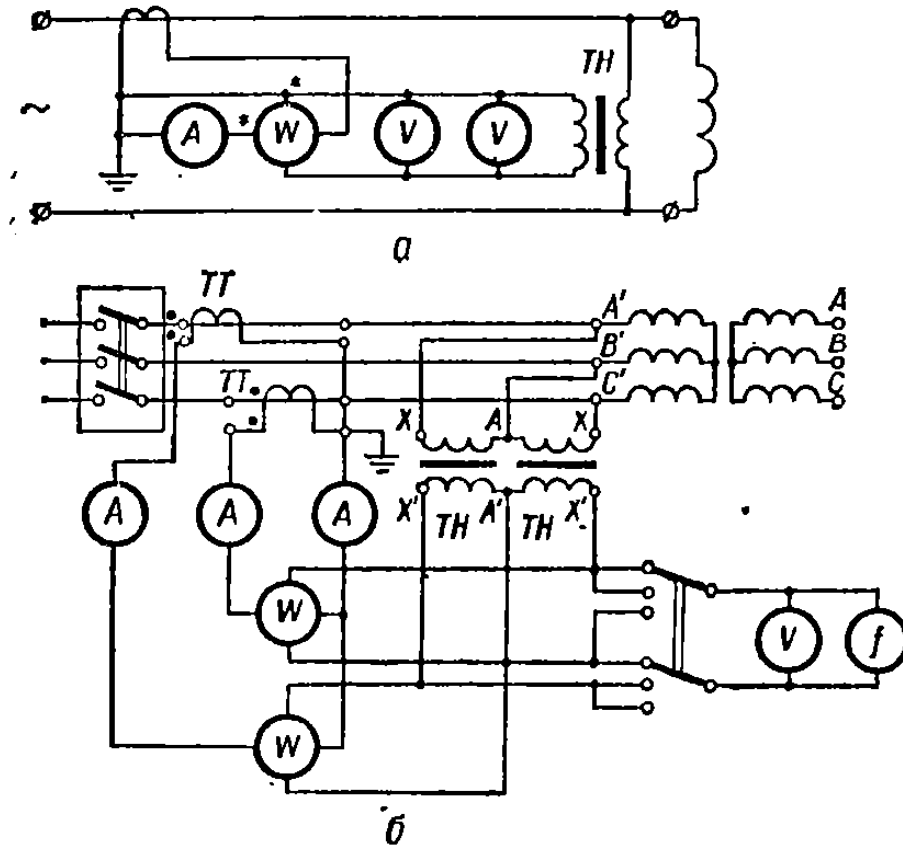


Рис. 11.2. Схемы включения приборов при проведении опыта холостого хода трансформаторов: *а* - для однофазных трансформаторов; *б* - для трехфазных трансформаторов.

в трехфазном трансформаторе

$$P_o = P_{cm} + 3I_o^2 R_\phi. \quad (11.6)$$

здесь  $R_\phi$  - фазовое сопротивление обмотки постоянному току;

$P_{cm}$  - потери в стали;

$I_o^2 R_\phi, 3I_o^2 R_\phi$  - потери в меди.

Так как при холостом ходе потери в меди очень малы, можно принять

$$P_o \approx P_{cm}. \quad (11.7)$$

Если испытание проводится при частоте  $f'''$  отличной от номинальной  $f_{ном}$  (но не более чем на  $\pm 3\%$ ), то подводимое для испытания напряжение

$$U_{подв} = U_{ном}(f'''/f_{ном}) \quad (11.8)$$

Потери холостого хода  $P_0$ , приведенные к номинальной частоте,

$$P_0 = P_0' / [P_2(f'''/50)^2 + P_1(f'''/50)^2] \quad (11.9)$$

где  $P_0'$  - потери, измеренные при частоте  $f'$ ;

$P_1$  - доля потерь, обусловленных гистерезисом, - принимается 0,5 для холоднокатаной текстурированной электротехнической стали, и 0,8 - для горячекатаной стали;

$P_2$  - доля потерь, обусловленная вихревыми токами, - принимается равной 0,5 и 0,2 соответственно.

По данным измерений опыта холостого хода трансформатора, кроме  $I_0$  и  $P_0$  рассчитываются следующие величины:

коэффициент мощности трехфазного трансформатора при холостом ходе

$$\cos \varphi_0 = P_0 / 1,73 U I_0, \quad (11.10)$$

коэффициент мощности однофазного трансформатора при холостом ходе

$$\cos \varphi_0 = P_0 / U I_0, \quad (11.11)$$

полное фазовое сопротивление обмотки

$$Z_{оф} = U_{ф} / I_{оф}, \quad (11.12)$$

активная составляющая полного фазового сопротивления обмотки

$$R_{оф} = Z_{оф} \cos \varphi_0, \quad (11.13)$$

реактивная составляющая полного фазового сопротивления обмотки

$$X_{оф} = (Z_{оф}^2 - R_{оф}^2)^{0,5} = Z_{оф} \sin \varphi_0 \quad (11.14)$$

активная и реактивная составляющие тока холостого хода

$$I_{оа} = I_0 \cos \varphi_0, \quad (11.15)$$

$$I_{ор} = I_0 \sin \varphi_0. \quad (11.16)$$

Обычно  $I_{оа} / I_{ор} \leq 0,1$ .

Примеры схем включения приборов при проведении опыта холостого хода приведены на рис 11.2. Величины тока и потерь холостого хода не нормируются.

### 11.7. Измерение потерь холостого хода при малом напряжении

В трансформаторах трехстержневого исполнения потери можно измерять при однофазном возбуждении. При этом выполняют три опыта с приведением трехфазного трансформатора к однофазному путем поочередного замыкания накоротко одной из его фаз и возбуждения двух других (рис. 11.5).

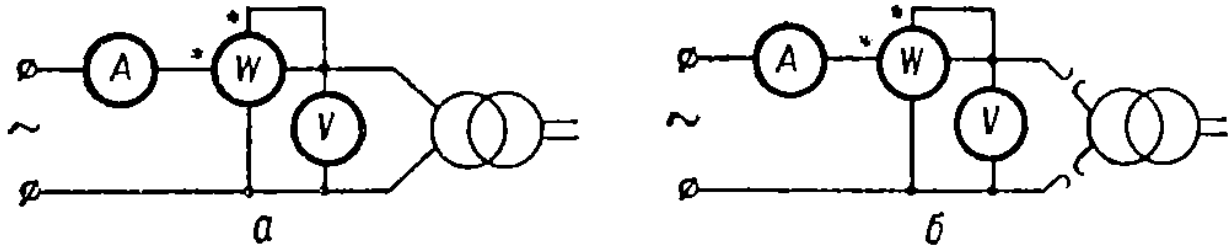


Рис. 11.3. Схемы измерения суммарных потерь холостого хода:  
а - в однофазном трансформаторе; б - в приборах

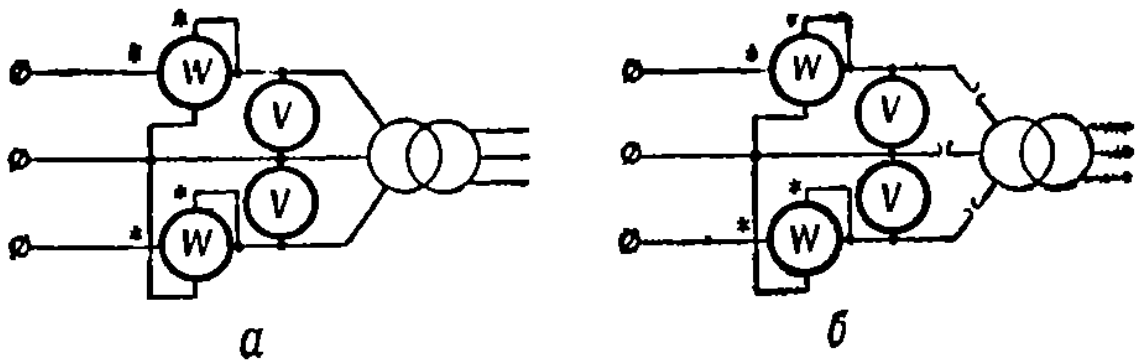


Рис. 11.4. Схемы измерения суммарных потерь холостого хода:  
а - в трехфазном трансформаторе; б - в приборах

Первый опыт - замыкают накоротко обмотку фазы А, возбуждают фазы В и С трансформатора и измеряют потери.

Второй опыт — замыкают накоротко обмотку фазы В, возбуждают фазы А и С трансформатора и измеряют потери.

Третий опыт - замыкают накоротко обмотку фазы С, возбуждают фазы А и В трансформатора и измеряют потери.



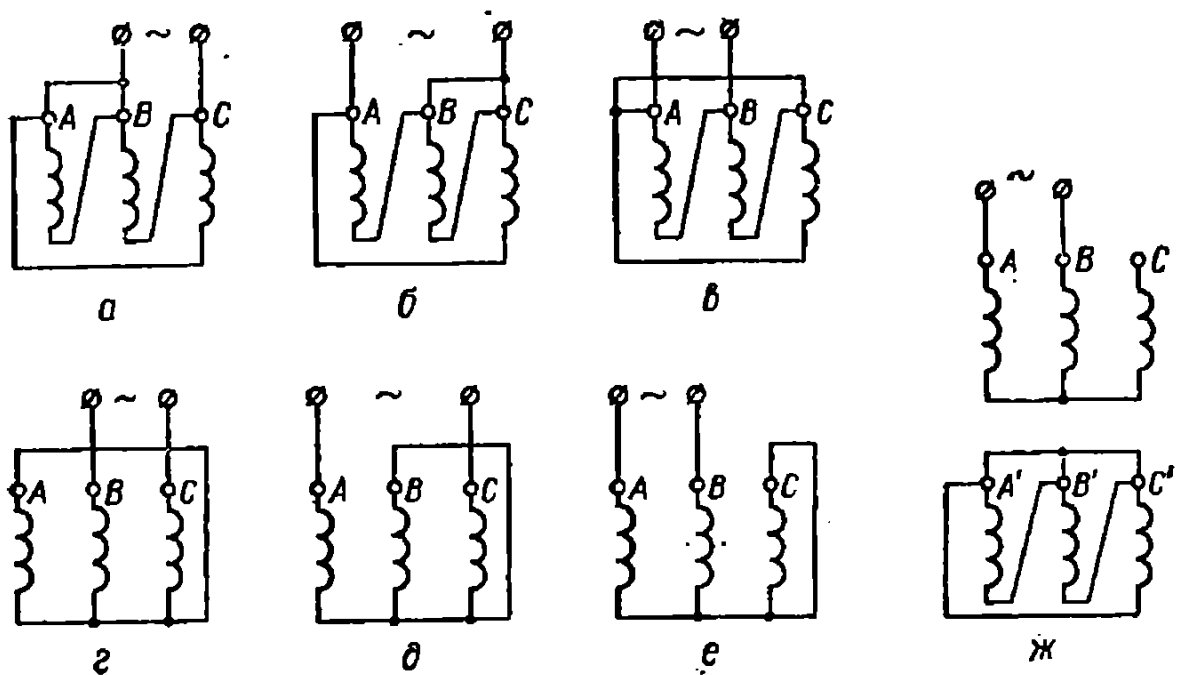


Рис. 11.5. Схемы однофазного питания трехфазного трансформатора: *a, б, в* - при соединении первичной обмотки в треугольник; *г, д, е* - при соединении первичной обмотки в звезду с выведенным нулем; *ж* - при соединении первичной обмотки в звезду и отсутствии выведенной нулевой точки.

Обмотки фаз замыкают накоротко на соответствующих выводах обмоток трансформатора (высшего, среднего или низшего напряжения). При этом руководствуются действительной схемой соединения обмоток трансформатора.

Потери в трансформаторе при напряжении  $U'$

$$P'_o = (P'_{oAB} + P'_{oBC} + P'_{oAC})/2, \quad (11.18)$$

где  $P'_{oAB}, P'_{oBC}, P'_{oAC}$  - потери, определенные при указанных выше опытах (за вычетом потерь в приборах) при одинаковых подводимых напряжениях.

Обычно для исправных трансформаторов справедливы следующие приближенные соотношения между значениями измеренных потерь: потери, измеренные при закорачивании обмотки каждой крайней фазы (А или С), практически одинаковы, а потери, измеренные при закорачивании обмотки средней фазы (В), на 30...40% больше.

Потери трансформатора на холостом ходу  $P_{o.прив}$ , соответствующие  $U_{ном}$  определяют путем приведения потерь, измеренных при некотором малом напряжении  $U'$  по формуле

$$P_{o.прив} = P'_o (U_{ном}/U')^n \quad (11.19)$$

где  $n$  — показатель степени, зависящий от сорта трансформаторной стали.

Обычно  $n$  имеет следующие приближенные значения (при возбуждении трансформатора напряжением  $5...10\% U_{ном}$ ): для горячекатаной, трансформаторной стали 1,8, для холоднокатаной текстурованной стали 1,9.

Значение  $n$  может быть определено также из выражения

$$n = (\lg P_o / P'_o) / (\lg U_{ном} / U'), \quad (11.20)$$

где  $P_o$  - потери холостого хода, соответствующие номинальным условиям (по данным заводских испытаний);  $P'_o$  - потери холостого хода, измеренные при пониженном напряжении  $U'$  (при заведомо исправном состоянии трансформатора).

### 11.8. Опыт короткого замыкания трансформатора

При опыте короткого замыкания определяются напряжение и потери короткого замыкания. Опыт короткого замыкания проводится следующим образом: одна из обмоток замыкается накоротко, а к другой подводится напряжение номинальной частоты, при котором в обмотках трансформатора ток номинальный. Для трехобмоточных трансформаторов опыт проводят с каждой парой обмоток, а не участвующую в опыте обмотку оставляют разомкнутой. Для замыкания обмотки накоротко должны быть использованы короткие проводники, рассчитанные на номинальный ток закорачиваемой обмотки.

Для измерения тока, потерь и напряжения короткого замыкания применяют те же схемы, что и при опыте холостого хода (рис. 11.2). Напряжение и ток трехфазных трансформаторов определяют как средние арифметические величины показаний приборов всех фаз.

Напряжение и потери короткого замыкания можно определить и при меньших значениях, но не менее 25% номинального тока трансформатора. Существуют формулы для определения соответствующих номинальному току потерь короткого замыкания

$$P_k = P'_k(I_{ном}/I'_k)^2 \quad (11.21)$$

и напряжения короткого замыкания

$$U_k = [(U'_k I_{ном})/(U_{ном} I'_k)] 100\% . \quad (11.22)$$

Здесь  $P'_k$ ,  $U'_k$  - потери и напряжение короткого замыкания, соответствующие току  $I'_k$ , при котором проводился опыт;  $U_{ном}$  и  $I_{ном}$  - номинальные значения напряжения и тока обмотки трансформатора, к которой подводилось напряжение при опыте.

Для трехфазных трансформаторов опыт короткого замыкания можно выполнять пофазно с замыканием накоротко всех трех фаз и питанием попарно двух. Потери и напряжение короткого замыкания, измеренные в однофазной схеме, пересчитывают на трехфазный режим по формулам

$$P_k = 0,5(P_{kAB} + P_{kBC} + P_{kAC}), \quad (11.23)$$

$$U_k = 0,288(U_{kAB} + U_{kBC} + U_{kAC}) \quad (11.24)$$

Здесь  $P_{kAB}$ ,  $P_{kBC}$ ,  $P_{kAC}$ ,  $U_{kAB}$ ,  $U_{kBC}$ ,  $U_{kAC}$  - потери и напряжения короткого замыкания, измеренные в однофазных схемах. Потери, измеренные при опыте короткого замыкания и приведенные к номинальному току, приводят к расчетной температуре  $\nu_{ном}$  (для изоляционных материалов классов А, В, Е – 75 °С; F, H, С – 115 °С). Для этого из измеренных и приведенных к номинальному току потерь короткого замыкания  $P_k$  вычитают сумму потерь в обмотках  $\Sigma I_k^2 R$ , которую вычисляют по измеренному сопротивлению обмоток постоянному току и приведенному к температуре обмотки при опыте короткого замыкания.

Разность потерь  $P_{доб} = P_k - \Sigma I_k^2 R$  принимают за величину добавочных потерь при температуре  $\nu$ .

Затем к расчетной температуре  $v_{ном}$  приводим потери в обмотках  $I^2_k R$

$$I^2_k R_{ном} = I^2_k R k_I, \quad (11.25)$$

и добавочные потери

$$P_{доб} v_{ном} = P_{доб} (1/k_I), \quad (11.26)$$

$$k_I = (v_{ном} + 235)/(v + 235) \quad (11.27)$$

Потери короткого замыкания, приведенные к расчетной температуре  $v_{ном}$  определяют из выражения

$$P_{кvном} = \Sigma I^2_k R_{vном} + P_{добvном} \quad (11.28)$$

Напряжение короткого замыкания в процентах, приведенное к расчетной температуре  $v_{ном}$ , определяют из выражения

$$U_{кvном} = [(U_{av} k_I)^2 + U_{pv}^2]^{0,5} \quad (11.29)$$

где  $U_{av}$  и  $U_{pv}$  - активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания при температуре  $v$  в процентах, определяемые по формулам

$$U_{av} = P_k / (10 P_{ном}), \quad (11.30)$$

$$U_{pv} = (U_{kv}^2 - U_{av}^2)^{0,5}, \quad (11.31)$$

где  $U_{kv}$  - измеренная при температуре  $v$  величина напряжения короткого замыкания в процентах, приведенная к номинальному току трансформатора;  $P_k$  - измеренные при температуре  $v$  потери короткого замыкания, приведенные к номинальному току;  $P_{ном}$  - номинальная мощность трансформатора в кВА.

Напряжение короткого замыкания в процентах, измеренное при частоте  $f'$ , отличной от номинальной, но не более чем на  $\pm 3\%$ , может быть приведено к номинальной частоте

$$U_{kfном} = [(U'_p f_{ном}/f')^2 + U'^2_a]^{0,5} \quad (11.32)$$

где  $U'_p$  и  $U'_a$  - активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания в процентах при частоте  $f'$ .

Пересчет потерь короткого замыкания по частоте не производят.

Данные опыта короткого замыкания трехфазного трансформатора используются для определения:

полного сопротивления трансформатора

$$Z_k = U_k / (1,73 I_{ном}); \quad (11.33)$$

активного сопротивления трансформатора

$$R_k = P_k / (3 I_{ном}^2); \quad (11.34)$$

реактивного сопротивления трансформатора

$$X_k = (Z_k^2 - R_k^2)^{0,5}; \quad (11.35)$$

коэффициента мощности при коротком замыкании

$$\cos \varphi_k = P_k / (1,73 U_k I_{ном}) \quad (11.36)$$

### 11.9. Фазировка трансформаторов

Под фазировкой понимают проверку совпадения фаз вторичных напряжений у двух трансформаторов, включаемых на параллельную работу.

Как правило, фазировка выполняется на низшем напряжении трансформаторов. На обмотках напряжением до 380 В включительно фазировка проводится вольтметром, до 10 кВ - с помощью указателей напряжения, 20 кВ и выше - через измерительные трансформаторы напряжения.

Для получения замкнутого электрического контура при выполнении измерения фазированные обмотки следует предварительно соединить в одной точке. У обмоток с заземленными нейтралями таковым является соединение нейтралей через землю; иное соединение недопустимо, так как соединение двух различных фаз в этом случае приводит к короткому замыканию.

У трансформаторов с изолированной нейтралью перед фазировкой соединяются любые два вывода фазированных обмоток (рис. 11. 19),

Фазировка заключается в измерении напряжений между выводами фазированных обмоток и попарном нахождении выводов, между которыми напряжение равно нулю.

При фазировке обмоток с заземленными нейтральными проводится девять измерений, с изолированными нейтральными - четыре.

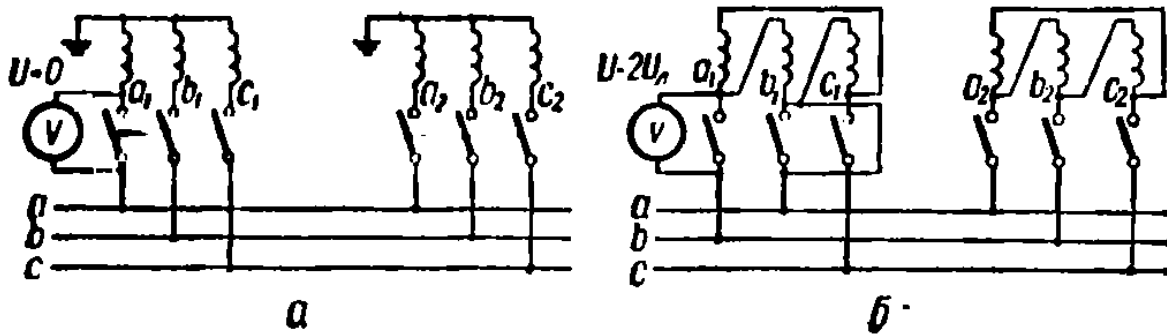


Рис. 11.6. Схемы фазировки трансформаторов на низком напряжении: а - обмотка с глухим заземлением нейтрали; б - обмотка с изолированной нейтралью

Приборы для фазировки трансформаторов с изолированной нейтралью должны быть рассчитаны на двойное линейное напряжение.

На напряжении до 10 кВ используют два указателя напряжения, в одном из которых вместо конденсатора и неоновой лампы встроены омические сопротивления величиной 3...4 МОм для напряжения 6 кВ 5...7 МОм - для напряжения 10 кВ (рис. 11.7). Жазимы обоих указателей соединяют гибким проводом с усиленной изоляцией (типа ПВЛ или ПВГ).

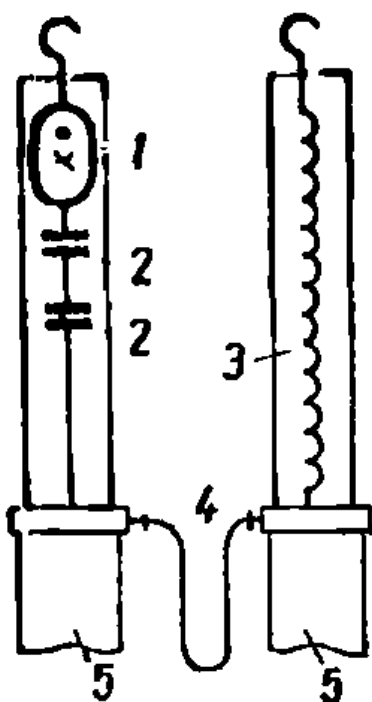


Рис. 11.7. Комплект для фазировки на напряжении 2...10 кВ: 1 - неоновая лампа; 2 - конденсаторы; 3 - сопротивление; 4 - провод ПВЛ или ПВГ; 5 - указатель напряжения

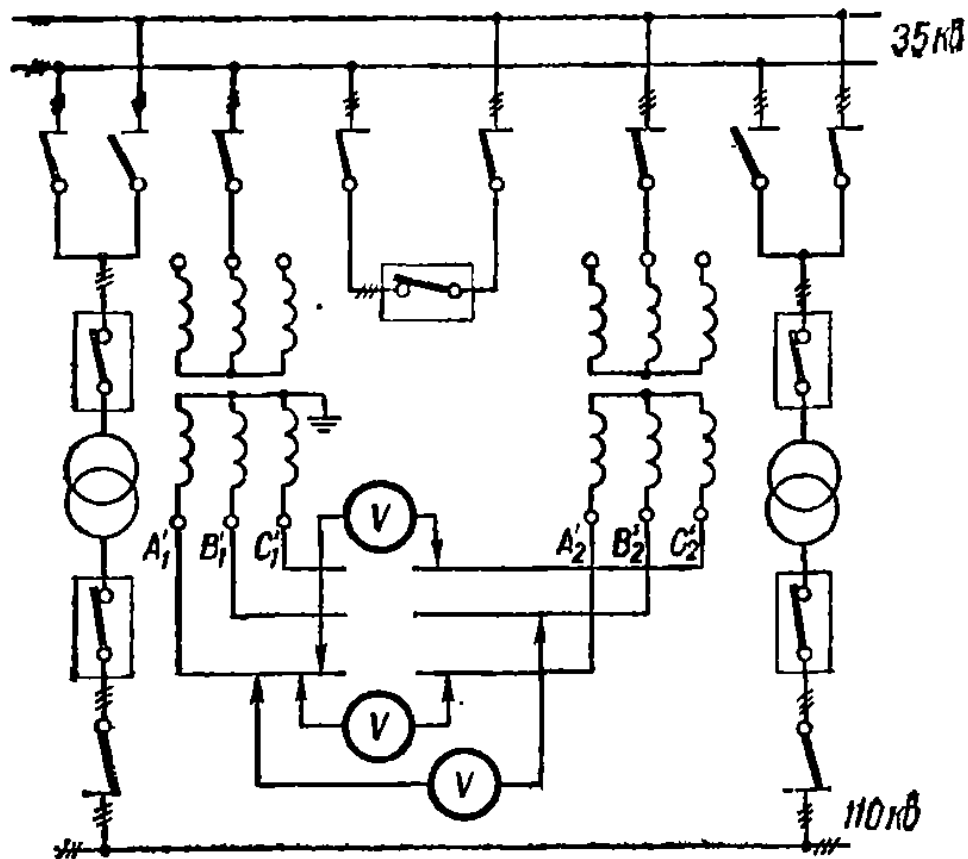


Рис. 11.8. Принципиальная схема фазировки трансформаторами напряжения, присоединенными к шинам.

Перед фазировкой проверяют исправность указателя прикосновением к токоведущей части, находящейся под напряжением.

Фазируемые обмотки с изолированной нейтралью в одной точке соединяют либо включением одной фазы разъединителя, либо указателями напряжения или оперативными штангами, наконечники которых соединены проводом с усиленной изоляцией.

Крючки указателя и трубки с сопротивлением приближают к зажимам, которые нужно фазировать.

Измерения проводятся между теми же зажимами, что и в случае низкого напряжения. Если указатель напряжения не светится, то для более точного определения разности потенциалов можно прикоснуться крючками трубок к зажимам, на которых проводится фазировка. Продолжительность свечения указателей ввиду малой термической устойчивости сопротивлений,

вмонтированных в трубку, не должна превышать 10...15 с. Фазировку следует проводить с соблюдением мер безопасности при измерениях переносными приборами в установках напряжением выше 1000 В.

При фазировке на напряжении 20 кВ и выше через измерительные трансформаторы напряжения предварительно должна быть проверена фазировка трансформаторов напряжения подачей на них одного и того же напряжения.

На рис. 11.8 в качестве примера приведена схема фазировки трансформаторов при двух системах сборных шин. Фазировка трансформаторов напряжения осуществляется включением шиносоединительного выключателя и подачей на оба трансформатора напряжения от одного из фазлируемых трансформаторов. Шиносоединительный выключатель отключается, и на вторую систему шин включается трансформатор, подлежащий фазировке. Выполняется фазировка через трансформаторы напряжения описанными ранее методами на низком напряжении трансформаторов с заземленной нейтралью. При нулевых показаниях между ранее сфазированными зажимами трансформаторов напряжения фазировка считается законченной.



## **12. ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ПРИВОДЫ К НИМ**

### **12.1. Объем приемо-сдаточных испытаний масляных выключателей**

Основные технические требования и методы испытаний выключателей переменного тока напряжением от 3 до 220 кВ включительно и их приводов определены ПУЭ и ПТЭ.

Все вновь вводимые в эксплуатацию масляные выключатели должны быть подвергнуты приемо-сдаточным испытаниям согласно ПУЭ в следующем объеме.

1. Измерение сопротивления изоляции подвижных и направляющих частей из органических материалов.
2. Испытание вводов.
3. Оценка состояния внутрибаковой изоляции и дугогасительных устройств (для баковых выключателей 35 кВ).
4. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции выключателя.
5. Измерение сопротивления постоянному току контактов выключателя, включающих и отключающих катушек привода.
6. Измерение скорости включения и отключения выключателя.
7. Проверка времени действия подвижных частей выключателя.
8. Проверка действия механизма свободного расцепления.
9. Проверка срабатывания привода при пониженном напряжении.
10. Испытание выключателя многократными включениями и отключениями.
11. Испытание трансформаторного масла из бака выключателя для баковых выключателей на всех напряжениях и малообъемных выключателей на напряжение 110 и выше.
12. Испытание встроенных трансформаторов тока.

Перед испытаниями проводится внешний осмотр выключателя. При этом проверяют чистоту и целостность изоляции, уровень масла, отсутствие течи масла, состояние привода, заземление корпуса и др.

## 12.2. Испытания изоляции масляных выключателей

**Измерение сопротивления изоляции.** Сопротивление изоляции подвижных и направляющих частей из органических материалов измеряют с помощью мегомметра на напряжение 2500 В.

Величина сопротивления изоляции должна быть не ниже значений, приведенных в табл. 12.1.

Таблица 12.1. Допустимые значения сопротивления изоляции подвижных частей выключателей

Номинальное напряжение, кВ	Сопротивление изоляции, МОм
3...10	1000
15...150	3000
220	5000

Первое измерение производится обычно при включенном положении выключателя. Измеряется суммарное сопротивление изоляции вводов, подвижных и направляющих частей выключателя. Если измеренные сопротивления изоляции окажутся ниже значений, приведенных в табл. 12.1, проводится второе измерение при отключенном выключателе и соединенных между собой вводах каждой фазы выключателя. Сопротивление изоляции подвижных и направляющих частей определяется по результатам двух измерений из выражения

$$R_{из} = R_{вкл}R_{отк}/(R_{отк} - R_{вкл}), \quad (12.1)$$

где  $R_{вкл}$  и  $R_{отк}$  - сопротивления изоляции, измеренные соответственно при включенном и отключенном положениях выключателя.

В тех случаях, когда масло в баки выключателя не залито или есть возможность опустить баки, для измерения сопротивления изоляции

присоединяют мегомметр непосредственно к подвижным и направляющим частям.

**Измерение угла диэлектрических потерь.** Состояние внутрибаковой изоляции и дугогасительных устройств баковых выключателей напряжением 35 кВ оценивают путем измерения  $\operatorname{tg} \delta$  вводов после установки их на выключатель. При таком измерении на величину  $\operatorname{tg} \delta$  оказывают влияние элементы внутрибаковой изоляции (дугогасительные устройства, обшивка баков и др.).

В тех случаях, когда  $\operatorname{tg} \delta$  вводов велик, в измерении должна быть исключена внутрибаковая изоляция (для этого сливают масло, опускают баки, шунтируют дугогасительные камеры). Внутрибаковая изоляция подлежит сушке, если исключение ее влияния снижает  $\operatorname{tg} \delta$  вводов более чем на 4...5%.

**Испытание повышенным напряжением.** Величины испытательных напряжений промышленной частоты для масляных выключателей приведены в табл. 12.2.

Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 мин. Испытательное напряжение прикладывается:

- 1) между токоведущими частями и корпусом выключателя, а также токоведущими частями соседних фаз;
- 2) между разомкнутыми контактами одной фазы при отключенном выключателе. Схемы приложения испытательных напряжений при испытании масляных выключателей приведены на рис. 12.1

Таблица 12.2 Испытательные напряжения промышленной частоты для  
 масляных выключателей

Номинальное, напряжение выключателя, кВ	Испытательное напряжение, кВ	
	для нормальной изоляции	для облегченной изоляции
3	22	12
6	29	19
10	38	29
15	49	43
20	58	-
35	85	-
110	225	-
150	290	-
220	425	-

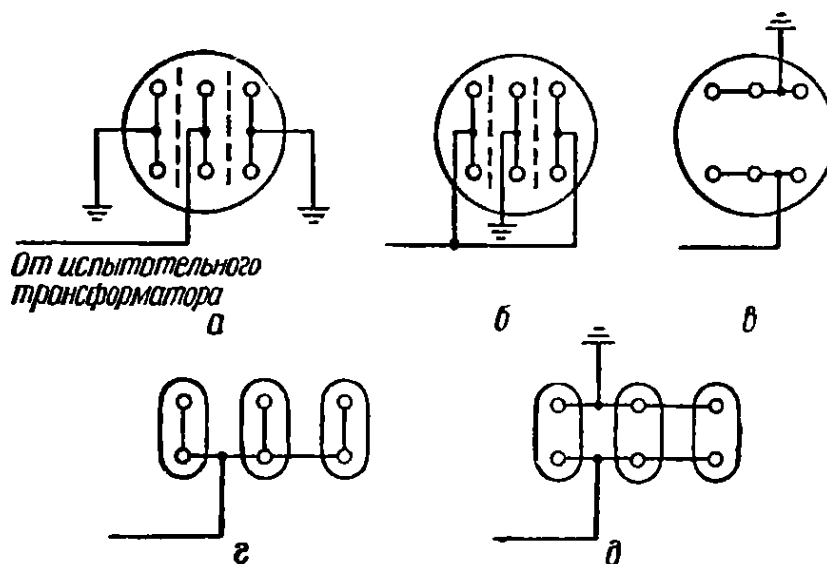


Рис. 12.1. Схемы испытания изоляции масляного выключателя повышенным напряжением промышленной частоты: *а* - средней фазы однобакового выключателя; *б* - крайних фаз однобакового выключателя; *в* - контактного разрыва однобакового выключателя; *г* - каждой из фаз трехбакового; *д* - контактного разрыва трехбакового выключателя

### 12.3. Измерение сопротивления постоянному току контактов масляных выключателей

Сопротивление постоянному току контактов масляных выключателей измеряют для контактной системы фазы и для каждой пары рабочих контактов выключателя. Если выключатели имеют, кроме главных, еще и

дугогасительные контакты, то измерение проводится для всей контактной системы фазы и отдельно для дугогасительных контактов. В этом последнем случае между главными контактами выключателя прокладывают изоляционные прокладки (из прессшпана). Измерения выполняют микроомметром типа М-246, двойным мостом или амперметром и вольтметром. Предельные величины сопротивления контактов даны в табл. 12.3.

Таблица. 12.3. Предельные величины сопротивлений контактов масляных выключателей

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Предельное сопротивление контактов выключателя при вводе в эксплуатацию и после капитального ремонта, мкОм	
			Всей контактной системы фазы выключателя	Элементов контактной системы
МКП-500	500	1500	2350 (с вводом); 1500 (без ввода)	350 (одна камера) 50 (контур подвижных контактов)
МКП-220	220	600	1200 (с вводом); 600 (без ввода)	260(одна камера)
МКП-110	110	600	1600	540(одна камера)
МГ-110	110	600	700	-
ВМ-35	35	600	550	-
МГ-35	35	600	400	-
МГ-10	10	5000	15	300 (дугогасительные камеры)
ВММ-10	10	400	100	-
Выключатели остальных типов	3...10	200	350	-
		600	150	-
		1000	100	-
		2000	75	-

#### 12.4. Измерение скорости и времени движения подвижных частей масляных выключателей.

Скорость движения подвижных частей выключателя характеризует качество регулировки выключателя и привода. Большая скорость может вызвать

чрезмерные ударные механические нагрузки, малая скорость может привести к вибрации и снижению отключающей способности выключателя.

Широко распространен метод измерения скорости включения и отключения выключателя с помощью вибрографа.

Виброграф (рис. 12.2) представляет собой электромагнит, состоящий из катушки *1* и сердечника *2* с легким якорем *4*. Якорь укреплен на стальной пружинящей пластинке *5*, закрепленной одним концом на корпусе вибрографа *7*. На свободном конце пластины укреплена обойма *3* с графитовым стержнем, против которого помещают бумажную ленту, связанную с подвижной частью выключателя. В обойме имеется пружина, обеспечивающая необходимое прижатие графитового стержня к бумаге. К катушке вибратора подводится ток (для безопасности персонала напряжение рекомендуется 12—36 в) частотой 50 Гц. При каждой полуволне напряжения пластинка с графитовым стержнем притягивается к сердечнику, совершая, таким образом, 100 колебаний.

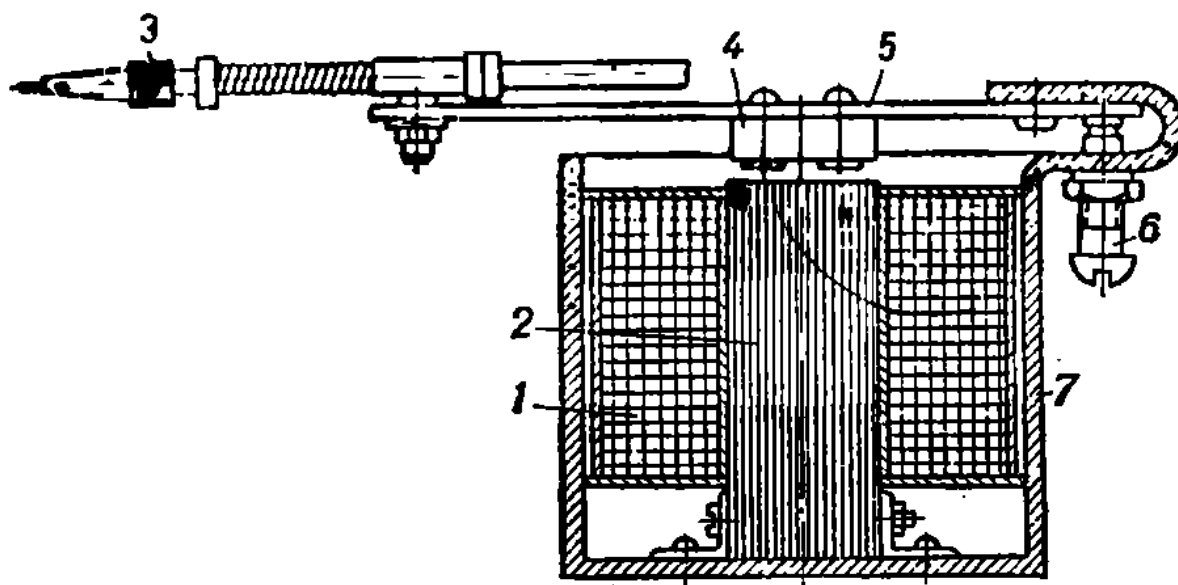


Рис. 12.2. Разрез вибрографа.

К подвижной части выключателя крепится планка с полосками плотной бумаги. Вибратор устанавливается у этой планки таким образом, чтобы его графитовый стержень совершал колебания в плоскости, перпендикулярной движению ленты.

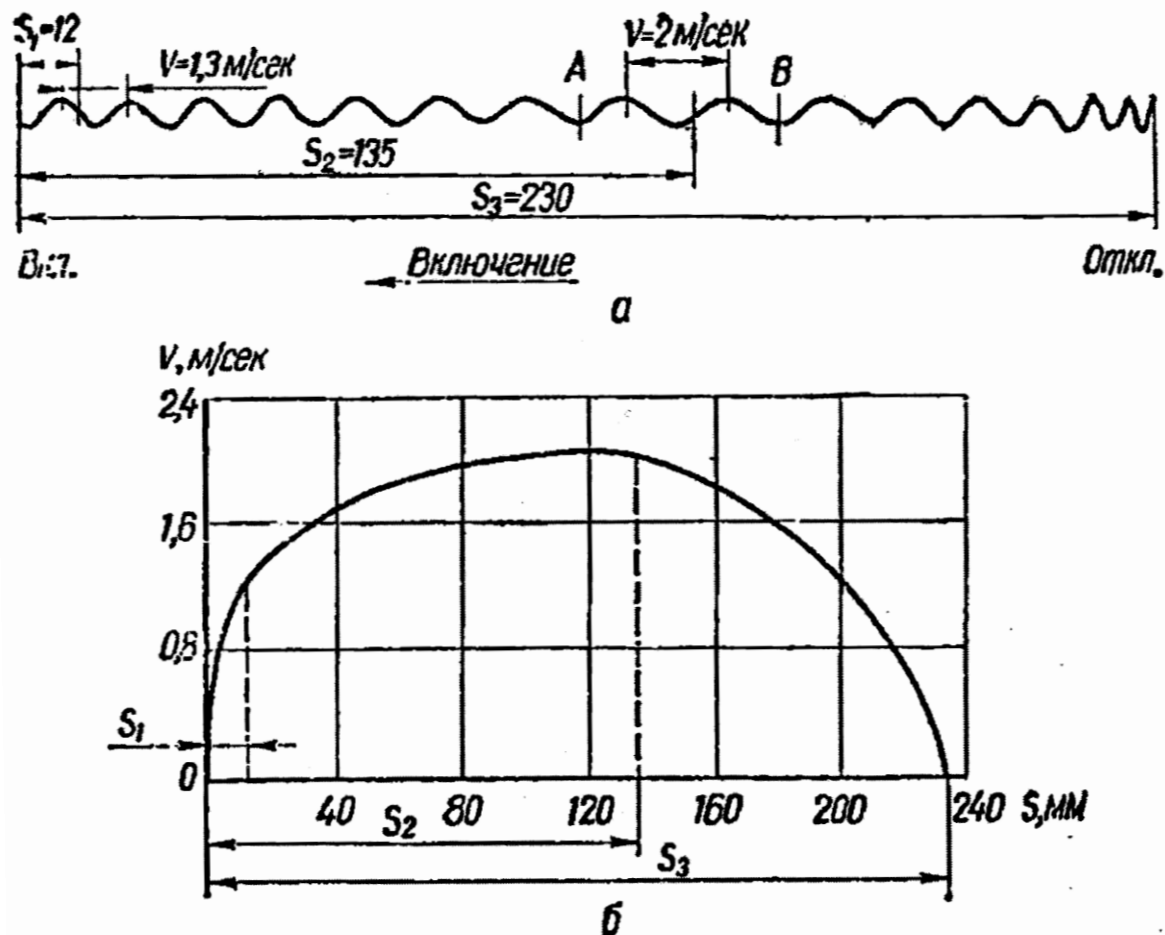


Рис. 12.3. Характеристика скорости включения выключателя: *а* - виброграмма; *б* - кривая скорости включения;  $S_1$  - ход в контактах;  $S_2$  - ход в камере;  $S_3$  - полный ход траверсы

При движении бумажной ленты вместе с подвижной частью выключателя графитовый стержень вычертит, на ленте синусоидальную кривую с периодами различной длины. По этой виброграмме (рис. 12.3) могут быть определены ход, время и скорость движения подвижных частей выключателя. Ход подвижных частей определяется непосредственным измерением длины виброграммы. Время движения определяется по числу периодов синусоиды. Скорость движения подвижных частей на всем пути различна. Средняя скорость на данном небольшом участке определяется по формуле

$$v = S/100t \quad \text{м/с} \quad (12.2)$$

где  $S$  — длина участка пути, см;  $t$  — время движения на этом участке, с.

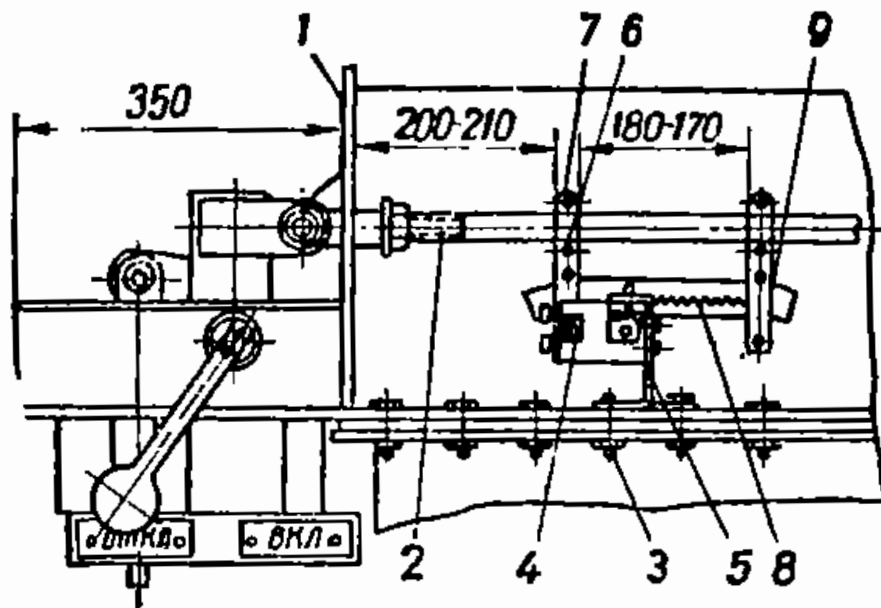


Рис 12.4. Установка вибрографа на выключателе типа МКП-160:  
 1 - торцовая плита; 2 - тяга; 3 - болты коробки механизма; 4 - зажим; 5 - скоба; 6 - винт накладки; 7 - стяжной болт зажима; 8 - лента бумажная с металлической подкладкой; 9 - накладка.

По виброграмме может быть построена кривая скорости движения подвижных частей выключателя (см. рис. 12.3). Рекомендуется снимать виброграммы непосредственно на траверсе выключателя, который в это время должен быть залит маслом. Для баковых выключателей виброграмму можно снять на промежуточной подвижной части вне бака выключателя. В этом случае виброграмму предварительно градуируют: на штанге траверсы наносят метки и при медленном включении выключателя делают на виброграмме отметки, соответствующие крайним и ряду промежуточных положений траверсы.

Примеры установки вибрографов приведены на рис. 12.4 и 12.5.

Скоростные характеристики выключателей при заполненных маслом баках, температуре окружающей среды от  $+10^{\circ}$  до  $+20^{\circ}$  °С и номинальной величине напряжения на зажимах привода должны отличаться от величин приведенных в табл. 12.4 не более чем на  $\pm 10\%$ .



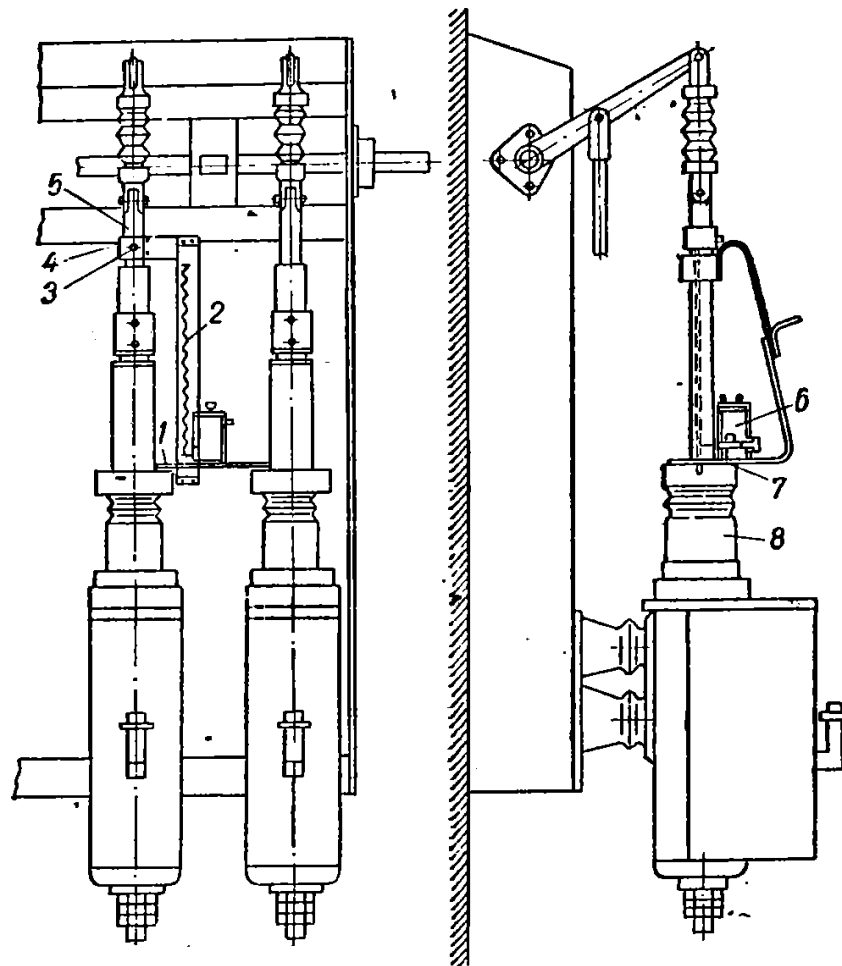


Рис. 12.5. Установка вибрографа на выключателе ВМГ-133: 1- планка для установки вибрографа; 2 - планка с бумажной лентой; 3 - стопорный винт; 4 - хомут; 5 - изолятор - тяга; 6 - виброграф; 7 - болты для крепления планки к фланцам проходных изоляторов; 8 - проходные изоляторы.

Для остальных типов выключателей времена и скорости движения подвижных частей устанавливаются в соответствии с инструкциями заводоизготовителей. Данными, приведенными в табл. 12.4, следует пользоваться, если нет заводских протоколов испытания.

Собственное время включения и отключения выключателя (от подачи импульса до замыкания или размыкания контактов выключателя) измеряется электрическим секундомером по схемам, приведенным на рис. 12.6. В выключатель следует залить масло. Измеренные величины должны отличаться от величин, приведенных в табл. 12. 4, не более, чем на  $\pm 10\%$ .

Таблица 12.4. Усредненные скорости движения подвижных частей масляного выключателя

Тип выключателя	Тип привода	Время, с, от подачи импульса до момента				Скорость движения подвижных контактов, м/с			
		замыкания контактов	остановки подвижных частей	размыкания контактов	остановки подвижных частей	Наименование операции	Максимальная	В момент смыкания или размыкания контактов дугогасительных камер	В момент смыкания или размыкания промежуточных контактов с подвижными контактами
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
У-220-10	ШПЭ-44	0,8	--	0,04...0,06	-	-	-	-	-
МКП-220	ШПЭ-44	0,7...0,8	-	0,04...0,06	-	Включение	4,4	2,7	4,4
						Отключение	3,2	1,5	2,8
МКП-160	ПС-30	0,8	0,85	0,07	0,35	Включение	3,0	3,0	-
						Отключение	4,0	2,1	-
МКП-110М	ПЭ-33	0,5...0,6	-	0,04...0,05	-	Включение	3,3	1,8	3,3
						Отключение	2,7	1,5	2,3
МКП-110МП	ПЭ-31	0,5...0,6	-	0,04...0,05	-	Включение	3,5	1,8	3,0
						Отключение	2,7	1,5	2,3
МГ-110	ПС-30	0,46	0,48	0,054	0,1	Включение	1,7	0,2	1,68
						Отключение	5,0	2,3	4,3
ВМ-35, ВБ-35 и ВМД-35	ПС-10	0,18	-	0,06	-	Включение	1,7	-	-
						Отключение	2,45	1,0	-
МКП-35	ПС-30	0,4	0,48	0,05	0,2	Включение	2,5	2,0	-
						Отключение	3,5	1,7	-
МКП-76	ПВС-150	0,46	0,8	0,1	0,25	Включение	2,3	1,7	-
						Отключение	2,9	1,3	-
МГ-35	ПС-20	0,23	0,238	0,06	0,166	Включение	2,5	1,96	2,4
						Отключение	2,7	2,06	2,4

Продолжение таблицы 12.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
МГ-20	ПС-31	0,65	1,2	0,14	0,37	Включение	2,1	2,0	-
						Отключение	2,0	1,75	-
МГ-10	ПС-31	0,53	0,75	0,12	0,29	Включение	2,5	2,45	-
						Отключение	2,0	1,7-	-
МГГ-229	ПС-30Г	0,65	0,7	0,15	0,33	Включение	1,6	1,6	-
						Отключение	1,9	1,4	-
МГГ-223	ПС-30	0,55	0,66	0,15	0,3	Включение	1,4	1,2	-
						Отключение	1,55	1,45	-
МГГ-20	ПС-31	-	0,65	-	0,2	Включение	-	-	-
						Отключение	-	-	-
МГГ-10	ПЭ-2	0,14	0,42	0,11	0,24	Включение	1,7	1,4	-
						Отключение	3,0	2,1	-
ВМГ-133	ПС-10	0,2	0,23	0,1	0,16	Включение	2,8	2,8	-
						Отключение	3,0	2,0	-
ВМП-10 и ВМП-10К	ПЭ-11	0,3	-	0,1	-		4,1	3,6	-
							5,0	3,5	-
ВМП-10П	Пружин- ный	0,2	-	0,1	-		5,5	4,0	-
							5,5	4,0	-

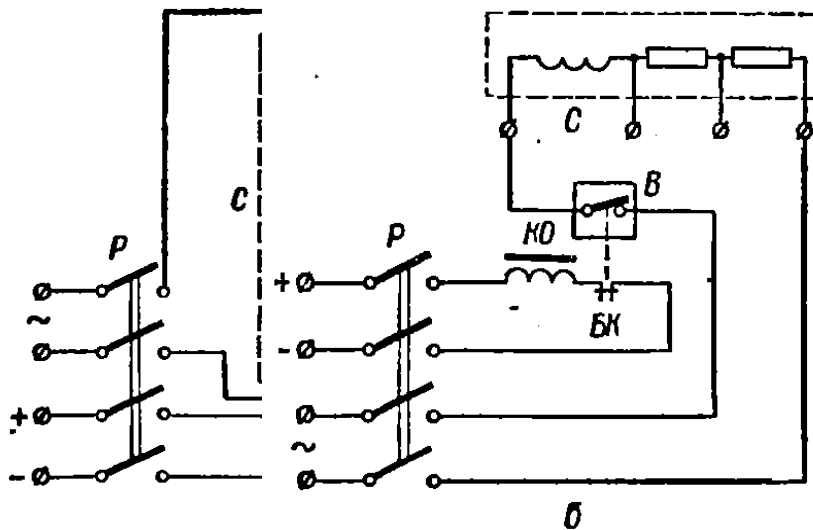


Рис. 12.6. Схема измерения времени включения (а) и отключения (б) МВ: P - рубильник; B - масляный выключатель; C - секундомер; KB - контактор включения; КО - катушка отключения; БК - блок-контакт  
 Для исключения погрешности вследствие неодновременности подачи импульса на включение (отключение) и для запуска секундомера ножи рубильника должны замыкаться одновременно.

### 12.5. Проверка приводов масляных выключателей

Привод проверяют после тщательной ревизии, чистки и механической регулировки. Сведения по механической регулировке некоторых наиболее распространенных типов приводов приведены ниже. Перед механической регулировкой привода проводится его внешний осмотр, при котором проверяются все доступные болты и гайки, крепления и пружины, поверхности зацепления всех собачек, защелок и каблучков, отсутствие заусениц, трещин и сколов, надежность креплений всех шарнирных соединений, наличие шайб и шплинтов.

**Ручные приводы типа ПРБА.** При регулировке и проверке привода необходимо соблюдать осторожность, так как при случайных отключениях выключателя возможен несчастный случай. Рекомендуется установить стопорные приспособления между собачкой и корпусом привода.

На рис. 12.7 показан механизм привода типа ПРБА в различных положениях.

При регулировке механизма привода проверяют, происходит ли зацепление

рычага 6 за релейную планку 7 при доведении рычага управления привода вниз до упора.

Если зацепление не происходит, нужно вернуть винт упора с лицевой стороны привода, чтобы увеличить ход рычага управления приводом. Можно отрегулировать зацепление рычага 6 за релейную планку 7 путем изменения длины тяги 12.

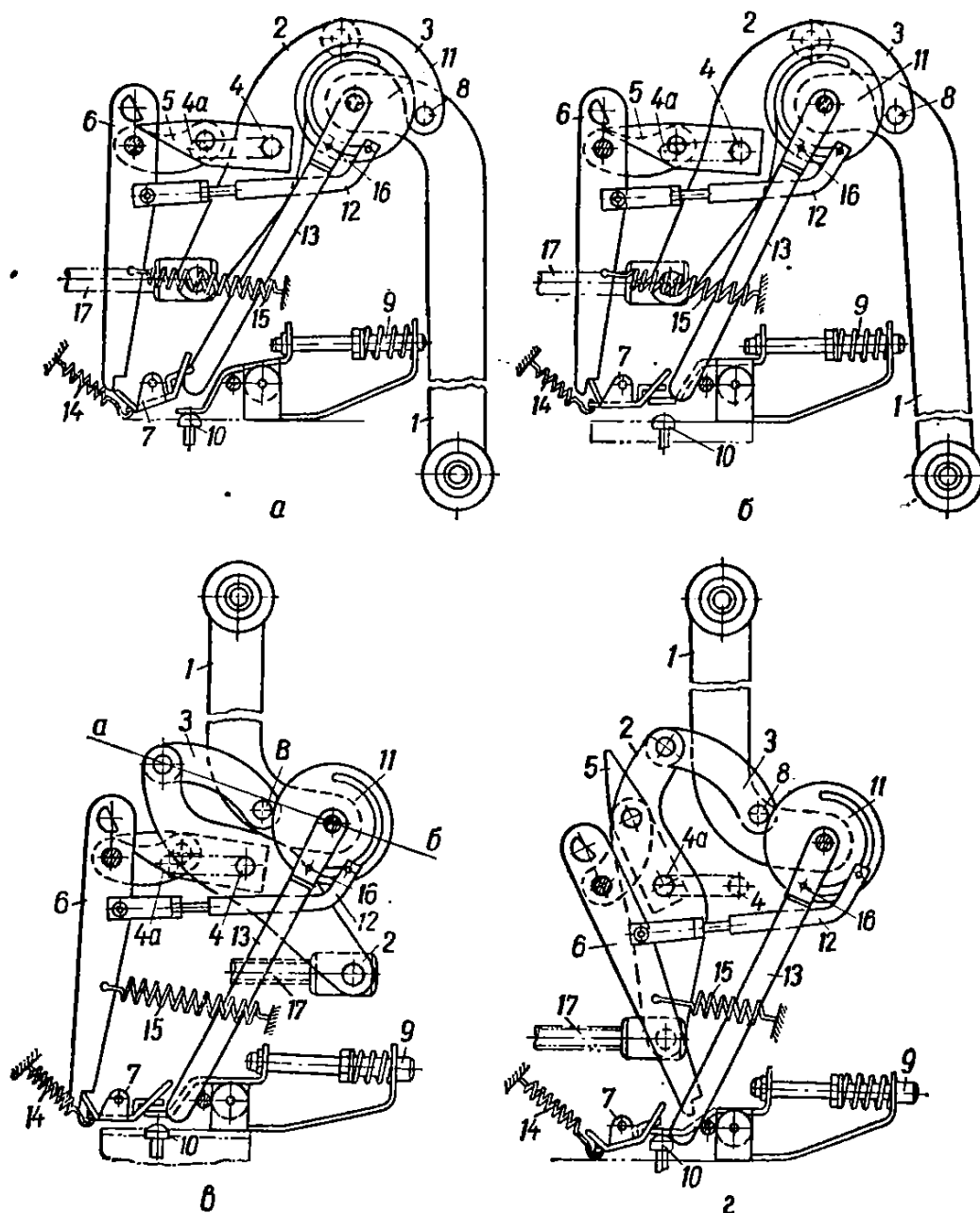


Рис.12.7. Механизм ПРБА в разных положениях: а - при заводе механизма; б - в исходном положении; в - во включенном положении; г - в положении после автоматического отключения

Если не происходит зацепление, то тягу *12* следует удлинить. Затем проверяют зацепление собачки *5* за полуось рычага *6* при доведении рычага управления привода вниз до упора.

Если зацепление осуществляется раньше, чем рычаг управления дойдет до нижнего упора, то тягу от привода к выключателю следует укоротить.

Далее проверяют работу фрикционного сцепления рычага управления *1* привода с рычагом *13*. На рис. 12.8 показана конструкция фрикциона, который должен давать возможность рычагу *1* свободно двигаться снизу вверх при включении выключателя, а при повороте рычага управления привода — сверху вниз. За счет трения в фрикционе рычаг *13* (см. рис. 12.7) должен отклониться и повернуть планку *7* до ее расцепления с рычагом *6*, после чего выключатель отключается. Выключатель должен отключаться при повороте рычага управления привода сверху вниз на угол не больше  $10^\circ$ , в противном случае следует поджать пружину фрикциона *3*. Если пружина потеряла упругость, то ее заменяют. Необходимо помнить, что детали фрикциона *2* и *4* не должны смазываться, чтобы не уменьшалось трение.

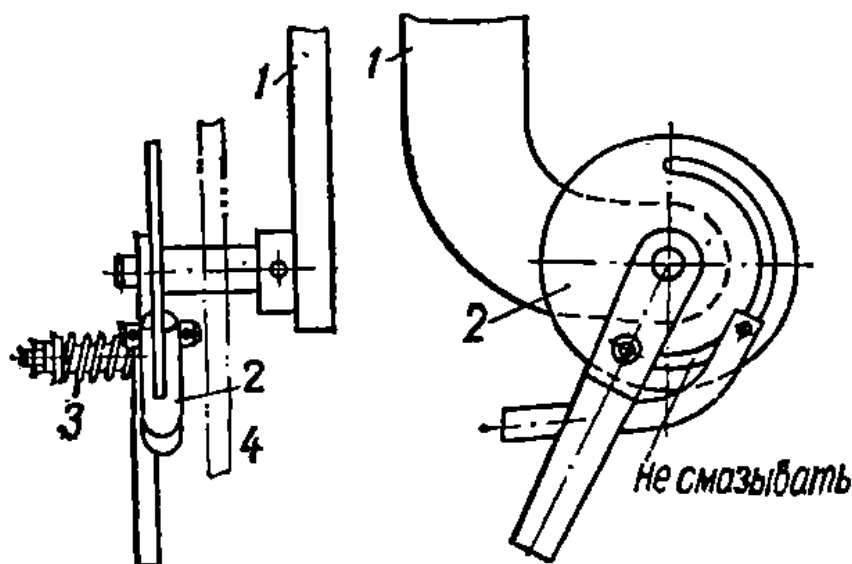


Рис. 12.8. Фрикцион привода ПРБА

**Пружинные приводы.** Общий вид и кинематическая схема пружинного привода типа ППМ-10 приведены на рис. 12.9 и 12.10.

Элементы регулировки механизма привода: тяга I с резьбой, регулируется так, чтобы при ручном и дистанционном отключении и при отключении от РНВ защелка БКА надежно отходила от диска, давая возможность контактам БКА повернуться; винт II предназначен для регулировки механизма включения (рис. 12.11), т. е. глубины западания рычага 4 пружины за ролик удерживающего механизма 3; глубина эта должна быть около 1 мм; при заводе пружины рычаг 4 свободно расходится с роликом, т. е. складывает механизм; включающая катушка выполняет включение в пределах 90...110% номинального напряжения на ее зажимах; винт III (см. рис. 12.10); служит для регулировки завода планки 10 серповидного рычага 4 планкой с сектором 9; планка 10 должна быть отрегулирована так, чтобы при поднятом серповидном рычаге 4 зазор между планкой 12 и роликом удерживающей стойки был равен 3...5 мм (ударник не должен упираться в верхнюю стенку корпуса); при опущенном серповидном рычаге и заводе пружины планка 10 должна свободно расходиться с сектором 9 рычага 11;

винт IV; служит для регулировки зацепления защелки 8 с рычагом 17 вала при включении выключателя; глубина захвата 6...7 мм;

винт V; предназначен для регулировки механизма завода РНВ;

винт VI (см. рис. 12.10); предназначен для регулировки мертвой точки отключающего механизма 15;

шлицы VII; позволяют перемещать подшипник таким образом, чтобы планка 12 при поднятом серповидном рычаге находилась в соответствующем положении; шлицы отсечки 27 (см. рис. 12.9) служат для регулировки расцепления рычага и ролика 25 с рычагом 30; при срывах отсечка поднимается вверх, при глухом упоре рычага внутри привода опускается вниз; шлицы планки 21 служат для смещения планки при незаведенной пружине, так чтобы планка рычажного механизма находилась в центре ее; винты-отражатели 31 и винты крепления оси; служат для регулировки размера 5 мм и угла наклона пружинного стержня; регулировка необходима для надежного зацепления ролика 25 с зубом рычага 30.

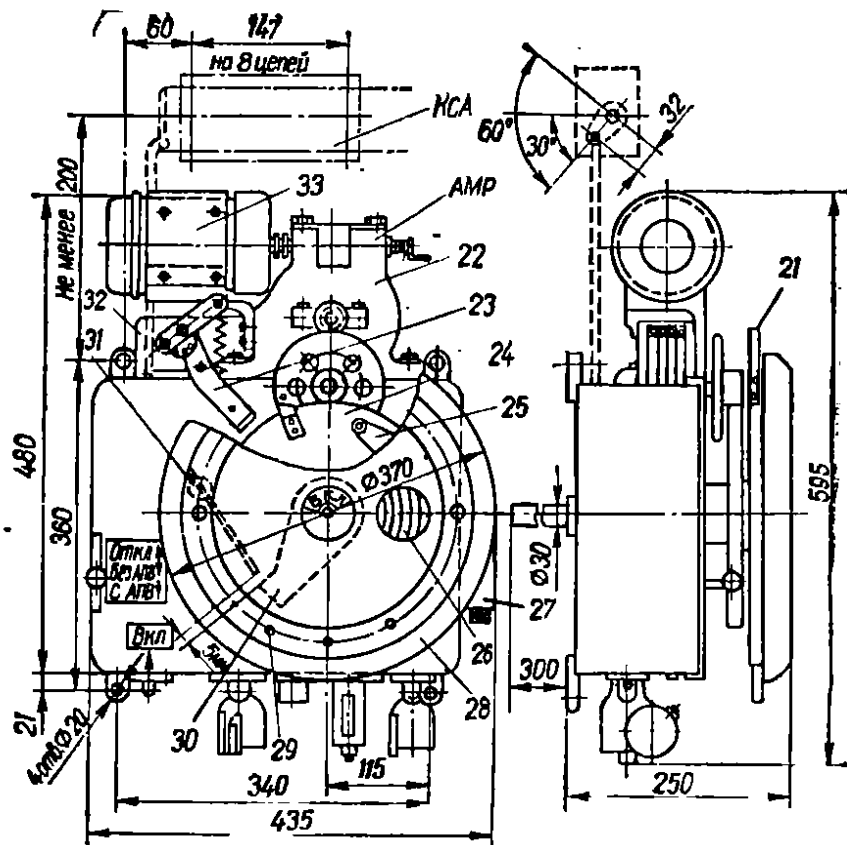


Рис. 12.9. Общий вид пружинного привода типа ППМ-10

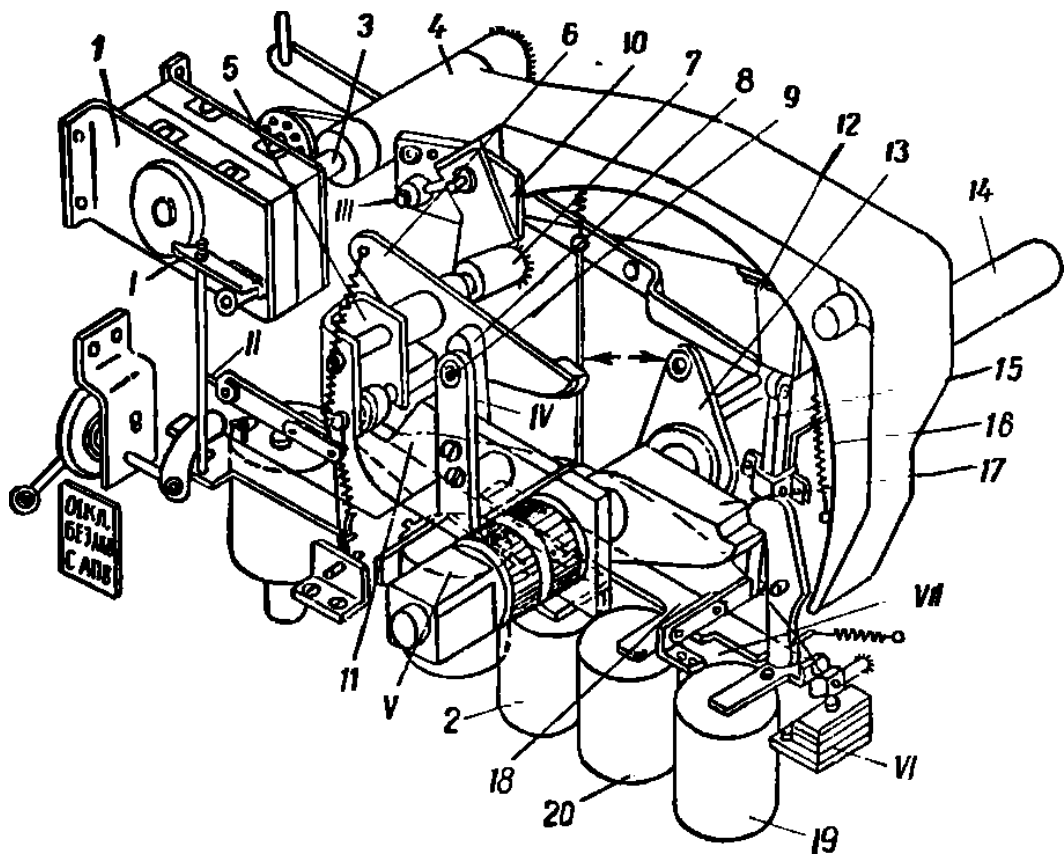


Рис. 12.10. Кинематическая схема пружинного привода типа ППМ-10



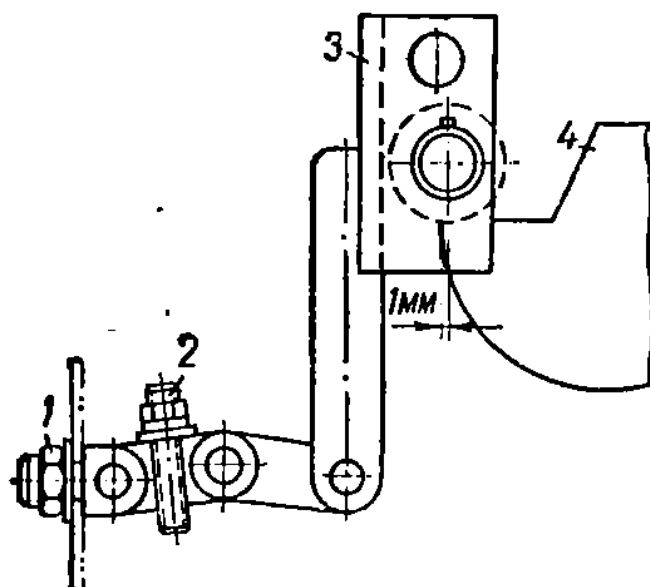


Рис. 12.11. Узел для регулировки механизма включения привода типа ППМ-10: 1,2 - гайки; 3 - удерживающий механизм; 4 - рычаг

Рекомендуется осуществлять опробование привода ППМ-10 в следующей последовательности. С помощью стальной штанги, закрепляемой между двумя ввернутыми в штурвал болтами М12, завести пружину вручную (штурвал поворачивается против часовой стрелки) до надежного западания рычага 11 (см. рис. 12.10) за ролик включающего механизма 6. Включение и отключение привода вручную проверяют четыре-пять раз. Обращают внимание на правильную работу всех узлов привода и отсутствие заеданий, недовключений и других дефектов в работе.

Включают питание оперативного тока и, подавая на электродвигатель кратковременные импульсы, заводят пружину. Это нужно делать медленно, наблюдать за надежностью захвата роликом 25 зуба рычага 30, за согласованностью моментов западания рычага за ролик механизма 6, за расцеплением отсечки 27 ролика 25 с зубом рычага 30, что происходит, когда зазор между рычагом 11 и роликом достигает 1...2 мм, за автоматической остановкой двигателя, который должен остановиться одновременно с расцеплением ролика 25 с зубом 30 от разрыва цепей питания блок-контактами КСА.

Включение и отключение привода повторяют три-четыре раза с одновременным заводом пружины. Обращают внимание на работу электродвигателя 33 завода пружины, который должен включаться планкой 21 в конце процесса включения МВ (рис. 12.9).

Приводы типа ПП-61 и ПП-67 имеют кинематическую схему, аналогичную схеме ППМ-10. Внешний осмотр и механическая регулировка их аналогичны осмотру и проверке привода ППМ-10.

**Электромагнитные приводы.** При регулировке рычажного механизма привода ПЭ-11 должны быть выдержаны зазоры, указанные на рис. 12.12. Величина зазора между отключающей собачкой 1 и роликом 2 должна быть 1...2 мм (регулируется упорным болтом 3). Ход сердечника – 18...20 мм; угол расцепления  $\alpha = 15^\circ$  полный угол поворота  $\beta = 60^\circ$ . Зацепление между запирающей защелкой и упором не нормируется, а между отключающей защелкой и упором оно должно быть в средней части седла отключающей защелки. Ход якоря электромагнита включения должен обеспечивать необходимый зазор 1...1,5 мм между защелкой и упором в процессе зацепления.

При регулировке рычажной системы приводов ПЭ-2 и ПЭ-21 зазоры между защелками и упорами в процессе зацепления должны составлять 1...2 мм. Эта величина регулируется у отключающих защелок ввертыванием (вывертыванием) бойка якоря электромагнита включения. Зацепление между защелками и упорами должно быть у привода ПЭ-2 по всей длине седла (отключающая защелка) и не менее  $V_4$  длины седла у приводов ПЭ-2 и ПЭ-21 (запирающая защелка).

Ход якоря электромагнита включения у привода ПЭ-21 должен быть 112 мм, а у привода ПЭ-2 – 85...87 мм. Его регулируют ввертыванием (вывертыванием) бойка электромагнита включения. У электромагнита отключения ход якоря должен позволять после расцепления отключающей

защелки движение бойка не менее 2...3 мм. Регулировку осуществляют путем изменения длины бойка якоря.

При проверке приводов особое внимание следует обратить на регулировку включающих и отключающих элементов. Включающие (пружинные приводы) и отключающие элементы разбираются и тщательно осматриваются. Сердечник должен легко двигаться в гильзе, на его поверхности и на гильзе не должно быть зазубрин, шероховатостей, грязи, ржавчины, остатков смазки. Необходимо проверить, есть ли диамантная шайба, которая препятствует «прилипанию» сердечника к контрполюсу от остаточного намагничивания. Запрещается смазывать поверхности сердечников и бойков электромагнитов и встроенных реле. После установки на место электромагнитов проверяется легкость хода сердечника.

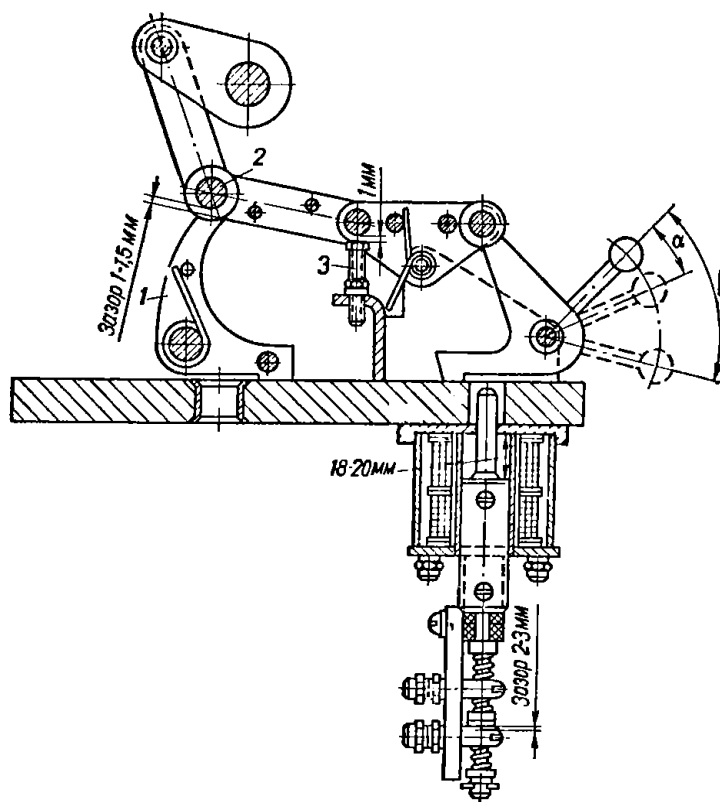


Рис. 12.12. Регулируемые зазоры вода ПЭ-11 в механизме привода ПЭ-11

Для этого сердечник следует повернуть четыре-пять раз по 1/4 оборота вокруг своей оси. Сердечник должен двигаться легко и свободно в любом положении. Расстояние между бойком и рычагом отключающегося устройства должно соответствовать данным табл. 12.5. Для остальных типов приводов

зазор между бойком и рычагом отключающего устройства устанавливается согласно инструкции или исходным данным.

Таблица 12.5. Зазор между бойком и рычагом отключающего устройства приводов масляных выключателей

Привод	Зазор, мм
ПС-10	8
ПЭ-2	0
ПЭ-31	1—2
ПЭ-33	1—2
ПЭ-42	1—2
ПЭ-504	1—2
Пружинно-грузовой	5-6

Необходимо, чтобы запас хода бойка был не менее 1...2 мм, т. е. чтобы освобождение включающего или отключающего механизма происходило тогда, когда расстояние между поднимаемым сердечником и его контрполюсом — не менее 1...2 мм.

Релейный валик (релейная планка) в пружинно-грузовых и ручных приводах не должен иметь искривлений, прогибов и т. п., должен свободно вращаться в подшипниках. Рычаги релейного валика, по которым бьют бойки отключающих электромагнитов, должны быть надежно укреплены и не могли смещаться относительно бойков электромагнитов.

При проверке привода обязательно обращать внимание на состояние и регулировку блок-контактов. Следует проверить, зачищены ли контактные поверхности, достаточное ли нажатие для надежного контакта. При регулировании блок-контактов типа КСА необходимо добиться, чтобы закрывающиеся и открывающиеся контакты были взаимно сдвинуты на угол 90°, чтобы блок-контакт, используемый в цепи контактора включения (КСУ), обеспечивая достаточную продолжительность импульса на включение, размыкался только в самом конце операции включения. Блок-контакт в цепи отключения должен замыкаться в самом начале операции включения для

подготовки цепи отключения на случай включения выключателя на короткое замыкание.

Регулировка блок-контактов производится с помощью специальных тяг за счет изменения их длины, а также перестановкой рычага КСА.

Для регулировки момента замыкания и размыкания цепи и продолжительности замкнутого состояния цепи на блок-контактах типа КСА рекомендуется использовать возможность поворота контактных шайб на валу. Контакты разбирают, а шайбы переставляют на нужный угол по граням вала. Иногда, чтобы увеличить время замкнутого состояния цепи, применяют параллельное включение отдельных контактных шайб, повернутых друг относительно друга на некоторый угол.

Угол между рычагом КСА и направлением тяги должен быть не менее  $30^\circ$ , чтобы передача не подходила близко к мертвой точке, вблизи которой возникают большие изгибающие усилия в рычаге и тяге. В разомкнутом положении расстояние между подвижными и неподвижными контактами должно быть 4—8 мм. Рекомендуется регулировать блок-контакты при медленном ручном включении и отключении выключателя. В некоторых типах электромагнитных приводов в цепи включения используется проскальзывающий блок-контакт, разомкнутый в обоих конечных положениях привода. Специальная регулировка этого блок-контакта обычно не требуется. Для обеспечения цепи включения при отключенном положении выключателя параллельно проскальзывающему блок-контакту включается блок-контакт обычной конструкции. В пружинно-грузовых приводах следует проверить сопротивление изоляции, состояние подшипников и щеток электродвигателя завода привода, а также действие конечного выключателя в цепи двигателя.

Окончательно правильность регулировки проверяют при снятии электрических характеристик. Перед этим измеряется сопротивление изоляции обмоток электромагнитов и цепей привода мегомметром 1000 или 2500 В. Сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм. Для электромагнитов

постоянного тока измеряют омическое сопротивление, для электромагнитов переменного тока — потребление тока при заторможенном и подтянутом сердечнике. Полученные данные сравниваются с заводскими. Основные технические данные электромагнитов приводов масляных выключателей приведены в табл. 12.6 и 12.7.

Минимальное напряжение срабатывания электромагнитов привода измеряется по схемам, приведенным на рис. 12. 13. Применение потенциометра при измерениях напряжения срабатывания на переменном токе нежелательно из-за возможного искажения формы кривой напряжения на электромагните. Потенциометр, используемый в схеме, должен быть низкоомным (не более 50...100 Ом). С помощью потенциометра или автотрансформатора при включенном электромагните подбирают минимальное напряжение, при подаче которого толчком электромагнит срабатывает. Минимальным напряжением срабатывания считается такое напряжение, при подаче которого толчком происходит четкое срабатывание привода. Согласно ПУЭ, величина минимального напряжения срабатывания отключающего электромагнита должна составлять 30...65% номинального напряжения, а контактора и электромагнита включения - не выше 80% номинального напряжения на зажимах привода.

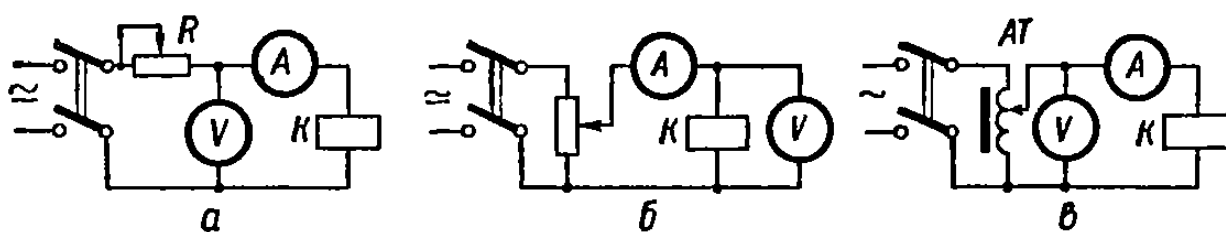


Рис. 12.13. Схемы проверки напряжения и тока срабатывания катушек приводов выключателя: а - с реостатом; б - с потенциометром; в - с АТ

Если катушку включения невозможно питать пониженным напряжением от основного источника питания (батареи, зарядного агрегата и др.), допускается питание ее нормальным напряжением при последовательном включении

небольшого сопротивления, за счет которого напряжение на катушке снижается до 80%. Сопротивление рассчитывают на кратковременное протекание тока.

**Проверка действия механизма свободного расцепления.** Свободное расцепление должно быть обеспечено, по крайней мере, на участке хода включения от замыкания цепи выключателя с учетом величины промежутка между его контактами, пробиваемого при сближении последних, до полного включенного положения выключателя. (Под свободным расцеплением понимается возможность освобождения выключателя от связи с удерживающим и заводящим механизмом привода при срабатывании отключающего устройства, после чего выключатель отключается под действием своих отключающих пружин).

Действие механизма свободного расцепления проверяют при включенном положении выключателя, при медленном (рычагом или домкратом) доведении выключателя до соприкосновения контактов. Импульс на отключение при этих испытаниях подают через блок-контакты в цепи отключающей катушки.

Испытание выключателя многократными включениями и отключениями следует проводить при напряжениях в момент включения на зажимах привода 110, 100, 90 и 80% номинального. При каждом из указанных напряжений следует совершать три—пять операций. Выключатели, предназначенные для работы в цикле АПВ, подвергают двух-, трехкратному опробованию в цикле О—В—О при номинальном напряжении на зажимах привода. Если по условиям работы источника питания включающих электромагнитов привода не представляется возможным произвести испытание выключателя при напряжении 110% номинального, то допускается испытание при наибольшем напряжении на зажимах привода, которое может быть получено.

При наладке выключателей и их приводов следует проверить надежность действия блокировки от «прыгания» путем подачи команды на включение выключателя при предварительно поданной команде на его отключение.

## 12.6. Объем приемо-сдаточных испытаний воздушных выключателей

Вводимые в эксплуатацию воздушные выключатели необходимо подвергать приемо-сдаточным испытаниям в следующем объеме (по ПУЭ).

1. Измерение сопротивления изоляции опорных изоляторов, изоляторов гасительных камер и отделителей и изолирующих тяг.
2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции.
3. Измерение сопротивления постоянному току: а) контактов выключателя; б) делителей напряжения выключателя; в) обмоток включающего и отключающего электромагнитов.
4. Проверка характеристик выключателя.
5. Проверка срабатывания привода выключателя при пониженном напряжении.
6. Испытание выключателя многократными включениями и отключениями.

Кроме перечисленного объема работ, измеряют емкости и  $\text{tg } \delta$  конденсаторов емкостных делителей. Предельные значения  $\text{tg } \delta - 0,4\%$ ; отклонения измеренных величин емкости от паспортных значений должны составлять не более  $\pm 10\%$ . Для измерений используют мост типа МД-16.

**Испытание изоляции воздушных выключателей.** Сопротивление изоляции опорных изоляторов, изоляторов гасительных камер и отделителей и изолирующих тяг измеряют мегомметром на 2500 в или испытательной установкой выпрямленного тока (АИИ-70). В случае необходимости устанавливают на внешней поверхности охранные кольца. Схема измерения приведена на рис. 12.14. Предельные величины сопротивления изоляции приведены в табл. 12.6.



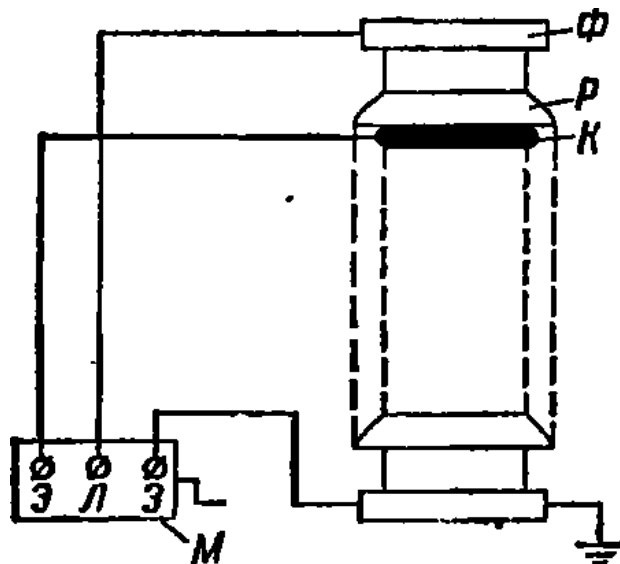


Рис. 12. 14. Измерение сопротивления изоляции изоляторов с применением охранных колец:  $\Phi$  - металлический фланец;  $P$  - ребро изолятора;  $K$  - охранный кольцо;  $M$  - мегомметр;  $\text{Э}$  - экран;  $L$  - линия;  $\text{З}$  - земля

При измерениях сопротивления изоляции испытательной установкой выпрямленного тока измерения обычно проводятся на напряжении 40 кВ.

Сопротивление изоляции штыревых изоляторов ИШД-35 опорной колонки неподвижного контакта измеряют поэлементно; сопротивление изоляции каждого склеенного элемента должно быть не менее 300 МОм. Сопротивление изоляции конденсаторов делителей измеряют с помощью мегомметра 2500 В.

Сопротивление изоляции не нормируется. Что касается сопротивления изоляции вторичных цепей, обмоток включающего и отключающего электромагнита, то оно измеряется мегомметром на 1000 В и должно быть не менее 1 МОм.

Опорная изоляция выключателя, состоящая из многоэлементных изоляторов, испытывается напряжением 50 кВ промышленной частоты, прикладываемым к каждому элементу изолятора. Опорную цельнофарфоровую изоляцию испытывают напряжением промышленной частоты, величина напряжения приведена в табл. 12.13. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 мин.

Таблица 12.6. Предельные величины сопротивления опорной изоляции и изоляции подвижных частей воздушных выключателей

Испытуемый элемент	Номинальное напряжение выключателя кВ	Сопротивление изоляции. МОм
Опорный изолятор воздухопровода или тяги	До 15	1000
	110 и выше	5000
Опорный фарфоровый изолятор Тяга, изготовленная из органических материалов	20-35	5000
	20-35	3000

**Измерение сопротивления постоянному току контактов воздушных выключателей.** Измерению подвергается весь токоведущий контур, а также контактные разрывы каждой камеры и отделителя в отдельности.

Измерение сопротивления производится микроомметром типа М246, двойным мостом или методом амперметра — вольтметра. Методика измерений приведена в гл. II. Сопротивление постоянному току делителей напряжения и электромагнитов управления измеряется одинарным мостом.

Предельные величины сопротивлений постоянному току контактов, делителей и электромагнитов воздушных выключателей приведены в табл. 12.10, 12.11, 12.12.

**Проверка характеристик воздушных выключателей.** Для измерения временных характеристик при наладке воздушных выключателей используется магнитоэлектрический осциллограф. Предварительные измерения при наладке, а также измерения отдельных величин (собственное время отключения, бесконтактная пауза и др.) после небольших работ на выключателе можно выполнить с помощью электро-миллисекундомера (ЭМС-54).

Таблица 12. 7. Характеристики воздушных выключателей на 220 кВ

Наименование характеристик (данные на один полюс)	Тип выключателя		
	ВВ-220	ВВН-220/1000-7000	ВВН-220/2000-7000
Собственное время отключения (от подачи команды до размыкания контактов гасительных камер), с	$\leq 0,06$	$\leq 0,06$	$\leq 0,06$
Разновременность размыкания контактов гасительной камеры, с	$\leq 0,006$	$\leq 0,006$	$\leq 0,006$
Бесконтактная пауза гасительной камеры (от размыкания контактов камеры до их первого вибрационного смыкания), с	0,2...0,3	0,2...0,28	0,2...0,28
Длительность вибрации контактов (на всех элементах камеры) при их смыкании, с	0,06	0,06	0,06
Время от подачи команды на отключение до выхода ножа из неподвижного контакта, с	0,12...0,17	0,14...0,18	0,14...0,18
Запаздывание размыкания ножа отделителя относительно размыкания контактов камеры, с	0,06...0,11	0,08...0,12	0,08...0,12
Наименьший угол поворота ножа, град, при отключении от включенного положения до момента первого вибрационного смыкания контактов (при избыточном давлении воздуха, ат)	45 (16)	40 (17,5)	40 (17,5)
Разновременность смыкания контактов камеры, включая вибрацию, с	$\leq 0,03$	$\leq 0,06$	$\leq 0,06$
Время включения (от подачи команды до момента смыкания контактов ножа отделителя), с	$\leq 0,45$	$\leq 0,45$	$\leq 0,45$
Разновременность отключения трех фаз, с	0,05	0,05	0,05
Наименьшая бестоковая пауза в цикле, с:			
О - В с ножом	0,8	0,8	0,8
БАПВ	0,2...0,3	0,3	0,3

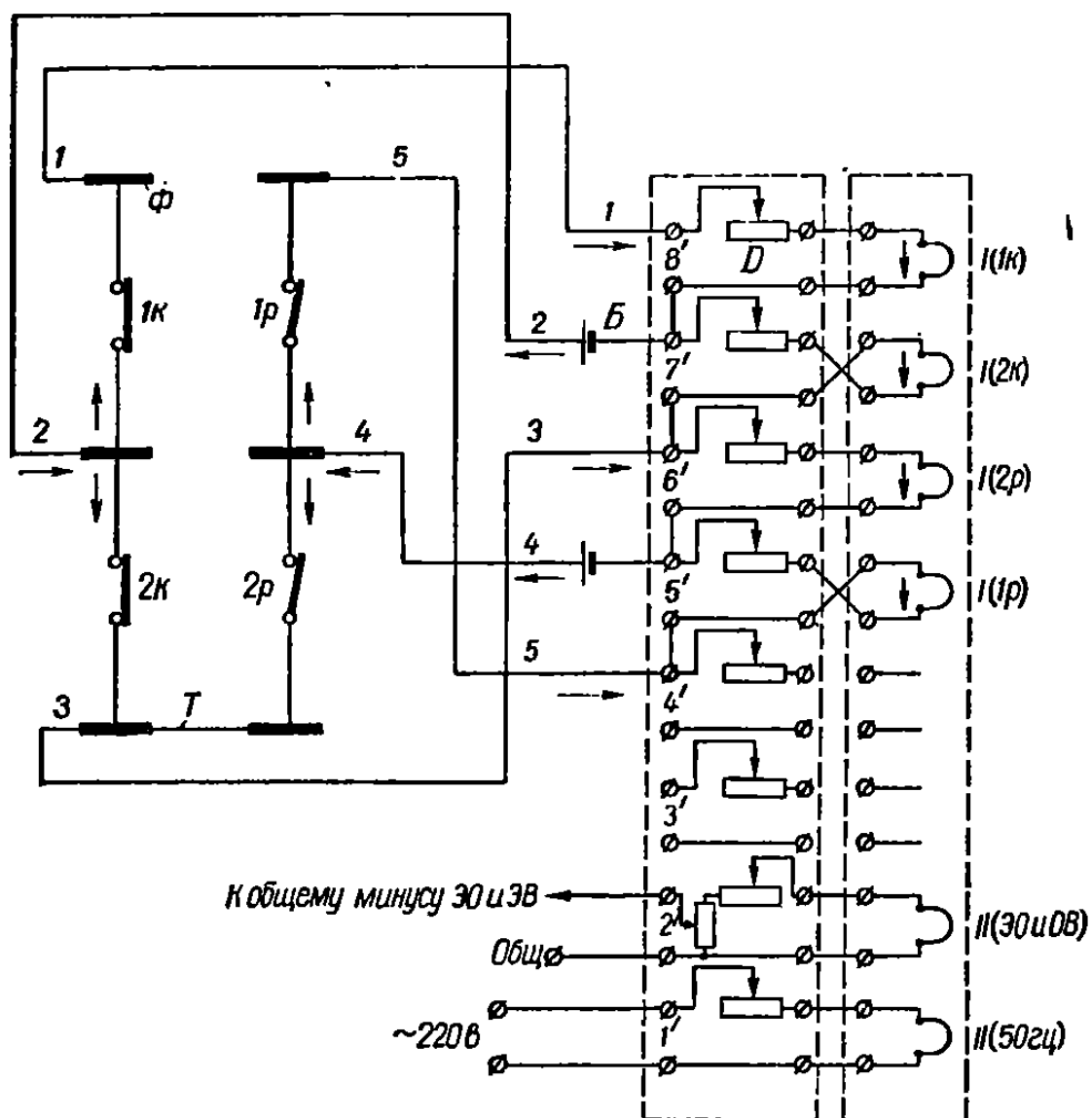


Рис. 12.15. Схема осциллографирования работы выключателя ВВН-110-6:  
 1к, 2к — контактные разрывы камеры; 1р, 2р — контактные разрывы  
 отделителя; В — батарея питания; I, II — вибраторы осциллографа

На рис. 12.15 приведена схема осциллографирования (описание осциллографа И102) работы выключателя с воздушнонаполненным отделителем. Четыре вибратора используются для осциллографирования работы контактов камеры и отделителя, один вибратор для записи тока электромагнитов управления и один - в качестве отметчика времени, записывающего синусоиду переменного тока 50 Гц, по которой определяется на осциллограмме продолжительность отдельных циклов работы выключателя. Для достижения одинакового направления тока в вибраторах и отклонения лучей на осциллограмме провода 5 и 7 присоединены к вибраторам накрест. Для

осциллографирования контактов выключателей применяются вибраторы низкой чувствительности. Наиболее пригодны для этой цели вибраторы типов МОВ2-I и Н135-3, однако при недостаточном количестве их применяются также вибраторы МОВ2-II, МОВ2-IV, Н135-6, Н135-1,5.

После сборки схемы, приведенной на рис. 12.15 и схемы управления выключателем осциллографирование проводится в такой последовательности. Подготавливается необходимая операция (отключение, включение и т. д.), устанавливается необходимое давление воздуха в баках и проверяется положение выключателя; удаляются люди из зоны, огражденной для проведения испытаний выключателя; устанавливается скорость движения пленки осциллографа, равная 250 мм/сек; для осциллографирования простых операций длина кадра устанавливается равной 12...15 см, для сложных циклов – 18...20 см; включаются питание, вибраторы и электродвигатель осциллографа и пропускается вхолостую 5...10 см пленки; специальным сигналом персонал предупреждается о начале испытаний; подается оперативный ток и проводится подготовленная операция (включение выключателя, отключение и т. д.); сразу после операции снимается оперативный ток; проверяется положение выключателя..

Для оценки полученных результатов первоначально снимают осциллограммы простых операций. На рис.12.16 приведена осциллограмма, снятая по схеме, соответствующей рис.12.15. На рис.12.17 приведена осциллограмма работы выключателя, на которой отмечены участки, соответствующие измеряемым временным характеристикам работы выключателя: *a* - собственное время отключения; *b* - разновременность размыкания контактов камеры; *c* - бесконтактная пауза камеры; *d* - бесконтактная пауза верхнего разрыва камеры; *e* - бесконтактная пауза нижнего разрыва камеры; *f* - запаздывание размыкания отделителя относительно размыкания контактов камеры; *g* - разновременность размыкания контактов отделителя; *k* - разновременность смыкания контактов камеры, включая вибрацию; *i* - длительность отключающего импульса; *r* -

время включения;  $s$  - разновременность смыкания контактов отделителя;  $j$  - длительность включающего импульса.

При расшифровке осциллограмм масштаб времени определяется из выражения

$$m = nT/l \text{ с/мм} \quad (12.3)$$

где  $T$  — период синусоиды отметчика времени (при частоте 50 *Гц*  $T = 0,02$  с, при частоте 500 Гц  $T = 0,002$  с);  $n$  - число периодов, укладываемых на отрезке осциллограммы.

Осциллографирование работы воздушного выключателя с открытым отделителем проводится так же, как работы выключателей с воздушным отделителем. При этих измерениях определяют характеристики движения ножа с помощью специального приспособления— регистратора хода.

На рис. 12.18 показан регистратор хода конструкции. ЦВЛ Мосэнерго, представляющий собой текстолитовый диск  $D$  с латунными ламелями  $L$ , утопленными в текстолите заподлицо и крепящимися заклепками. Ламели гибким проводом  $\Gamma$ , соединены с зажимом  $\mathcal{Ж}$ . Ламели и изоляционные промежутки между ними имеют форму одинаковых сегментов с центральным углом  $\varphi = 5^\circ$ . Регистратор хода жестко соединен с валом ножа, а на приводе отделителя крепится неподвижный пружинящий контакт, который, соприкасаясь с ламелями и изоляционными промежутками поворачивающегося вместе с валом ножа регистратора хода, периодически замыкает и разрывает цепь вибратора осциллографа. Существуют также и другие конструкции и способы крепления регистратора хода (например, регистратор хода крепится к приводу отделителя, а на ноже отделителя — подвижный контакт).

Схема осциллографирования работы выключателя с открытым отделителем приведена на рис.12.19. Помимо регистратора хода при наладке применяется вспомогательный контакт (2Г на рис.12.19) для фиксации отключенного положения ножа, установленный на нижнем элементе камеры.

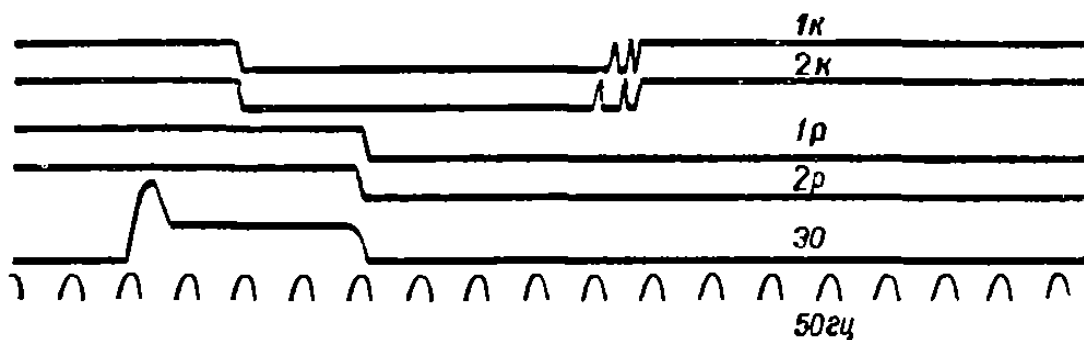


Рис. 12.16. Осциллограмма отключения выключателя ВВН-110-6

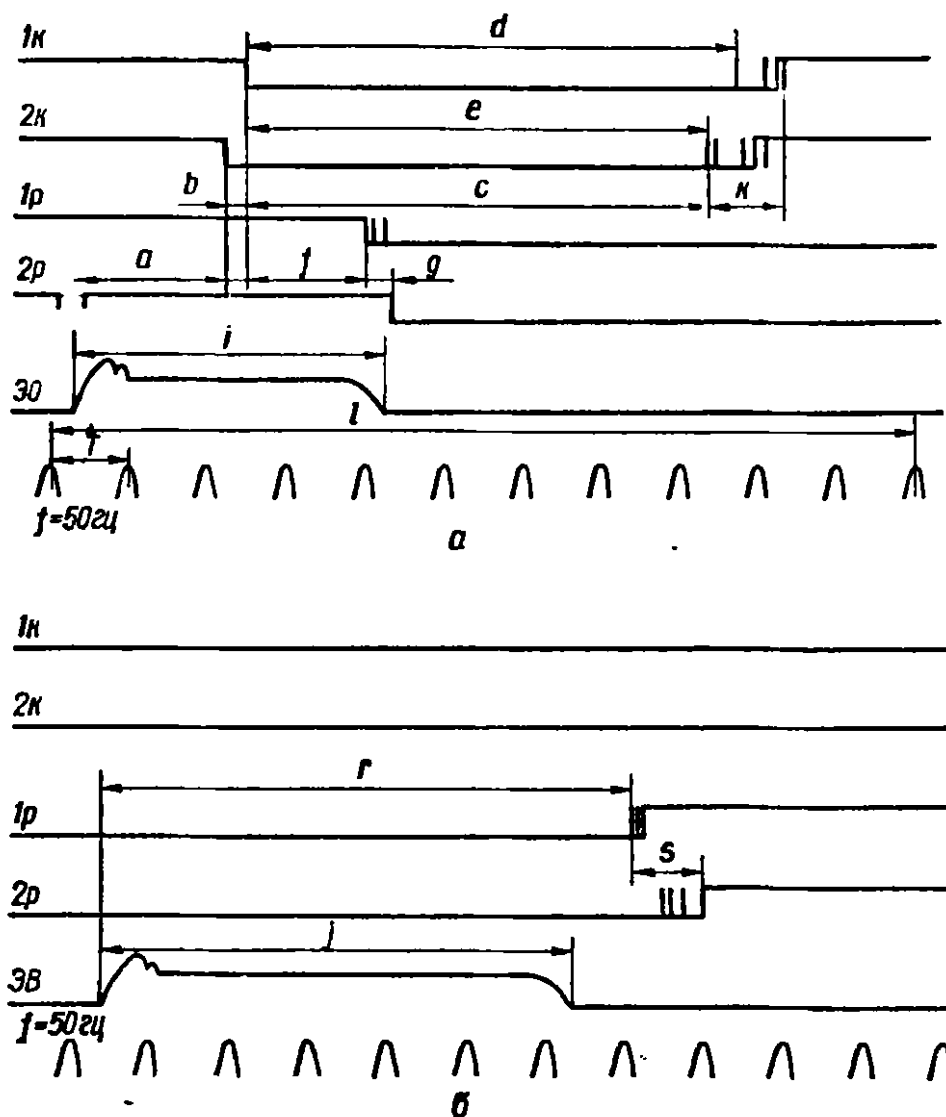


Рис.12.17. Осциллограмма работы выключателя ВВН-110-6: а – осциллограмма отключения; б - осциллограмма включения

На рис.12.20 показана осциллограмма отключения выключателя с открытым отделителем. На осциллограмме нечетными номерами обозначены участки соприкосновения с неподвижным контактом ламелей регистратора

хода, четными - изоляционные промежутки. Отмечены также участки, соответствующие измеряемым временным характеристикам движения ножа:

$c$  - время движения ножа от момента выхода из губок до полной остановки;

$d$  - время от подачи команды на отключение до полной остановки ножа;

$e$  - время от подачи команды на отключение до выхода ножа из губок;

$u$  - угол поворота ножа от включенного положения до момента первого вибрационного смыкания контактов камеры, причем

$$\alpha = \varphi n_1, \quad (12.4)$$

где  $\varphi$  - угол сегмента ламели и изоляционного промежутка регистратора хода (на рис. 12.18  $\varphi = 5^\circ$ );  $n$  — число ламелей и изоляционных промежутков, пройденных ножом (по осциллограмме).

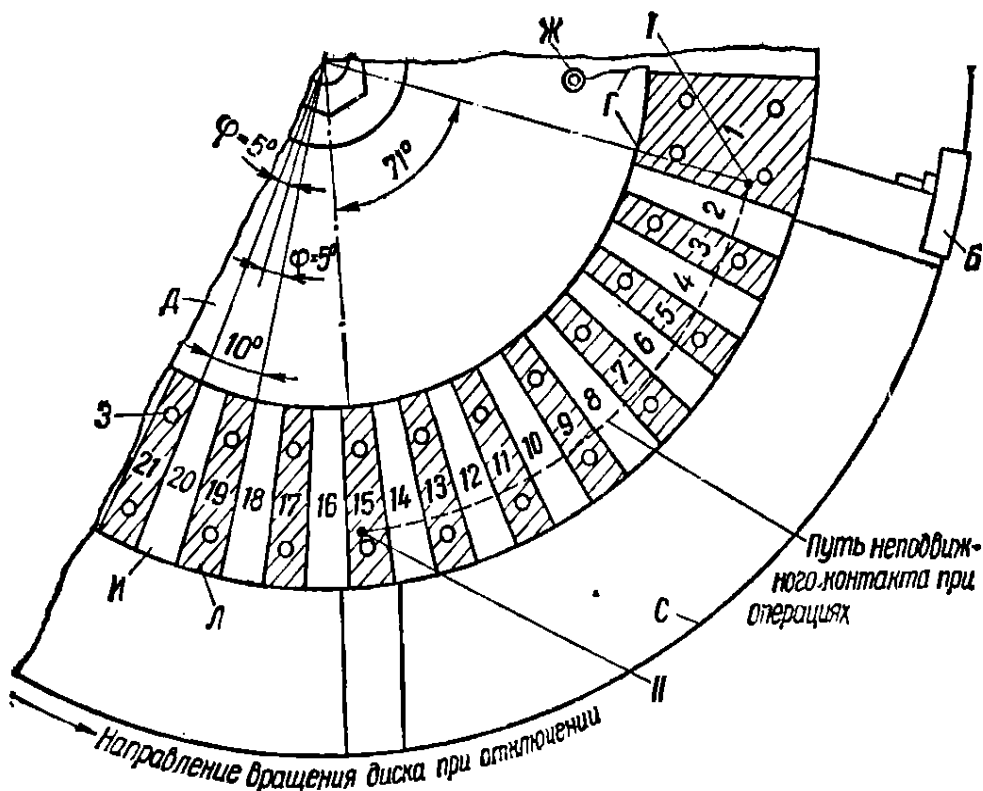


Рис.12.18. Диск регистратора хода ножа выключателей 110—154 кВ:  $I$ — положение неподвижного контакта при включенном ноже;  $II$  — положение неподвижного контакта при отключенном ноже



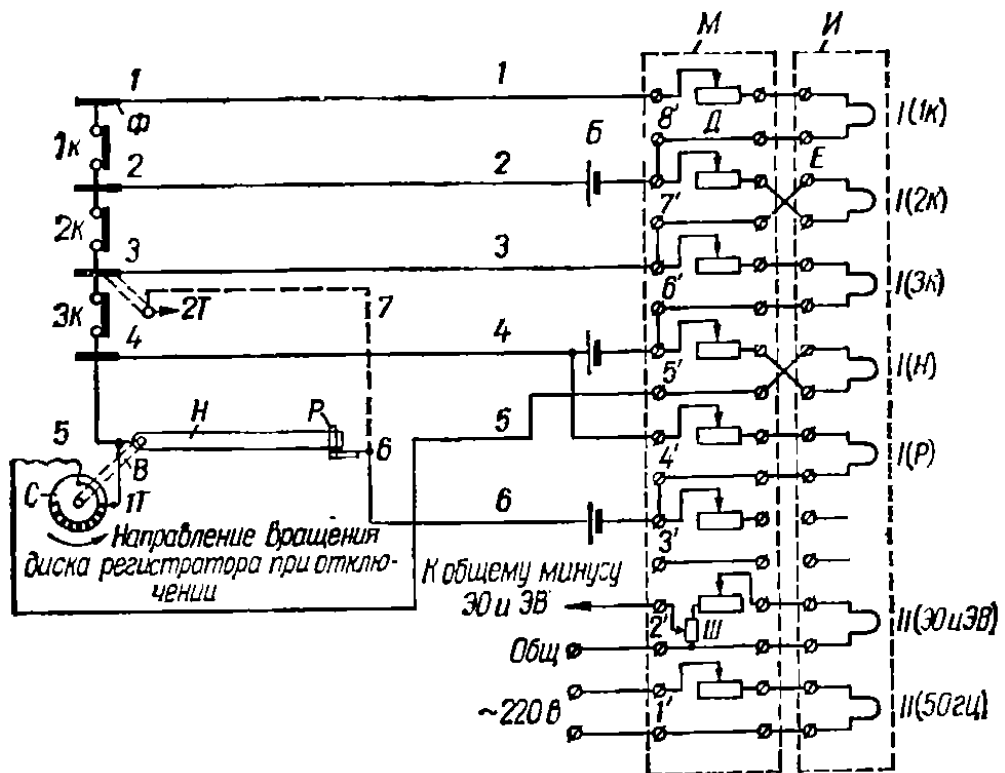


Рис. 12.19. Схема осциллографирования работы выключателя ВВ-154:  $\Phi$  - фланцы камеры;  $H$  - нож отделителя;  $B$  - вал кожа;  $P$  - неподвижный контакт отделителя;  $C$  - диск регистратора хода ножа;  $IT$  - неподвижный контакт регистратора,  $2T$  - вспомогательный контакт;  $D$  и  $Ш$  - добавочные сопротивления и шунты к вибраторам;  $K$  - контактные разрывы камеры;  $I$  -  $II$  - вибратор МОВ2 или Н135.

Помимо перечисленных временных характеристик по осциллограмме может быть определена линейная скорость конца ножа на любом участке его движения.

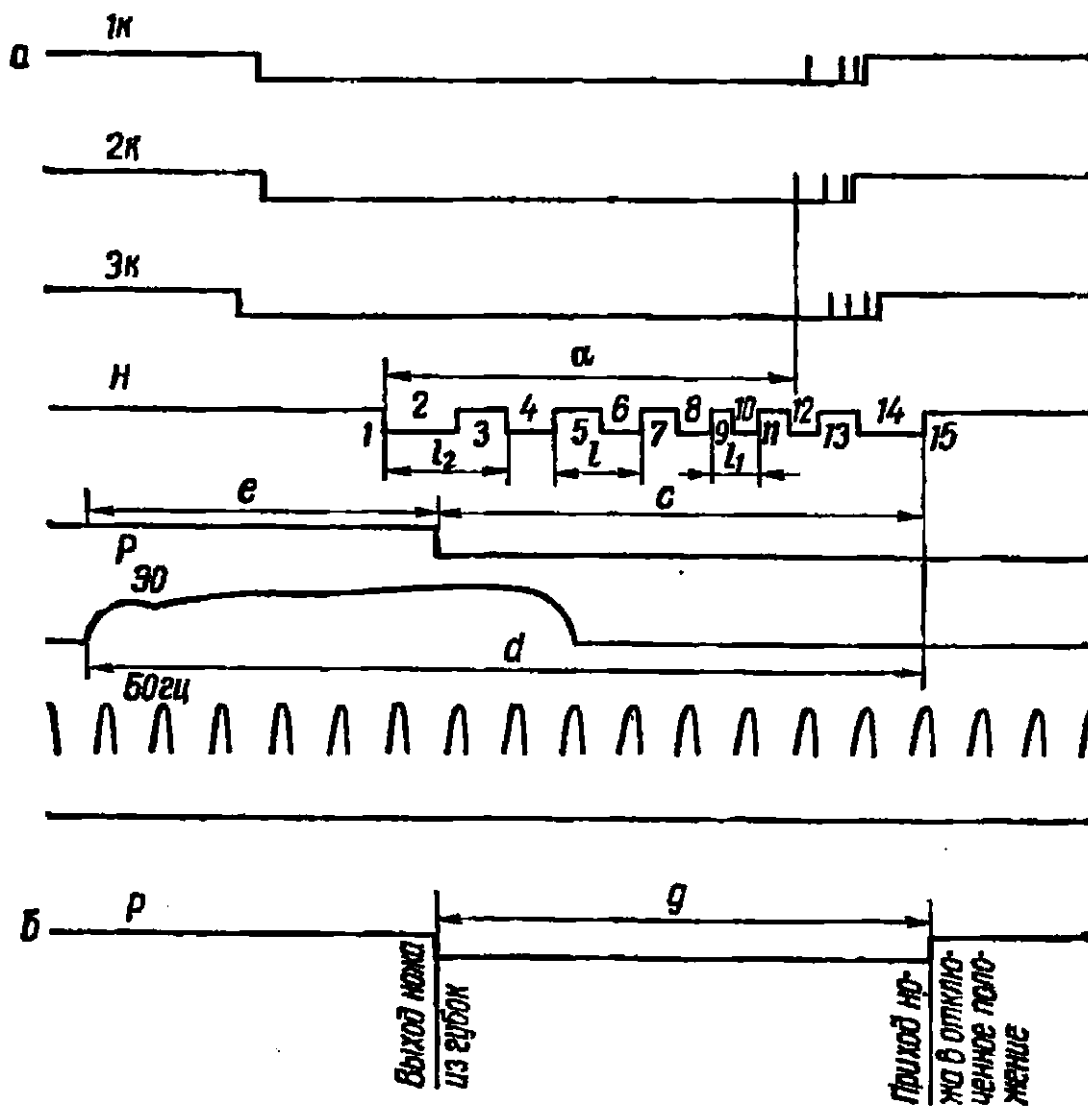


Рис.12.20. Осциллограмма отключения выключателя ВВН-154: а - осциллограмма с использованием для записи регистратора хода ножа; б - осциллограмма с использованием для записи вспомогательного контакта. Линейная скорость конца ножа определяется из выражения

$$v = (2\varphi/360)(2\pi R/ml), \quad (12.5)$$

где  $R$  — длина ножа, м;  $\varphi$  - угол сегмента ламели и изоляционного промежутка регистратора хода (см. рис. 12. 18);  $l$  - длина отрезка, измеренная на осциллограмме движения ножа (рис.12.20), мм;  $m$  - масштаб времени на осциллограмме, с/мм.

Так, скорость ножа, определенная на участке 2...3 по отрезку  $l_2$  (рис.12.20), является скоростью в момент выхода ножа из губок неподвижного

контакта отделителя. Максимальная скорость имеет место на участке 9...10, длина которого  $l_1$  минимальна.

Аналогично по осциллограмме включения могут быть определены:

а) скорость ножа - максимальная и в момент касания губок неподвижного контакта отделителя; б) время движения ножа от момента трогания до момента касания ножом губок; в) время от подачи команды на включение до момента трогания ножа; г) угол поворота ножа от начального положения до момента обрыва тока в электромагните включения.

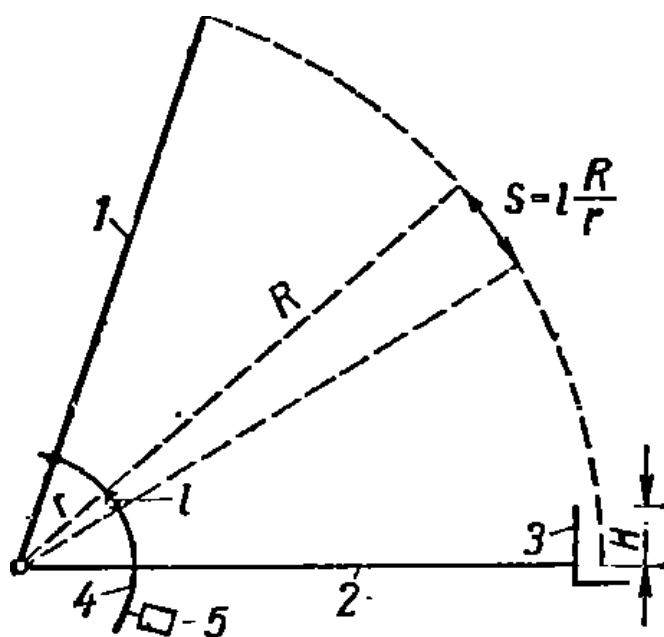


Рис.12.21. Принципиальная схема определения скорости движения ножа отделителя по виброграмме: 1- нож в отключенном положении; 2 - нож во включенном положении; 3 - губки неподвижного контакта отделителя; 4 - сектор, используемый для записи виброграммы; 5 - виброграф

Для определения скорости движения ножа отделителя может быть также использован виброграф.

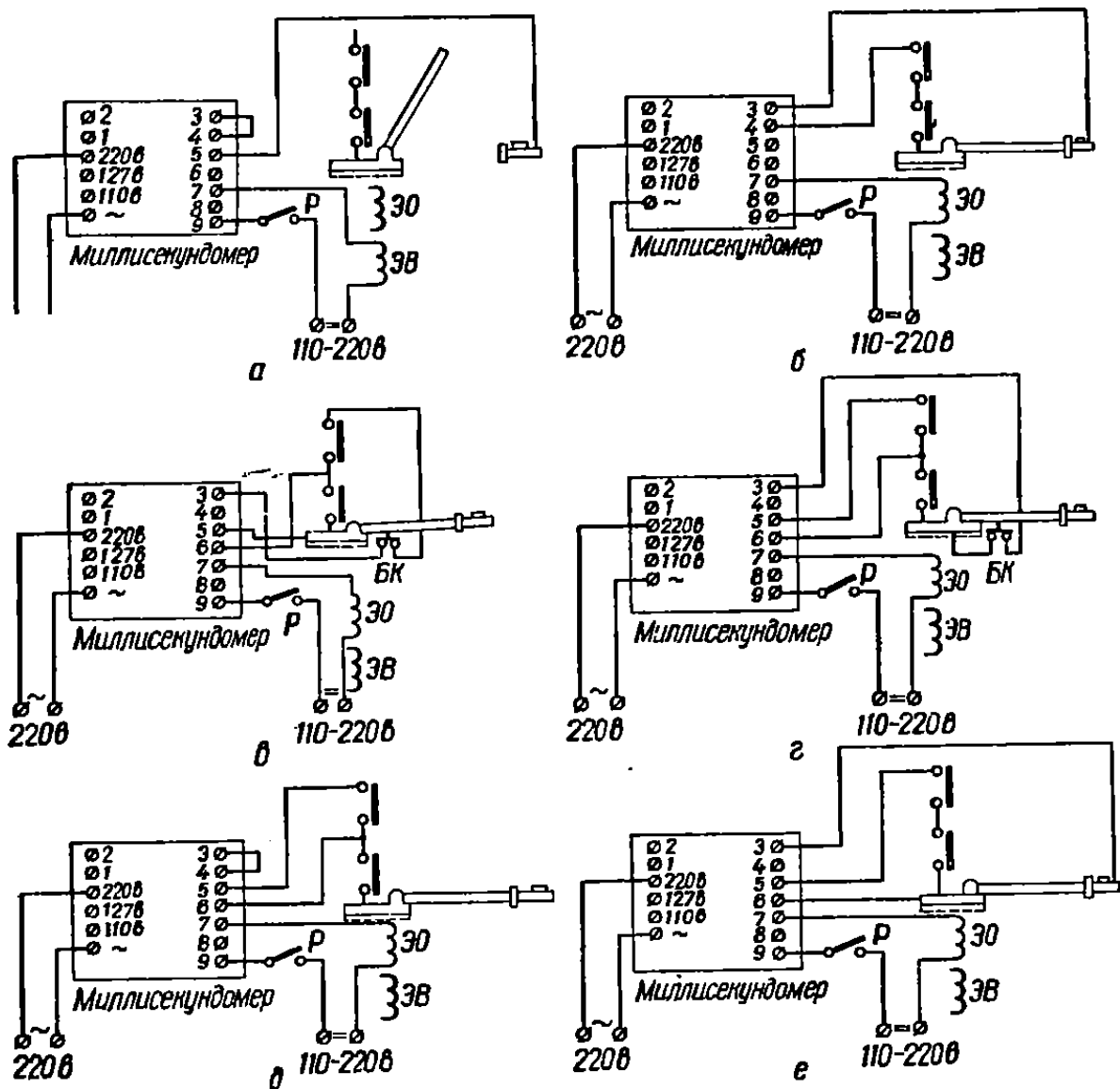


Рис. 12.22. Схемы измерения временных характеристик воздушных выключателей электрическим секундомером: *a* - времени включения выключателя; *б* - времени отключения выключателя; *в* и *г* - разновременности размыкания контактов гасительных камер; *д* - времени бесконтактной паузы; *е* - времени запаздывания ножа отделителя

Таблица 12.8. Характеристики воздушных выключателей на 110...220 кВ с воздушнонаполненным отделителем (данные для одного полюса)

Наименование характеристик	Тип выключателя с воздушнонаполненным отделителем	
	ВВН-110-6	ВВН-154-8 ВВН-220-10 ВВН-220-15
Собственное время отключения (от подачи импульса на отключение до первого размыкания контакта камеры), с	$\leq 0,045$	$\leq 0,05/\leq 0,06$
Разновременность размыкания контактов камеры, с	$\leq 0,004$	$\leq 0,005/\leq 0,006$
Бесконтактная пауза камеры при отключении (от размыкания последнего разомкнувшегося контакта до первого вибрационного смыкания контактов) с	$0,13\pm 0,02$	$0,13\pm 0,02$
Разновременность смыкания контактов камеры (от первого вибрационного смыкания до прекращения вибрации), с	$\leq 0,04$	$\leq 0,06/\leq 0,08$
Запаздывание размыкания от делителя (время от размыкания последнего разомкнутого контакта гасительной камеры до размыкания первого разомкнутого контакта отделителя), с	$\leq 0,006$	$\leq 0,015$
Разновременность размыкания контактов отделителя, с	$\leq 0,015$	$\leq 0,2$
Время включения (от подачи команды на включение до смыкания контактов отделителя), с	$\leq 0,025$	$\leq 0,04$
Разновременность смыкания контактов отделителя (от первого вибрационного смыкания до прекращения вибрации контактоа), с		$\leq 0,3$
Бестоковая пауза АПВ (от размыкания последнего разомкнувшегося контакта камеры до первого вибрационного смыкания контактов отделителя в цикле О – В), с	$\leq 0,04$	$\leq 0,04$
Разновременность включения трех фаз, с	$2.2...2.6$	$\leq 2,9$
За одно отключение:	До 3670	6000
сброс давления, ат	14	14
расход воздуха, л		
Наименьшее давление, обеспечивающее работоспособность отделителя, ат		

Примечание. Данные в знаменателе относятся к выключателю типа ВВН-220-15

На рис. 12.21 приведена схема установки вибрографа и определения скорости движения ножа отделителя по виброграмме. Скорость движения конца ножа

$$v = lR/(1000tr) \quad \text{м/с} \quad (12.6)$$

где  $l$  - отрезок виброграммы, мм, пройденный за время  $t$ , с;  $R$  - длина ножа, м;  $r$  - радиус сектора вибрографа, м.

Отрезок  $l$  измеряется на виброграмме между нулевыми точками синусоиды. Время  $t$  определяется числом периодов, содержащихся в отрезке  $l$ .

Максимальную скорость ножа определяют на том участке виброграммы, где период синусоиды имеет наибольшее значение. Скорость измеряют в момент касания ножом губок. Для этого находят на виброграмме точку, отстоящую от конца на отрезок  $Hr/R$ , где  $H$  - ход ножа в губках.

Время движения ножа определяется числом периодов на виброграмме.

Аналогичным образом расшифровывается виброграмма отключения.

Как отмечалось выше, в отдельных случаях измерение некоторых временных характеристик можно выполнять электромиллисекундомером. На рис.12.22 приведены схемы измерения некоторых временных характеристик электромиллисекундомером типа ЭМС-54.

Если при измерении по схеме, соответствующей рис.12.22, в, стрелка прибора не отклоняется, необходимо применить схему по рис. 12.22, г. Блокирующую кнопку  $БК$  устанавливают так, чтобы при включенном ноже отделителя ее контакты были замкнуты.

У выключателей, число контактных разрывов камер которых более двух, разновременность размыкания определяется для первого и второго разрывов, затем для второго и третьего и т. д. При измерениях контактные разрывы, не участвующие в измерении, должны быть замкнуты.

Измерение длительности бесконтактной паузы производится для каждого контактного разрыва. Характеристики воздушных выключателей 110...220 кВ приведены в табл. 12. 8.

**Проверка срабатывания привода выключателя при пониженном напряжении и испытание воздушных выключателей многократными включениями и отключениями.** Напряжение срабатывания электромагнитов управления определяют при наибольшем давлении воздуха в баке (21 ат) по схеме, приведенной на рис. 12.13,б. Напряжение на электромагниты должно подаваться толчком. При необходимости напряжение поднимается на 4...6 В (при отключенных электромагнитах) и вновь подается толчком и т. д. до срабатывания выключателя. Затем при неизменном положении движка потенциометра вместо электромагнита управления включается сопротивление, равное по величине сопротивлению обмотки электромагнита, и по вольтметру определяется напряжение срабатывания. Напряжение срабатывания электромагнитов управления не должно превышать 65% номинального. Во избежание повреждения обмоток электромагнитов в случае непереключения СБК импульсы следует подавать кратковременные.

Заключительной операцией при наладке воздушных выключателей является их испытание многократными включениями и отключениями.

Снятие характеристик и наладка воздушных выключателей связано со значительной подготовкой и последующей обработкой результатов, поэтому при большом объеме работ по наладке воздушных выключателей следует иметь передвижную лабораторию, оборудованную осциллографами и другой электроизмерительной аппаратурой, щитом управления со смонтированной схемой для управления выключателем и осциллографом и другими приспособлениями.

Испытания и опробования воздушных выключателей следует проводить с соблюдением общих и специальных мер по технике безопасности.

Персонал, выполняющий наладочные работы, должен находиться при испытаниях в укрытии (будке, лаборатории и т. п.) не ближе чем в 15...20 м от крайней фазы. Доступ к выключателю, на котором ведется наладка, ограждают канатом в радиусе 60...100 м.

## **Контрольные вопросы**

1. Функции, выполняемые выключателями высокого напряжения.
2. Минимальное время отключения высоковольтных выключателей.
3. Методы определения скорости и времени движения подвижных частей высоковольтных выключателей.
4. Типы и принцип действия приводов высоковольтных выключателей.



## 13. ПОДСТАНЦИОННОЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

### 13.1. Выключатели нагрузки и предохранители на напряжение выше 1000 В

Согласно ПУЭ, объем приемо-сдаточных испытаний выключателей нагрузки при вводе их в эксплуатацию следующий.

1. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции выключателя. Для выключателей нагрузки на 6 кВ испытательное напряжение 29 кВ, для выключателей нагрузки на 10 кВ - 38 кВ. Время приложения испытательного напряжения - 1 мин.

2. Проверка действия механизма свободного расцепления, выполняемая при включенном положении привода, в двух-трех промежуточных его положениях и на границе зоны действия свободного расцепления (см. гл. 12).

3. Проверка срабатывания привода при пониженном напряжении. Методика и нормы испытаний приведены в гл. 12.

4. Испытание выключателя многократным включением и отключением. Методика испытаний приведена в гл. 12.

5. Определение целостности плавких вставок предохранителей. Вставки должны быть калиброванными, без обрывов.

В «Объеме и нормах испытания электрооборудования» (2006 г.) предусмотрено также измерение сопротивления постоянному току контактов выключателя и обмоток включающих и отключающих электромагнитов. Допускается увеличение сопротивления контактов по сравнению с первоначальными измерениями не более чем в 1,5 раза.

Перед испытаниями проводится внешний осмотр: проверяют состояние подвижных и неподвижных контактов, нет ли видимых повреждений фарфоровых изоляторов.

Приемо-сдаточные испытания предохранителей на напряжение выше 1000В, согласно ПУЭ, проводятся в следующем объеме.

1. Испытание опорной изоляции предохранителей повышенным напряжением. Величины испытательных напряжений приведены в табл. 13.13. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 мин.

2. Определение целости плавких вставок и токоограничивающих сопротивлений. Плавкие вставки и токоограничивающие сопротивления должны быть калиброванными и не иметь обрывов.

### 13.2. Разъединители, короткозамыкатели и отделители

Согласно ПУЭ, объем приемо-сдаточных испытаний вводимых в эксплуатацию разъединителей, короткозамыкателей и отделителей токов.

I. Измерение сопротивления изоляции поводков и тяг, выполненных из органических материалов. Измерение выполняется с помощью мегомметра на 2500 в. Величина сопротивления изоляции должна быть не менее величин, приведенных в табл. 12.1. Для измерения сопротивления изоляции многоэлементных изоляторов используют мегомметр на 2500 В. Сопротивление должно быть не менее 300 МОм для каждого элемента штыревого изолятора.

Таблица 13.1 Предельные величины сопротивления постоянному току контактов разъединителей

Тип разъединителя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Предельное сопротивление контактов, мкОм
РЛН	220...35	600	220
Остальные	Любое	600	175
		1000	120
		1500...2000	50

2. Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты. Состоящую из одноэлементных опорных или опорно-стержневых изоляторов изоляцию испытывают повышенным напряжением (см. табл. 13.13). Если конструктивные расстояния между токоведущими частями разъединителей не

достаточны, испытательное напряжение снижают на 20...30%. Для одностержневых изоляторов испытание повышенным напряжением необязательно.

3. Измерение сопротивления контактов постоянному току. Измерение проводится для разъединителей и отделителей на 110 кВ и выше. Сопротивление не должно превышать 150% сопротивления, полученного при заводских испытаниях или приведенного в табл. 13.1.

В «Объеме и нормах испытания электрооборудования» (2006 г.) предусмотрено также измерение сопротивления постоянному току разъединителей всех напряжений на токи 1000 В и выше. Измерения выполняются с помощью микроамперметра типа М-246, двойного моста или амперметра-вольтметра.

4. Определение времени движения подвижных частей короткозамыкателей и отделителей. У короткозамыкателей это испытание проводится при включении, у отделителей - при отключении. Отклонение от данных табл. 13 -  $\pm 10\%$ . Используется электрический секундомер и схемы, приведенные на рис. 12.6.

5. Проверка работы разъединителя, короткозамыкатели и отделителя, имеющих электрический привод. Проверка производится при напряжениях оперативного тока на зажимах привода, равных 100, 90 и 80% номинального. При каждом напряжении включение и отключение повторяют три...пять раз.

Таблица 13.2. Предельная длительность движения подвижных частей отделителей и короткозамыкателей

Тип короткозамыкателя или отделителя	Тип привода	Время, с, от подачи импульса до момента	
		замыкания контактов при включении	размыкания контактов при отключении
ОД-35	ШПО	-	0,5
КЗ-35	ШПК	0,4	-
ОД-110	ШПО	-	0,7
КЗ-110	ШПК	0,4	-
ОД-150	ШПО	-	0,9
КЗ-150	ШПК	0,5	-
ОД-220	ШПО	-	1,0
КЗ-220	ШПК	0,5	-

Таблица 13.3. Наименьшие усилия вытягивания одного ножа из  
неподвижного контакта

Номинальный ток, А	Усилие вытягивания, кг
400...600	20
1000...2000	40
3000	80

У разъединителей и отделителей, работающих при токах, близких к номинальному, рекомендуется измерять усилия вытягивания ножа из неподвижного контакта разъединителя или отделителя («Объем и нормы испытаний электрооборудования», 2006). Наименьшие усилия вытягивания одного ножа из неподвижного контакта одного полюса разъединителя или отделителя при обезжиренных контактных поверхностях приведены в табл. 13.3. Схема определения усилия вытягивания ножа разъединителя приведена на рис.13.1.

«Объем и нормы испытаний электрооборудования» (2006 г.) предусматривают, кроме перечисленных испытаний, измерение сопротивления постоянному току включающих и отключающих катушек.

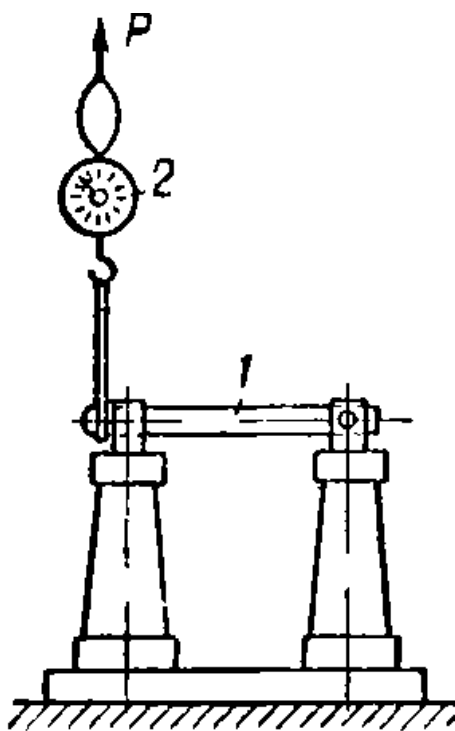


Рис.13.1. Схема определения усилия вытягивания ножа разъединителя:  
1 - нож разъединителя; 2 — динамометр.

При проверке приводов следует руководствоваться соответствующими рекомендациями гл. 12.

Перед проведением испытаний проводится внешний осмотр, при котором проверяют, нет ли видимых повреждений фарфоровых изоляторов, состояние подвижных и неподвижных контактов, а также привода. Если в цепи короткозамыкателя есть трансформатор тока, то проверяют состояние заземляющей шинки или провода и отсутствие заземления ножа короткозамыкателя помимо трансформатора тока.

Комплектные распределительные устройства внутренней и наружной установок (КРУ, КРУН) напряжением выше 1000 В. В соответствующих разделах настоящего справочника приведены объемы, нормы и методики приемо-сдаточных испытаний оборудования КРУ: масляных выключателей, выключателей нагрузки, силовых и измерительных трансформаторов, разрядников, предохранителей и др.

Таблица 13.4. Предельные сопротивления постоянному току контактов токоведущих частей КРУ

Измеряемый элемент	Предельная величина
Контакты сборных шин	1,2 сопротивления шины той же длины без контакта
Разъединяющиеся контакты первичной цепи на:	
400 А	75 мкОм
600 А	60 мкОм
900 А	50 мкОм
1200 А	40 мкОм
Разъединяющиеся контакты вторичной цепи	4000 мкОм

Кроме того, необходимо провести следующие испытания.

1. Измерение сопротивления изоляции изоляционных элементов, выполненных из органических материалов. Измерения производятся мегомметром 2500 В. Величины сопротивления изоляции должны быть не ниже значений, приведенных в табл. 12.1.

2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции токоведущих частей полностью смонтированных ячеек. Для КРУ (КРУН) на 6 кВ величина испытательного напряжения составляет 29 кВ, для КРУ (КРУН) на 10 кВ — 38 кВ. Время приложения испытательного напряжения 1 мин. Испытания следует проводить до подключения силовых кабелей. Все тележки устанавливаются в рабочее положение, включают масляные выключатели (выключатели нагрузки). Силовые трансформаторы должны быть отключены и выкачены тележки с трансформаторами напряжения.

3. Измерение сопротивления постоянному току контактов сборных шин, разъединяющихся контактов первичной и вторичной цепей. Измерения проводятся выборочно, если позволяет конструкция КРУ. Измеренные значения должны быть не более величин, указанных в табл. 13.4.

Измерения производятся двойным мостом, микроомметром М-246 или методом амперметра-вольтметра.

4. Проверка выкатных частей и блокировок. Проводится четыре-пять вкатываний и выкатываний тележки КРУ, при этом проверяется работа механических блокировок, отсутствие перекосов и заеданий, соосность ножей и контактов. При попытке вывода тележки с включенным выключателем из рабочего положения выключатель должен отключиться до момента размыкания первичных разъединяющихся контактов. При выдвигении тележки из ячейки окна для доступа к токоведущим частям закрываются защитными шторками, при вкатывании тележки шторки автоматически открываются.

Проверяется действие блокировок, запрещающих вкатывание тележки в рабочее положение при включенном заземляющем разъединителе и включение заземляющего разъединителя в рабочем положении тележки.

Регулировка вторичных разъединяющихся контактов должна проводиться в соответствии с заводской инструкцией.

### **13.3. Сборные и соединительные шины.**

Шины в соответствии с ПУЭ должны быть подвергнуты приемо-сдаточным испытаниям в следующем объеме.

1. Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты. Величины испытательных напряжений приведены в табл. 13.13.

2. Измерение переходного сопротивления контактов сборных и соединительных шин на ток 1000 А и более. Переходное сопротивление контактов измеряют выборочно (до 5% контактов). Сопротивление участка шины в месте контактного соединения не должно превышать сопротивление участка шин тех же длины и сечения более чем в 1,2 раза.

Оценку состояния контактных соединений шин обычно осуществляют методом сравнения падения напряжения на участках одинаковых длины и сечения, имеющих контактное соединение и без контактного соединения (рис 13.2). В качестве источника тока можно использовать нагрузочный или сварочный трансформатор. Падения напряжений на сравниваемых участках не должны отличаться друг от друга более чем на 20% (при неизменной величине тока).

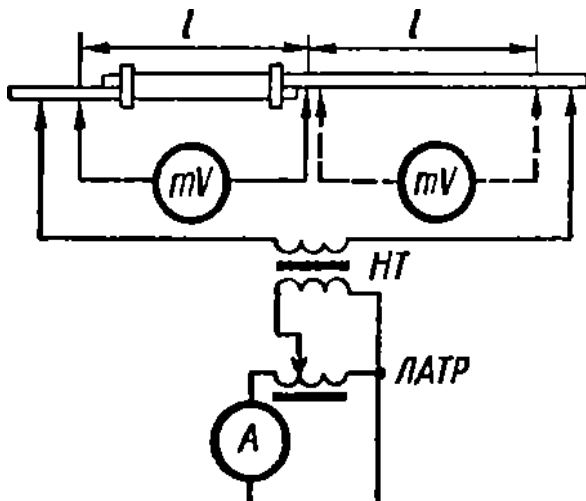


Рис. 13.2. Схема проверки контактных соединений ошиновки: НТ - нагрузочный трансформатор; ЛАТР - лабораторный автотрансформатор

Контактные соединения можно проверить непосредственным измерением сопротивления постоянному току участков с контактным соединением и без него (двойным мостом, микроомметром М-246 или методом амперметра-вольтметра).

3. Проверка болтовых контактных соединений. Выборочно проверяют качество затяжки болтов и вскрытие 2...3% соединений.

4. Испытание проходных изоляторов. Методика и нормы испытаний приводятся ниже. Перед испытаниями ошиновки проводится наружный осмотр, при котором проверяют целостность изоляторов, надежность крепления шин на изоляторах, качество правки и отсутствие прогибов шин, окраска шин и наличие зачищенных мест для наложения переносных заземлений.

### 13.4. Сухие реакторы

Объем приемо-сдаточных испытаний сухих реакторов, согласно ПУЭ, следующий.

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно болтов крепления бетонных колонок проводится с помощью мегомметра на напряжение 1000—2500 В. Величина сопротивления изоляции должна быть не менее 0,5 МОм.

2. Испытание опорной изоляции реактора повышенным напряжением промышленной частоты (величины испытательных напряжений см.табл.13.13). Продолжительность приложения напряжения 1 мин. Испытанию подвергается



опорная изоляция каждой из фаз по отношению к земле (при горизонтальной установке фаз) или нижней фазы по отношению к земле и всех фаз между собой (при вертикальной установке фаз). Перед испытанием проводится внешний осмотр реактора: проверяют прочность вмазки в бетон крепежных болтов, состояние лакового покрытия колонок, нет ли трещин и сколов бетонных колонок, нет ли деформации витков и замыкания их между собой, убеждаются в исправности изоляции витков, целостности опорных изоляторов и надежности их крепления к бетонным колонкам. При осмотре проверяют направление намотки витков средней фазы, которое должно быть противоположным направлению обмотки крайних фаз.

### 13.5. Конденсаторы бумажно-масляные

ПУЭ предусматривает приемо-сдаточные испытания конденсаторов в следующем объеме.

1. Измерение сопротивления изоляции с помощью мегомметра 2500 в. Величины сопротивления изоляции между выводами и относительно корпуса и отношение  $R_{60} / R_{15}$  не нормируются.

2. Измерение емкости, которая не должна отличаться от паспортных данных на величины, превышающие данные табл. 13.5. Для измерения емкости конденсатора используют мост типа МД-16, микрофарадметр, метод амперметра-вольтметра и др. Измерение емкости конденсаторов, имеющих трехфазное исполнение или соединенных в треугольник, проводится в последовательности, приведенной в табл. 13.6.

Емкость каждой фазы определяется по формулам:

$$C_{2.3} = 0,5(C_{3-1.2} + C_{2-1.3} - C_{1-2.3}); \quad (13.1)$$

$$C_{1.2} = 0,5(C_{1-2.3} + C_{2-1.3} - C_{3-1.2}); \quad (13.2)$$

$$C_{1.3} = 0,5(C_{1-2.3} + C_{3-1.2} - C_{2-1.3}); \quad (13.3)$$

Полная емкость трехфазного конденсатора

$$C = (C_{2.3} + C_{1.2} + C_{1.3})/3 \quad (13.4)$$

Таблица 13.5. Предельные величины изменения емкости конденсаторов

Тип конденсатора	Предельное изменение емкости элемента конденсатора, %
Конденсатор для повышения коэффициента мощности при рабочем напряжении, кВ:	
3,15	+ 33
6,3	+ 16
10,5	+ 9
СМР-55/3 <sup>0,5</sup> ; СМ-70/3 <sup>0,5</sup> ; СЧР-70/3 <sup>0,5</sup> ; ДМР-70	+ 10
СМФ-133/3 <sup>0,5</sup> ; ОМРЗ-30; ОМРЗ-35	от +2 до - 1,5

Емкости отдельных фаз конденсаторов не должны отличаться между собой более чем на 5%. Уменьшение емкости сверх нормированных значений свидетельствует об обрыве токоведущих частей конденсатора, а увеличение - о частичном пробое секции.

При сравнении величин емкости, измеренных при различных температурах, следует вводить температурные поправки. На практике принимают поправки, составляющие 0,5...0,65% на каждые 10°С изменения температуры (увеличение емкости с ростом температуры).

Таблица 13.6. Последовательность измерения емкости трехфазных конденсаторов

Условный номер вывода трехфазного конденсатора	Замкнутые накоротко зажимы	Выводы, между которыми измеряют емкость	Обозначение измеренной емкости
1	2 - 3	1 - 2.3	C <sub>1-2.3</sub>
2	1 - 2	3 - 1.2	C <sub>3-1.2</sub>
3	1 - 3	2 - 1.3	C <sub>2=1.3.</sub>

3. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь проводится для конденсаторов связи, конденсаторов отбора мощности и делительных конденсаторов. Измеренные величины не должны превышать следующие

значения: 0,4 – для СМР-55/3; СМ-70/3; СМР-70/3; ДМР-70 и 0,3 - для СМР133/А3; ОМР3-30; ОМР3-35.

Если нет испытательных трансформаторов достаточной мощности, измерение диэлектрических потерь можно выполнять при пониженном напряжении. Измерение выполняют обычно мостом МД-16 по нормальной схеме. На время измерений нижний фланец элемента конденсатора устанавливают на резиновый коврик или на другой изоляционный материал сопротивлением не менее 1 МОм.

Таблица 13.7. Испытательные напряжения промышленной частоты силовых конденсаторов

Место измерения	Номинальное напряжение, кВ						
	0,22	0,38	0,5	1,05	3,15	6,3	10,5
Между обкладками конденсатора	0,42	0,72	0,95	2	5,9	11,8	20
На корпус	2,1	2,1	2,1	4,3	15,8	22,3	30

В тех случаях, когда конденсаторы полностью собраны в колонку, измерение проводят по нормальной схеме при отсоединенных проводах линии передачи и высокочастотного поста.

В интервале положительных рабочих температур (до 40° С) диэлектрические потери изменяются весьма незначительно, так что для этого интервала температурный пересчет диэлектрических потерь не нужен.

4. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты, величины которого для силовых конденсаторов приведены в табл. 13.7. Продолжительность приложения напряжения 1 мин. Изоляция силовых конденсаторов с одним выводом, соединенным с корпусом, не подвергается испытанию повышенным напряжением промышленной частоты относительно корпуса. Если нет источника напряжения достаточной мощности, испытания переменным током можно заменить испытаниями выпрямленным током, удвоенной величины.

Изоляция фарфоровой подставки испытывается напряжением 70 кВ промышленной частоты.

Схемы испытания изоляции силовых конденсаторов повышенным напряжением промышленной частоты приведены на рис.13.3.

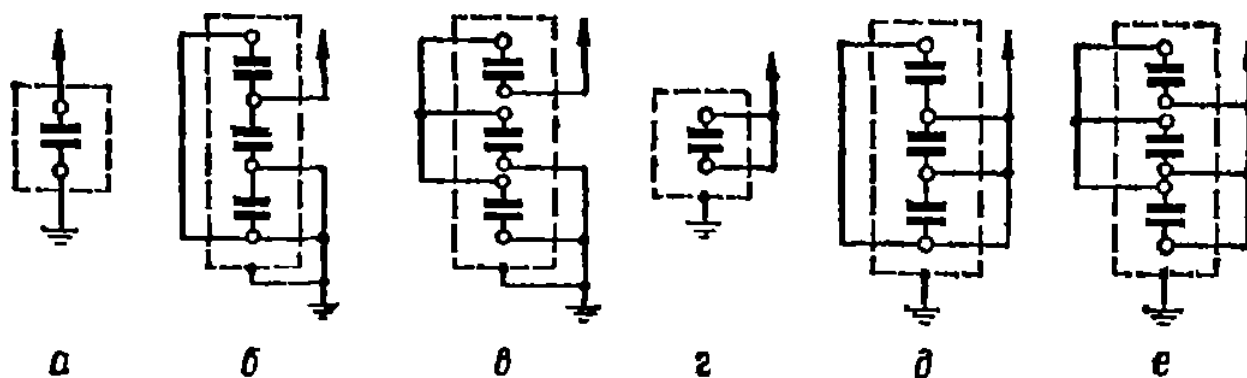


Рис. 13.3. Схемы испытаний изоляции силовых конденсаторов повышенным напряжением переменного тока: *а, б и в* — между обкладками соответственно однофазного конденсатора, батареи конденсаторов, соединенных в треугольник и соединенных в звезду; *г, д и е* — относительно корпуса соответственно однофазного конденсатора, батареи конденсаторов, соединенных в треугольник и соединенных в звезду.

5. Испытание батареи силовых конденсаторов трехкратным включением на номинальное напряжение с контролем величины токов во всех фазах. Разница токов в фазах не должна превышать 5%. Перед испытанием проверяют целостность фарфора, убеждаются, что все болтовые соединения надежны, нет подтеков масла, вспучивания банок и т. п.

### 13.6. Разрядники для защиты от атмосферных перенапряжений

**Вентильные разрядники.** Согласно ПУЭ, вводимые в эксплуатацию вентильные разрядники подвергают прямо-сдаточным испытаниям в следующем объеме.

1. Измерение сопротивления элемента разрядника, осуществляемое с помощью мегомметра на 2500 В. Величина сопротивления не нормируется. Измеренные значения сопоставляются с результатами измерений аналогичных элементов или с данными заводских измерений.

## 2. Измерение тока проводимости или тока утечки (рис. 13.4.)

В качестве источника выпрямленного напряжения можно использовать испытательную установку типа АИИ-70. Емкость  $C$  необходима для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения. В схемах однополупериодного выпрямления точность измерений токов проводимости приемлема, если величина емкости - порядка  $0,05...0,1$  мкФ - для элементов разрядников с номинальным напряжением до 10 кВ - и  $0,01...0,03$  мкФ для элементов разрядников на номинальное напряжение, превышающее 10 кВ. При измерениях токов утечки разрядников типа РВП емкость должна быть порядка  $0,001$  мкФ. Согласно ПУЭ, сглаживающая емкость должна приниматься равной  $0,1...0,2$  мкФ.

В качестве емкости  $C$  можно использовать конденсаторы типа КБГ, силовые конденсаторы для улучшения  $\cos \phi$  и др. На схеме (рис.13.4) для выпрямления тока используется вакуумный диод, или кенотрон. Однако ввиду того, что кенотроны излучают электромагнитные излучения в настоящее время используются полупроводниковые выпрямители

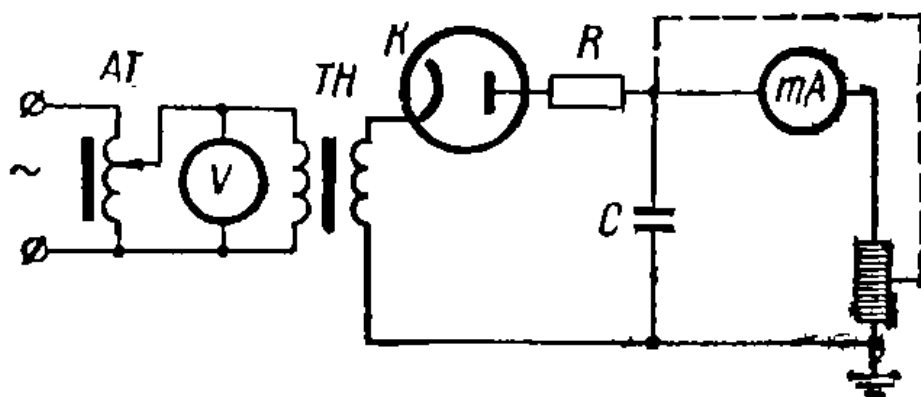


Рис.13.4. Схема измерения тока утечки вентильного разрядника

Таблица 13.8 Предельные величины тока проводимости (утечки) элементов вентильных разрядников

Тип разрядника	Выпрямленное напряжение, приложенное к элементу разрядника, <i>кВ</i>	Токи проводимости элемента разрядника, мкА		Верхний предел тока утечки, мкА
		Нижний предел	Верхний предел	
РВВМ-3	4			
РВВМ-6	6			
РВВМ-10	10			
РВС-15	16	400	620	-
РВС-20	20			
РВС-33	32			
РВС-35	32			
РВМ-3	4.5			
РВМ-6	9	900	1300	-
РВМ-10	13.5			
РВП-3	4	-	-	
РВП-6	6	-	-	10
РВП-10	10	-	-	
РВМГ-110, РВМГ-150, РВМГ-220 (элемент разрядников)	30	900	1300	
РВМК (основной элемент)	18	900	1300	-
РВМК (искровой элемент)	28	900	1300	-

Примечание. Пульсация напряжения допустима не более 10%.

Экранирующий проводник Э позволяет исключить из показаний микроамперметра токи утечки по поверхности изолятора.

Испытательное напряжение рекомендуется измерять на стороне высокого напряжения. Для этого применяют градуированные киловольтметры и вольтметры с добавочными сопротивлениями, микроамперметры, включенные последовательно с измерительными нелинейными сопротивлениями серии СН, имеющими коэффициент нелинейности, близкий к коэффициенту нелинейности шунтирующих сопротивлений вентильных разрядников. Измерительные сопротивления подбираются так, чтобы прохождению через

микроамперметр тока 600 мкА соответствовало определенное значение испытательного напряжения: например, при включении сопротивления типа СН-10 - 10 кВ. При измерении этим методом отпадает необходимость введения температурных поправок.

Испытательное напряжение можно измерять и на низкой стороне вольтметром, градуировка которого проведена предварительно при полностью собранной испытательной схеме с учетом токов нагрузки элементов схемы при напряжении, близким к номинальному.

Предельные величины тока проводимости (утечки) элементов вентиляных разрядников и величины прикладываемых при измерениях напряжений приведены в табл. 13.8.

Для разрядников других типов допустимые пределы тока проводимости (тока утечки) устанавливаются согласно заводским данным. Если измерения тока проводимости проводились при температуре окружающего воздуха, отличающейся от +20 °С, то в результате измерения следует вводить температурную поправку. Практически поправочный коэффициент для тока проводимости составляет 0,3% на каждый градус изменения температуры. При температуре окружающей среды выше + 20 °С поправка отрицательная, при температуре ниже + 20 °С - положительная.

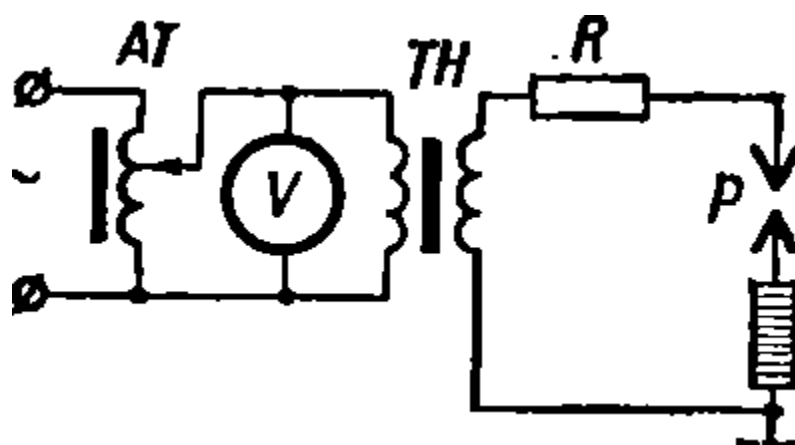


Рис. 13.5. Схема измерения пробивного напряжения вентильного разрядника.

Измерения следует проводить в сухую погоду при температуре не ниже 5...10 °С.

Таблица 13.9. Допустимые величины пробивных напряжений промышленной частоты искровых промежутков элементов вентильных разрядников

Тип разрядника	Пределы, кВ	
	нижний	верхний
РВП-3	9	11
РВП-6	16	19
РВП-10	26	30,5
РВВМ-3	7,5	9,5
РВВМ-6	15	18
РВВМ-10	25	30
РВМ-3	7,5	9,5
РВМ-6	15	18
РВМ-10	25	30
РВС-15	38	48
РВС-20	49	60,5
РВС-35	78	98
РВС-33	70	80
РВМГ-110, РВМГ-150, РВМГ-220 (элемент разрядников)	62	69

Повышенное значение тока проводимости свидетельствует, как правило, о нарушении герметичности разрядника и проникновении внутрь его влаги. Пониженное значение тока проводимости показывает, что нарушен контакт или есть другие механические повреждения шунтирующих сопротивлений.

3. Измерение пробивных напряжений при промышленной частоте. Для разрядников типа РВП пользуются схемой, приведенной на рис.13.5. Ограничивающее сопротивление  $R$  принимается не менее 10 кОм на 1 кВ испытательного напряжения. Скорость повышения напряжения пробоя ограничено заводом в пределах 0,1...0,5 с при интервале перед повторным пробоем не менее 10 с. Измерять пробивное напряжение при промышленной частоте разрядников, имеющих шунтирующие сопротивления (РВС, РВВМ, РВМ и др.), можно только с помощью специальной испытательной установки по методике, указанной в заводской или специальной инструкции. Допустимые



величины пробивных напряжений искровых промежутков элементов вентильных разрядников при промышленной частоте приведены в табл. 13.9.

Для остальных типов разрядников допустимые пределы пробивных напряжений устанавливаются согласно заводским данным. Перед испытаниями вентильных разрядников проводится их внешний осмотр, проверяют, нет ли трещин на фарфоре, загрязнений, целостность уплотнений.

### 13.5. Трубчатые разрядники

Трубчатые разрядники перед вводом в эксплуатацию подвергаются приемосдаточным испытаниям в следующем объеме согласно ПУЭ.

1 Измерение сопротивления изоляции разрядников выполняется с помощью мегомметра на 2500 В перед установкой разрядника на опору.

Сопротивление изоляции должно быть не менее 9000 МОм для разрядников на 110 кВ, 7000 МОм - для разрядников на 35 кВ и 3000 МОм для разрядников на 3...10 кВ.

2. Измерение внутреннего искрового промежутка перед установкой разрядника на опору. Внутренний искровой промежуток (расстояние внутри трубки между пластинчатым и стержневым электродами) должен соответствовать номинальным величинам с допусками:  $\pm 5$  мм—для разрядников на 35 и 110 кВ,  $\pm 3$  мм - для разрядников на 3...10 кВ.

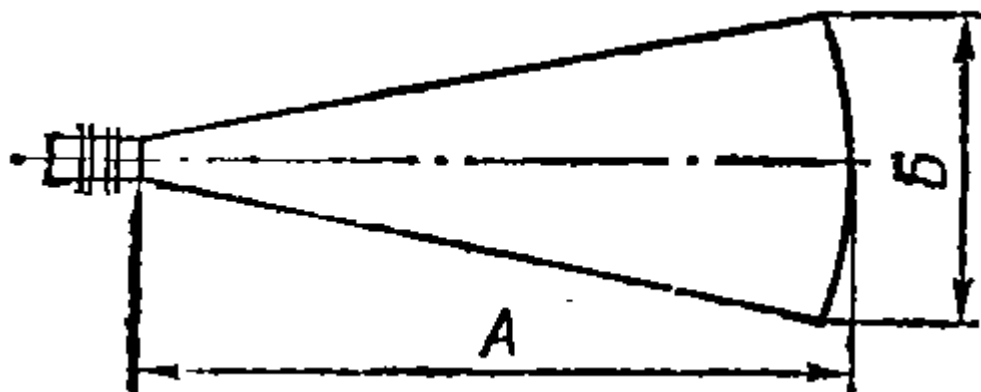
3. Измерение внешнего искрового промежутка осуществляется на опоре после установки разрядника. Измеренная величина должна быть равной проектному значению.

4. Проверка расположения зон выхлопа, проводимая на опоре после установки разрядника. Зоны выхлопа разрядников не должны пересекаться и в них не должны находиться элементы конструкции и провода, имеющие отличный от открытого конца разрядника потенциал.

Ориентировочные размеры зоны выхлопа для разрядников типа РТВ на 6...35 кВ приведены в табл. 13.10.

Перед установкой разрядника на опору проверяется состояние поверхности разрядников. Наружная и внутренняя поверхности разрядника должны быть ровными, без трещин и расслоений.

Таблица 13.10. Ориентировочные размеры, м, зон выхлопа трубчатых разрядников типа РТВ 6...35 кВ



Номинальное Напряжение разрядника, кВ	A	B
6	1,8	0,75
10	2,0	0,85
15	2,3	0,9
20	2,5	1,0
35	3,0	1,5

**Вводы и проходные изоляторы.** Вводы и проходные изоляторы перед началом эксплуатации необходимо подвергнуть приемо-сдаточным испытаниям в следующем объеме (согласно ПУЭ).

1. Измерение сопротивления изоляции у вводов с бумажно-масляной изоляцией осуществляется с помощью мегомметра на 1000...2500 В. Измеряется сопротивление изоляции последних обкладок вводов с проходными изоляторами относительно соединительной втулки ввода. Величина сопротивления изоляции должна быть не менее 1000 МОм.

Таблица 13.11. Предельные значения  $\text{tg } \delta$ , %, вводов и проходных изоляторов

Объект испытания и вид основной изоляции	Номинальное напряжение, кВ			
	3...15	20...35	60...110	150...220
Маслонаполненные вводы и проходные изоляторы с маслобарьерной изоляцией	-	3	2	2
Маслонаполненные вводы и проходные изоляторы с бумажно-масляной изоляцией	-	1	1	-
Мастиконаполненные вводы с бакелитовой изоляцией	3	2,5	2	-
Вводы и проходные изоляторы с бакелитовой изоляцией	3	2,5	2	-

2. Определение тангенса угла диэлектрических потерь вводов и проходных изоляторов, с основной изоляцией из твердого органического материала, кабельных или жидких масс.

При испытательном напряжении 10 кВ и температуре 10...30 °С тангенс угла диэлектрических потерь основной изоляции и измерительного конденсатора вводов и проходных изоляторов не должен превышать величин, приведенных в табл. 13.11.

У вводов и проходных изоляторов с потенциометрическим устройством отдельно находят тангенс угла диэлектрических потерь изоляции основной и измерительной обкладок. Для вводов и проходных изоляторов с бумажно-масляной изоляцией рекомендуется определять тангенс угла диэлектрических потерь последней обкладки относительно соединительной втулки при напряжении 3...4 кВ.

При определении тангенса угла диэлектрических потерь вводов и проходных изоляторов рекомендуется измерять емкость. Нахождение  $\text{tg } \delta$  вводов проводится до установки их на аппарат. При эксплуатационных испытаниях, а также в случаях необходимости и во время приемо-сдаточных испытаний  $\text{tg } \delta$  находят для вводов, установленных на оборудовании. Емкостные схемы замещения изоляции маслонаполненных вводов приведены на рис. 13.6. Схема

испытательной установки для определения тангенса угла диэлектрических потерь приведена на рис.13.7. Схемы нахождения  $\operatorname{tg} \delta$  для маслонаполненных вводов различного конструктивного исполнения приведены в табл. 13.12. При определении  $\operatorname{tg} \delta$  трансформаторных маслобарьерных вводов, не имеющих вывода от последней заземленной обкладки, необходимо принять меры, исключающие влияние обмоток силового трансформатора на результаты измерений. Для этого в большинстве случаев достаточно, временно изолировать соединительную втулку ввода от бака трансформатора.

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение разъединителей, короткозамыкателей и отделителей.
2. Какое должно быть переходное сопротивление мест соединения шин между собой и соединения их с электротехническим оборудованием?
3. Назначение реакторов, места их установки и методы испытаний.
4. Каким напряжением испытывают бумажно-масляные конденсаторы?
5. Как определяется пробивное напряжение разрядников?

## 14. КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

### 14.1. Объем, нормы и методы испытаний

Вводимые в эксплуатацию силовые кабельные линии, согласно ПУЭ, подвергаются испытаниям в следующем объеме.

1. Проверка целостности жил и фазировка. Целостность жил и соответствие фаз кабеля проверяют прозвонкой (с помощью телефонных трубок, мегомметра и т. п.). При параллельно включенных (под одни зажимы) кабелях правильность их включения проверяют до подачи напряжения. Убеждаются в том, что нет коротких замыканий между фазами, что подключение кабелей к ошиновке выполнено в соответствии с маркировкой или расцветкой шин. Перед включением кабельной линии в эксплуатацию производится фазировка ее под напряжением. Для этого к одному концу на кабель подается напряжение, а на другом конце проводится фазировка методами, рассмотренными в гл. 9.

При фазировке нет необходимости устанавливать перемычки для получения замкнутого контура, так как фазируемые кабели на одном конце имеют электрическую связь. Недопустимо соединение двух разных фаз на другом конце кабеля, так как это приводит к короткому замыканию.

2. Испытание повышенным напряжением выпрямленного тока.

Состояние силовых кабелей на напряжение до 1000 В оценивают путем приложения к ним испытательного напряжения от мегомметра на 2500 В. Испытание повышенным напряжением кабелей на напряжение выше 1000 В проводится с помощью различных выпрямительных установок. Наименьшие допустимые величины испытательного напряжения и продолжительности испытаний:

Кабели с бумажной изоляцией

Номинальное напряжение кабеля, кВ	3...10	20...25	110	220
Испытательное напряжение, кВ	$6U_{\text{НОМ}}$	$5U_{\text{НОМ}}$	300	400
Продолжительность испытаний, мин	10	10	15	15

## Кабели с резиновой изоляцией

Номинальное напряжение кабеля, кВ	3	6
Испытательное напряжение, кВ	6	12
Продолжительность испытаний, мин	5	5

Кабели считаются выдержавшими испытания, если не было пробоя, скользящих разрядов и толчков тока утечки или его нарастания, после достижения установившейся величины испытательного напряжения.

У трехжильных кабелей испытанию подвергается изоляция каждой жилы относительно металлической оболочки и других заземленных жил. У кабелей же однофазных или с отдельно освинцованными жилами испытывается изоляция жилы относительно металлической оболочки.

Перед испытаниями и после них рекомендуется измерить сопротивления изоляции кабеля с помощью мегомметра, что позволяет выявить грубые дефекты и различного рода упущения в выполнении монтажных работ. Дополнительным критерием оценки состояния изоляции кабеля является величина тока утечки на выпрямленном напряжении. Величина тока утечки не нормируется.

Кабельная линия может быть включена, если измеренные токи утечки имеют стабильное значение и не превышают 500 мкА для линий с номинальным напряжением до 10 кВ и 800 мкА - для линий 20...35 кВ. Помимо абсолютной величины токов утечки, при оценке изоляции рекомендуется учитывать коэффициент асимметрии в тех случаях, когда измеренные величины токов утечки близки к указанным выше предельным значениям. На основании опытных данных считают, что коэффициент асимметрии (отношение максимального значения тока утечки к минимальному) для разных жил кабеля не должен превышать 1,5...2,0. Для исправной изоляции силового кабеля характерно уменьшение тока утечки в зависимости от длительности приложения испытательного напряжения. У силового кабеля с дефектной изоляцией в процессе испытания ток утечки увеличивается. При заметном возрастании тока утечки продолжительность испытания увеличивают до 20

мин. При дальнейшем повышении токов утечки испытание ведут до пробоя изоляции кабеля.

Испытания должны проводиться с соблюдением всех требований техники безопасности. На время испытаний все работы на кабельной трассе необходимо прекратить.

3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты можно выполнять для кабельных линий напряжением 110...220 кВ взамен испытания выпрямленным током. Величина испытательного напряжения для линий 110...250 кВ (145 кВ по отношению к земле), для линий 220...500 кВ (288 кВ по отношению к земле). Продолжительность испытания 5 мин.

4. Измерение сопротивления заземления проводится на линиях всех напряжений у концевых заделок, а на линиях напряжением 110...220 кВ также у металлических конструкций кабельных колодцев и подпиточных пунктов.

Для маслонаполненных и газонаполненных кабелей дополнительно определяются характеристики масла из всех элементов линии, испытания на наличие нерастворенного воздуха на всех секциях линий, опробование сигнализации давления масла, испытание подпитывающих агрегатов и автоматического подогрева концевых муфт, контроль состояния антикоррозионного покрытия стального трубопровода и другие в соответствии с ПУЭ и «Объемом и нормами испытания электрооборудования» (2000 г.).

Перед испытанием кабельных линии проводят внешний осмотр: проверяют правильность прокладки и монтажа кабелей, состояние концевых разделок (концевые разделки должны быть чистыми, не иметь следов подтека заливочной массы, трещин и вспучивания последней, сколов изоляторов и т. п.), достаточность изоляционных расстояний между жилами кабеля и заземленными элементами, надежность заземления концевых воронок, металлической оболочки и брони кабеля.

## 14.2. Определение мест повреждения и трасс кабельных линий

Методы определения места повреждения силовых кабельных линий могут быть разделены на две группы: относительные методы, позволяющие определить расстояние от места измерения до места повреждения, и абсолютные методы, позволяющие указать место повреждения на трассе (географически). Обычно для быстрого определения места повреждения используется один из относительных методов, а затем с помощью абсолютного метода уточняется место на трассе. Из относительных методов наиболее распространены: импульсный, петлевой, колебательного разряда, емкостный.

Из абсолютных методов распространены— индукционный и акустический. В табл. 14.1 даны рекомендуемые методы определения места повреждения кабеля в зависимости от характера повреждения.

Большинство этих методов применяется после прожигания поврежденного места кабельной линии для снижения величины переходного сопротивления.

**Прожигание.** Прожигание, как правило, целесообразно вести ступенями, изменяя источники питания по мере снижения напряжения пробоя и сопротивления в месте повреждения. Для прожигания используются кенотронные и газотронные установки, генераторы звуковой частоты, испытательные трансформаторы, резонансные аппараты, сварочные и силовые трансформаторы и др. Существует большое количество различных прожигательных установок. Ниже приводится описание одной из передвижных установок (рис.14.1).

Установка состоит из следующих основных элементов: 1) кенотронного выпрямителя для испытания и предварительного прожигания изоляции в месте повреждения кабельной линии; 2) газотронного выпрямителя для дожигания изоляции в месте повреждения до малых переходных сопротивлений; 3) генератора звуковой частоты для индукционного метода измерения и прожигания места повреждения кабеля в раскопке.



Прожигание изоляции в месте повреждения кабеля следует начинать по кенотронной схеме и вести его до тех пор, пока напряжение прожигания снизится до 15 кВ. После этого, замкнув рубильник, подключить газотронную часть схемы.

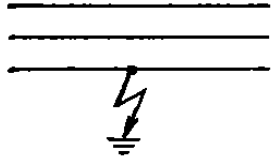
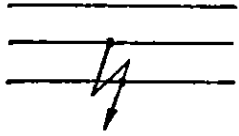
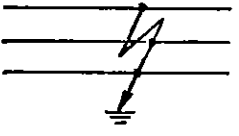
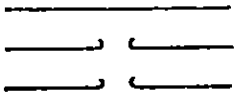
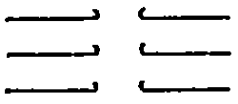
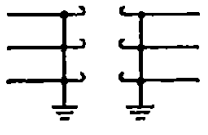
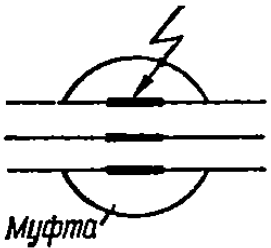
В процессе прожигания необходимо придерживаться следующего порядка. Присоединив установку к кабельной линии, в первую очередь рекомендуется включить накал газотронов Г, так как им необходим прогрев в течение 5 мин.

Накал кенотронной лампы К регулируют по вольтметру V. После этого повышают напряжение, наблюдая по вольтметру за напряжением. Пока величина тока прожигания не превышает 80 мА, за кенотронной лампой особых наблюдений не требуется. Если же ток возрастает до 100—150 мА, анод лампы быстро накаляется, что может привести к его разрушению. Напряжение при прожигании необходимо поддерживать таким, чтобы ток не превышал 100 мА, т.е. чтобы анод кенотрона не раскалялся до красного свечения.

После снижения напряжения пробоя до 15 кВ газотронная часть подключается следующим образом: включают магнитный пускатель МП, повышают напряжение на трансформаторе ТН до максимального значения и замыкают рубильник Rг, соединяющий обе части устройства (кенотронную и газотронную) на параллельную работу.

Когда амперметр газотронной части зафиксирует нагрузку, кенотронную часть можно отключить (для этого отключают автомат кенотронной части). Напряжение на газотронах поддерживается таким, чтобы ток по амперметру не превышал допустимой для данной установки величины (1...1,5 А). Если во время работы в газотроне появляются искры, значит, накал недостаточен (катоды недокалены) и надо увеличить напряжение накала. Кончают прожигание в момент, когда ток, достигнув максимального значения, остается неизменным.

Таблица 14.1. Рекомендуемые методы определения места повреждения кабеля

Переходное сопротивление в месте повреждения	Пробивное напряжение в месте повреждения	Характер повреждения кабеля	Рекомендуемый метод
0...100 Ом	0		Импульсный, акустический
40...200 Ом	0		Импульсный, петлевой, акустический
0—100 Ом	0		Импульсный, акустический
Сотни мегомов	Выше испытательного		Импульсный, емкостный
Сотни мегомов	Выше испытательного		Импульсный, емкостный
5000 Ом	Меньше испытательного		Импульсный, емкостный, акустический
Сотни мегомов	От 8 кВ до испытательного		Колебательного разряда, акустический

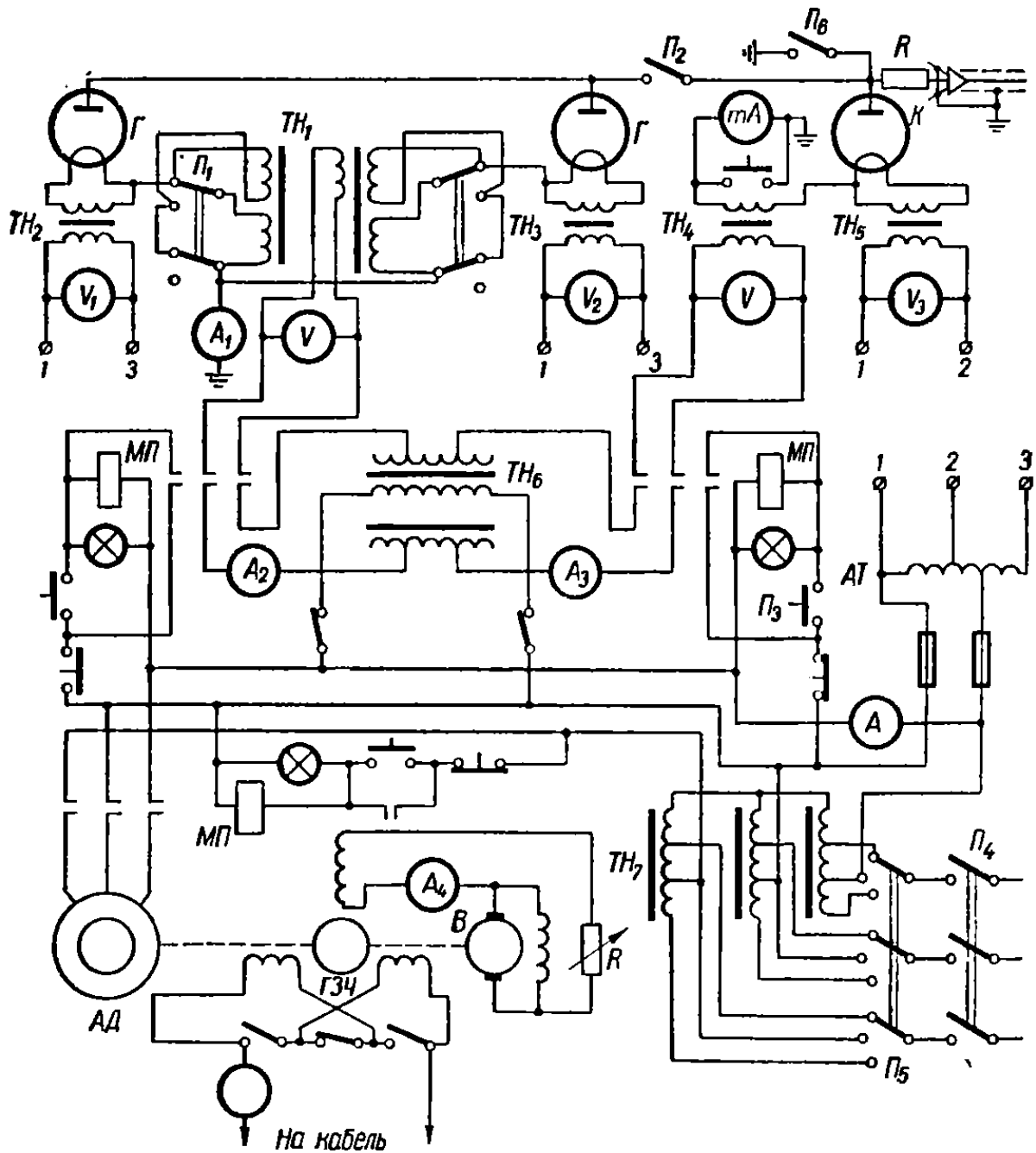


Рис. 14.1. Принципиальная схема кенотронно-газотронной установки:  
*Г* - газотроны типа ВГ-237; *К* - кенотрон типа КР-220; *mA* - миллиамперметр типа МЭ1 на 100 мА; *A<sub>1</sub>* - амперметр типа М9 на 5 А; *A<sub>2</sub>*, *A<sub>3</sub>* - амперметры нагрузки на 100 А; *A<sub>4</sub>* - амперметр на 1 а; *V<sub>1</sub>*, *V<sub>2</sub>* - вольтметры типа ЭМ-220/6; *V<sub>3</sub>* - вольтметр типа МЭ-220/18; *П<sub>1</sub>* - переключатель двухполюсный на 5...10 кВ; *П<sub>2</sub>* - рубильник однополюсный на 5 А; *П<sub>3</sub>* - кнопка управления; *П<sub>4</sub>* - рубильник трехполюсный на 500 В, 50 А; *П<sub>5</sub>* - переключатель трехполюсный на 120—220—380 В; *П<sub>6</sub>* - заземляющий разъединитель, *ТН<sub>1</sub>* - трансформатор газотрона напряжением 5...10 кВ, 7 кВА; *ТН<sub>2</sub>*, *ТН<sub>3</sub>*, *ТН<sub>5</sub>* - трансформаторы на кала, *ТН<sub>4</sub>* - испытательный трансформатор на 220/42500 В, 6 кВА; *ТН<sub>6</sub>* - регулировочный трансформатор на 0...250 В, 7 кВА; *ТН<sub>7</sub>* - автотрансформатор на 120—220—380 В, 7 кВА, *АТ* - регулировочный автотрансформатор на

0...250 в, 1 кВА; АД — электродвигатель мощностью 3 кВт; ГЗЧ - генератор звуковой чистоты 3 кВт, В — возбудитель; V — киловольтметры; МП — пускатель магнитный; А — амперметр на 100 А

Достаточность прожигания проверяют включением заземляющего разъединителя  $\Pi_6$  на землю. Если при этом показания амперметра газотрона почти не изменяются, значит, сопротивление в месте повреждение достаточно мало. Прожигание прекращают, когда переходное сопротивление в месте повреждения снижено до требуемой величины.

В зависимости от места повреждения на кабеле процесс прожигания протекает различно.

**Повреждение в целом месте.** Процесс прожигания идет спокойно, через 5—10 мин сопротивление резко снижается до нескольких десятков омов (при очень жирной пропитке кабеля прожигание длится дольше).

**Повреждение в воде или в мокром грунте.** Процесс прожигания идет спокойно. Сопротивление изоляции снижается только до 2000 ом, дальнейшее прожигание никаких изменений не дает.

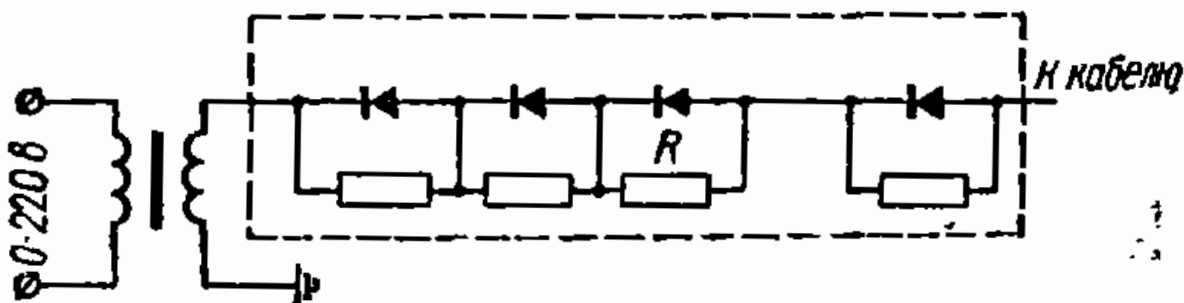


Рис. 14.2. Принципиальная схема прожигательной установки с полупроводниковыми выпрямителями.

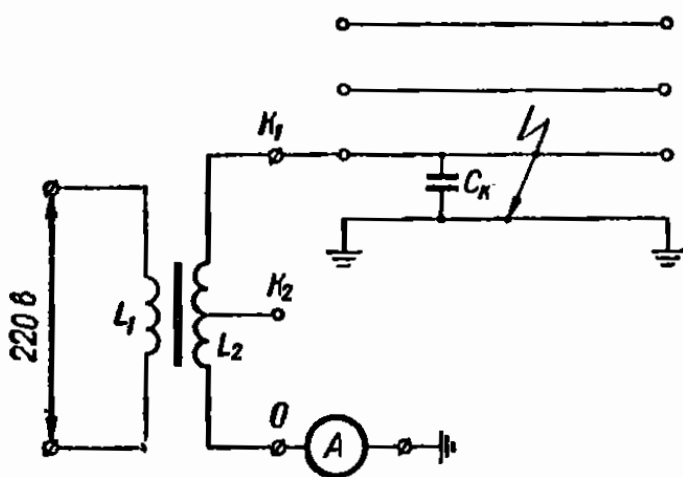


Рис XIV.3. Схема прожигания поврежденной жилы кабеля резонансным трансформатором.

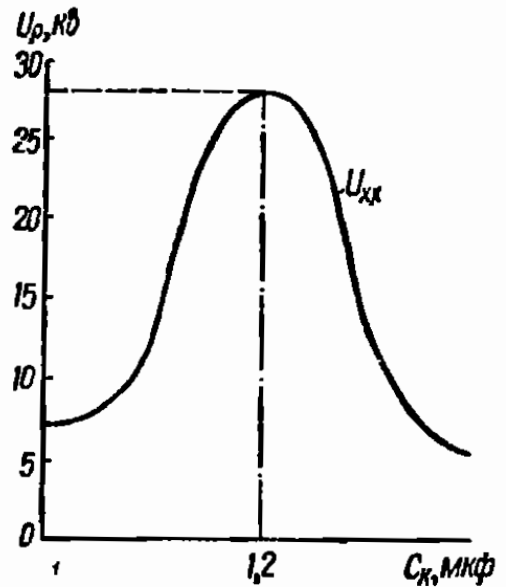


Рис. XIV.4. График зависимости напряжения на резонансном контуре от подключенной емкости  $C_k$

**Повреждение в муфтах.** Прожигание длится больше обычного. Сопротивление колеблется в широких пределах, так как под действием дуги заливочная масса в муфте расплавляется и заливает место пробоя изоляции, увеличивая ее сопротивление. Колебания сопротивления изоляции иногда могут продолжаться 1...2. Если в течение этого времени сопротивление не снизится, прожигание следует прекратить, зону повреждения кабельной линии измерить методом колебательного разряда, а потом уточнить место повреждения на трассе акустическим методом.

В остальных случаях прожигание заканчивают тогда, когда переходное сопротивление в месте повреждения снизится до величины, требуемой применяемым методом измерений.

Значительно лучшие характеристики и меньшие размеры имеют испытательные и прожигательные установки с полупроводниковыми выпрямителями. Успешно применяют масляно-селеновые прожигательные установки, в которых по обычной трехфазной схеме выпрямления собраны три цепи по 300 селеновых шайб диаметром 35 мм.

Выпрямленное напряжение установки 5 кВ, номинальный выпрямленный ток 4 А, мощность трехфазного трансформатора, размещенного в одном корпусе с выпрямителем, 10 кВА. Масло способствует охлаждению и повышению электрической прочности выпрямителей.

В МКС применяется схема прожигательной установки на кремниевых диодах Д-226 на напряжение 50 кВ и ток 300 мА по однополупериодной схеме выпрямления (рис. 14.2). Выпрямительный столбик состоит из 300 диодов Д-226, каждый из которых шунтирован сопротивлением 270 кОм типа ВС-0,25.

В последние годы для прожигания успешно применяются резонансные трансформаторы. При включении резонансного трансформатора параллельно поврежденной жиле кабеля (рис. 14.3) создается резонансный контур, состоящий из емкости жилы кабеля  $C_k$  индуктивности  $L_2$ . Напряжение на  $L_2 - C_k$  можно регулировать изменением числа витков (отпайками) катушки  $L_2$ , а также величиной емкости  $C_k$ .

Зависимость выходного напряжения от подключенной емкости приведена на рис. 14.4. Если емкость одной жилы прожигаемого кабеля недостаточна для получения необходимого напряжения, параллельно с поврежденной жилой кабеля могут быть включены две другие жилы. Ток в катушке  $L_1$  при прожигании места повреждения достигает 30...70 А. Процесс прожигания идет автоматически, режим контролируется по амперметру.

После того как трансформатор начинает работать в режиме короткого замыкания (показания амперметра не изменяются — 1...2 А), поврежденную жилу кабеля включают в сеть последовательно с катушкой  $L_1$  для снижения переходного сопротивления в месте повреждения. Работа с резонансным аппаратом требует строгого выполнения всех необходимых мероприятий по технике безопасности. В процессе прожига необходимо следить за нагревом аппарата.

Общий вид одной из конструкций резонансного трансформатора приведен на рис. 14.5. Трансформатор состоит из двух катушек, сердечника и корпуса. Обмотка низкого напряжения намотана на бакелитовый каркас размером 230 x



### 14.3. Методы определения места повреждения кабеля

**Индукционный метод.** Индукционный метод основан на принципе улавливания магнитного поля над кабелем, по которому пропускается ток звуковой частоты. Применяют этот метод во всех случаях, когда между жилами кабеля в месте повреждения удастся получить малое переходное сопротивление.

При использовании индукционного метода по кабелю пропускают ток от генератора звуковой частоты (800—3000 Гц). Вокруг кабеля образуется магнитное поле, величина которого пропорциональна величине тока в кабеле. На поверхности земли над кабелем с помощью приемной рамки усилителя и телефона можно прослушать звучание, которое распространяется по пути прохождения тока по кабелю.

Индукционным методом можно определить место повреждения кабеля, трассу кабеля, место расположения муфт на трассе, глубину заложения кабеля.

Место повреждения кабеля при замыкании между жилами находят следующим образом: от генератора высокой частоты (рис. 14.6) подается ток 5...20 А на две поврежденные жилы кабеля. По трассе проходят с рамкой *P*, усилителем *У* и телефоном *Т*, улавливая характерный

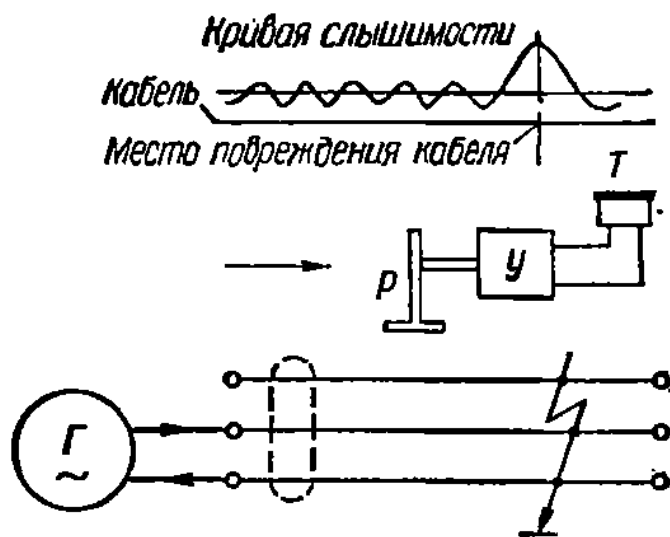


Рис. 14.6. Схема определения места повреждения кабеля индукционным методом при междуфазном замыкании жил

При расположении жил кабеля в горизонтальной плоскости результирующее поле на поверхности земли существенно больше, чем при рас-



положении жил в вертикальной плоскости. Кабели имеют скрутку жил с шагом 0,5...2,5 м. В приемной рамке усилителя, расположенной вертикально над кабелем, при перемещении ее по трассе будет индуцироваться э. д. с, периодически изменяющаяся от минимума (вертикальное расположение жил) до максимума (горизонтальное расположение). Следовательно, при движении рамки по трассе кабеля в телефоне будут слышны периодические усиления и затухания звука, повторяющиеся в зависимости от шага скрутки жил кабеля.

В тех местах, где имеется муфта, длина интервалов слышимости заметно нарушается и прослушивается резкое усиление звука за счет разводки жил в муфте. Это и используется для определения места нахождения муфты на трассе.

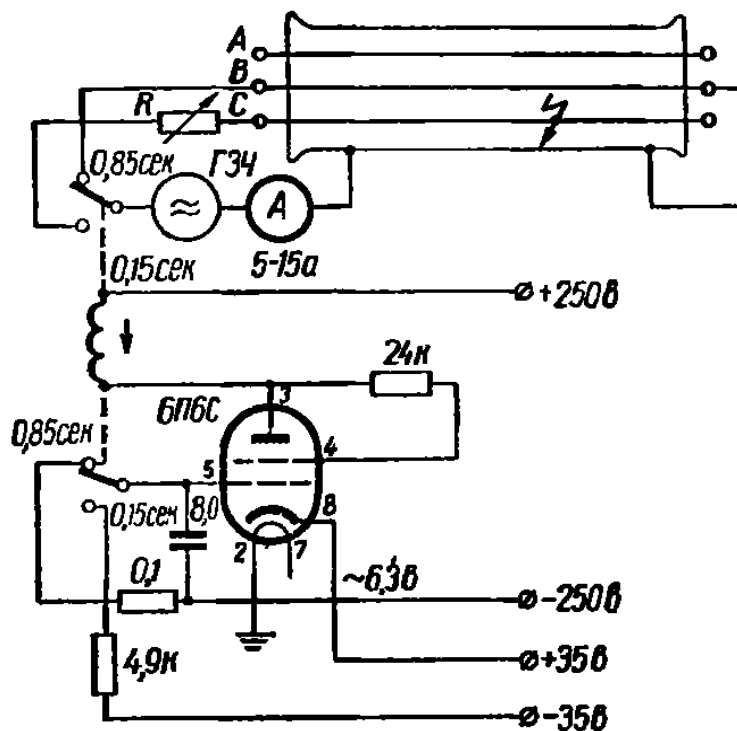


Рис. 14.7. Схема определения места замыкания жилы на оболочку индукционно-коммутационным методом

Поэтому особое внимание надо обращать на концевой эффект. Если звук прекращается плавно или обрывается без заметного усиления, значит, кабель ушел на большую глубину или заложен в металлической трубе.

Если звук усиливается - рамка находится над местом повреждения. В сомнительных случаях или при очень плохой слышимости рекомендуется

делать измерения с двух сторон. В обоих случаях звучание должно прекратиться в одном и том же месте трассы.

Место повреждения в кабеле при замыкании на оболочку только одной жилы можно определить индукционно-коммутационным методом, сущность которого состоит в следующем (рис.14.7). Выход генератора звуковой частоты с помощью коммутатора попеременно подключается с разной продолжительностью импульса к поврежденной жиле и к здоровой, заземленной с противоположного конца кабеля. На поверхности земли с помощью рамки, усилителя и телефона можно прослушать звучание импульсов различной продолжительности.

До места повреждения поле состоит из коротких и длинных сигналов, а за местом повреждения — только из длинных. Таким образом, по изменению ритма принимаемых сигналов устанавливается место повреждения кабеля. Точность определения места повреждения соответствует шагу скрутки жил кабеля. Последовательно с поврежденной жилой включают сопротивление  $K$ , уравнивающее знаки в жилах кабеля.

**Определение трассы кабельной линии.** При определении трассы кабеля один вывод генератора звуковой частоты присоединяют к неповрежденной жиле кабеля, другой - к заземленной оболочке измеряемого кабеля. Противоположный конец используемой жилы заземляют (рис. 14.8, а).

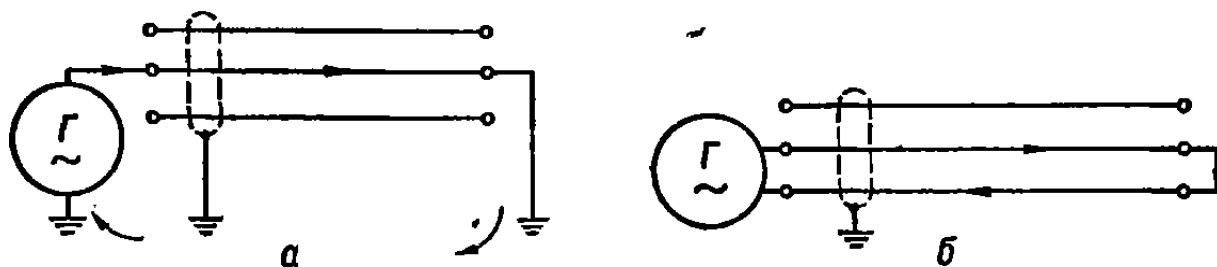


Рис. 14.8. Схемы присоединения генератора звуковой частоты для определения трассы кабельной линии.

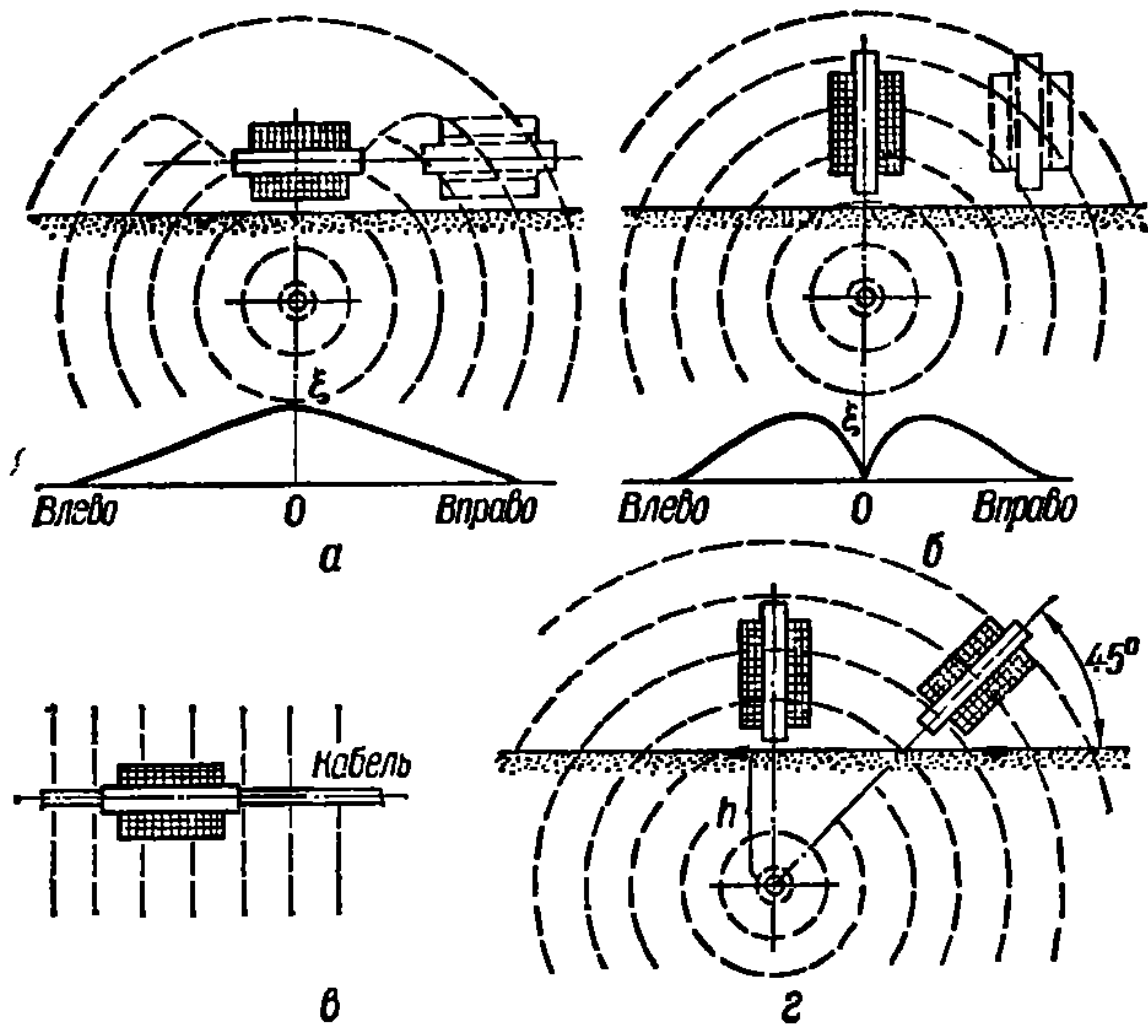


Рис. 14.9. Пересечение контура приемной рамки магнитным полем: *a*, *в* - горизонтальное расположение рамки; *б* - вертикальное расположение рамки; *г* - рамка повернута под углом  $45^\circ$

Ток генератора устанавливают от 50 мА до нескольких амперов. При сильных помехах или большой глубине залегания кабеля ток генератора приходится увеличивать до 15...20 А. Силовые линии магнитного поля системы токов жила - земля имеют форму концентрических окружностей.

Если ось приемной рамки кабелеискателя расположена горизонтально в плоскости концентрического поля (рис. 14.9, *a*), над кабелем будет наводиться максимальная э. д. с, так как витки рамки пересекаются максимальным магнитным потоком. При удалении рамки от кабеля величина э. д. с. убывает.

Это свойство используется для ориентировочного нахождения трассы кабельной линии.

Когда ось рамки расположена вертикально, то точно над кабелем э. д. с. равна нулю, так как витки рамки не пересекаются магнитным потоком (рис. 14.9, б). При перемещении рамки в стороны от кабеля э. д. с. сначала резко возрастает, а затем медленно убывает. Это используется для точного определения трассы кабеля.

Если ось рамки искателя кабеля расположена параллельно оси кабеля (рис. 14.9, в), э. д. с. равна нулю. При нарушении параллельности величина э. д. с. возрастает, что используется для определения направления трассы кабеля.

Иногда вследствие большого сопротивления грунта ток заземления растекается от вывода генератора по оболочкам соседних кабелей, находящихся под рабочим напряжением. Минимум звучания получается над тем кабелем, по которому течет этот ток, а кабель, который подключен к генератору, не прослушивается. В таких случаях необходимо пользоваться схемой двухпроводного питания, т. е. выводы генератора следует включать на две жилы, замкнутые накоротко перемычкой с противоположной стороны (см. рис. 14.8, б).

**Определение глубины залегания кабеля.** Для определения глубины залегания кабеля используется та же схема питания, что и для определения трассы кабеля (см. рис. 14.8, я). Рамку усилителя располагают горизонтально и определяют трассу кабеля: место трассы отмечают чертой. Затем рамку поворачивают таким образом, чтобы ее ось была под углом  $45^\circ$  к вертикальной плоскости, проходящей через кабель. После этого рамку усилителя отводят в сторону от черты, проведенной над трассой кабеля. В зоне, где не слышно звучания в наушниках усилителя, проводят вторую черту. Расстояние между первой чертой и второй равно глубине залегания кабеля (рис. 14.9, г).

При индукционном методе применяется следующая аппаратура.

1. Ламповый генератор 1000 Гц, выходная мощность которого несколько десятков ватт.

2. Машинный генератор 1000 Гц мощностью порядка 3 *к*ва на ток 15...25А.

3. Кабелеискатель. Для усиления сигналов, снимаемых с индукционной рамки, применяются переносные полупроводниковые или ламповые усилители. Выход усилителя включен в телефон. Конструктивно кабелеискатель выполняется в виде трости, в нижней части которой располагается рамка, причем ось ее посредством шарнира может устанавливаться в различные положения относительно оси кабеля.

**Акустический метод.** Сущность акустического метода заключается в прослушивании звуковых колебаний над местом повреждения кабеля. Звуковые колебания в месте повреждения создаются искровым разрядом от генератора импульсов. При низких переходных сопротивлениях в месте повреждения генератор импульсов собирают из выпрямительной установки, разрядного промежутка на 10...18 кВ и конденсатора емкостью 2...4 мкФ (рис.14.10, а). При заплывающем пробое, когда напряжение пробоя не снимается, в качестве генератора импульсов используют выпрямительную установку и емкость кабеля (рис.14. 10, в). Благодаря значительной энергии разряда в месте пробоя при разряде происходит мощный удар. Звук этого удара можно прослушать на поверхности земли с помощью акустического аппарата АИП-ЗМ или стетоскопа.

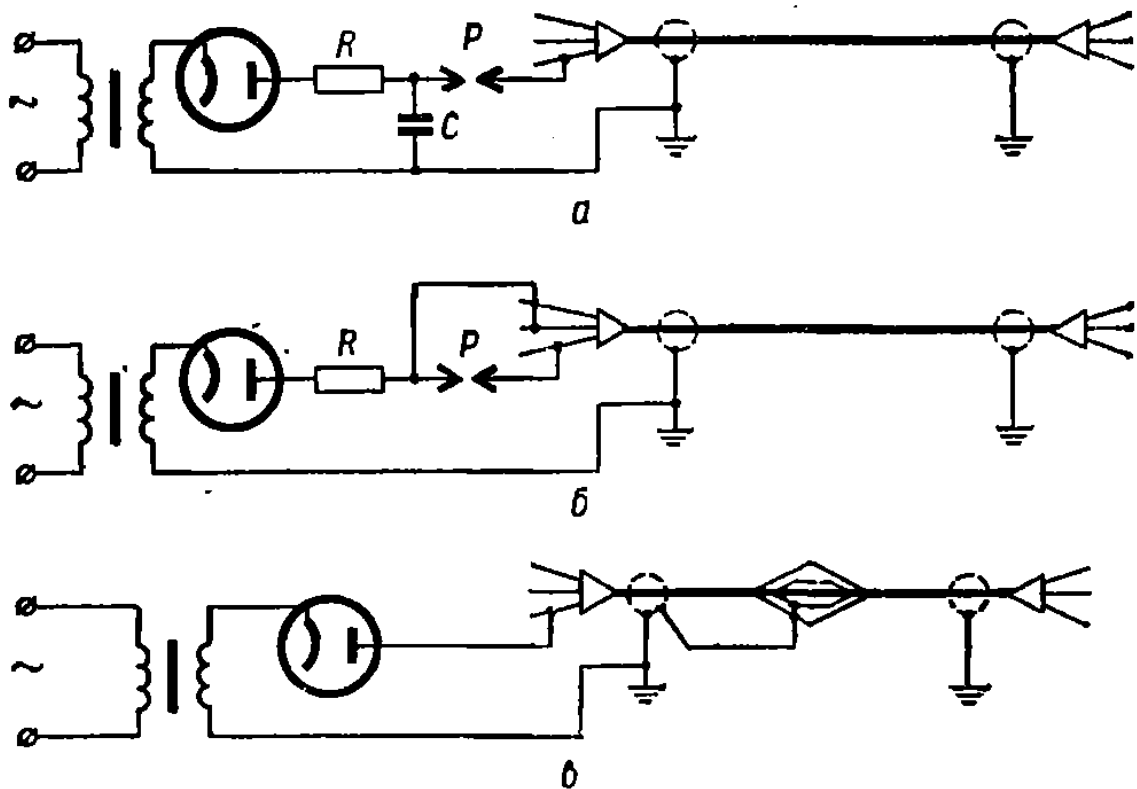


Рис. 14.10. Принципиальные схемы определения места повреждения изоляции кабеля акустическим методом: *а* - схема с конденсатором; *б* - схема с использованием емкости неповрежденных жил; *в* - схема с заплывающим пробоем в муфте.

Акустический индукционный прибор АИП-3М имеет две приемные рамки, акустический датчик, усилитель и высокоомные телефоны. Одна из приемных рамок служит для приема электрических разрядов, идущих по всей трассе в момент пробоя, вторая рамка используется при индукционном методе измерения.

Основной частью акустического датчика аппарата АИП-3М является пьезоэлемент - пластинка монокристалла (подобные пьезоэлементы применяются в звукоснимателях электропроигрывателей). Незначительные колебания грунта, вызванные искровым разрядом, воздействуют на пьезоэлемент через металлический стержень (на котором он укреплен) и вызывают благодаря пьезоэффекту напряжение на зажимах пьезоэлемента.

Это напряжение подается на вход усилителя. Пьезоэлемент защищен от внешних акустических помех и механических воздействий металлическим кожухом с прокладками из пористой резины.

При заплывающем пробое в дефектной муфте ориентировочную зону повреждения определяют методом колебательного разряда. На основании полученных результатов по планам кабельных линий отмечают непосредственно на трассе соединительные муфты, в которых возможен пробой с учетом максимальной погрешности измерения. После этого на кабель вновь подается напряжение от кенотронной установки, и после возникновения разрядов приступают к прослушиванию отмеченных муфт аппаратом АИП-ЗМ или стетоскопом. Разряды отчетливо прослушиваются на поверхности земли в радиусе 2...3 м вокруг места пробоя. Наибольшую силу звук разряда имеет непосредственно над местом пробоя. Разряды в кабеле и их периодичность легко обнаружить кабелеискателем.

При малом переходном сопротивлении места повреждения зону определяют импульсным или петлевым методом. Порядок прослушивания тот же, но прослушивание ведется на всем участке трассы, соответствующем зоне повреждения, а не только возле муфт.

Акустический метод неприменим на кабелях, не имеющих отверстия в оболочке в месте повреждения, при залегании кабеля на большой глубине или при звукопоглощающей среде в грунте над местом повреждения, а также в случае невозможности получения искрового разряда из-за прочного металлического соединения в месте повреждения.

**Петлевой метод.** В тех случаях, когда поврежденная жила кабеля не имеет обрыва и в кабеле одна жила неповрежденная, расстояние до места повреждения можно определить петлевым методом, основанным на принципе измерительного моста. Схема петлевого измерения приведена на рис.14.11. Плечом моста  $D$  является сопротивление жилы кабеля от измеряемого конца до места повреждения кабеля, плечо  $B$  - это сумма сопротивлений здоровой жилы

кабеля и участка от места повреждения до противоположного конца кабеля. В качестве плеч  $L$  и  $C$  используются сопротивления измерительного моста. В одну из диагоналей моста включается гальванометр, в другую - батарея. Расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_x = 2LC/(A+C), \quad (14.1)$$

где  $L$  - длина кабеля;  $A$  и  $C$  - сопротивления плеч измерительного моста при его равновесии (нулевых показаниях гальванометра).

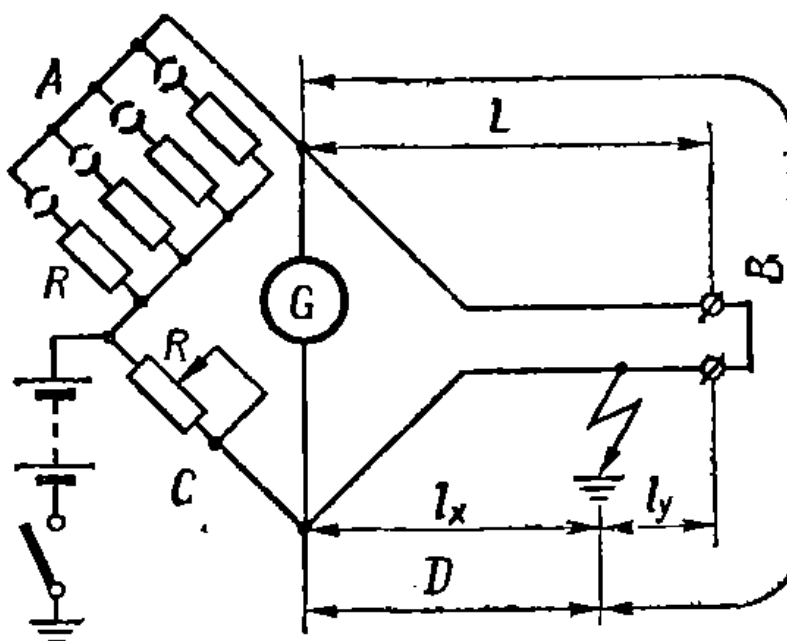


Рис.14.11. Схема петлевого измерения.

Для проверки точности выполненных измерений следует повторить измерение, поменяв местами концы проводов, соединяющих жилы кабеля с измерительным мостом. Тогда

$$L + l_y = 2LC/(A+C), \quad (14.2)$$

где  $L$  - расстояние от места повреждения до противоположного конца кабеля;  $A$  и  $C$  - сопротивления плеч измерительного моста при его равновесии.

Если сумма обоих измерений не равна двойной длине кабеля, то измерения неверны, их следует повторить, проверив предварительно надежность контактных соединений. Чтобы исключить влияние соединительных проводов на результат измерения, гальванометр нужно подключать к жилам кабеля



отдельными проводами, притом так, чтобы концы проводов от гальванометра не соприкасались с концами А и С на зачищенной поверхности жилы кабеля. Сечение перемычки, соединяющей поврежденную жилу кабеля с неповрежденной, должно быть не менее сечения жил кабеля; в месте соединения необходимо обеспечить контакт с небольшим переходным сопротивлением.

Переходное сопротивление на землю в месте повреждения кабеля должно быть не более 10 кОм (при больших сопротивлениях чувствительность моста заметно снижается). Напряжение батареи для питания моста зависит от величины переходного сопротивления в месте повреждения.

Рекомендуемые величины напряжения батареи для питания моста при петлевом методе измерения расстояния до места повреждения таковы:

Переходное сопротивление в месте

повреждения, Ом	10000	1000	100
Напряжение батареи, В	100...120	20...30	4...6

В некоторых случаях мост не уравнивается при любых значениях сопротивления А и С. Это означает, что повреждение находится в самом начале кабеля со стороны места измерения, чаще всего в концевой воронке. Мост также не уравнивается при обрыве соединительных проводов.

Формулы (14.1) и (14.2) пригодны в тех случаях, когда жилы по всей длине кабеля однородны. Если же жилы кабеля неоднородны, необходимо привести все участки кабеля к какому-либо одному сечению и удельному сопротивлению. Приведенную длину кабеля определяют по формуле

$$L_{np} = (l_{k1}S\rho_{k1}/S_{k1}\rho) + (l_{k2}S\rho_{k2}/S_{k2}\rho) + \dots, \quad (14.3.)$$

где  $l_{k1}$ ,  $l_{k2}$  и т. д. — длины приводимых участков кабеля;  $S_{k1}$ ,  $S_{k2}$  и т. д. — сечения приводимых участков кабеля;  $\rho_{k1}$ ,  $\rho_{k2}$  и т. д. — удельные сопротивления приводимых участков кабеля;  $S$ ,  $\rho$  — сечение и удельное сопротивление участка кабеля, к которому приводятся все остальные участки.

Приведенное расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_{xnp} = 2L_{np}C/(A+C), \quad (14.4)$$

где  $L_{np}$  - приведенная длина кабеля;  $A$  и  $C$  — сопротивления плеч измерительного моста при его равновесии.

Действительное расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_x = (l_{xnp} - \sum_1^{n-1} l_{inp})(S_{np}\rho/S\rho_n + \sum_1^{n-1} l_i), \quad (14.5)$$

где  $l_{xnp}$  - приведенное расстояние до места повреждения;  $n$  - номер участка, на котором находится повреждение;  $S_n, \rho_n$  - действительные сечения и удельное сопротивление участка, в котором находится место повреждения;  $S, \rho$  - сечение и удельное сопротивление, к которым приведены все участки кабеля;  $\sum l_{inp}$  - сумма приведенных длин участков кабеля от первого до предшествующего поврежденному;  $\sum l_i$  - сумма действительных длин участков кабеля от первого до предшествующего поврежденному.

При петлевом методе могут быть использованы мосты типов МО-62, Р333, Р331, Р556.

**Емкостный метод.** При обрывах жил кабеля в соединительных муфтах расстояние до места повреждения может быть определено емкостным методом. Емкость кабеля измеряют как на переменном, так и на постоянном токе.

Широкое применение нашли мосты переменного тока с питанием от лампового генератора, работающего на частоте 1000 Гц и напряжении 10...20 В, и с телефоном в качестве нулевого индикатора (рис.14.12).

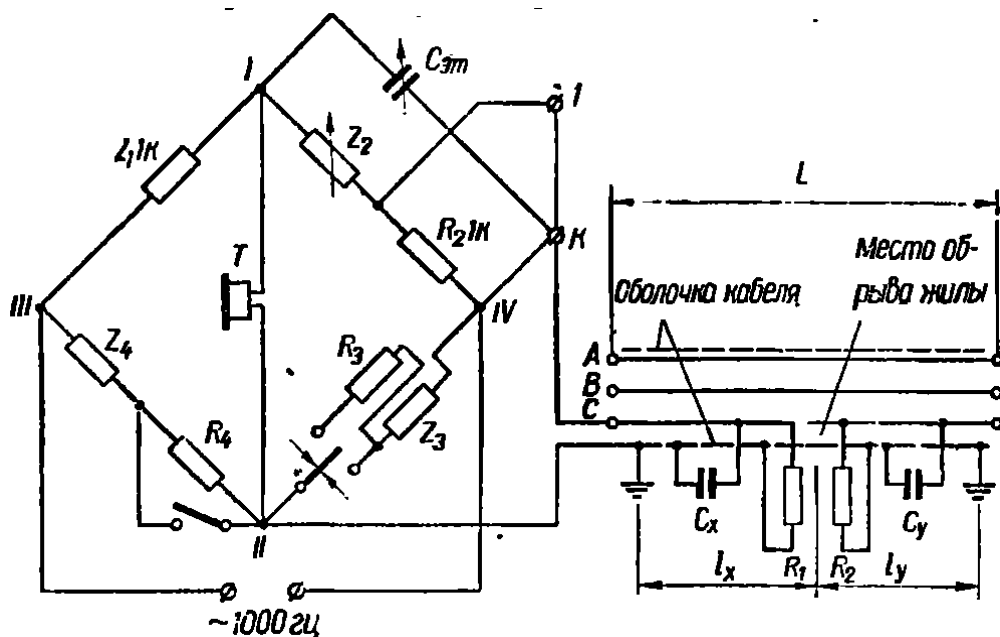


Рис. 14.12. Схема измерения емкости кабеля мостом переменного тока.

Регулированием сопротивления  $R_3$  и эталонной емкости  $C_{эт}$  добиваются обесточивания диагонали; вследствие этого исчезает звук в телефоне. Величина измеренной емкости при этом определяется из выражения

$$C_u = C_{эт} z_1, \quad (16.6)$$

где  $z_1$  - сопротивление плеча моста (см. рис.14 12).

Мостами переменного тока можно измерять емкость при заземлениях с переходным сопротивлением не ниже 5 МОм; при меньших сопротивлениях точность измерения снижается. Все жилы кабеля, кроме измеряемой, заземляют для уменьшения их влияния.

Метод постоянного тока для измерения емкости может быть применен лишь при чистом обрыве жил кабеля, когда переходное сопротивление в месте обрыва составляет 20 МОм и больше. В этом случае собирают схему с батареей постоянного тока на 100...120 в, гальванометром  $\Gamma$ , шунтом  $R$ , эталонным конденсатором  $C_{эт}$  и двумя ключами  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  (рис. 14.13).

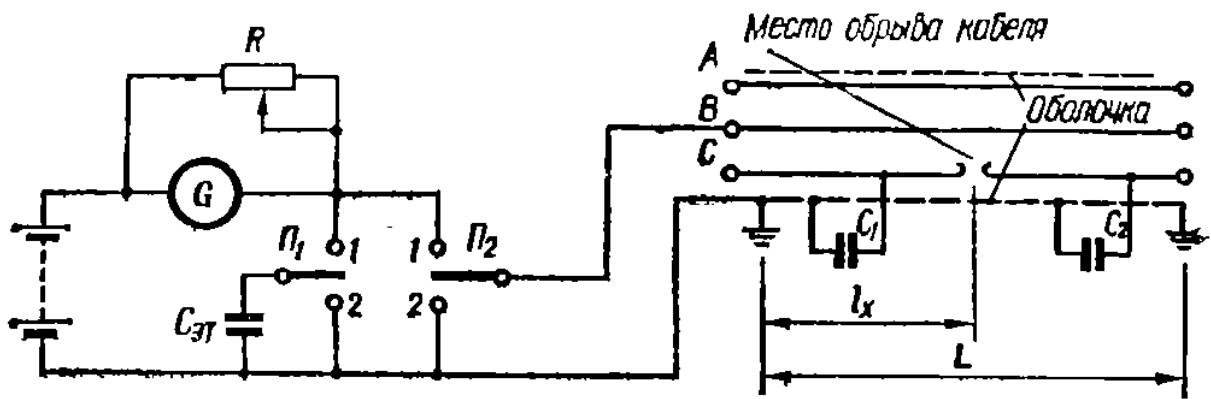


Рис. 14. 13. Схема измерения емкости на постоянном токе.

Установив шунтом  $R$  минимальную чувствительность гальванометра, ключ  $\Pi_1$  ставят в положение 1 (в положение 2 ключ возвращается пружиной). Зарядный ток от батареи в жилу кабеля проходит через гальванометр, стрелка отклоняется на угол  $\alpha_1$ . Шунтом  $R$  чувствительность гальванометра увеличивают до максимально допустимого отклонения стрелки для данной емкости. Включение проводят три-четыре раза и находят среднюю величину отклонения стрелки гальванометра. Затем при том же положении шунта ключ  $\Pi_1$  включают в положение 1 (в положение 2 ключ возвращается пружиной). Зарядный ток пойдет от батареи в эталонный конденсатор через гальванометр, и стрелка отклонится на угол  $\alpha_2$ .

Отклонение стрелки гальванометра пропорционально заряжаемой емкости, поэтому искомая емкость кабеля

$$C_1 = C_{\text{эт}} \alpha_1 / \alpha_2 \quad \text{мкФ} \quad (14.7)$$

При измерении емкости возможны три случая.

1. При обрыве одной жилы измеряют емкость  $C_1$  с одного конца, затем  $C_2$  с другого конца; длину кабеля делят пропорционально полученным емкостям.

Расстояние до места повреждения

$$l_x = LC_1 / (C_1 + C_2), \quad \text{м} \quad (14.8)$$

где  $L$  — длина кабеля, м.

2. Если оборванная жила имеет с одного конца глухое заземление, измеряют емкость  $C_1$  одного участка и целой жилы  $C$ . Расстояние до места повреждения

$$l_x = LC_1 / C \quad \text{м} \quad (14.9)$$

3. Когда емкость & оборванной жилы можно измерить только с одного конца, а остальные жилы имеют глухое заземление, то расстояние до места повреждения определяют из выражения

$$l_x = 1000C_1/C \quad \text{м} \quad (14.10)$$

Величину удельной емкости жилы  $C_0$  для данного напряжения находят в табл. 14.2, где приведены значения емкости жилы при заземленных двух других жилах. Для кабелей, бывших в эксплуатации, действительная удельная емкость, как правило, отличается от величин, приведенных в табл. 14.2. Поэтому третий способ дает удовлетворительные результаты только на коротких участках (100...150 м). При большей длине кабеля ошибка увеличивается и может достигать до десятков метров. Наилучшие результаты дает первый способ.

Таблица 14.2. Емкость одной жилы трехжильного кабеля с бумажной пропитанной изоляцией по отношению к двум другим и металлической оболочке

Сечение, мм <sup>2</sup>	Емкость одной жилы, мкФ/км, при различных напряжениях, В			
	1000	3000	6000	10000
3x4	0,2	0,125	0,100	-
3x6	0,225	0,150	0,120	-
3x10	0,310	0,200	0,170	-
3x16	0,330	0,215	0,190	0,150
3x25	0,360	0,240	0,200	0,180
3x35	0,450	0,300	0,240	0,200
3x50	0,635	0,350	0,280	0,210
3x70	0,650	0,370	0,330	0,220
3x95	0,670	0,425	0,370	0,230
3x120	0,685	0,450	0,400	0,270
3x150	0,700	0,500	0,440	0,290
3x185	0,740	0,600	0,475	0,320
3x240	0,850	0,650	0,520	0,360

Емкостный метод по точности и удобству измерения значительно уступает импульсному. Его применяют лишь в том случае, когда нет импульсных приборов.

Для измерений емкостным методом могут быть использованы мосты типов Р334, Р556.

**Импульсный метод.** Импульсный метод основан на измерении времени пробега импульса электромагнитной волны, посылаемого в поврежденную линию, от места измерения до места повреждения и обратно. Время такого пробега импульса (в мкс)

$$t = 2l_x/v \quad (14.11)$$

где  $l_x$  - расстояние до места повреждения, м;  $v$  - скорость распространения импульса, равная для силовых кабельных линий на 6...35 кВ ( $160 \pm 1$ ) м/мкс.

Измерения проводятся приборами типа ИКЛ-5; его модификации Р5-1 и Р5-5.

Процесс посылки импульса в кабель отражается на экране электроннолучевой трубки прибора. Время пробега импульса измеряют с помощью вырабатываемых прибором специальных калибровочных импульсов, следующих друг за другом через определенное время (2 мкс) и также наблюдаемых на экране ЭЛТ (линия масштабных отметок времени). Расстояние до места повреждения определяется по экрану так:

$$l_x = n v \quad \text{м} \quad (14.12)$$

где  $n$  - количество масштабных отметок времени на экране от места измерения до места повреждения.

Полярность отраженного импульса указывает на характер изменения волнового сопротивления в месте отражения. Выброс вверх соответствует увеличению волнового сопротивления (обрыв), выброс вниз - уменьшению волнового сопротивления (короткое замыкание). Поскольку волновое сопротивление неповрежденной линии обладает некоторой неоднородностью вдоль линии, то обнаружить этим способом можно лишь такое повреждение, при котором отражение больше, чем от неоднородности. Практически

импульсным методом может быть обнаружено повреждение изоляции с переходным сопротивлением не более 200 Ом.

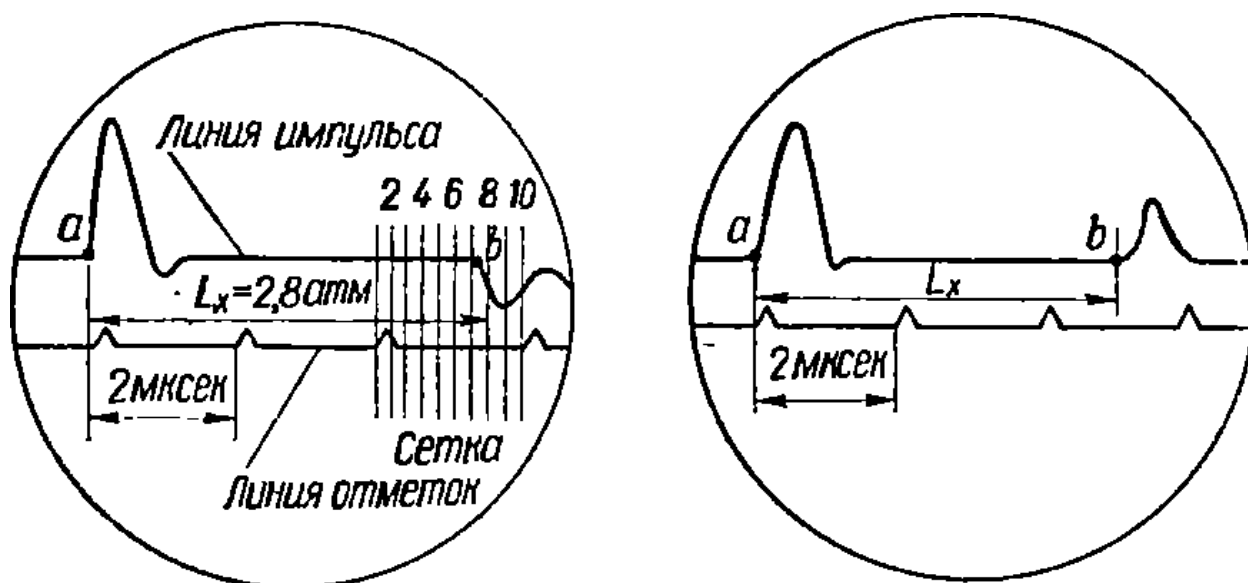


Рис.14.14. Изображение на экране электроннолучевой трубки прибора ИКЛ: а - при измерении на линии, имеющей короткое замыкание жил; б - при обрыве жил в муфте.

В начале измерений прибор подключают к исправной жиле, отмечают картину распространения импульса и определяют, какому количеству масштабных отметок времени  $n$  соответствует полная длина линии. При известной длине кабеля фактическая скорость распространения импульса в линии определяется по формуле

$$v = L/n \text{ м/мкс,} \quad (14.13)$$

где  $L$  - полная длина кабеля, м.

После переключения прибора на поврежденную жилу расстояние до места повреждения определяют по формуле (14.12). Если нет неповрежденной жилы, скорость распространения импульса принимается равной 160 м/мкс. Картина, наблюдаемая на экране прибора при измерениях линий с различным характером повреждения, приведена на рис. 14.14.

Импульсный метод позволяет определить несколько повреждений в разных местах.

Прибор Р5-5 выполнен на полупроводниковых элементах. Он пригоден для работы в полевых условиях как от сети переменного, так и постоянного тока. Мощность, потребляемая прибором, не более 40 Вт. Вес прибора 9 кг.

**Метод колебательного разряда.** Метод колебательного разряда используется для определения мест повреждения с заплывающим пробоем (изоляция в месте повреждения в промежутке между пробоями восстанавливается) и основан на следующем принципе. Если от выпрямительной установки зарядить поврежденную жилу кабеля до напряжения пробоя в дефектном месте, то при пробое разряд будет иметь характер затухающих колебаний. Период колебания

$$T = 4l_x/v, \quad (14.14)$$

где  $v$  - скорость распространения волны колебаний (для кабелей 6...10 кВ с бумажной изоляцией  $v = 160$  м/мкс).

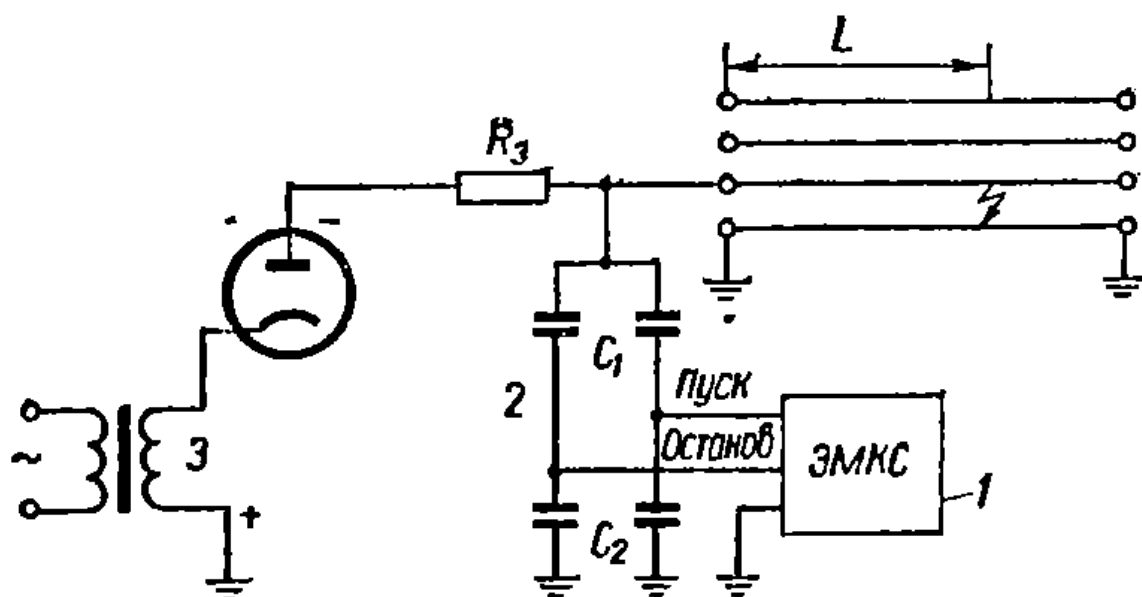


Рис. 14.15. Схема включения прибора ЭМКС при измерении методом колебательного разряда: 1 - прибор ЭМКС; 2 - делитель напряжения; 3 - испытательный трансформатор.

Для получения наибольшей точности при определении расстояния до места повреждения измеряется время только первого полупериода колебания, подверженного наименьшему искажению и затуханию. Измерение



выполняется электронным микросекундомером по схеме, приведенной на рис. 14.15. Поврежденная жила через сопротивление  $R_3$  заряжается от выпрямительной высоковольтной установки. Напряжение заряда плавно поднимается до напряжения-пробоя (но не выше значения, обусловленного нормами профилактических испытаний). В момент пробоя в кабеле происходит колебательный разряд, который фиксируется прибором ЭМКС-58, присоединенным к жиле кабеля через емкостный делитель напряжения.

Электронный микросекундомер ЭМКС-58 запускается фронтом волны положительной полярности и останавливается фронтом волны отрицательной полярности (через первую половину периода колебательного разряда). С момента пуска до остановки в приборе происходит зарядка эталонного конденсатора. Показания лампового вольтметра, измеряющего напряжение на конденсаторе, прямо пропорциональны продолжительности полупериода колебания, шкала прибора отградуирована в километрах. Схема прибора позволяет сохранять показания прибора неизменными в течении нескольких минут и предусматривает также блокировку, исключающую накладывание друг на друга замеров при поступлении повторных колебаний на вход прибора.

**Метод измерения падения напряжения.** Падение напряжения измеряют по схеме, приведенной на рис. 14.16. Один полюс аккумуляторной батареи через защитное сопротивление соединяется с землей, второй через переключатель соединяется поочередно с каждым из концов петли, образованной поврежденной и здоровой жилами кабеля, и определяются показания гальванометра. При неизменной величине тока в кабеле расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_x = 2L\alpha_1/(\alpha_1 + \alpha_2) \quad (14.15)$$

где  $L$  - длина кабеля, м;  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  - отклонения стрелки гальванометра при обоих замерах.

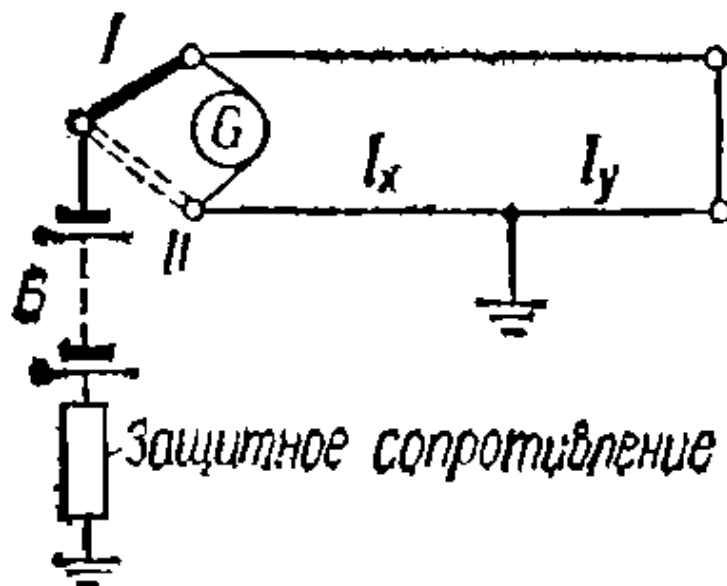


Рис. 14.16. Схема измерения падения напряжения на участке поврежденной жилы с помощью гальванометра

На противоположном конце жилы кабеля соединяют короткой перемычкой сечением не менее сечения жил кабеля с надежными контактами.

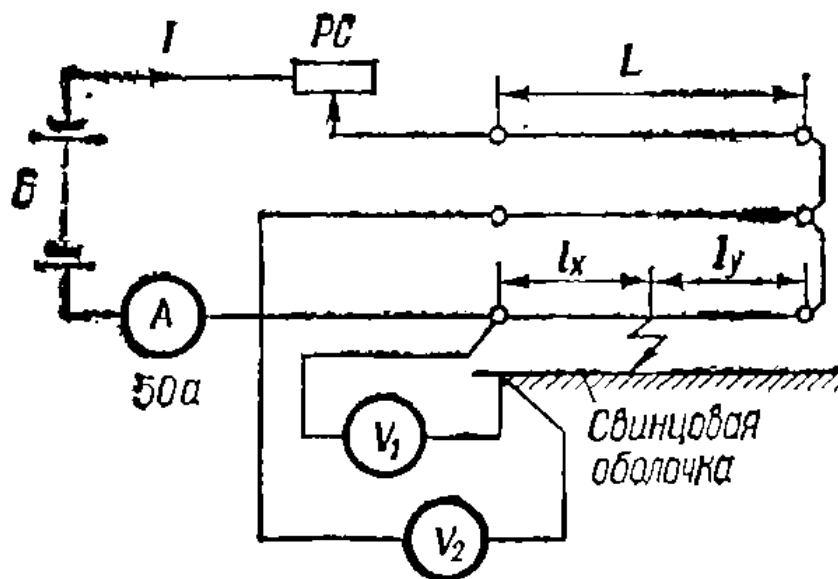


Рис.14.17. Схема измерения падения напряжения на участках поврежденной жилы с помощью вольтметра.

Расстояние до места повреждения может быть также определено по схеме, приведенной на рис.14.17. Расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_x = Lu_1 / (u_1 + u_2) \quad (14.16)$$

где  $u_1, u_2$  - показания вольтметров.

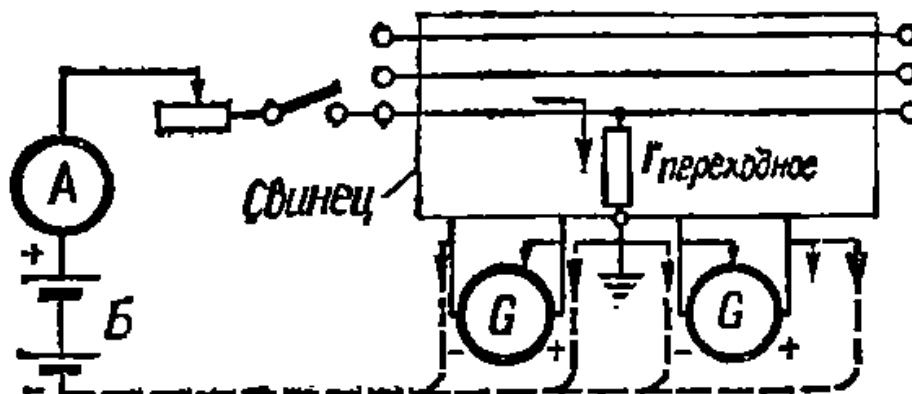


Рис.14.18. Схема измерения падения напряжения на металлической оболочке

**Метод измерения падения напряжения на металлической оболочке кабеля.** Броня кабеля при измерении на ней падения напряжения должна иметь металлическое соединение с оболочкой. Измерение проводится по схеме, приведенной на рис. 14.18. Включение гальванометра осуществляется проводами с присоединенными к ним щупами, которыми касаются зачищенной металлической оболочки. В месте повреждения изменяется направление отклонения стрелки прибора.

### Контрольные вопросы

1. Чему равно испытательное напряжение для силового кабеля на напряжение 10 кВ?
2. В чем сущность импульсного метода определения места повреждения кабеля?
3. Для чего производят прожиг поврежденного кабеля?
4. Поясните сущность акустического метода определения места повреждения кабеля?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройств электроустановок.— М.: Атомиздат, 1981.
2. Справочник по организации и механизации электромонтажных работ, 2-е изд.—М.: Энергия, 1979.
3. Корнилов Ю. В. Слесарь-электромонтажник.— М.: Высшая школа, 1981.
4. Бирюков Ю. С, Быков Б. Ф., Кингель В. А. Монтаж контактных соединений в электроустановках.— М.: Энергия, 1980.
5. Гнесин А. М., Пирогов Е. В. Монтаж электроустановок во взрывоопасных зонах.—М.: Энергоиздат, 1982.
6. Елкин Ю. С. Монтаж электрических машин и трансформаторов.— М.: Энергия, 1979.
7. Дубовский К. И. Электрооборудование мостовых кранов.— М.: Энергия, 1980.
8. Пантелеев Е. Г. Монтаж кабельных линий.— М.: Энергия, 1979.
9. Магидин Ф. А. Сооружение воздушных линий электропередачи.—М.: Высшая школа, 1979.
10. Виноградов Д. Е. Монтаж проводов 35 кВ и выше.— Л.: Энергия, 1979.
11. Корниловин О, Я. Техника безопасности при электромонтажных и наладочных работах.— М.: Энергия, 1980.
12. Живов М. С. Монтаж подстанций промышленных предприятий. Библиотека электромонтера.— М.: Энергоиздат, 1981.
17. Живов М. С. Электромонтажник по распределительным устройствам промышленных предприятий.— М.: Высшая школа, 1982.
18. Варварин В.К., Койлер В.Я., Панов П.А. Наладка электрооборудования. Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Россельхозиздат, 1984 – 349 с., ил.
19. Васильев С.Е., Захарский Б.М., Завокрицкий Е.И., Холодовский Б.А. Справочник по наладке электроустановок и электроавтоматики. – Киев.:Наукова думка, 1981.-624с., ил.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение.....	3
<b>Раздел первый. Монтаж электрооборудования</b>	
1. Общие вопросы монтажа электрооборудования.....	5
1.1. Организация строительства и структура электромонтажных организаций.....	5
1.2. Инженерная подготовка производства.....	6
1.3. Техническая документация и общие условия производства электромонтажных работ.....	13
1.4. Организация работ.....	17
2. Монтаж внутренних электрических сетей.....	21
2.1. Требования к электропроводам. Определения.....	21
2.2. Подготовка трассы и крепление электропроводок.....	27
2.3. Прокладка проводов в жилищном крупнопанельном и крупноблочном строительстве.....	34
2.4. Прокладка проводов в стальных трубах.....	38
2.5. Монтаж проводов в пластмассовых трубах.....	44
2.6. Тросовые и струнные проводки.....	48
2.7. Прокладка кабелей марок СРГ, НРГ, ВРГ, проводов АТПРФ, ПРП и других.....	52
2.8. Электропроводки в лотках и коробах.....	54
2.9. Монтаж шинопровода.....	60
2.10. Монтаж проводок во взрывоопасной среде.....	64
2.11. Монтаж наружной проводки, проводки на чердаках и вводов в здания.....	76
2.12. Монтаж защитного заземления.....	79
2.13. Монтаж электрического соединения.....	84
2.14. Монтаж групповых осветительных щитков и светильников.....	95
2.15. Техника безопасности при монтаже проводок.....	100
3. Монтаж кабельных линий напряжением до 10 кВ.....	103
3.1. Область применения кабельных линий и общие требования к ним.....	103
3.2. Элементы конструкции силового кабеля и их назначение.....	105
3.3. Хранение и подготовка кабелей для прокладки. Прокладка кабелей.....	107
3.4. Монтаж кабельных концевых заделок и концевых соединительных и ответвительных муфт.....	120
3.5. Техника безопасности при монтаже кабелей.....	126
4. Монтаж воздушных линий электропередачи.....	128
4.1. Общие требования к воздушным линиям и определения.....	128
4.2. Подготовительные и строительно-монтажные работы.....	134
4.3. Раскатка проводов.....	140
4.4. Соединение и ремонт проводов и тросов.....	142
4.5. Натяжка и закрепление проводов.....	144
4.6. Защита воздушных линий от перенапряжений; заземление.....	149

4.7.	Особенности монтажа воздушных линий напряжением до 1000 В..	152
4.8.	Техника безопасности.....	154
5.	Монтаж электрооборудования трансформаторных подстанций.....	156
5.1.	Общие требования к устройству подстанций промышленных предприятий.....	156
5.2.	Последовательность работ по монтажу подстанций.....	159
5.3.	Монтаж заземляющих устройств, изоляторов и ошиновки	162
5.4.	Монтаж разъединителей, выключателей нагрузки, масляных выключателей и приводов.....	170
5.5.	Токоограничивающие аппараты — предохранители высокого напряжения, реакторы и разрядники.....	183
5.6.	Монтаж трансформаторов тока и напряжения.....	188
5.7.	Монтаж и испытания комплектных распределительных устройств и комплектных трансформаторных подстанций.....	193
5.8.	Монтаж и сборка силовых трансформаторов.....	201
5.9.	Монтаж вторичных цепей.....	218
5.10.	Монтаж аккумуляторных батарей и статических конденсаторных установок.....	222
5.11.	Техника безопасности.....	227
6.	Монтаж электрических машин и аппаратов управления.....	230
6.1.	Общие требования к электрическим машинам и определения.....	230
6.2.	Подготовительные работы.....	233
6.3.	Монтаж электрических машин.....	234
6.4.	Сушка электрических машин.....	244
6.5.	Монтаж аппаратов управления.....	246
6.6.	Техника безопасности.....	248
7.	Монтаж электрооборудования кранов.....	250
7.1.	Общие сведения.....	250
7.2.	Монтаж троллеев и электропроводки.....	254
7.3.	Монтаж электрических машин и аппаратов.....	257
7.4.	Техника безопасности.....	259

### **Раздел второй. Наладка электрооборудования**

8.	Наладка электродвигателей для сельского и водного хозяйства....	261
8.1.	Общие сведения об электродвигателях.....	261
8.2.	Пуск электродвигателя .....	264
8.3.	Типы электродвигателей.....	266
8.4.	Специальные электродвигатели .....	273
8.5.	Наладка и испытание асинхронных электродвигателей напряжением до 1000 В с короткозамкнутым ротором.....	276
8.6.	Измерение сопротивления постоянному току и изоляции .....	283
8.7.	Испытание электрической прочности изоляции обмоток.....	288
9.	Наладка цепей и аппаратов напряжением до 1000 В.....	293
9.1.	Общие понятия об электрических цепях .....	293

9.2.	Требования к аппаратам защиты и вторичным цепям.....	300
9.3.	Настройка защитных характеристик тепловых реле на стенде МИИСП.....	321
9.4.	Настройка защиты электродвигателей для гермоклапанов и задвижек.....	326
9,5	Проверка схем управления, сигнализации, блокировки.....	328
10.	Наладка заземляющих устройств.....	332
10.1.	.Требования к заземляющим устройствам .....	333
10.2.	Элементы заземляющих устройств .....	337
10.3.	Проверка полного сопротивления петли фаза-нуль.....	340
10.4.	Измерение сопротивления заземляющих устройств .....	343
11.	Наладка силовых трансформаторов.....	355
11.1.	Объем испытаний.....	355
11.2.	Определение условий включения трансформаторов без сушки	356
11.3.	Методика измерения характеристик изоляции.....	362
11.4.	Испытание электрической прочности главной изоляции обмоток трансформаторов повышенным напряжением .....	368
11.5.	Измерение сопротивления обмоток постоянному току.....	369
11.6.	Опыт холостого хода трансформатора при номинальном напряжении.....	370
11.7.	Измерение потерь холостого хода при малом напряжении.....	373
11.8.	Опыт короткого замыкания трансформатора .....	375
11.9.	Фазировка трансформаторов.....	378
12.	Выключатели переменного тока высокого напряжения и привода к ним.....	382
12.1.	Объем приемо-сдаточных испытаний масляных выключателей ....	382
12.2.	Испытания изоляции масляных выключателей.....	383
12.3.	Измерение сопротивления постоянному току контактов масляных выключателей.....	385
12.4.	Измерение скорости и времени движения подвижных частей масляных выключателей.....	380
12.5.	Проверка приводов масляных выключателей .....	392
12.6.	Объем приемо-сдаточных испытаний воздушных выключателей...	404
13.	Подстанционное высоковольтное оборудование.....	421
13.1.	Выключатели нагрузки и предохранители на напряжение выше 1000 В.....	421
13.2.	Разъединители, короткозамыкатели и отделители.....	422
13.3.	Сборные и соединительные шины.....	427
13.4.	Сухие реакторы.....	428
13.5.	Конденсаторы бумажно-масляные.....	429
13.6.	Разрядники для защиты от атмосферных перенапряжений.....	433
13.7	Трубчатые разрядники .....	437
14.	Кабельные линии.....	441
14.1.	Объем, нормы и методы испытаний.....	441

14.2.	Определение мест повреждения и трасс кабельных линий.....	444
14.3.	Методы определения места повреждения кабеля.....	452
	Список литературы .....	472



## МУНДАРИЖА

Кириш.....	3
Биринчи бзлим. Электр ускуналарни монтажи	
1. Электр ускуналарни монтажни умумий саволлар.....	5
1.1. Қурилишни ташқил қилиш ва электромонтаж корхоналарни тўзилиши.....	5
1.2. Ишлаб чиқаришни инженерлик тайерлаш.....	6
1.3. Техник хутжатлар ва электромонтаж ишларни бажаришни умумий шароитлари.....	13
1.4. Ишларни ташқил қилиш.....	17
2. Ички электр тармоқларни монтажи .....	21
2.1. Электр тармоқларга талаблар. Таърифлар.....	21
2.2. Трассаларни тайерлаш ва элект тармоқларни қотириш.....	27
2.3. Йирик панелли ва блакли қурилишларда тармоқларни ўтқазиш.....	34
2.4. Симларни пўлатли трубалардан ўтқазиш.....	38
2.5. Симларни пластмассали трубалардан ўтқазиш.....	44
2.6. Тросли ва торли тармоқлар.....	48
2.7. СРГ, НРГ, ВРГ кабелларни ва АТПРФ, ПРП симларни ўтқазишр.....	52
2.8. Таннов ва қутчаларда электр тармоқлар.....	54
2.9. Шина тармоқларни монтажи.....	60
2.10. Портлашга хавфли мухитда тармоқларни монтажи.....	64
2.11. Ташқи тармоқларни монтажи, чердакда тармоқларни ва биноларги киришларни монтажи.....	76
2.12. Химоя ерлашни монтажи.....	79
2.13. Электр ўлашларни монтажи.....	84
2.14. Гурух ёритиш шитларни ва ёриткичларни монтажи.....	95
2.15. Тармоқларни монтажида ҳаёт хавфсизлиги.....	100
3. Кучланиши 10 кВ гача кабел тармоқларни монтажи.....	103
3.1. Кабел тармоқларни қуллаш соҳалари ва уларга умумий талаблар.....	103
3.2. Куч кабелларни қисмларини тўзилиши ва уларни вазифалари.....	105
3.3. Кабелларни саклаш ва ётқизишга тайерлаш. Кабелларни етқизиш....	107
3.4. Кабелларн учликларни, учликли ва ўлаш муфтларни монтажи.....	120
3.5. Кабеллар монтажида ҳаёт хавфсизлиги.....	126
4. Ҳаво электр тармоқларни монтажи.....	128
4.1. Ҳаво электр тармоқларнга талаблар ва тавсифлар.....	128
4.2. Тайергарлик ва қурилиш-монтаж ишлар.....	134
4.3. Симларни ўзатиш.....	140
4.4. Симларни ва тросларни ўлаш ва таъмирлаш .....	142
4.5. Симларни тортиш ва қотиришпаяжжа и закрепление .....	144
4.6. Защита воздушных линий от перенапряжений; заземление.....	149
4.7. Кучланиши 1000 В гача ҳаво тармоқлармонтажини ўзиги хослиги..	152
4.8. Ҳавфсизлик техникаси.....	154
5. Трансформатор подстанцияларни электр ускуналарни монтажи.....	156
5.1. Подстанцияларни тўзилишига умумий талаблар.....	156

5.2.	Подстанциялар монтажида ишларни кетма кетлиги.....	159
5.3.	Ерлаш мосламаларни, изоляторларни ва шиналар монтажи.....	162
5.4.	Ажраткичларни, юклама ўчиргичларни мой учиргичларни ва уларни юритмаларни монтажи.....	170
5.5.	Токни чегараловчит мосламалар – юқори кучланишли саклагичлар, реакторлар ва разрядниклар.....	183
5.6.	Ток ва кучланиш трансформаторларни монтажи.....	188
5.7.	Комплекс таксимлаш мосламаларни ва коиплекс трансформатор подстанцияларни монтажи.....	193
5.8.	Куч трансформаторларни егиш ва монтажи.....	201
5.9.	Иккиламчи тармоқларни монтажи.....	218
5.10.	Аккумулятор батареяларни ва статик конденсаторларни монтажи...	222
5.11.	Ҳавфсизлик техникаси .....	227
6.	Электр двигателларни ва бошқариш аппаратларни монтажи.....	230
6.1.	Электр двигателларга умумий талаблар ва тавсифлар.....	230
6.2.	Тайергарлик ишлар.....	233
6.3.	Электр двигателларни монтажи.....	234
6.4.	Электр двигателларни куриштиш.....	244
6.5.	Бошқариш аппаратларни монтажи .....	246
6.6.	Техника безопасности.....	248
7.	Монтаж электрооборудования кранов.....	250
7.1.	Общие сведения.....	250
7.2.	Монтаж троллеев и электропроводки.....	254
7.3.	Монтаж электрических машин и аппаратов.....	257
7.4.	Ҳавфсизлик техникаси .....	259
<b>Иккинчи бўлим. Электр ускуналарни созлаш</b>		
8.	Қишлоқ ва сув хўжаликлар учун электр двигателларни созлаш.....	261
8.1.	Электр двигателлар бўйича умумий маълумотлар.....	261
8.2.	Электр двигателларни ишга тўшириш.....	264
8.3.	Электр двигателларни турлари.....	266
8.4.	Махсус электр двигателлар.....	273
8.5.	Кучланиши 1000 В гача қиска туташган роторли асинхрон электр двигателларни созлаш ва синаш.....	276
8.6.	Изоляцияни ва доимий токга қаршилигини ўлчаш.....	283
8.7.	Чулгамлар изоляциясини электр мустаҳкамлигини синаш.....	288
9.	Кучланиши 1000 В гача электр занжирлани ва аппаратларни созлаш	293
9.1.	Электр занжирларни бўйича умумий тушинчалар.....	293
9.2.	Химоя аппаратларга ва иккиламчи занжиоларга талаблар.....	300
9.3.	МИИСП стендида иссиқлик релеларни химоя тавсифларини созлаш	321
9.4.	Гермоклапан ва задвижкаларни электр двигателларни химояларни созлаш.....	326
9.5.	Бошқариш, сигналлаш, блоклаш схемаларни текшириш.....	328
10.	Ерлаш мосламаларни созлаш.....	332
10.1.	Ерлаш мосламаларга талаблар.....	333

10.2.	Ерлаш мосламаларни қисмлари.....	337
10.3.	Фаза-нул сиртмокси тўлиқ қаршилигини текшириш.....	340
10.4.	Ерлаш мосламаларни қаршилигини ўлчаш.....	343
11.	Куч трансформаторларни созлаш.....	355
11.1.	Синовларни хажми.....	355
11.2.	Трансформаторларни қуритмастан ишга тўшириш шартлари.....	356
11.3.	Изоляция тавсифларини ўлчаш усуллари.....	362
11.4.	Трансформаторлар чулгамлани асосий изоляцияни электр мустаҳкамлигини юқори кучланиш билан синаш.....	368
11.5.	Чулгамларни доимий токга қаршилигини ўлчаш.....	369
11.6.	Номинал кучланишда трансформаторларни салт юриш тажрибаси	370
11.7.	Кичик кучланишда салт юриш юқотишларни ўлчаш.....	373
11.8.	Қиска туташув тажрибаси.....	375
11.9.	Трансформаторни фазировкаси.....	378
12.	Ўзгарувчан юқори кучланишли учиргичлар ва уларни юритмалари	382
12.1.	Мой учиргичларни қабул қилиш синовларни хажми.....	382
12.2.	Мой учиргичларни изоляциясини синаш.....	383
12.3.	Мой учиргичлар контактларини доимий токга қаршилигини ўлчаш.	385
12.4.	Мой учиргичларни ҳаракатчанг қисмларни тезлигини ва ҳаракат қилиш вақтини ўлчаш.....	380
12.5.	Мой учиргичлар юритмаларни текшириш....	392
12.6.	Ҳаво учиргичларни қабул қилиш синовларни хажми.....	404
13.	Подстанциялар юқори кучланиш мосламалари.....	421
13.1.	Кучланиш 1000 В ошиқ юклама учиргичлар ва сақлагичлар.....	421
13.2.	Ажратқичлар, қиска туташгичлар ва булгичлар.....	422
13.3.	Егиш ва улаш шиналар.....	427
13.4.	Қурик реакторлар.....	428
13.5.	Мой-коғоз конденсаторлар.....	429
13.6.	Чақмоқли кучланишлардан сақлаш учун разрядниклар.....	433
13.7.	Трубкали разрядниклар.....	437
14.	Кабел тармоқлар.....	441
14.1.	Синовлар хажми, мейерлари ва усуллари.....	441
14.2.	Кабел тармоқларни шикастланган жойларни ва трассаларни аниқлаш.....	444
14.3.	Кабелларни шикастланган жойларни аниқлаш усуллари.....	452
	Адабиетлар рўйхати.....	472