## Область применения

Рекомендации настоящей методики применяются при проведении проверки и испытаний автоматических выключателей, аппаратов защиты электродвигателей от перегрузки (тепловые и другие виды реле), различных пускателей и простых реле, а также выключателей нагрузки на напряжение до 1кВ.

Аппараты, служащие для включения и отключения главных цепей в системах, генерирующих электрическую энергию и передающих её потребителям, - это коммутационные аппараты распределения энергии. Они включают или отключают цепь при воздействии обслуживающего персонала или автоматически.

Коммутационные аппараты распределения энергии выполняют две функции:

- Неавтоматическое включение и отключение электрических цепей, которые производятся, когда надо подать или снять питание электроэнергией участка сети
- Автоматическое отключение электрических цепей в случае появления в них каких-либо явлений, угрожающих безопасности обслуживающего персонала или сохранности установки (например, в случае коротких замыканий). Иногда аппараты осуществляют автоматическое включение резервного источника питания или автоматическое повторное включение после аварийного отключения.

Различают следующие группы коммутационных аппаратов:

- Автоматические выключатели (автоматы)
- Плавкие предохранители (предохранители)
- Неавтоматические выключатели

Иногда указанные аппараты устанавливают вместе с аппаратурой управления в устройствах для управления электроприводом (станциях управления, магнитными пускателями и др.).

Контакторы, пускатели, реостаты, реле, осуществляющие защиту и управление работой электропривода, называют аппаратами управления.

Ненормальными являются такие режимы, при которых появляется чрезмерное снижение напряжения, и , в особенности, протеканию сверхтока (тока большего номинального).

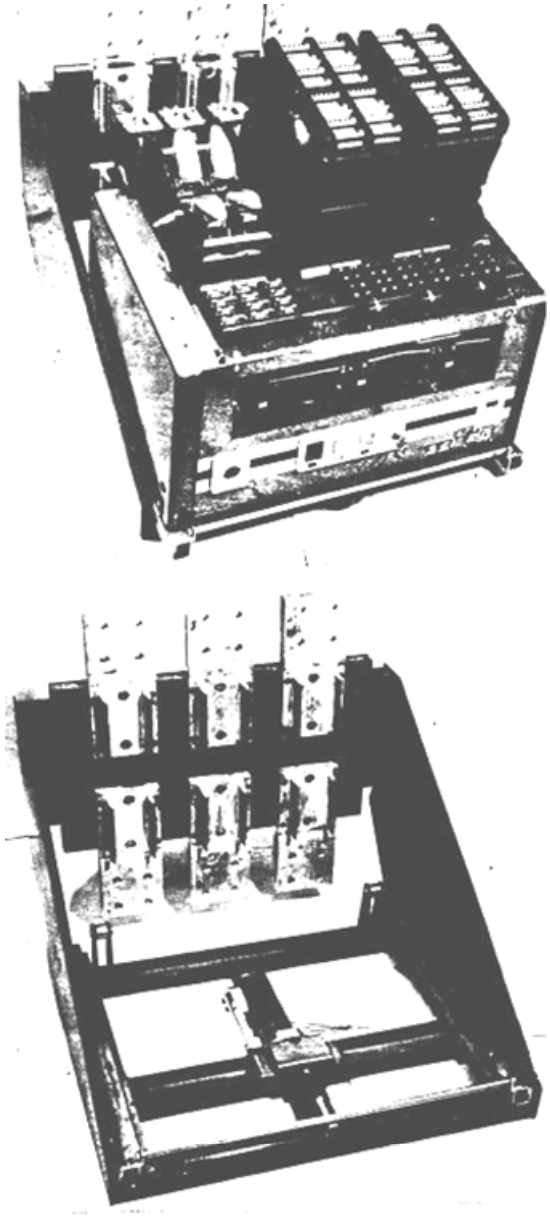


*Рисунок 1. Внешний вид автомата AR с установочным устройством.*

Чрезвычайное снижение напряжения может привести к остановке электродвигателя, а затем при внезапном восстановлении полного напряжения – к запуску его в неподходящий момент. поэтому иногда на ответственных ответвлениях к приёмнику применяют автоматические выключатели, отключающие цепь при снижении напряжения до 35-70% от номинального. Повторное включение должно производится при воздействии оператора.

Наиболее опасным и часто встречающимся ненормальным режимом является протекание

сверхтока при коротком замыкании или чрезмерном потреблении тока приёмниками электрической энергии. Аппаратура отключения должна безотказно коммутировать все токи, вплоть до наибольшего тока короткого замыкания, который может возникнуть в месте её установки. Неавтоматические выключатели при этих токах не должны повреждаться и самопроизвольно отключаться.

Аппаратура управления (контакторы, пускатели) рассчитана, главным образом, на коммутацию токов, не превышающих токов перегрузки электродвигателей (не более 10-кратного от номинального). От токов короткого замыкания аппаратура управления отдельными электроприёмниками защищена при помощи аппаратуры распределения энергии.

Для бесперебойной работы установки необходимо обеспечить избирательность (селективность) отключения аппаратурой управления и аппаратурой распределения энергии, а также избирательность отключения нескольких последовательно включённых аппаратов. Это значит, что при токах перегрузки, возникающих в ответвлении к отдельному приёмнику, соответствующий участок цепи должен выключаться аппаратурой управления этого приёмника, а не аппаратурой распределительных устройств, установленным на ответвлении. Если на ответвлении возникло короткое замыкание, то должен отключаться аппарат распределения энергии, а не аппарат управления.

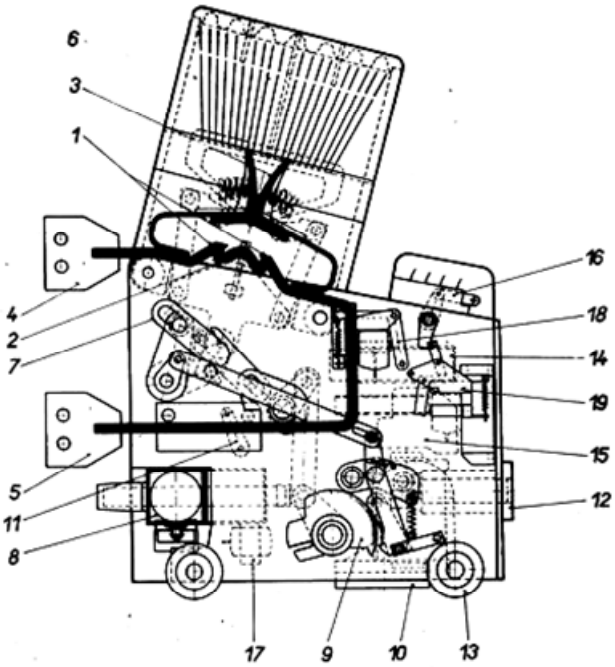


*Рисунок 2. Автомат AR*

Особенно важна селективность в системе распределения энергии. При всех величинах сверхтока, вплоть до максимального тока короткого замыкания, должен отключаться только один аппарат, расположенный ближе к месту аварии, все другие аппараты с большим номинальным током, расположенные ближе к источнику энергии, не должны отключаться.

Было бы желательно иметь такую защитную характеристику, чтобы во всём диапазоне сверхтоков была выдержка времени, обратно зависимая от тока (чем больше ток, тем меньше время отключения), так как разрушительное действие тем больше, чем больше ток и время его действия. По конструктивным соображениям часто применяют устройства, которые при токах, больших определённой величины, срабатывают мгновенно (без преднамеренно созданной выдержки времени). По этим же причинам иногда используют устройства, имеющие выдержку времени, независимую от тока.

После отключения аппарата при сверхтоках желательно как можно скорее его включить. Для этого используют выключатели, кроме автоматических с регулирующими элементами теплового действия, которые допускают немедленное включение после срабатывания. Автоматические выключатели с тепловыми элементами должны допускать повторное включение не позднее чем через 1-3 минуты после отключения при сверхтоках. В случае отключения выключателя при отсутствии перегрузки он должен допускать немедленное включение.

## ***Объект испытания.***

Автоматические выключатели (автоматы) предназначены для нечастых размыканий и замыканий электрической цепи и длительного прохождения по ней тока, а также для автоматического

размыкания цепей при появлении в них различных ненормальных условий; коммутация цепи происходит между механически перемещающимися контактами.

Автоматы делятся на небыстродействующие и быстродействующие. Быстродействующие характеризуются собственным временем срабатывания, то есть временем от появления тока короткого замыкания до начала расхождения контактов.

К небыстродействующим относятся автоматы, к которым обычно не предъявляются специальные требования по быстродействию или эти требования невысокие. Для удержания контактной системы во включённом положении в них применяются защёлки. Эти автоматы имеют собственное время срабатывания от 10 до 100 мс и не обладают токоограничивающим действием.

По конструктивному оформлению различают автоматы с пластмассовой крышкой и корпусом ( на токи до 630А включительно) и автоматы без корпуса и крышки (на токи от 630 до 1000А включительно).

Быстродействующие автоматы, изготавливаемые на номинальные постоянные токи 1500-15000А, имеют собственное время отключения при больших токах не более 5 мс. Их характерная особенность – вся конструкция подчинена требованию повышения быстродействия.

На рисунке 1 изображен автоматический выключатель серии AR в выкатном исполнении. Для гашения дуги над контактами выключателя установлены искрогасительные камеры (рисунок 2 6). Обе шины автомата (1) на выводных концах снабжены вертикальными присоединительными флажками (4,5), которые позволяют выполнить непосредственное закрепление выдвижных контактов. Цепь дугогасительных контактов образуют два подвижных дугогасительных контакта (3), которые посредством гибких медных поясов присоединены к цепи главных контактов. Мгновенное отключение обеспечивает пружинный аккумулятор (8) посредством рычажной передачи и расцепляющего механизма (7). Включение автомата производится либо с помощью кнопки на лицевой панели, либо с помощью включающего электромагнита (17). Отключение также осуществляется с помощью кнопки красного цвета, либо с помощью электромагнита (18). Натяжка аккумулятора осуществляется автоматически, после включения автомата, приводом (10). Вручную данную операцию можно осуществить посредством рычажной передачи (9).

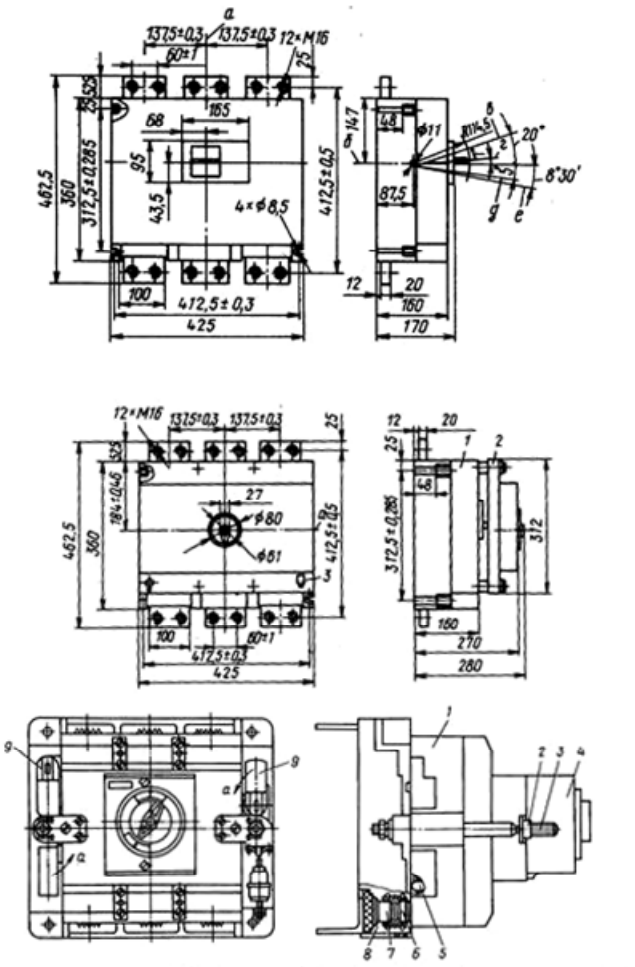


*Рисунок 3. Автомат ВА в различных исполнениях*

Автоматические выключатели серии ВА могут выполняться в различных модификациях. Для этого на автомат устанавливаются дополнительные части, которые обеспечивают его выкатное исполнение (рисунок 3 нижняя часть), стационарное исполнение (рисунок 3 середина) или стационарное исполнение с ручным исполнением (рисунок 3 верхняя часть).

## Определяемые характеристики.

*Внешний осмотр.*

Внешним осмотром определяется состояние доступных осмотру деталей автоматических выключателей и аппаратов управления, на предмет видимых нарушений, наличия сколов изоляционных материалов, отсутствия деталей крепления и т.п.

*Измерение сопротивления изоляции.*

Измерение сопротивления изоляции производится между каждым проводом (полюсом) аппарата и землёй, а также между каждыми двумя проводами (полюсами). Сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм.

При измерении сопротивления изоляции автоматических выключателей совместно с присоединёнными к ним кабелями и проводами, сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5Мом.

*Испытание повышенным напряжением.*

Испытание производится при вводе в эксплуатацию, капитальных ремонтах, а также при неудовлетворительных результатах измерения изоляции.

Значение испытательного напряжения 1 кВ 50 Гц. продолжительность испытания 1 минута.

В процессе текущих ремонтов допускается вместо испытания переменным напряжением производить одноминутное измерение изоляции мегаомметром на напряжение 2500В.

*Проверка действия максимальных, минимальных или независимых расцепителей автоматов и аппаратов управления.*

Работа расцепителей должна соответствовать заводским данным и требованиям обеспечения защитных характеристик.

*Проверка работы контакторов и автоматов при пониженном напряжении оперативного тока.*

Значение напряжения срабатывания и количество операций приведены в таблице 1.

Таблица 1.

| Операция | Напряжение оперативного тока | Количество операций |
|---|---|---|
| Включение | $0,9U_{ном}$ | 5 |
| Отключение | $0,8U_{ном}$ | 5 |

*Проверка предохранителей.*

Плавкая вставка предохранителей должна быть калиброва.

## Условия испытаний и измерений

Испытание автоматов и аппаратов управления производят при температуре окружающей среды не ниже $+10^0$С.

Проверку максимальных расцепителей автоматов и пускателей следует производить с учётом введения поправок по температуре т.к. температура максимальных расцепителей выполненных на основе биметалла оказывает значительное влияние на временные характеристики автоматов. Поправки по току на температуру указаны в таблице 2.

Влажность окружающего воздуха имеет значение при проведении высоковольтных испытаний , т.к. конденсат на изолирующих частях аппаратов может привести к пробою изоляции и, соответственно, к выходу из строя оборудования (как испытательного, так и испытуемого). Перед проведением высоковольтных испытаний аппараты следует протереть от пыли, грязи и влаги.

Атмосферное давление особого влияние на качество проводимых испытаний не оказывает, но фиксируется для занесения данных в протокол.

## *Средства измерений.*

Автоматы и аппараты управления подвергаются испытаниям в собранном виде, с установленными на них всеми деталями и узлами, которые могут повлиять на результат испытаний.

Перед испытанием производится внешний осмотр, проверка целостности корпусов и изоляции.

Измерение сопротивления изоляции производят мегаомметрами на напряжение 1000В и 2500В.

Измерение сопротивления контактов и контактных соединений внутри аппаратов производится мостами постоянного тока (например Р 333), которые позволяют произвести замеры с точностью до 0,001 Ом, или методом амперметра и милливольтметра. При проведении замеров методом амперметра-вольтметра рабочий ток не должен превышать номинальный ток данного аппарата.

Таблица 2.

| Температура среды | Ток автоматического выключателя | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 |
| 10 | 54 | 67 | 84 | 110 | 141 | 175 | 212 | 269 | 339 | 424 | 538 |
| 12 | 53 | 67 | 83 | 109 | 139 | 174 | 210 | 267 | 337 | 421 | 534 |
| 14 | 53 | 66 | 83 | 108 | 138 | 172 | 209 | 265 | 334 | 418 | 530 |
| 16 | 53 | 66 | 82 | 107 | 137 | 171 | 207 | 263 | 332 | 415 | 527 |
| 18 | 52 | 65 | 82 | 106 | 135 | 169 | 206 | 261 | 329 | 411 | 523 |
| 20 | 52 | 65 | 81 | 105 | 134 | 167 | 204 | 259 | 327 | 408 | 519 |
| 22 | 51 | 64 | 80 | 104 | 132 | 166 | 203 | 257 | 324 | 405 | 515 |
| 24 | 51 | 64 | 80 | 103 | 131 | 164 | 201 | 255 | 321 | 402 | 511 |
| 26 | 51 | 63 | 79 | 103 | 130 | 162 | 199 | 253 | 319 | 398 | 507 |
| 28 | 50 | 63 | 78 | 102 | 128 | 160 | 198 | 252 | 316 | 395 | 504 |
| 30 | 50 | 62 | 78 | 100 | 127 | 159 | 196 | 250 | 313 | 392 | 500 |
| 32 | 49 | 62 | 77 | 100 | 124 | 157 | 195 | 248 | 311 | 388 | 495 |
| 34 | 49 | 61 | 76 | 99 | 123 | 155 | 193 | 246 | 308 | 385 | 492 |
| 36 | 48 | 61 | 76 | 98 | 121 | 153 | 192 | 244 | 305 | 381 | 488 |
| 38 | 48 | 60 | 75 | 97 | 120 | 151 | 190 | 242 | 302 | 378 | 483 |
| 40 | 48 | 60 | 75 | 96 | 120 | 150 | 189 | 240 | 300 | 375 | 480 |

| Температура среды | Ток автоматического выключателя | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | А3720 | | А3730 и А3740 | | | | | |
| | 160 | 200 | 250 | 250 | 320 | 400 | 500 | 630 |
| 10 | 536 | 679 | 849 | 856 | 1106 | 1376 | 1698 | 2141 |
| 12 | 532 | 675 | 843 | 849 | 1097 | 1366 | 1686 | 2124 |
| 14 | 529 | 669 | 837 | 843 | 1087 | 1355 | 1674 | 2109 |
| 16 | 525 | 664 | 831 | 836 | 1078 | 1344 | 1658 | 2089 |
| 18 | 521 | 659 | 824 | 829 | 1068 | 1332 | 1647 | 2075 |
| 20 | 518 | 654 | 818 | 822 | 1058 | 1320 | 1631 | 2055 |
| 22 | 514 | 649 | 811 | 815 | 1050 | 1308 | 1619 | 2039 |
| 24 | 510 | 643 | 804 | 807 | 1039 | 1296 | 1604 | 2019 |
| 26 | 506 | 638 | 798 | 800 | 1030 | 1286 | 1592 | 2005 |
| 28 | 503 | 633 | 791 | 793 | 1020 | 1275 | 1582 | 1994 |
| 30 | 499 | 627 | 784 | 787 | 1011 | 1261 | 1571 | 1979 |
| 32 | 495 | 622 | 777 | 780 | 1000 | 1248 | 1556 | 1960 |
| 34 | 491 | 616 | 770 | 772 | 991 | 1246 | 1541 | 1943 |
| 36 | 487 | 610 | 763 | 765 | 980 | 1224 | 1527 | 1920 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **38** | **483** | **605** | **756** | **757** | **970** | **1212** | **1515** | **1909** |
| **40** | **480** | **600** | **750** | **750** | **960** | **1200** | **1500** | **1890** |

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты производят с помощью различных установок, которые состоят из следующих элементов: испытательного трансформатора, регулирующего устройства, контрольно-измерительной и защитной аппаратуры. К таким аппаратам можно отнести установку АИИ – 70, АИД – 70, а также различные высоковольтные испытательные трансформаторы, которые обладают достаточным уровнем защиты и надлежащим уровнем подготовлены для проведения испытаний.

Для контроля качества болтовых соединений используют слесарные инструменты в виде гаечных ключей и т.п.

*Все приборы должны быть поверены, а испытательные установки аттестованы в соответствующих государственных органах (ЦСМ).*

***Порядок проведения испытаний и измерений.***

*Внешний осмотр.*

Внешний осмотр автоматов и аппаратов управления производится со вскрытием корпуса. Осмотру подвергаются все внутренние соединения и части выключателя, работа механизма включения и отключения, состояние изоляционных деталей, катушек и блок-контактов.

*Измерение сопротивления изоляции.*

Измерение сопротивления изоляции производится при полностью собранных аппаратах, а также при закреплении аппарата на основании. Измерение производится между каждыми двумя фазами и между каждой фазой и землёй отдельно. Если аппарат имеет катушки включения и отключения, то сопротивление изоляции измеряется между ними и фазами аппарата и между катушками и землёй отдельно. Полностью изолированные аппараты следует сначала установить на металлическое основание. Схемы для проведения измерения сопротивления изоляции приведены на рисунке 4, в качестве примера рассматривается автоматический выключатель.

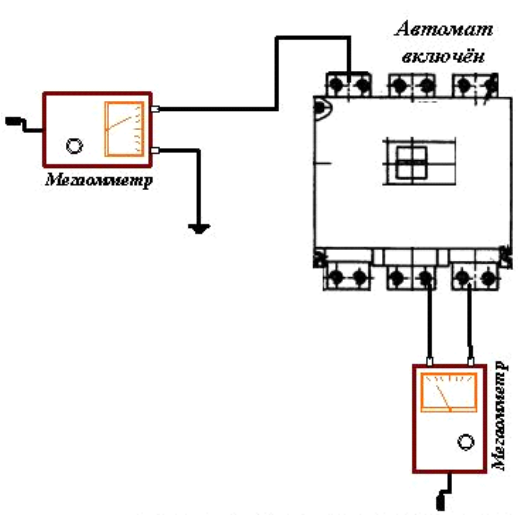



*Рисунок 4. Измерение сопротивления изоляции автомата.*

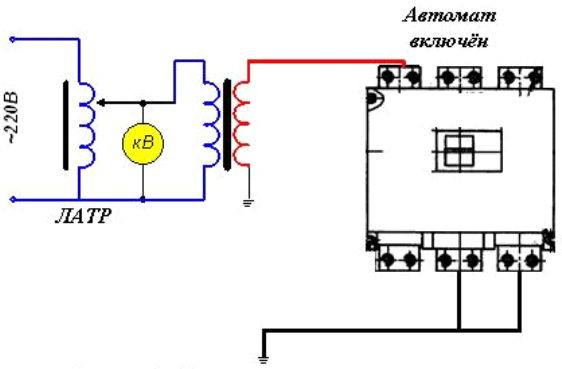



*Рисунок 5. Испытание повышенным напряжением*

Испытание изоляции повышенным напряжением.

Испытание производится пофазно с заземлением свободных от испытания фаз и полностью собранных аппаратах с установкой всех деталей, которые могут оказать влияние на результат испытания.

Схема, по которой проводится испы-

тание, представлена на рисунке 5.

Если испытуемый аппарат установлен на металлическое основание, то при поведении испытаний оно также должно быть заземлено.

### *Проверка действия максимальных, минимальных и независимых расцепителей.*

Проверка действия расцепителей производится в соответствии со схемой на рисунке 6. Для регистрации времени срабатывания аппарата используют электрические секундомеры, которые подключают на свободные фазы автоматического выключателя или на блок-контакты аппаратов управления.

Проверку максимальных расцепителей автоматических выключателей производят трёхкратным током расцепителя (если нет других указаний в паспорте автомата) с поправкой на температуру (смотри выше). Расцепители автоматов с полупроводниковыми блоками защиты проверяют током блока защиты (обычно шестикратным). Временные характеристики различных автоматов приведены в приложении к данной методике. Проверка производится из «холодного» состояния автомата. Произведя проверку одной фазы, можно сразу произвести переключения и приступить к проверке следующей.

Проверка времени срабатывания тепловых реле защиты электродвигателей производится в соответствии со схемой рисунка 6 (как для автомата), за исключением того, что секундомер включается на блок-контакт реле. Ток для проверки выбирают исходя и паспортных данных: при наличии времятоковых характеристик для конкретного реле ток прогрузки равен трёхкратному току реле (проверка из холодного состояния). После проверки трёхкратным током и остывания теплового элемента на реле подаётся ток равный 1,2Iн, при этом реле должно отключится за время равное 20 минутам.

Проверку электромагнитных расцепителей автоматических выключателей и расцепителей отсечки у выключателей с полупроводниковыми блоками защиты проводят по схеме на рисунке 6, при этом сначала выставляется ток равный $0{,}8I_{расц}$ и проверяется устойчивое несрабатывание выключателя, а затем установив ток равный $1{,}1I_{расц}$ проверяется срабатывание выключателя за определённое время, засекаемое секундомером. Величина времени при проверке электромагнитных расцепителей и защиты отсечки полупроводниковых очень небольшая!

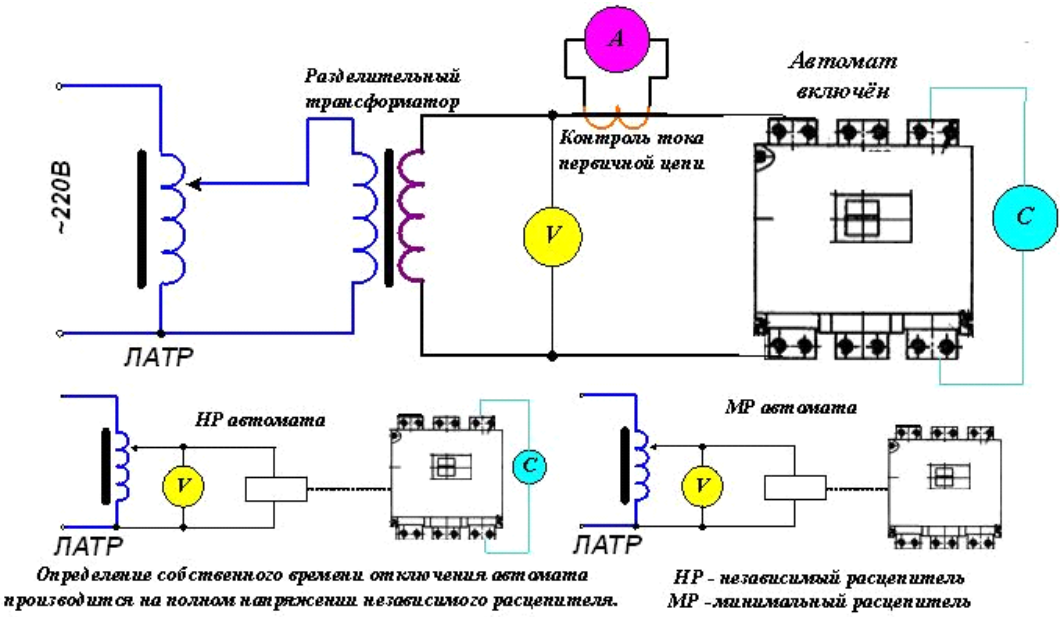



*Рисунок 6. Проверка действия максимальных расцепителей автоматов, независимых и минимальных расцепителей.*

Автоматические выключатели бытового и аналогичного применения (выполненные по ГОСТ Р 50345-99 "Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения") испытываются в соответствии с дополнениями 1 к настоящей методике.

На основе полученных результатов производится построение индивидуальной характеристики данного автоматического выключателя (реле защиты).

Принцип построения индивидуальной кривой смотри в разделе «Обработка данных, полученных при испытаниях» настоящей методики.

*Проверка работы контакторов и автоматов при пониженном напряжении оперативного тока.*

Проверку производят по схемам рисунка 6. Соответственно производят изменение оперативного тока для проверки включения или отключения.

## ***Обработка данных, полученных при испытаниях.***

Первичные записи рабочей тетради должны содержать следующие данные:

- дату измерений.
- температуру, влажность и давление
- наименование, тип, заводской номер оборудования
- номинальные данные объекта испытаний
- результаты испытаний
- результаты внешнего осмотра
- используемую схему

Все данные испытаний сравниваются с требованиями НТД и на основании сравнения выдаётся заключение о пригодности объекта к эксплуатации.

На основе полученных данных времени страбатывания расцепителей автоматических выключателей и образцовых время-токовых характеристик для данных типов автоматов производится построение индивидуальной время-токовой кривой для конкретного автоматического выключателя (или группы, если автоматические выключатели группы примерно соответствуют друг другу).

На рисунке 7 показаны принципы построения индивидуальной время-токовой характеристики автоматического выключателя на основе образцовой. На образцовой характеристике по оси времени откладывается полученное значение при испытании зависимого (максимального расцепителя) расцепителя автоматического выключателя. На рисунке у условно принято время срабатывания в 30 секунд. От полученной точки на кривой откладываю линии параллельные образцовым для данного автомата – полученная кривая и будет являться индивидуальной для данного автоматического выключателя.

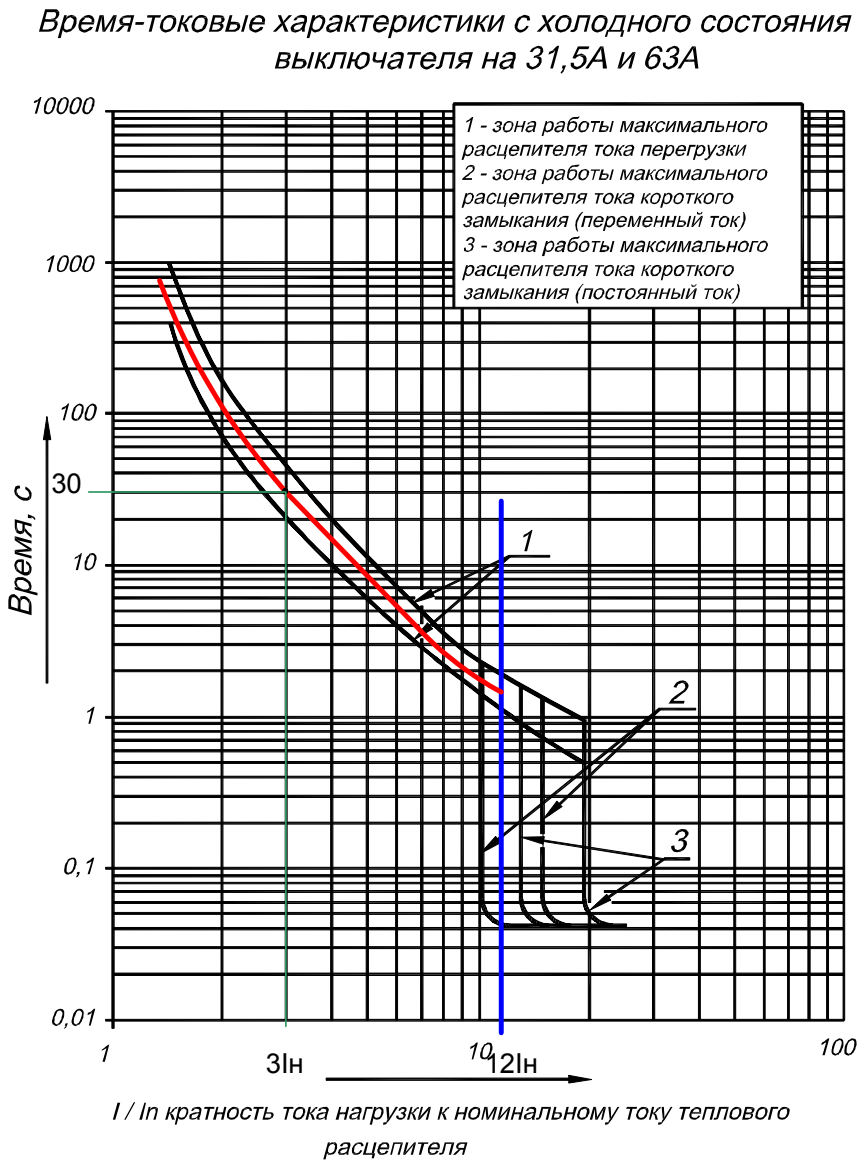



Рисунок 7. Построение индивидуальной время-токовой характеристики автоматического выключателя типа ВА 57-31 с уставкой электромагнитного расцепителя 12Iн.

## ***Меры безопасности при проведении испытаний и охрана окружающей среды.***

Пред началом работ необходимо:

- Получить наряд (разрешение) на производство работ

- Подготовить рабочее место в соответствии с характером работы: убедиться в достаточности принятых мер безопасности со стороны допускающего (при работах по наряду) либо принять все меры безопасности самостоятельно (при работах по распоряжению).
- Подготовить необходимый инструмент и приборы.
- При выполнении работ действовать в соответствии с программами (методиками) по испытанию электрооборудования типовыми или на конкретное присоединение. При проведении высоковольтных испытаний на стационарной установке действовать в соответствии с инструкцией.

Пред окончанием работ необходимо:

- Убрать рабочее место восстановив нарушенные в процессе работы коммутационные соединения (если таковое имело место).
- Сдать наряд (сообщить об окончании работ руководителю или оперативному персоналу).
- Сделать запись в рабочую для последующей работы с полученными данными.
- Оформить протокол на проведённые работы

Проводить измерения с помощью мегаомметра разрешается выполнять обученным работникам из числа электротехнической лаборатории. В электроустановках напряжением выше 1000В измерения проводятся по наряду, в электроустановках напряжением до 1000В – по распоряжению.

В тех случаях, когда измерения мегаомметром входят в содержание работ, оговаривать эти измерения в наряде или распоряжении не требуется.

Измерение сопротивления изоляции мегаомметром должно осуществляться на отключенных токоведущих частях, с которых снят заряд путём предварительного их заземления. Заземление с токоведущих частей следует снимать только после подключения мегаомметра.

При измерении мегаомметром сопротивления изоляции токоведущих частей соединительные провода следует присоединять к ним с помощью изолирующих держателей (штанг). В электроустановках напряжением выше 1000В, кроме того, следует пользоваться диэлектрическими перчатками.

При работе с мегаомметром прикасаться к токоведущим частям, к которым он присоединён, не разрешается. После окончания работы следует снять с токоведущих частей остаточный заряд путём их кратковременного заземления.

## Проведение работ с подачей повышенного напряжения от постороннего источника

К проведению испытаний электрооборудования допускается персонал, прошедший специальную подготовку и проверку знаний и требований, содержащихся в разделе 5.1 Правил Безопасности, комиссией, в состав которой включаются специалисты по испытаниям электрооборудования с соответствующей группой.

Испытания электрооборудования, в том числе и вне электроустановок, проводимые с использованием передвижной испытательной установки, должны выполняться по наряду.

Проведение испытаний в процессе работ по монтажу или ремонту оборудования должно оговариваться в строке «Поручается» наряда.

Испытания электрооборудования проводит бригада, в составе которой производитель работ должен иметь группу 1У, член бригады – группу III, а член бригады, которому поручается охрана, - группу II.

Массовые испытания материалов и изделий (средства защиты, различные изоляционные детали, масло и т.п.) с использованием стационарных испытательных установок, у которых токоведущие части закрыты сплошным или сетчатым ограждениями, а двери снабжены блокировкой, допускается выполнять работнику, имеющему группу III, единолично в порядке текущей эксплуатации с использованием типовых методик испытаний.

Рабочее место оператора испытательной установки должно быть отделено от той части установки, которая имеет напряжение выше 1000В. Дверь, ведущая в часть установки, имеющую напряжение выше 1000В, должна быть снабжена блокировкой, обеспечивающей снятие напряжения с испытательной схемы в случае открытия двери и невозможность подачи напряжения при открытых дверях. На рабочем месте оператора должна быть предусмотрена раздельная световая, извещающая о включении напряжения до и выше 1000В, и звуковая сигнализация, извещающая о подаче испытательного напряжения. При подаче испытательного напряжения оператор должен стоять на изолирующем ковре.

Передвижные испытательные установки должны быть оснащены наружной световой и звуковой сигнализацией, автоматически включающейся при наличии напряжения на выводе испытательной установки.

Допуск по нарядам, выданным на проведение испытаний и подготовительных работ к ним, должен быть выполнен только после удаления с рабочих мест других бригад, работающих на подлежащем испытанию оборудовании, и сдачи ими нарядов допускающему. В электроустановках, не имеющих местного дежурного персонала, производителю работ разрешается после удаления бригады оставить наряд у себя, оформив перерыв в работе.

При необходимости следует выставлять охрану, состоящую из членов бригады, имеющих группу Ш, для предотвращения приближения посторонних людей к испытательной установке, соединительным проводам и испытательному оборудованию. Члены бригады, несущие охрану, должны находиться вне ограждения и считать испытываемое оборудование находящимся под напряжением. Покинуть пост эти работники могут только с разрешения производителя работ.

При размещении испытательной установки и испытуемого оборудования в различных помещениях или на разных участках РУ разрешается нахождение членов бригады, имеющих группу 111, ведущих наблюдение за состоянием изоляции, отдельно от производителя работ. Эти члены бригады должны находится вне ограждений и получить перед началом испытаний необходимый инструктаж от производителя работ.

Снимать заземление, установленное при подготовке рабочего места и препятствующие проведению испытаний, а затем устанавливать их вновь разрешается только по указанию производителя работ, руководящего испытаниями, после заземления вывода высокого напряжения испытательной установки.

Разрешение на временное снятие заземлений должно быть указано в стоке «Отдельные указания» наряда.

При сборке испытательной схемы прежде всего должно быть выполнено защитное и рабочее заземление испытательной установки. Корпус передвижной испытательной установки должен быть заземлён отдельным заземляющим проводником из гибкого медного провода сечением не менее 10 мм2. Перед испытанием следует проверить надёжность заземления корпуса.

Перед присоединением испытательной установки к сети напряжением 380/220В вывод высокого напряжения её должен быть заземлён.

Сечение медного провода, применяемого в испытательных схемах заземления, должно быть не менее 4 мм2.

Присоединение испытательной установки к сети напряжением 380/220В должно выполняться через коммутационный аппарат с видимым разрывом или через штепсельную вилку, расположенную на месте управления установкой.

Коммутационный аппарат должен быть оборудован устройством, препятствующим самопроизвольному включению, или между подвижным и неподвижным контактами аппарата должна быть установлена изолирующая накладка.

Провод или кабель, используемый для питания испытательной установки от сети напряжением 380/220В, должен быть защищен установленными в этой сети предохранителями или автоматическими выключателями. Подключать к сети передвижную испытательную установку должны представители организации, эксплуатирующие эти сети.

Соединительный провод между испытательной установкой и испытуемым оборудованием сначала должен быть присоединён к её заземлённому выводу высокого напряжения.

Этот провод следует закреплять так, чтобы избежать приближения (подхлёстывания) к находящимся под напряжением токоведущим частям на расстояние менее указанного в таблице 1.

Присоединять соединительный провод к фазе, полюсу испытуемого оборудования или к жиле кабеля и отсоединять его разрешается по указанию руководителя испытаний и только после их заземления, которое должно быть выполнено включением заземляющих ножей или установкой переносных заземлений.

Перед каждой подачей испытательного напряжения производитель работ должен:

- Проверить правильность сборки схемы и надёжность рабочих и защитных заземлений;
- Проверить, все ли члены бригады и работники, назначенные для охраны, находятся на указанных им местах, удалены ли посторонние люди и можно ли подавать испытательное напряжение на оборудование;
- Предупредить бригаду о подаче напряжения словами «Подаю напряжение» и, убедившись, что предупреждение услышано всеми членами бригады, снять заземление с вывода испытательной установки и подать на нее напряжение 380/220В.

С момента снятия заземления с вывода установки вся испытательная установка, включая испытываемое оборудование и соединительные провода, должна считаться находящейся под напряжением и проводить какие – либо пересоединения в испытательной схеме и на испытываемом оборудовании не допускается.

Не допускается с момента подачи напряжения на вывод установки находиться на испытываемом оборудовании, а также прикасаться к корпусу испытательной установки, стоя на земле, входить и выходить из передвижной лаборатории, прикасаться к кузову передвижной лаборатории.

После окончания испытаний производитель работ должен снизить напряжение испытательной установки до нуля, отключить её от сети напряжением 380/220В, заземлить вывод установки и сообщить об этом бригаде словами «Напряжение снято». Только после этого допускается пересоединять провода или в случае полного окончания испытания отсоединять их от испытательной установки и снимать ограждения.

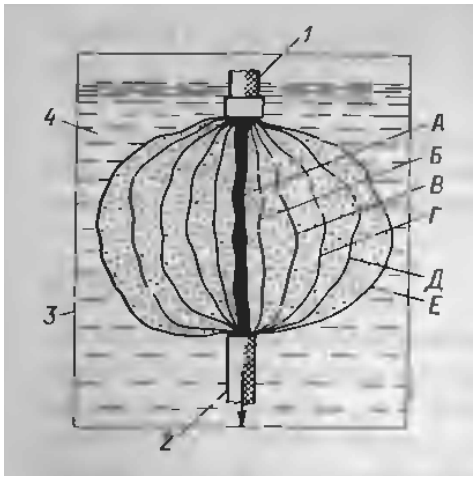
## Область применения

Рекомендации настоящей методики распространяются на проведение испытаний масляных выключателей всех напряжений, с различными видами приводов как отдельно, так и совместно с другими элементами электроустановок (с изоляторами выкатных элементов КРУ, проходными изоляторами ячеек, трансформаторами тока и т.п.).

Масляные выключатели предназначены для коммутационных операций в цепях переменного тока различного напряжения. На практике широкое распространение получили масляные выключатели на номинальное напряжение 6 – 10кВ (номинальные токи от 400 до 5600А и более, при номинальном токе отключения от 10кА и выше), 35кВ, 110 и 220кВ. В настоящее время масляные выключатели активно вытесняются вакуумными и элегазовыми выключателями.

В масляных коммутационных аппаратах гашение дуги производится в масле.

Контакты выключателя погружаются в масло. Возникающая при разрыве контакта (в момент отключения) электрическая дуга приводит к интенсивному испарению окружающего её масла с диссоциацией его паров. Вокруг дуги образуется газовая оболочка (смотри рис. 1) - газовый пузырь, состоящий в основном из водорода (70-80% газов пузыря) и мааров масла. При этом водород, обладающий наивысшими среди всех газов дугогасящими свойствами, наиболее тесно соприкасается со стволом дуги. Выделяемые с громадной скоростью газы проникают непосредственно в зону ствола дуги, вызывают перемешивание холодного и горячего газа в пузыре, создают интенсивное охлаждение и деонизацию дугового промежутка, особенно в момент прохождения тока через нуль.




1 - неподвижный контакт
2 - подвижный контакт
3 – стенка бака
4 – масло
А – ствол дуги
Б – водородная оболочка
В – зона распада
Г – зона газа
Д – зона пара
Е – зона испарения

Рисунок 1. Электрическая дуга в сфере газового пузыря в масле при простом разрыве.

Быстрое (взрывное) разложение масла приводит к повышению давления внутри пузыря, что также способствует гашению дуги. В обычных конструкциях масляных выключателей давление в газовом пузыре повышается до 0,5-1 МПа, а в выключателях с дугогасительными камерами – ещё больше.

Следует отметить, что сам процесс разложения масла с образованием газопаровой смеси связан с отбором от дуги большого количества энергии (30-35%), что также благоприятно влияет на её гашение.

Процесс гашения в масле происходит тем интенсивнее, чем ближе соприкасается дуга с маслом и чем быстрее движется масло по отношению к дуге. При простом разрыве дуги в масле дуга окружена пузырём, заполненным парами масла и газа, находящимися в относительно спокойном состоянии. Воздействие самого масла на дугу относительно мала. Воздействие масла на дугу существенно увеличивается, если дуговой разрыв отграничить каким-либо замкнутым изоляционным устройством, так называемым дуговым устройством (камерой). В дугогасительных камерах создаётся более тесное соприкосновение масла с дугой, а также интенсивное обдувание дуги потоками газов, паров масла и самим маслом, в результате чего значительно возрастает продольный градиент напряжения, ускоряется процесс деионизации, сокращается время горения дуги, уменьшается ход контактов по сравнению с простым разрывом в масле.

В случае когда дуга горит в газовом пузыре, объём которого не ограничивается стенками, средняя температура газопаровой смеси находится в пределах 800-1000 К, а в случае горения

дуги в узком, ограниченном объёме при больших токах средняя температура газопаровой смеси достигает 2000-2500 К, т.е. отвод энергии от дуги здесь значительно больший.

Дугогасительные устройства современных масляных выключателей по принципу действия могут быть разделены на три основные группы:

1.*Дугогасительные устройства с автодутьем,* в которых дутье газопаровой смеси и масла в зону гашения дуги создается за счет энергии, выделяющейся в самой дуге.

2.*Дугогасительные устройства с принудительным (импульсным) масляным дутьем,* в которых масло в зону гашения дуги (к месту разрыва) подается с помощью специальных нагнетающих гидравлических механизмов за счет по стороннего источника энергии.

3.*Дугогасительные устройства с магнитным гашением дуги в масле,* в которых ствол дуги под влиянием поперечного магнитною поля перемещается в узкие, заполненные маслом каналы и щели, образованные стенками из изоляционного материала.

Наибольшее распространение находят дугогасительные устройства первой группы, так как обеспечивают большую эффективность гашения при сравнительно несложных конструкциях.

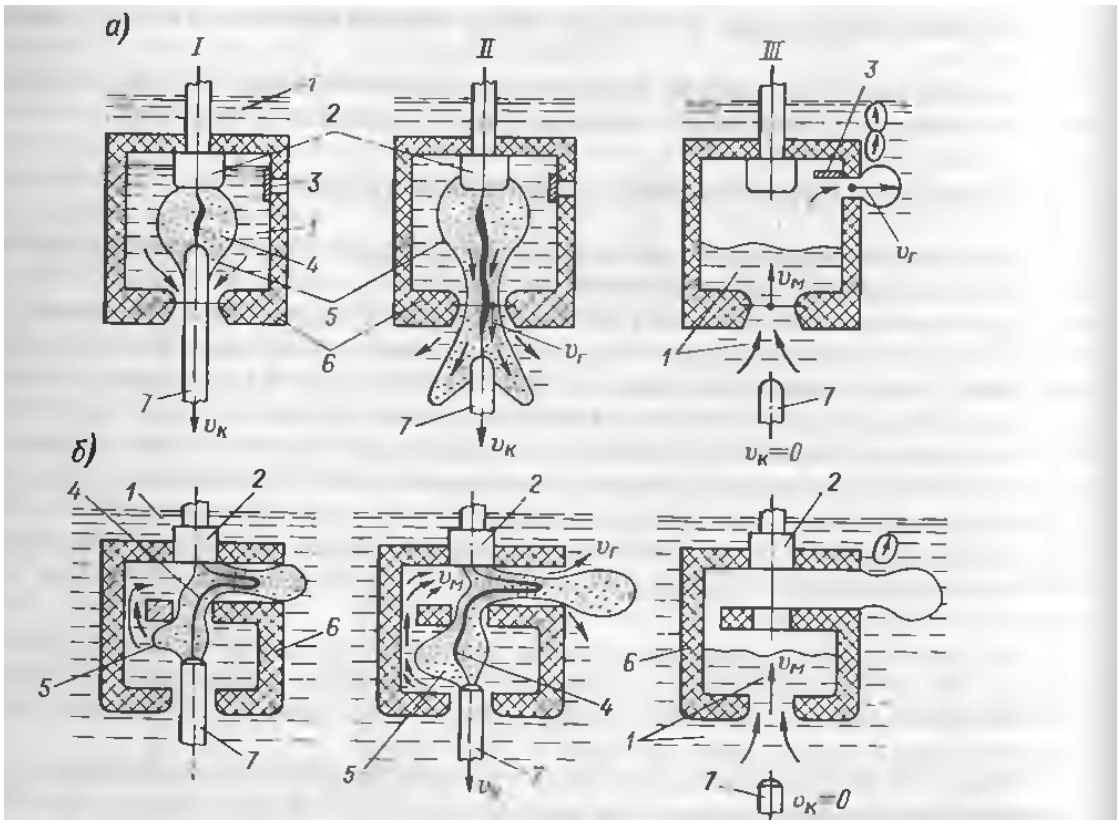



Рисунок 2. Схемы процесса гашения электрической дуги в камерах с автодутьём.
а) – камера продольного дутья; б) – камера поперечного дутья;
1 – масло; 2 - неподвижный контакт; 3 – клапан; 4 – дуга; 5 - газовый пузырь; 6 – камера; 7 - подвижный контакт.

Принципиальные схемы работы простейших дугогасительных камер с автодутьем приведены на рисунке 2. Газовый пузырь, образующийся вокруг дуги при размыкании контактов, приводит к существенному повышению давления в ограниченном объеме камеры (положение I). Масло и продукты его разложения, стремясь выйти через отверстия в камере, создают интенсивное обдувание дуги потоками газопаровой смеси и масла вдоль дуги (продольное дутье – рисунок 2 а) при выходе подвижной контакт - детали из камеры (положение II) или поперек дуги (поперечное дутье – рисунок 26) при наличии выхлопного отверстия, расположенного против места разрыва (положение II). После гашения дуги камера наполняется маслом (положение

*III).* Современные масляные выключатели снабжены более сложными камерами, в которых используются укачанные принципы в различных комбинациях с одним, двумя и большим числом разрывов.

## Объект испытания.

Объектом испытания в масляных выключателях является, прежде всего, фазная изоляция выключателей, состояние контактов выключателей, временные характеристики выключателей, и, при испытании выключателей на выкатном элементе (тележке), соосность входа выключателей на тележке с приёмными элементами ячейки КРУ, глубина входа и равномерность входа по фазам, а также состояние контактов ячейки и выключателя. Последние испытания обычно проводятся именно для выкатного элемента ячейки, а не выключателя. Для высоковольтных выключателей (на напряжение более 35кВ) добавляется скорость движения траверсы и тангенс угла диэлектрических потерь изоляции.

Рисунок 3. Выключатель ВМГ-133 стационарного исполнения (вид со стороны полюсов).

Объём испытаний масляных выключателей:

1. измерение сопротивления изоляции вторичных цепей и электромагнитов управления (К, М);
2. измерение сопротивления изоляции силовых частей выключателей (К, М);
3. испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты (К);
4. испытание изоляции вторичных цепей и электромагнитов управления (К);
5. испытание вводов (К, М)
6. оценка состояния внутрибаковой изоляции и изоляции дугогасительных устройств баковых масляных выключателей 35кВ (К);
7. проверка состояния контактов выключателя – измерение сопротивления постоянному току(К, Т, М);
8. измерение сопротивления постоянному току шунтирующих резисторов дугогасительных устройств (К, Т, М);
9. проверка временных (при необходимости и скоростных) характеристик выключателей (К);
10. измерение хода подвижных контактов с контролем одновремённости замыкания контактов и определения при необходимости вжима контактов (К, М);
11. проверка срабатывания электромагнитов управления при пониженном напряжении (К);
12. испытание выключателей многократным включением и отключением (К);
13. испытание трансформаторного масла (К, М);
14. испытание встроенных трансформаторов тока (М);
15. тепловизионный контроль (М)

Примечание: К – капитальный ремонт, испытание при вводе в эксплуатацию; Т – испытания при текущем ремонте; М – межремонтные испытания

Внешний вид масляного выключателя типа ВМГ-133 представлен на рисунке 2. Выключатель установлен в ячейку распределительного устройства. Привод выключателя электромагнитный, установлен в низковольтном отсеке – выключатель отделён от низковольтного отсека разделительной стенкой.

Масляные выключатели могут устанавливаться на выкатные элементы ячеек КРУ (рисунок 4 – выкатной элемент с масляным выключателем типа HL, производитель ABB).

Применение масляных выключателей в распределительных устройством ограничено неудобствами эксплуатации этого оборудования – контроль уровня масла, замена масла после отключения токов КЗ, низкий коммутационный ресурс и большие размеры выключателей.

Рисунок 4. Масляный выключатель на выкатном элементе.

## *Определяемые характеристики.*

### *Сопротивление изоляции.*

В процессе эксплуатации измерения проводятся:

- **на масляных выключателях 6-10кВ** – при ремонтных работах в ячейках (присоединениях), где они установлены, проверка изоляции вторичных цепей и электромагнитов управления может проводится совместно с проверкой устройств релейной защиты.
- **на масляных выключателях 35кВ и выше – при проведении** ремонтных работ на присоединении.

Сопротивление изоляции измеряется в процессе пусконаладочных работ на выключателях всех напряжений и при капитальных ремонтах.

Измеренные значения сопротивления изоляции должны быть не менее значений, приведённых в таблице 1.

*Таблица 1. Значения сопротивления изоляции масляных выключателей*

| **Класс напряжения (кВ)** | **Допустимые сопротивления изоляции (МОм) не менее** | |
|---|---|---|
| | **Основная изоляция** | **Вторичные цепи и электромагниты управления** |
| 3-10 | 1000 (300) | 1(1) |
| 15-150 | 3000 (1000) | 1(1) |
| 220 | 5000 (3000) | 1(1) |

**Сопротивление изоляции основной изоляции приведены: без скобок – при пусконаладочных работах и при капитальных ремонтах, в скобках – при измерении в межремонтный период.*

**Сопротивление изоляции вторичных обмоток приведены: без скобок – при отключённых вторичных цепях, в скобках – с подключёнными вторичными цепями.*

### *Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты.*

Испытание изоляции повышенным напряжением проводится при капитальных ремонтах выключателей. Испытание вторичных цепей и электромагнитов управления может при проверке цепей релейной защиты присоединения в объёме, соответствующем виду проверки.

Значение испытательного напряжения для вторичных цепей и электромагнитов управления должно составлять 1кВ, при условии, что данные устройства рассчитаны на напряжение не ниже 60В.

У масляных выключателей на напряжение 6-10кВ испытанию подвергаются межконтактные промежутки – так называемое испытание «на разрыв». При испытании выключателя «на разрыв» испытательное напряжение равно напряжению для испытания основной изоляции.

Выключатели на напряжение выше 35кВ испытанию повышенным напряжение промышленной частоты не подвергаются.

*Таблица 2. Значения испытательного напряжения промышленной частоты.*

| **Класс напряжения (кВ)** | **Испытательное напряжение (кВ) для масляных выключателей** | | |
|---|---|---|---|
| | **На заводе – изготовителе** | **Перед вводом в эксплуатацию и в эксплуатации** | |
| | | **Фарфоровая изоляция** | **Другие виды изоляции** |
| До 0,69 | 2,0 | 1 | 1 |
| 3 | 24,0 | 24,0 | 21,6 |
| 6 | 32,0 | 32,0 | 28,8 |
| 10 | 42,0 | 42,0 | 37,8 |
| 15 | 55,0 | 55,0 | 49,5 |
| 20 | 65,0 | 65,0 | 58,5 |
| 35 | 95,0 | 95,0 | 85,5 |

*Испытание вводов и оценка состояния внутрибаковой изоляции и изоляции дугогасительных устройств баковых масляных выключателей 35кВ..*

Испытание вводов производится в соответствии с «Методикой испытания вводов и изоляторов».

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь вводов производится при полностью собранном выключателе. Допустимые значения tg изоляции вводов приведены в таблице 3.

Таблица 3. Допустимые значения tg изоляции вводов и проходных изоляторов при температуре 20°С.

| **Вид и зона изоляции ввода** | **Предельные значения tg, %, для вводов с номинальным напряжением кВ** | | |
|---|---|---|---|
| | **35** | **110** | **220** |
| Бумажно-масляная изоляция:<br>основная изоляция и изоляция измерительного конденсатора<br>последние слои изоляции | <br>-<br>- | <br>1,5<br>3,0 | <br>1,2<br>2,0 |
| Твёрдая изоляция с масляным заполнением – основная изоляция | 1,5 | 1,5 | - |
| Бумажно-бакелитовая изоляция с мастичным заполнением - основная изоляция | 9,0 | - | - |
| Маслобарьерная изоляция вводов – основная изоляция | - | 5 | 4 |

При снижении значения тангенса вводов более чем на 5% ниже допустимого – изоляция подлежит сушке.

Измерение производится при полностью собранном выключателе.

*Измерение сопротивления постоянному току.*

Состояние силовых контактов определяют путём измерения сопротивления постоянному току полюсов выключателей. Сопротивление постоянному току каждого полюса выключателя должно быть не более нормируемого в технической документации на соответствующее оборудование.

Ориентировочные данные сопротивлений полюсов выключателей в зависимости от номинального тока выключателей указаны в таблице 4. Для некоторых типов выключателей заводом-изготовителем может нормироваться другое значение сопротивления, поэтому необходимо ориентироваться на данные паспорта именно данного выключателя.

Данные таблицы 4 приведены для одного полюса выключателя. При измерении необходимо обращать внимание на отсутствие дополнительных токоведущих элементов в цепи - например токоведущих шин, подключенных к полюсам выключателя. При наличии дополнительных элементов необходимо вносить поправки в измеренные данные.

Таблица 4. Значения сопротивлений постоянному току токоведущего контура контактной системы масляных и электромагнитных выключателей

| Тип выключателя | Номинальный ток, А | Сопротивление контактов, мкОм, не более |
|---|---|---|
| ВПМ-10 | 630 | 78 |
| | 1000 | 72 |
| МГ-10, МГ-20 | 5000 | 300* |
| | 6000 | Нет данных |
| МГГ-10 | 3150 | 18; 240* |
| | 4000 | 14; 240* |
| | 5000 | 12; 240* |
| ВМ-14, ВМ-16 | 200 | 350 |
| | 600 | 150 |
| | 1000, 1250 | 100 |
| ВМ-22, ВМ-23 | 600 | 150 |
| | 1000, 1500 | 100 |
| ВМГ-133 | 600 | 100 |
| | 1000 | 75 |
| ВМГ-10 | 630 | 75 |
| | 1000 | 70 |
| ВПМП-10 | 630 | 78 |
| | 1000 | 72 |
| ВМПЭ-10 | 630 | 50 |
| | 1000 | 40 |
| | 1600 | 30 |
| ВМПП-10 | 630 | 55 |
| | 1000 | 45 |
| | 1600 | 32 |
| ВМП-10, ВМП-10П | 600 | 55 |
| | 1000 | 40 |
| | 1500 | 30 |
| ВММ-10 | 630 | 85 |
| ВК-10, ВКЭ-10 | 630 | 50/45** |
| | 1000 | 45/40** |
| | 1600 | 25 |
| ВЭ-10, ВЭС-6 | 1600 | 30 |
| | 2000-2500 | 20 |
| | 3200-3600 | 15 |
| С-35 | 630 | 310 |
| | 3200 | 60 |
| МКП-35 | 1000 | 250 |
| ВТ-35, ВТД-35 | 630 | 550 |
| МКП-110Б | 630 | 1300 |
| | 1000 | 800 |
| У-110-2000-40 | 2000 | 800 |
| У-110-2000-50 | 2000 | 365 |
| У-220-1000/2000-25 | 2000 | 600 |
| У-220-2000-40 | 2000 | 450 |
| ВМТ-110 | - | 115/85*** |
| ВМТ-220 | - | 115/85*** |

| Тип выключателя | Номинальный ток, А | Сопротивление контактов, мкОм, не более |
|---|---|---|
| ММО-110 | 1250 | 180 |
| ВМПЭ-10 | 3150 | 10 |
| ВММ-10 | 400 | 55 |
| МКП-220 | 600 | 1200 |
| МКП-274 | 600 | 800 |
| МКП-110М | 630 | 800 |
| МКП-110-5 | 1000 | 800 |
| ВКЭ-М-10 | 1600 | 25 |

* Сопротивление дугогасительных контактов.
** В числителе указаны данные для выключателей на номинальный ток отключения 20 кА, в знаменателе - на 31,5 кА.
*** В числителе указано сопротивление дугогасительного устройства для выключателей на номинальный ток отключения 25 кА, в знаменателе - на 40 кА.

Измеренные сопротивления шунтирующих резисторов и электромагнитов управления должны соответствовать заводствким данным на данный вид оборудования.

*Проверка временных и скоростных характеристик выключателей.*

Проверка временных характеристик масляных выключателей производится при номинальном напряжении оперативного тока. Временные параметры включения и отключения выключателей должны соответствовать паспортным данным на конкретный тип выключателей и данным приведённым в таблице 5.

Таблица 5. Скоростные и временные характеристики масляных электромагнитных выключателей

| Тип выключателя | Скорость движения контактов, м/с | | Собственное время, с, не более | |
|---|---|---|---|---|
| | при включении/ отключении | максимальная, не более | включения | отключения |
| ВПМ-10 | 2,3±0,3/2,4±0,3 | 2,6/3,9 | 0,3 | 0,12 |
| МГ-10 | 2,2±0,2/1,8±0,3 | -/2,4 | 0,75 | 0,135 |
| МГ-20 | 2,0±0,3/1,8±0,3 | -/2,3 | 0,8 | 0,155 |
| МГГ-10-45УЗ | 2,3±0,3/2,5±0,2 | 2,6/3,6 | 0,4 | 0,12 |
| МГГ-10-5000-63УЗ | 3,0±0,3/2,5±0,2 | 3,6/3,6 | 0,4 | 0,11 |
| ВМ-14, ВМ-16 | 1,65/1,22 | 1,8/1,24 | 0,24 | 0,12 |
| ВМ-22 | 1,6/1,5 | - | 0,24 | 0,15 |
| ВМ-23 | 1,8/1,75 | - | 0,28 | 0,15 |
| ВМГ-133 | 2,4÷3/1,75÷2 | 3,2/3,2 | 0,23 | 0,1 |
| ВМГ-10 | 2,0÷2,6/2,1÷2,7 | 2,6/3,9 | 0,3 | 0,12 |
| ВПМП-10 | 2,4÷2,8/2,2±0,3 | 3,2/3,2 | 0,3 | 0,12 |
| ВМПЭ-10-630 (1000, 1600) | 4,7+0,3/3,0+0,3 | 5,7/5,0 | 0,3 | 0,07 |
| ВМПЭ-10-3150 | 4+0,4/3,1+0,3 | 5,7/4,5 | 0,3 | 0,09 |
| ВМП-10 | 4,5±0,5/3,4±0,4 | 5,0/5,0 | 0,3 | 0,1 |
| ВМП-10П | 4,5±0,4/3,5±0,3 | 6,0/5,0 | 0,2 | 0,1 |
| ВММ-10 | -/2,3+0,2 | - | 0,2 | 0,1 |
| ВМПП-10-20 | 4,2+0,4/2,5+0,2 | - | 0,2 | 0,1 |
| ВМПП-10-31,5 | 4,5+0,4/2,8+0,2 | - | 0,2 | 0,1 |
| ВК-10-20-630 (1000) | 3,5+0,3/2,5±0,2 | - | 0,075 | 0,05 |
| ВК-10-20-1600 | 3,2±0,3/2,3±0,2 | - | 0,075 | 0,05 |
| ВК-10-31,5-630 (1000) | 4,2+0,4/2,5±0,2 | - | 0,075 | 0,05 |
| ВК-10-31,5-1600 | 4,0+0,4/2,3±0,2 | - | 0,075 | 0,05 |

| Тип выключателя | Скорость движения контактов, м/с | | Собственное время, с, не более | |
|---|---|---|---|---|
| | **при включении/ отключении** | **максимальная, не более** | **включения** | **отключения** |
| ВЭ-10-1250 (1600)-20 | 5,2+0,5/3,5+0,4 | - | 0,075 | 0,06 |
| ВЭ-10-2500 (3600)-20 | 4,8+0,5/3,0+0,3 | - | 0,075 | 0,06 |
| ВЭ-10-1250 (1600)-31,5 | 6,5+0,6/3,5+0,4 | - | 0,075 | 0,06 |
| ВЭ-10-2500 (3600)-31,5 | 5,8+0,6/3,0+0,3 | - | 0,075 | 0,06 |
| ВЭ(С)-6 | 5,8+0,6/3,0+0,3 | - | 0,075 | 0,06 |
| ВКЭ-10-20-630 (1000) | 4,0+0,4/2,5±0,2 | - | 0,3 | 0,07 |
| ВКЭ-10-20-1600 | 3,8+0,4/2,3±0,2 | - | 0,3 | 0,07 |
| ВКЭ-10-31,5-630 (1000) | 4,0+0,4/2,5±0,2 | - | 0,3 | 0,07 |
| ВКЭ-10-31,5-1600 | 3,8+0,4/2,3±0,2 | - | 0,3 | 0,07 |
| С-35-630 с приводом ШПЭ-12 | 2,7±0,3/1,0±0,2 | 3,0-0,3/1,6±0,2 | 0,34 | 0,05 |
| С-35-630 с приводом ПП-67 | 2,7±0,3/1±0,2 | 3,0-0,3/1,6±0,2 | 0,4 | 0,12 |
| С-35-3200-50 с приводом ШПЭ-38 | 2,3+0,2/1,5+0,2 | 3,2-0,3/2,4-0,2 | 0,64 | 0,055 |
| МКП-35 | 1,7+0,2/1,6+0,2 | 3,2-0,3/3,6-0,2 | 0,4 | 0,05 |
| ВТ-35 | 1,8±0,3/1,1±0,2 | 2,1±0,3/2,7±0,2 | 0,35 | 0,12 |
| ВТД-35 | 2,2±0,3/1,1±0,2 | 2,5±0,2/3,1±0,3 | 0,35 | 0,12 |
| МКП-110 | 1,7+0,2/1,3+0,2 | 3,8-0,4/2,9-0,3 | 0,6 | 0,05 |
| У-110-2000-40 | 1,7+0,2/1,3+0,2 | 3,3-0,4/3,7-0,4 | 0,3 (ШПВ) | - |
| | | | 0,7 (ШПЭ) | 0,06 |
| У-110-2000-50 | 1,7+0,2/2,1+0,3 | 3,5-0,4/3,9-0,4 | 0,3 (ШПВ) | - |
| | | | 0,7 (ШПЭ) | 0,05 |
| У-220-1000/2000-25 | 1,9+0,2/1,3+0,2 | 4,6-0,4/3,8-0,4 | 0,8 | 0,05 |
| У-220-2000-40 | 1,3+0,2/2,0+0,3 | 4,3-0,4/3,6-0,4 | 0,75 | 0,045 |
| ВМТ-110, ВМТ-220 (25 кА) | 2,7÷3,3/2,3÷2,9 | - | 0,13 | 0,035 |
| ВМТ-110, ВМТ-220 (40 кА) | 2,7÷3,3/2,3÷2,9 | - | 0,13 | 0,03 |
| ММО-110 | 6,0±0,2/5,3±0,2 | - | 0,15 | 0,05 |
| ВМГ-133 с приводом ПС-10 | - | - | 0,25 | 0,1 |
| ВМГ-133 с приводом ППМ-10 | - | - | 0,2÷0,3 | 0,1 |
| ВМГ-133 с приводом ПВ-10 | 2,0/3,0 | 3,0/3,2 | 0,16 | 0,1 |
| ВМГ-133 с приводом ПЭ-11 | 3,2/3,8 | 5,0/5,0 | 0,3 | 0,12 |
| ВМП-10 с пружинным приводом | 4,5/3,8 | 5,0/5,0 | 0,2 | 0,1 |
| МКП-35 с приводом ШПС-30 | 1,5÷2,1/1,5÷1,7 | 2,0÷2,5/2,8÷3,5 | 0,43 | 0,05 |
| МКП-35 с приводом ШПЭ-2 | 1,7÷2,5/2,0±0,3 | 2,9/3,7 | 0,43 | 0,05 |
| МКП-110-5 с приводом ШПЭ-37 | 2,1±0,3/1,6±0,3 | 3,7±0,4/3,3±0,4 | 0,75÷0,85 | 0,06 |
| МКП-110-5 с приводом | 2,2±0,3/1,4±0,2 | 3,0÷3,3/3,2±0,4 | 0,4÷0,5 | 0,055 |

| Тип выключателя | Скорость движения контактов, м/с | | Собственное время, с, не более | |
|---|---|---|---|---|
| | **при включении/ отключении** | **максимальная, не более** | **включения** | **отключения** |
| ШПЭ-44 | | | | |
| МКП-110М с приводом ШПЭ-31 | 2,0±0,3/1,5±0,2 | 3,2±0,4/2,7±0,4 | 0,05÷0,06 | 0,05 |
| МКП-110М с приводом ШПЭ-33 | 2,3±0,3/1,5±0,2 | 3,3±0,4/3,7±0,4 | 0,6 | 0,05 |
| МКП-220 | 2,7÷3,0/1,5±0,2 | 4,0±0,4/3,2±0,4 | 0,6÷0,7 | 0,03 |

Скоростные характеристики определяются с помощью вибрографов на выключателях на номинальное напряжение 35кВ и выше. Аналогичные измерения могут проводится и на выключателях 6-10кВ.

*Проверка регулировочных характеристик выключателей (измерение хода подвижных контактов, определение вжима контактов и одновремённости замыкания фаз).*

Проверка производится в объёме, определённом в заводской инструкции на данный тип выключателя. При отсутствии заводских данных ориентироваться следует на данные таблицы 6. В любом случае заводские данные предпочтительнее.

Таблица 6. Нормы на ход подвижных частей выключателей

| **Тип выключателя** | **Ход подвижных частей, мм** | **Ход в контактах (вжим), мм** | Разновременность замыкания и размыкания контактов, мм, не более |
|---|---|---|---|
| ВПМ-10 | 210±5 | 45±5 | 5 |
| МГ-10 | 425±15 | 90±2 | 5 |
| МГ-20 | 475÷500 | 90±2 | 5 |
| МГГ-10-3150 (4000, 5000)-45 | 295±5 | 90÷95 | 4 |
| | | (18±2) | 4 |
| МГГ-10-5000-63 | 290±5 | 90÷95 | 6 (4) |
| | | (22±4) | |
| ВМ-14 | - | - | 4 |
| ВМ-16 | 133±3 | 50±5 | 5 |
| ВМ-22, ВМ-23 | 200±5 | 40±5 | 6 |
| ВМГ-133 | 250±5 | 40±5 | 2 |
| ВМГ-10 | 210±5 | 45±5 | 5 |
| ВПМП-10 | 210±5 | 45±5 | 5 |
| ВМПЭ-10-630 (1000, 1600) | 204±3 | 55±4 | 5 |
| ВМПЭ-10-3150 | 235±5 | 77±6 | 7 |
| ВМП-10, ВМП-10П | 240÷245 | 59±4 | 5 |
| ВММ-10 | 180 | 35±3 | 5 |
| ВМПП-10 | 207±4 | 59±4 | 5 |
| ВК-10, ВКЭ-10 | 158±2 | 29÷32 | 3 |
| ВЭ-10, ВЭ(С)-6 | - | 26÷31 | - |
| | | (7,5÷9) | 1 |
| С-35-630-10 | 228±6 | 10±1 | 1 |
| С-35-3200-50 | 280±5 | 20±1 | 1 |
| МКП-35 | 260-275 | 15±1 | 2 |
| ВТ-35, ВТД-35 | 230±10 | 8÷13 | 2 |
| МКП-110 | 465±10 | 8±1 | 2 |

| **Тип выключателя** | **Ход подвижных частей, мм** | **Ход в контактах (вжим), мм** | Разновременность замыкания и размыкания контактов, мм, не более |
|---|---|---|---|
| У-110-2000-40 | 465±10 | 10±1 | 2 |
| У-110-2000-50 | 485±15 | 20±1 | 2 |
| У-220-1000/2000-25 | 795±10 | 7÷10 | 2 |
| У-220-2000-40 | 730±10 | 20±1 | 2 |
| ВМТ-110, ВМТ-220 | 492±3 | 57÷60 | - |
| ММО-110 | $420^{+10}_{-5}$ | 80±5 | 5 |
| МКП-35 с приводом ШПС-30 | $280_{-10}$ | | |
| МКП-110М с приводом ШПЭ-33 | $500_{-20}$ | 7÷10 | 1 |
| МКП-110М с приводом ШПЭ-31 | $510^{+5}_{-10}$ | 7÷10 | 1 |
| МКП-110-5 с приводом ШПЭ-44 | 500±10 | 7÷10 | 1 |
| МКП-220 | $800^{+5}_{-10}$ | 7÷10 | 1 |
| МКП-274 | 1160±25 | 16±2 | 2 |

Примечание. В скобках указаны нормы для главных контактов.

*Проверка срабатывания привода при пониженном напряжении.*

Электромагниты управления должны срабатывать при напряжении:

- включения - $0,85U_{ном}$ при переменном токе и $0,8U_{ном}$ при постоянном токе.
- отключения - $0,7U_{ном}$ при постоянном токе и $0,65U_{ном}$ при переменном токе.

*Проверка выключателей многократным включением и отключением.*

Данное испытание проводится при номинальном напряжение на выводах электромагнитов управления. Число циклов включения-отключения для масляных выключателей равно 3-5.

*Испытание трансформаторного масла из баков выключателя.*

Масло из баков маломасляных выключателей на напряжение до 35кВ после выполнения ими предельного числа отключений токов КЗ заменяется свежим без проведения испытаний. На практике число отключений токов КЗ для выключателей типа ВМГ-133 и им подобных устанавливается в пределах 7-8.

У баковых масляных выключателей на напряжение 110кВ и выше масло испытывается также после выполнения ими предельно допустимого числа коммутаций токов КЗ или нагрузки. Количество отключений токов КЗ для выключателей такого типа устанавливается в соответствии с требованиями заводских инструкций.

*Испытание встроенных трансформаторов тока.*

Испытание проводится в соответствии с соответствующей методикой. Полярность трансформаторов тока выключателя определяется при включенном положении выключателя.

## Условия испытаний и измерений

Испытание производят при температуре окружающей среды не ниже $+10^0$С.

Влажность окружающего воздуха имеет значение при проведении высоковольтных испытаний, т.к. конденсат на изоляторах может привести к пробою изоляции и, соответственно, к выходу из строя оборудования (как испытательного, так и испытуемого).

Атмосферное давление особого влияние на качество проводимых испытаний не оказывает, но фиксируется для занесения данных в протокол.

## Средства измерений.

Измерение сопротивления изоляции производят мегаомметрами на напряжение 2500В.

Измерение сопротивления постоянному току полюсов выключателей производится мостами постоянного тока (например Р 333), которые позволяют произвести замеры с точностью до 0,001 Ом, микроомметрами типа Ф4104-М1. При отсутствии данных приборов возможно использовать метод амперметра – вольтметра с источником постоянного тока, который может обеспечить достаточный ток для проведения данных испытаний. Аналогичные приборы используются для проверки характеристик контактов выкатного элемента и ячейки.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты производят с помощью различных установок, которые состоят из следующих элементов: испытательного трансформатора, регулирующего устройства, контрольно-измерительной и защитной аппаратуры. К таким аппаратам можно отнести установку АИИ – 70, АИД – 70, а также различные высоковольтные испытательные трансформаторы, которые обладают достаточным уровнем защиты и надлежащим уровнем подготовлены для проведения испытаний.

Для проверки соосности входа контактов используют специальные приспособления, поставляемые в комплекте с КРУ. Эти приспособления имеют вид металлического прута с разметкой. По делениям можно ориентировочно определить глубину входа подвижных контактов в неподвижные.

*Все приборы должны быть поверены, а испытательные установки аттестованы в соответствующих государственных органах (ЦСМ).*

## Порядок проведения испытаний и измерений.

### *Измерение сопротивления изоляции.*

Измерение сопротивления силовых частей выключателей производится по схеме, представленной на рисунке 5.

Измерение производится пофазно, при этом две свободные фазы заземляются. Выключатель включается, на все фазы выключателя устанавливается заземление. Мегаомметр подключается к одной из фаз, заземление с этой фазы снимается и производится измерение.

Значение сопротивления изоляции фиксируется через 60 секунд.

Аналогичным образом производится измерение сопротивления изоляции стационарно установленных выключателей.

Сопротивление изоляции вторичных цепей выключателя и электромагнитов управления может проверяться как в отдельности (на полностью выведенном выключателе с отсоединёнными вторичными цепями), так и в собранном виде, например, совместно с проверкой устройств релейной защиты и цепей сигнализации.

Причём для выключателей стационарного исполнения второй вариант предпочтительней. В то время как для выключателей на выкатных элементах (тележках КРУ) проще измерять сопротивление изоляции на полностью выкаченном и отсоединённым от всех цепей выключателе.

Измерение сопротивления изоляции на отключенном выключателе (на разрыв) не производится.

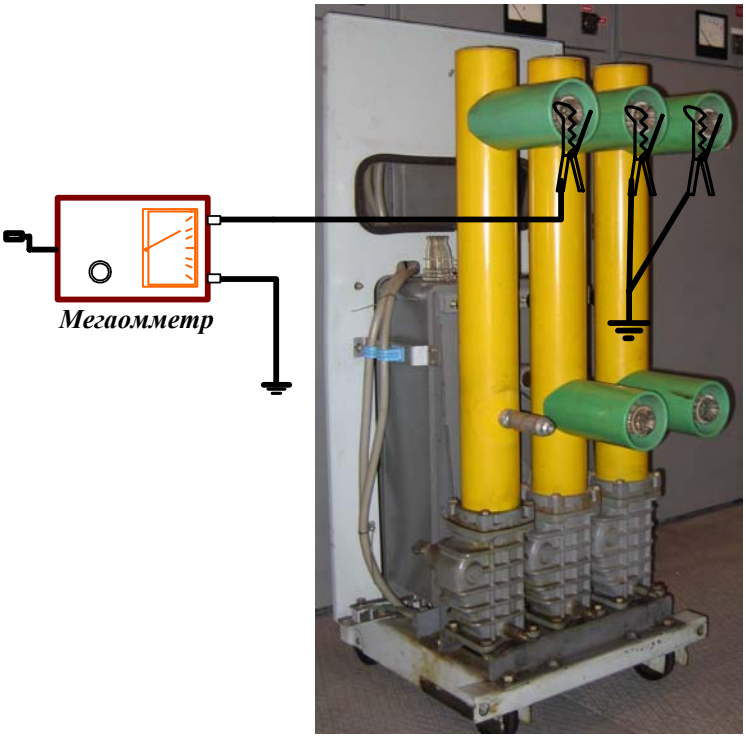



Рисунок 5. Измерение сопротивления основной изоляции масляного выключателя на выкатном элементе.

*Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты.*

Испытание производится в два этапа – сначала производится пофазное испытание основной изоляции выключателя, затем производится испытание выключателя «на разрыв».

Для проведения испытания основной изоляции выключатель, также как и в опыте измерения сопротивления изоляции, включается, все фазы заземляются.

Подготавливается испытательная установка, подключается к испытательному объекту. Снимается установленное ранее заземление. Производится плавное поднятие напряжения до необходимого уровня (напряжение поднимается скачком до 1/3 необходимой величины, затем увеличение производится плавно со скоростью 1-2кВ в секунду вплоть до необходимого уровня испытательного напряжения), напряжение выдерживается в течение 1 минуты, и, затем, плавно понижается до нуля. На испытанную фазу выключателя устанавливается заземление, испытательная установка отсоединяется и подключается к следующей фазе.

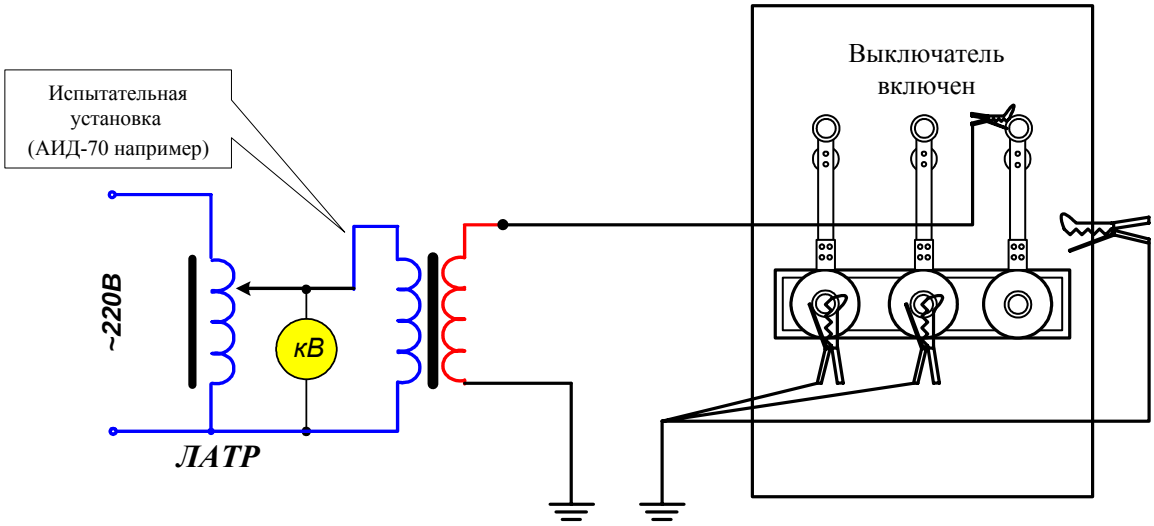



Рисунок 6. Испытание изоляции силовых частей выключателя на выкатном элементе повышенным напряжением промышленной частоты.

На рисунке 6 показана схема проведения для проведения испытания основной изоляции масляного выключателя на выкатном элементе напряжением промышленной частоты.

Для проведения испытания выключателя «на разрыв» собирается аналогичная схема, только в этом случае выключатель отключён, фаза объединены, с одной стороны установлено заземление, а на другую сторону выключателя подаётся испытательное напряжение.

Смысл испытания выключателя «на разрыв» - проверка изоляционных свойств масла в баке. Если с маслом всё нормально – испытание пройдёт успешно.

Продолжительность испытания и в том и в другом случае – 1 минута.

### *Проверка состояния контактов выключателя (измерение сопротивления постоянному току силовых контактов) и измерение сопротивления электромагнитов управления.*

Проверка сводится к измерению сопротивления основных контактов выключателя с помощью микроомметров или мостов постоянного тока. Места замеров на выключателях показаны на рисунке 7. Измерение производится непосредственно на полюсе – измеряется сопротивление контактов самого выключателя.

Измеренное сопротивление сравнивается с нормируемыми значениями и на результатах сравнения оценивается состояние контактной системы выключателя.

Измерение можно произвести с помощью моста постоянного тока. Измерение производится аналогичным образом, главное – необходимо обеспечить надёжный контакт с измеряемой цепью. Для оценки состояния контактов выкатного элемента производится измерение полного полюса. Измерение производится аналогичным образом, как и при измерении полюса выключателя, но в данном случае необходимо измерить сопротивление как можно ближе к розеточным группам выкатного элемента. Значение сопротивления полного полюса выкатного элемента не должно превышать значение сопротивления полюса выключателя более чем на 50 мкОм.

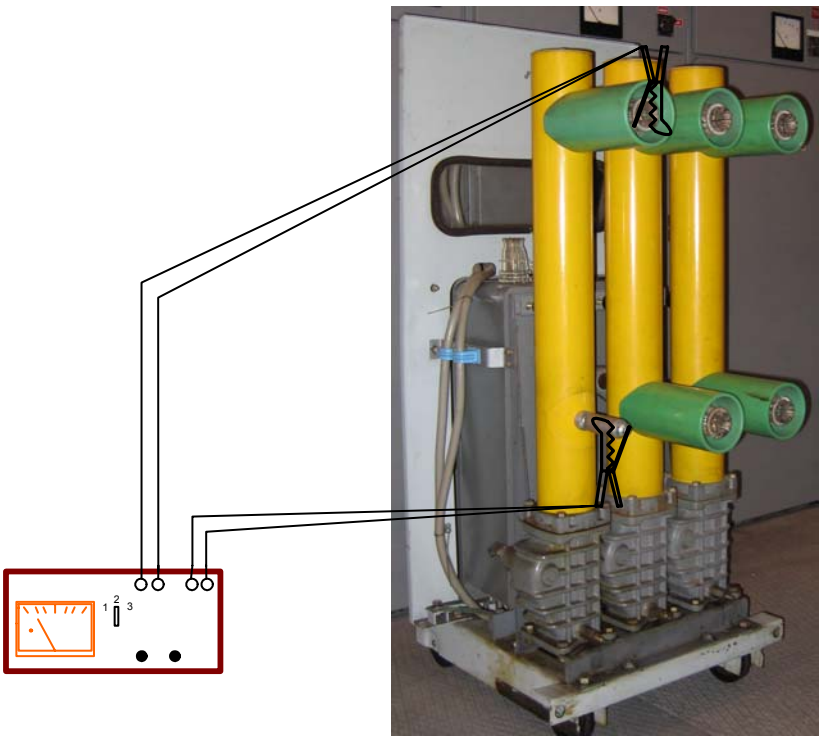



Рисунок 7. Измерение сопротивления основных контактов выключателей.

Измерение сопротивления электромагнитов (соленоидов включения и отключения) выключателя производят с помощью моста постоянного тока полностью выделив измеряемую часть из схемы управления. Измерение актуально для электромагнитных приводов (на постоянном токе) и менее актуально (но проводится всё равно) для пружинных и иных конструкций приводов выключателей.

В первом случае для постоянного тока значение сопротивления в дальнейшем используется для проверки работы выключателя при пониженном напряжении (для расчёта гасящих резисторов – смотри ниже и для проверки отсутствия замкнутых витков). Во втором случае измерение проводится для определения работоспособности катушки.

*Проверка временных и регулировочных характеристик выключателей.*

Данная проверка производится при номинальном напряжении оперативного тока.

Используя секундомер, который подключают на силовые контакты выключателя, засекают время включения выключателя после подачи сигнала от ключа. При этом ключ должен одновременно подать сигнал на пуск секундомера и на включения выключателя.

Схема не приводится, так как всё зависит от используемого оборудования.

Проверка регулировочных характеристик выключателей (полного хода, вжима) производится на выключателях типа ВМГ-133 и им подобных с открытым расположением подвижного контакта – свечи. Проверка производится в соответствии с рисунком 8.

Предварительно на каждый полюс выключателя подключается лампа накаливания (или любого другого типа, к примеру светодиодные индикаторы и т.п.), при этом горшки выключателя объединяются. На лампы через полюса выключателя подаётся напряжение (обычно 12В для безопасности), таким образом, чтобы в момент замыкания контактов лампы загорелись.

В отключенном состоянии выключателя на свече (подвижном контакте) в месте входа в горшок производится отметка – обычной отвёрткой проводится линия на рисунке 8 – 1. С помощью привода вручную начинается операция включения выключателя (на пружинном приводе необходимо для этого разгрузить пружину). В момент зажигания лампы (соприкосновение свечи с розеточным контактом) на свече снова проводится линия – на рисунке 8 – 2. Далее выключатель включается до фиксации и выполняется третья линия на свече – на рисунке 8 – 3.

1). Подвижный полюс выключателя в отключенном состоянии
2). Подвижный полюс в момент соприкосновения с розеточным контактом
3). Выключатель во включенном положении
4). Подвижный полюс выключателя в отключенном состоянии с отметками хода

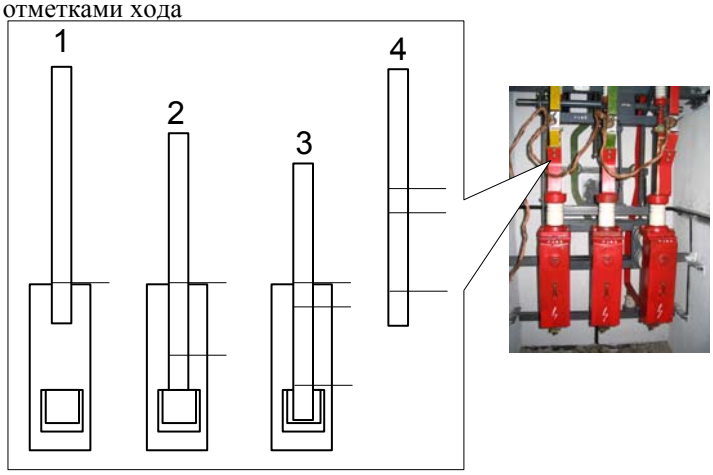



Рисунок 8. Проверка регулировок контактов выключателя.

Выключатель отключается и линейкой измеряется расстояние между линиями. Полный ход контакта – расстояние между крайними линиями. Вжим – между верхней и средней.

При проведении регулировочных испытаний одновременно можно провести испытаний на одновременность замыкания различных фаз выключателя. Для этого при включении индикатора на первой фазе (точнее при включении первого из индикаторов или лампочки на любой из фаз) на свече этого полюса ставят отметку – как уже было описано выше. Продолжают плавно включать выключатель до включения индикатора на другой или других фазах – в момент включения индикаторов на той фазе где индикатор включился первым на свече ставят ещё одну дополнительную отметку. Если включение двух других фаз произошло не одновременно, то такие же дополнительные отметки ставят и на той фазе, на которой включение индикатора произошло вторым. После полного включения и отключения выключателя измеряют расстояние между этими дополнительными отметками – это и будет разновремённость замыкания контактов выключателя в мм.

Все вышеперечисленные испытания возможны на выключателях с наружным ходом свечи (подвижным контактом). На выключателях бакового исполнения корпус бака опускается (масло подсливается до уровня, необходимого для дальнейшего опускания бака, или сливается совсем). Дальнейшие испытания аналогичны вышеописанным – выключатель по немного вклю-

чается вручную, при этом с помощью измерительного инструмента измеряется ход контактов и разновремённость их включения.

### *Проверка срабатывания привода при пониженном напряжении*

Проверка проводится на масляных выключателях оснащённых электромагнитным приводом. Данная проверка производится с выключателями оснащёнными пружинными приводами при условии взведённого положения пружины привода.

Принцип проверки основан на проверке возможности включения и отключения выключателя при пониженном напряжении оперативного тока. Проверка производится в следующем порядке:

1. Производится оценка потребляемой мощности электромагнита по параметрам измеренного сопротивления катушки;
2. В соответствии с потребляемой мощностью подбирается автотрансформатор (ЛАТР) для регулирования напряжения и выпрямительное устройство, при наличии мощного электромагнита включения (например на приводах типа ПС-10 и ПЭ-11, не говоря уже и приводах мощных выключателей типа МКП) подбирается дополнительное сопротивление или так называемый гасящий резистор. При включении добавочного сопротивления в цепь выключателя и подаче сигнала на включение напряжение на соленоиде включения должно быть не более допустимого;
3. Собирается схема в соответствии с рисунком 9 и производится пробное включение (отключение) выключателя.

С помощью ЛАТРа напряжение снижается до уровня $0{,}85U_{ном}$ для электромагнитов включения на переменном токе и $0{,}8U_{ном}$ для электромагнитов включения на постоянном токе. Для электромагнитов отключение напряжение соответственно должно быть $0{,}65U_{ном}$ и $0{,}7U_{ном}$.

При включении выключателя напряжение на зажимах ЭМУ снизится до требуемой величины за счёт падения напряжения в схеме испытательной установки. Электромагнит отключения гораздо меньше электромагнита включения, поэтому при отключении выключателя напряжение установки сразу устанавливают на нормируемом уровне.

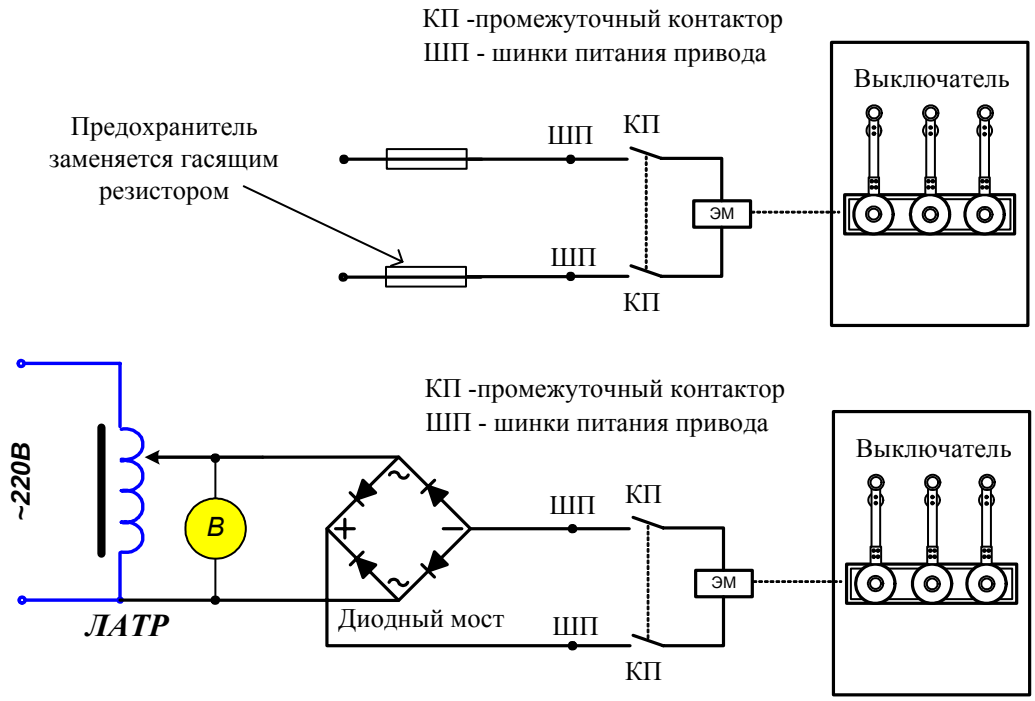



Рисунок 9. Проверка работы ЭМУ при пониженном напряжении.

Испытательная установка подключается к зажимам питания ШП (шинок питания электромагнитов управления, если таковые выполнены отдельно), или непосредственно на контакты промежуточного реле управления электромагнитом включения выключателя. При этом необходимо проверить, что штатное питание с этих зажимов отключено.

Для электромагнита отключения необходимо выделить цепь из общей схемы РЗА для включения испытательной схемы.

При наличии в схеме оперативного тока аккумуляторной батареи данное испытание можно произвести без применения ЛАТРа и выпрямительного блока. Для этого питание испытательной схемы подают от соответствующего количества аккумуляторов батареи.

*Проверка соосности контактов выкатного элемента и ячейки и характеристик этих контактов (сопротивления).*

Эта проверка производится только в том случае, если есть возможность открыть доступ к контактам при вкаченной ячейке. Такая возможность есть на ячейках К-104, К-304.

## ***Обработка данных, полученных при испытаниях.***

Первичные записи рабочей тетради должны содержать следующие данные:

- дату измерений.
- температуру, влажность и давление
- температуру изоляции измерительных трансформаторов
- наименование, тип, заводской номер трансформатора
- номинальные данные объекта испытаний
- результаты испытаний
- результаты внешнего осмотра
- используемую схему

Все данные испытаний сравниваются с требованиями НТД и на основании сравнения выдаётся заключение о пригодности электродвигателя к эксплуатации.

## ***Меры безопасности при проведении испытаний и охрана окружающей среды.***

Перед началом работ необходимо:

- Получить наряд (разрешение) на производство работ
- Подготовить рабочее место в соответствии с характером работы: убедиться в достаточности принятых мер безопасности со стороны допускающего (при работах по наряду) либо принять все меры безопасности самостоятельно (при работах по распоряжению).
- Подготовить необходимый инструмент и приборы.
- При выполнении работ действовать в соответствии с программами (методиками)по испытанию электрооборудования типовыми или на конкретное присоединение. При проведении высоковольтных испытаний на стационарной установке действовать в соответствии с инструкцией.

При окончании работ следует:

- При окончании работ на электрооборудовании убрать рабочее место восстановив нарушенные в процессе работы коммутационные соединения (если таковое имело место).
- Сдать наряд (сообщить об окончании работ руководителю или оперативному персоналу).
- Сделать запись в кабельный журнал о проведённых испытаниях (при испытании кабеля), либо сделать запись в черновик для последующей работы с полученными данными.
- Оформить протокол на проведённые работы

Проводить измерения с помощью мегаомметра разрешается выполнять обученным работникам из числа электротехнической лаборатории. В электроустановках напряжением выше 1000В измерения проводятся по наряду, в электроустановках напряжением до 1000В – по распоряжению.

В тех случаях, когда измерения мегаомметром входят в содержание работ, оговаривать эти измерения в наряде или распоряжении не требуется.

Измерять сопротивление изоляции мегаомметром может работник, имеющий группу III.

Измерение сопротивления изоляции мегаомметром должно осуществляться на отключенных токоведущих частях, с которых снят заряд путём предварительного их заземления. Заземление с токоведущих частей следует снимать только после подключения мегаомметра.

При измерении мегаомметром сопротивления изоляции токоведущих частей соединительные провода следует присоединять к ним с помощью изолирующих держателей (штанг). В

электроустановках напряжением выше 1000В, кроме того, следует пользоваться диэлектрическими перчатками.

При работе с мегаомметром прикасаться к токоведущим частям, к которым он присоединён, не разрешается. После окончания работы следует снять с токоведущих частей остаточный заряд путём их кратковременного заземления.

## Проведение работ с подачей повышенного напряжения от постороннего источника при испытании.

К проведению испытаний электрооборудования допускается персонал, прошедший специальную подготовку и проверку знаний и требований, содержащихся в разделе 5.1 Правил Безопасности, комиссией, в состав которой включаются специалисты по испытаниям электрооборудования с соответствующей группой.

Испытания электрооборудования, в том числе и вне электроустановок, проводимые с использованием передвижной испытательной установки, должны выполняться по наряду.

Проведение испытаний в процессе работ по монтажу или ремонту оборудования должно оговариваться в строке «Поручается» наряда.

Испытания электрооборудования проводит бригада, в составе которой производитель работ должен иметь группу 1V, член бригады – группу III, а член бригады, которому поручается охрана, - группу II.

Массовые испытания материалов и изделий (средства защиты, различные изоляционные детали, масло и т.п.) с использованием стационарных испытательных установок, у которых токоведущие части закрыты сплошным или сетчатым ограждениями, а двери снабжены блокировкой, допускается выполнять работнику, имеющему группу III, единолично в порядке текущей эксплуатации с использованием типовых методик испытаний.

Рабочее место оператора испытательной установки должно быть отделено от той части установки, которая имеет напряжение выше 1000В. Дверь, ведущая в часть установки, имеющую напряжение выше 1000В, должна быть снабжена блокировкой, обеспечивающей снятие напряжения с испытательной схемы в случае открытия двери и невозможность подачи напряжения при открытых дверях. На рабочем месте оператора должна быть предусмотрена раздельная световая, извещающая о включении напряжения до и выше 1000В, и звуковая сигнализация, извещающая о подаче испытательного напряжения. При подаче испытательного напряжения оператор должен стоять на изолирующем ковре.

Передвижные испытательные установки должны быть оснащены наружной световой и звуковой сигнализацией, автоматически включающейся при наличии напряжения на выводе испытательной установки.

Допуск по нарядам, выданным на проведение испытаний и подготовительных работ к ним, должен быть выполнен только после удаления с рабочих мест других бригад, работающих на подлежащем испытанию оборудовании, и сдачи ими нарядов допускающему. В электроустановках, не имеющих местного дежурного персонала, производителю работ разрешается после удаления бригады оставить наряд у себя, оформив перерыв в работе.

При необходимости следует выставлять охрану, состоящую из членов бригады, имеющих группу Ш, для предотвращения приближения посторонних людей к испытательной установке, соединительным проводам и испытательному оборудованию. Члены бригады, несущие охрану, должны находиться вне ограждения и считать испытываемое оборудование находящимся под напряжением. Покинуть пост эти работники могут только с разрешения производителя работ.

При размещении испытательной установки и испытуемого оборудования в различных помещениях или на разных участках РУ разрешается нахождение членов бригады, имеющих группу III, ведущих наблюдение за состоянием изоляции, отдельно от производителя работ. Эти члены бригады должны находится вне ограждений и получить перед началом испытаний необходимый инструктаж от производителя работ.

Снимать заземление, установленное при подготовке рабочего места и препятствующие проведению испытаний, а затем устанавливать их вновь разрешается только по указанию производителя работ, руководящего испытаниями, после заземления вывода высокого напряжения испытательной установки.

Разрешение на временное снятие заземлений должно быть указано в стоке «Отдельные указания» наряда.

При сборке испытательной схемы прежде всего должно быть выполнено защитное и рабочее заземление испытательной установки. Корпус передвижной испытательной установки должен быть заземлён отдельным заземляющим проводником из гибкого медного провода сечением не менее 10 мм$^2$. Перед испытанием следует проверить надёжность заземления корпуса.

Перед присоединением испытательной установки к сети напряжением 380/220В вывод высокого напряжения её должен быть заземлён.

Сечение медного провода, применяемого в испытательных схемах заземления, должно быть не менее 4 мм$^2$.

Присоединение испытательной установки к сети напряжением 380/220В должно выполняться через коммутационный аппарат с видимым разрывом или через штепсельную вилку, расположенную на месте управления установкой.

Коммутационный аппарат должен быть оборудован устройством, препятствующим самопроизвольному включению, или между подвижным и неподвижным контактами аппарата должна быть установлена изолирующая накладка.

Провод или кабель, используемый для питания испытательной установки от сети напряжением 380/220В, должен быть защищен установленными в этой сети предохранителями или автоматическими выключателями. Подключать к сети передвижную испытательную установку должны представители организации, эксплуатирующие эти сети.

Соединительный провод между испытательной установкой и испытуемым оборудованием сначала должен быть присоединён к её заземлённому выводу высокого напряжения.

Этот провод следует закреплять так, чтобы избежать приближения (подхлёстывания) к находящимся под напряжением токоведущим частям на расстояние менее указанного в таблице 1.

Присоединять соединительный провод к фазе, полюсу испытуемого оборудования или к жиле кабеля и отсоединять его разрешается по указанию руководителя испытаний и только после их заземления, которое должно быть выполнено включением заземляющих ножей или установкой переносных заземлений.

Перед каждой подачей испытательного напряжения производитель работ должен:

- Проверить правильность сборки схемы и надёжность рабочих и защитных заземлений;
- Проверить, все ли члены бригады и работники, назначенные для охраны, находятся на указанных им местах, удалены ли посторонние люди и можно ли подавать испытательное напряжение на оборудование;
- Предупредить бригаду о подаче напряжения словами «Подаю напряжение» и, убедившись, что предупреждение услышано всеми членами бригады, снять заземление с вывода испытательной установки и подать на нее напряжение 380/220В.

С момента снятия заземления с вывода установки вся испытательная установка, включая испытываемое оборудование и соединительные провода, должна считаться находящейся под напряжением и проводить какие – либо пересоединения в испытательной схеме и на испытываемом оборудовании не допускается.

Не допускается с момента подачи напряжения на вывод установки находиться на испытываемом оборудовании, а также прикасаться к корпусу испытательной установки, стоя на земле, входить и выходить из передвижной лаборатории, прикасаться к кузову передвижной лаборатории.

После окончания испытаний производитель работ должен снизить напряжение испытательной установки до нуля, отключить её от сети напряжением 380/220В, заземлить вывод ус-

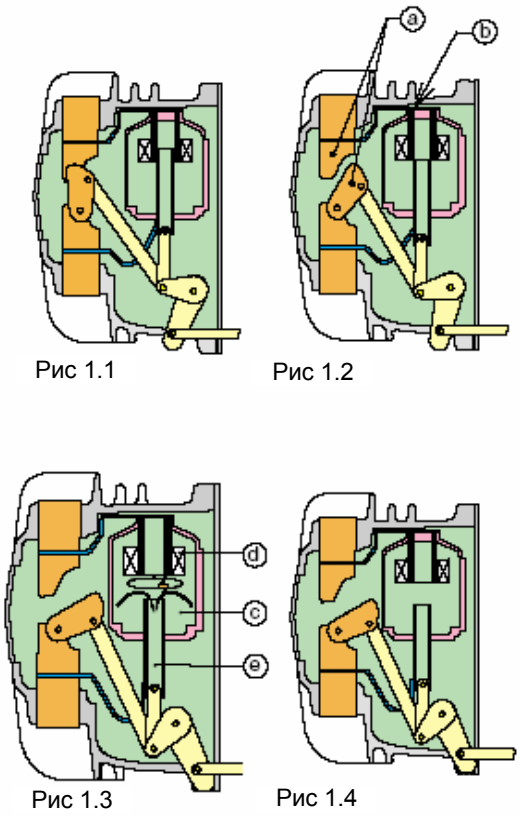
тановки и сообщить об этом бригаде словами «Напряжение снято». Только после этого допускается пересоединять провода или в случае полного окончания испытания отсоединять их от испытательной установки и снимать ограждения.

## Область применения

Рекомендации настоящей методики распространяются на проведение испытаний элегазовых выключателей всех напряжений, с различными видами приводов как отдельно, так и совместно с другими элементами электроустановок (с изоляторами выкатных элементов КРУ, проходными изоляторами ячеек и пунктов секционирования).

Элегазовые выключатели предназначены для частых коммутационных операций в цепях переменного тока различного напряжения. На практике широкое распространение получили элегазовые выключатели на номинальное напряжение 6 – 10кВ (номинальные токи 630, 1000, 1250, 2500 и 3100А, при номинальном токе отключения до 25кА и более), а также элегазовые выключатели на номинальное напряжение 35 и 110 - 220кВ (номинальные токи 2500А при номинальном токе отключения до 40кА и более в зависимости от конструкции выключателя).

В элегазовых выключателях основные и дугогасительные контакты силовой цепи находятся в среде элегаза. Подробнее о том, что такое элегаз будет сказано ниже. Принципиальное отличие элегазовых выключателей от выключателей других типов – гашение дуги в среде элегаза. Принцип гашения дуги в элегазовых выключателях рассмотрим на примере выключателей типа LF фирмы Merlin Gerin. На рисунке 1 подробно представлен цикл отключения нагрузки с помощью этого выключателя.




**Метод гашения дуги в выключателе LF-1**

В выключателе LF применён принцип вращения дуги в элегазовой среде и метод автокомпрессии, что в комплексе позволяет создать наилучшие условия для гашения дуги.
Это обеспечивает сокращение мощности привода выключателя, снижение износа дугогасительных контактов и, таким образом, повышает механический износ и электрический ресурс.
Основные этапы гашения дуги:
**Выключатель включен - рисунок 1.1**
**Основные контакты разомкнуты - рисунок 1.2** (размыкание основных контактов (a), ток проходит через дугогасительные контакты (b).
**Гашение дуги - рисунок 1.3** (размыкание дугогасительных контактов, при расхождении контактов в дугогасительной камере происходит загорание дуги; воздействие магнитного поля, создаваемого катушкой (d), вызывает закручивание дуги и её охлаждение; избыточное давление в расширительном объёме (c), обусловленное повышением температуры, вызывает охлаждение дуги потоком элегаза, направленным из зоны с высоким давлением в зону с более низким давлением, что приводит к удлинению дуги и её затягиванию в полость цилиндрического дугогасительного контакта (e); при прохождении тока через минимум (нулевое значение по кривой) дуга гарантировано гаснет.)
**Выключатель выключен - рисунок 1.4**

Рис. 1. Гашение дуги в выключателях типа LF.

Гашение дуги производится потоком элегаза, который создаётся за счёт перепада давления от тепловой энергии дуги и за счёт конструкции поршневого привода. Поршневой тип конструкции дугогасительных устройств выключателя позволяет произвести эффективное гашение дуги, причём чем выше отключаемый ток, тем больше энергия дуги и, соответственно, выше давление в дугогасительной камере – соответственно происходит более быстрое гашение дуги.

Аналогичным образом работают дугогасительные устройства других элегазовых выключателей, принцип построение дугогасительного устройства по поршневому типу применяется и

в выключателях на номинальное напряжение 110 – 220кВ и в выключателях на номинальное напряжение 6 – 10кВ.

Основными достоинствами элегазовых выключателей можно считать:

1. высокую износостойкость при коммутации номинальных токов и номинальных токов отключения. Срок службы современных элегазовых выключателей без проведения ремонта составляет от 10 до 20 лет (в этом промежутке проводятся только профилактические испытания и инструментальный контроль). Коммутационная способность элегазовых выключателей типа LF ограничивается суммарным отключенным током короткого замыкания в 30000кА;
2. резкое снижение эксплуатационных затрат по сравнению с маломасляными выключателями. Обслуживание элегазовых выключателей сводится к смазке механизма и привода, проверке износа контактов по меткам или путём замеров 1 раз в 5 лет или через 5 – 10 тысяч циклов;
3. полную взрыво- и пожаробезопасность и возможность работы в агрессивных средах (ограничение только по материалам, применяемым в конструкции привода).
4. широкий диапазон температур окружающей среды, в которой возможна работа элегазового выключателя (выключатели специального исполнения могут работать при температурах ниже 50$^{o}$С без устройств подогрева);
5. чистота, удобство обслуживания, обусловленные отсутствием выброса масла, газов при отключении токов КЗ;
6. отсутствие загрязнения окружающей среды;
7. быстрое гашение дуги в элегазе;
8. высокую химическую стабильность элегаза.

Недостатки элегазовых выключателей определить практически невозможно, единственное отрицательное свойство – возможность отравления людей обслуживающего персонала) самим элегазом, при условии попадания в лёгкие достаточного количества этого газа. Хотя сам по себе элегаз инертен, но его отравляющее действие связано с тем, что попадая в лёгкие он заполняет их и не вытесняется воздухом (масса элегаза больше массы воздуха). Данное опасение на современном этапе развития элегазовых выключателей не актуально, поскольку количество газа в единице оборудования очень мало.

Практическое применение элегаз получил в конце пятидесятых годов в США, затем в Европе и Японии. Применение элегаза распространяется на КРУ (КРУЭ – комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией), где он может применяться в качестве основной изоляции (в отличии от наиболее распространённых КРУ, где основной элемент изоляции воздух), что значительно повышает эксплуатационные характеристики оборудования, увеличивает безопасность обслуживания (токоведущие части находятся в металлическом корпусе заполненном элегазом, соответственно отсутствует возможность прикосновения и поражения персонала электрическим током).

## ***Объект испытания.***

Объектом испытания в элегазовых выключателях является, прежде всего, фазная изоляция выключателей, состояние самих камер (испытание на разрыв), состояние контактов выключателей как основных, так и дугогасительных, временные характеристики выключателей, и, при испытании выключателей на выкатном элементе (тележке), соосность входа выключателей на тележке с приёмными элементами ячейки КРУ, глубина входа и равномерность входа по фазам, а также состояние контактов ячейки и выключателя. Последние испытания обычно проводятся именно для выкатного элемента ячейки, а не для элегазового выключателя.

Объём испытаний элегазовых выключателей:

1. измерение сопротивления изоляции вторичных цепей и электромагнитов управления (К);
2. измерение сопротивления изоляции силовых частей выключателей (К);

3. испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты (К, Т);
4. испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты вторичных цепей и электромагнитов управления (К);
5. проверка минимального напряжения срабатывания электромагнитов управления (К);
6. проверка состояния контактов выключателя (измерение сопротивления главной цепи) (К, М);
7. измерение сопротивления обмоток электромагнитов управления и добавочных сопротивлений в их цепи (при наличии) (К, Т);
8. контроль наличия утечек элегаза (К, Т);
9. испытание конденсаторов делителей напряжения (при наличии) (К);
10. проверка содержания влаги в элегазе (К);
11. проверка временных (при необходимости и скоростных) характеристик выключателей (К);
12. испытание встроенных трансформаторов тока (при наличии) (К, Т);
13. тепловизионный контроль (М).

Объём испытаний выключателей совместно с выкатным элементом КРУ:

1. измерение сопротивления изоляции вторичных цепей и электромагнитов управления (К);
2. измерение сопротивления изоляции силовых частей выключателей (К);
3. испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты (К, Т);
4. испытание изоляции вторичных цепей и электромагнитов управления (К);
5. проверка минимального напряжения срабатывания электромагнитов управления (К);
6. проверка состояния контактов выключателя (измерение сопротивления главной цепи) (К, М);
7. измерение сопротивления обмоток электромагнитов управления и добавочных сопротивлений в их цепи (при наличии) (К, Т);
8. контроль наличия утечек элегаза (К, Т);
9. испытание конденсаторов делителей напряжения (при наличии) (К);
10. проверка содержания влаги в элегазе (К);
11. проверка временных (при необходимости и скоростных) характеристик выключателей (К);
12. испытание встроенных трансформаторов тока (при наличии) (К, Т);
13. тепловизионный контроль (М);
14. проверка соосности контактов выключателя и контактов ячейки (К);
15. проверка характеристик контактов выкатного элемента и ячейки при вкатывании (К).

Примечание: К – капитальный ремонт, испытание при приёмке в эксплуатацию; М – межремонтные испытания

Рис. 2. Элегазовый выключатель ВГТ-110II-40/2500 (110кВ).

Внешний вид элегазового выключателя типа ВГТ представлен на рисунке 2 (расположение выключателя рядом с трансформаторами тока 110кВ на ОРУ-110кВ). Выключатель состоит из трёх колонн, установленных на единую раму и механически связанных друг с другом. Привод выключателя пружинный ППрК-1800, включение производится за счёт энергии включающих пружин, а отключение – за счёт отключающего устройства выключателя.

Элегазовые выключатели на номинальное напряжение 6-10кВ имеют другую конструкцию. Обычно все три полюса таких выключателей заключаются в общий корпус для облегчения контроля давления элегаза, тем более, что электрическая прочность современных материалов при таком напряжении позволяет максимально приблизить полюса разноимённых фаз выключателя друг к другу. На рисунке 3 представлен внешний вид выключателя LF-1 фирмы Merlin Gerin. Выключатель установлен на выкатном устройстве (тележке) и оборудован пружинным приводом. Включение выключателя производится с помощью основных пружин привода, а отключение – за счёт энергии сжатой пружины отключения. Взвод пружины включения может осуществляться как вручную, так и от специального электродвигателя через редуктор.

Три полюса выключателя LF объединены в едином корпусе, внутри которого под давлением находится элегаз. Элегаз (шестифтористая сера, химическая формула $SF_6$) – обладает высокими изоляционными и дугогасящими свойствами. Благодаря этим свойствам элегаза размеры выключателя можно значительно минимизировать.

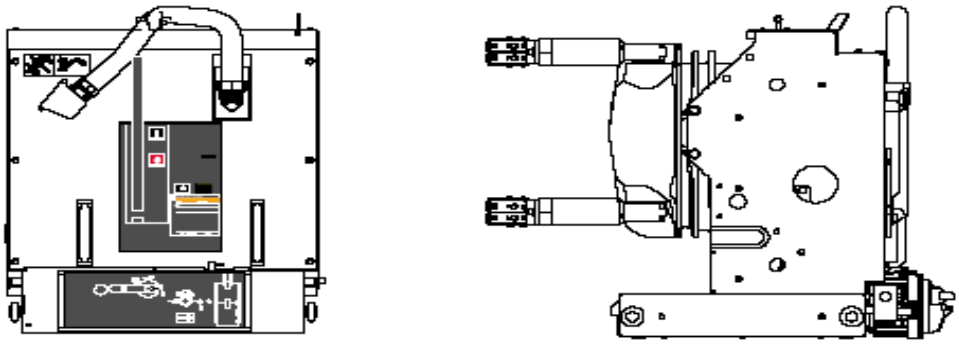


Рис. 3. Элегазовый выключатель LF-1 на номинальный ток 1250А.

## *Определяемые характеристики.*

### *Сопротивление изоляции.*

В процессе эксплуатации измерения проводятся:

- **на элегазовых выключателях 6-10кВ** – при ремонтных работах в ячейках (присоединениях), где они установлены, проверка изоляции вторичных цепей и электромагнитов управления может проводится совместно с проверкой устройств релейной защиты.

Измеренные значения сопротивления изоляции должны быть не менее значений, приведённых в таблице 1.

Таблица 1. Значения сопротивления изоляции вакуумных выключателей

| Класс напряжения (кВ) | Допустимые сопротивления изоляции (МОм) не менее | |
|---|---|---|
| | Основная изоляция | Вторичные цепи и электромагниты управления |
| 3-10 | 300 | 1(1) |
| 15-150 | 1000 | 1(1) |
| 220 | 3000 | 1(1) |

**Сопротивление изоляции вторичных обмоток приведены: без скобок – при отключённых вторичных цепях, в скобках – с подключёнными вторичными цепями.*

### *Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты.*

Испытание изоляции повышенным напряжением проводится перед вводом выключателей в эксплуатацию и в дальнейшем через пять лет эксплуатации. Испытание вторичных цепей и электромагнитов управления может проводиться совместно с силовыми цепями выключателей, или при проверке цепей релейной защиты присоединения в объёме, соответствующем виду проверки.

Таблица 2. Значения испытательного напряжения промышленной частоты.

| Класс напряжения (кВ) | Испытательное напряжение (кВ) для элегазовых выключателей | |
|---|---|---|
| | Перед вводом в эксплуатацию и в эксплуатации | |
| | фарфоровая изоляция* | другие виды изоляции* |
| До 0,69 | 1 | 1 |
| 3 | 24,0 | 21,6 |
| 6 | 32,0 | 28,8 |
| 10 | 42,0 | 37,8 |
| 15 | 55,0 | 49,5 |
| 20 | 65,0 | 58,5 |
| 35 | 95,0 | 85,5 |

Элегазовые выключатели на номинальное напряжение 110кВ и более испытанию повышенным напряжением промышленной частоты не подвергаются.

Значение испытательного напряжения для вторичных цепей и электромагнитов управления должно составлять 1кВ, при условии, что данные устройства рассчитаны на напряжение не ниже 60В.

При испытании выключателя «на разрыв» испытательное напряжение равно напряжению для испытания основной изоляции.

*Проверка минимального напряжения срабатывания электромагнитов управления.*

Проверка минимального напряжения срабатывания электромагнитов управления производится перед вводом в эксплуатацию выключателя, а также при капитальном ремонте (через 10 лет эксплуатации). Срок капитального ремонта выключателя необходимо устанавливать на основании рекомендаций завода-изготовителя.

Электромагниты управления должны срабатывать при напряжении:

- включения – $0{,}7U_{ном}$ (при питании привода от сети постоянного тока) и $0{,}6\ U_{ном}$ (при питании привода от переменного тока)
- отключения – $0{,}7U_{ном}$ (при питании привода от сети постоянного тока) и $0{,}6\ U_{ном}$ (при питании привода от переменного тока)

Испытание проводится при взведённой включающей пружине привода (если привод выключателя пружинный). Напряжение на электромагниты подаётся толчком.

*Проверка состояния контактов выключателей.*

Проверка состояния контактов выключателей производится перед вводом в эксплуатацию и в дальнейшем через пять лет эксплуатации и при капитальном ремонте выключателя. Срок капитального ремонта выключателя необходимо устанавливать на основании рекомендаций завода-изготовителя.

Состояние контактов определяют путём измерения сопротивления постоянному току полюсов выключателей, внешнему осмотру контакты не подвергаются – элегазовый выключатель разбирать запрещается. Сопротивление постоянному току каждого полюса выключателя должно быть не более нормируемого в технической документации на соответствующее оборудование.

Ориентировочные данные сопротивлений полюсов выключателей в зависимости от номинального тока выключателей указаны в таблице 3. Для некоторых типов выключателей заводом-изготовителем может нормироваться другое значение сопротивления, поэтому необходимо ориентироваться на данные паспорта именно данного выключателя.

Измерение производится как можно ближе к контактам самого выключателя. Данное условие позволяет оценить состояние именно контактов выключателя, исключая при измерении контактные соединения например, розеточных групп выкатного элемента, или контактные соединения измерительных трансформаторов тока и ошиновки распределительных устройств

(при установке выключателей непосредственно в рассечку шин).

Если производится испытание элегазового выключателя, установленного на выкатном элементе, можно произвести измерение сопротивления всего полюса выключателя и контактов розеточных групп. В этом случае измерение производится сначала самого выключателя, а затем полное сопротивление всего полюса одной фазы выкатного элемента. Значение полного сопротивления полюса выкатного элемента нормируется в технической документации непосредственно на конкретный вид оборудования.

Таблица 3. Сопротивление полюса выключателя в зависимости от номинального тока.

| Номинальный ток выключателя (А) | Сопротивление полюса (мкОм) |
|---|---|
| 630 | 60 |
| 1000 | 50 |
| 1250 | 50 |
| 2500 | 40 |
| 3100, | 30 |

*Контроль наличия утечек элегаза.*

В настоящее время все элегазовые выключатели оснащаются устройствами контроля давления элегаза внутри камеры. Эти устройства могут различаться по конструкции и соответственно могут обеспечивать либо визуальное отображение давления (манометры), либо обеспечивают контроль давления с выводом сигнала (датчики давления). И в том и в другом случае контроль наличия утечки элегаза проводится по показаниям (или по отсутствию сигнала с датчика) контрольных приборов выключателя.

Контроль давления элегаза по показаниям контрольно-измерительных приборов должен проводиться постоянно. Если эти устройства оборудованы контактами сигнализации, то эти контакты должны быть включены в общую систему сигнализации распределительного устройства.

*Проверка временных характеристик выключателей.*

Проверка временных характеристик выключателей производится перед вводом в эксплуатацию и в дальнейшем через пять лет эксплуатации, а также при капитальном ремонте выключателя. Срок капитального ремонта выключателя необходимо устанавливать на основании рекомендаций завода-изготовителя.

Проверка временных характеристик элегазовых выключателей производится при номинальном напряжении оперативного тока. Временные параметры включения и отключения выключателей должны соответствовать паспортным данным на конкретный тип выключателей.

Ориентировочно время включения элегазового выключателя колеблется в пределах 0,05 – 0,08 секунд, время отключения – в пределах 0,05 – 0,07 секунд.

*Испытание конденсаторов делителей напряжения.*

Испытание конденсаторов делителей напряжения проводится при вводе в эксплуатацию выключателей и при их капитальном ремонте.

При наличии данных устройств в выключателе необходимо произвести замер ёмкости конденсатора. Значение ёмкости должно соответствовать паспортным значениям. Испытание производится перед вводом в эксплуатацию и при капитальном ремонте выключателя.

*Проверка соосности контактов выключателя и контактов ячейки.*

Данный вид испытаний проводится при вводе в эксплуатацию распределительного устройства с элегазовыми выключателями, и в дальнейшем по мере необходимости – если есть подозрение в нарушении соосности или износе направляющих ячейки.

Соосность определяется после вкатывания тележки выкатного элемента на штатное место в ячейку. Проверка производится с помощью специальных инструментов и приспособлений, одновременно определяется глубина входа подвижных контактов на неподвижные и равномерность этой этого входа по отношению к соседним фазам выключателя.

*Проверка характеристик контактов выкатного элемента и ячейки.*

Данный вид проверки производится для определения состояния контактных соединений в ячейке КРУ. Этот вид проверки позволяет удостоверится в надёжности и качестве контактного соединения между выкатным элементом и неподвижными контактами ячейки КРУ. Применение данного вида замеров целесообразно наряду с определением соосности контактов и глубины их соприкосновения.

Значение сопротивлений контактов постоянному току элементов КРУ приведены в таблице 4.

Таблица 4. Допустимые значения сопротивлений постоянному току элементов КРУ.

| Измеряемый элемент | Номинальный ток контактов (А) | Сопротивление (мкОм) |
|---|---|---|
| Втычные контакты первичной цепи | 400 | 75 |
| | 630 | 60 |
| | 1000 | 50 |
| | 1600 | 40 |
| | 2000 и более | 33 |

Эти измерения проводятся только в том случае, если позволяет конструкция распределительного устройства (можно добраться до контактов ячейки при вкаченном положении выключателя).

## Условия испытаний и измерений

Испытание производят при температуре окружающей среды не ниже $+10^0$С.

Влажность окружающего воздуха имеет значение при проведении высоковольтных испытаний обмоток, т.к. конденсат на изоляторах может привести к пробою изоляции и, соответственно, к выходу из строя оборудования (как испытательного, так и испытуемого).

Атмосферное давление особого влияние на качество проводимых испытаний не оказывает, но фиксируется для занесения данных в протокол.

## Средства измерений.

Измерение сопротивления изоляции производят мегаомметрами на напряжение 2500В.

Измерение сопротивления постоянному току полюсов выключателей производится мостами постоянного тока (например Р 333), которые позволяют произвести замеры с точностью до 0,001 Ом, микроомметрами типа Ф4104-М1. При отсутствии данных приборов возможно использовать метод амперметра – вольтметра с источником постоянного тока, который может обеспечить достаточный ток для проведения данных испытаний. Аналогичные приборы используются для проверки характеристик контактов выкатного элемента и ячейки.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты производят с помощью различных установок, которые состоят из следующих элементов: испытательного трансформатора, регулирующего устройства, контрольно-измерительной и защитной аппаратуры. К таким аппаратам можно отнести установку АИИ – 70, АИД – 70, а также различные высоковольтные испытательные трансформаторы, которые обладают достаточным уровнем защиты и надлежащим уровнем подготовлены для проведения испытаний.

Для проверки соосности входа контактов используют специальные приспособления, поставляемые в комплекте с КРУ (такими приспособлениями комплектуются ячейки К-104, К-304 и им подобные). Эти приспособления имеют вид металлического прута с разметкой. По делениям можно ориентировочно определить глубину входа подвижных контактов в неподвижные.

*Все приборы должны быть поверены, а испытательные установки аттестованы в соответствующих государственных органах (ЦСМ).*

## Порядок проведения испытаний и измерений.

### *Измерение сопротивления изоляции.*

Измерение сопротивления силовых частей выключателей производится по схеме, представленной на рисунке 4.

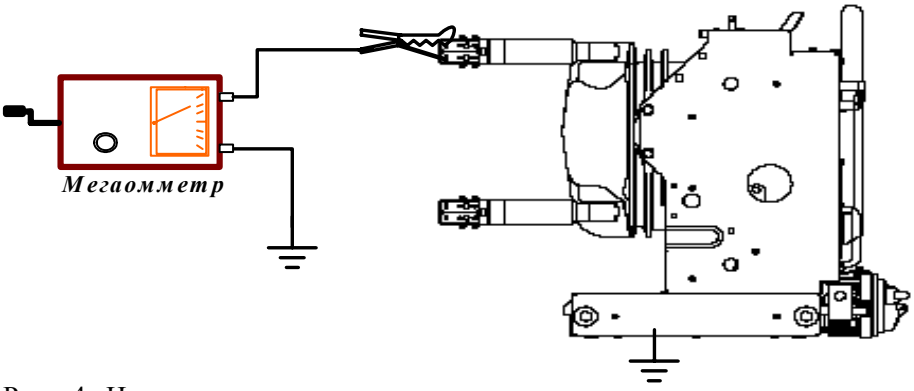



Рис. 4. Измерение сопротивления изяции элегазового выключателя на выкатном элементе.

Измерение производится относительно земли (заземлённого корпуса выключателя, выкатного элемента) и двух других заземленных фазах.

Выключатель включается, все фазы заземляются, к одной фазе выключателя подключается мегаомметр. Заземление с этой фазы выключателя снимается, производится измерение сопротивления изоляции. Затем заземление восстанавливается, мегаомметр переключается на другую фазу выключателя. Производятся аналогичные операции для всех фаз последовательно. Всё время проведения измерений выключатель остаётся включенным.

Сопротивление изоляции электромагнитов управления производят в зависимости от внутренней схемы привода выключателя. Измерение производится относительно земли на одном из полюсов электромагнитов (электромагнита), при этом целостность катушки проверяется отдельно путём измерения сопротивления омметром (или другим способом).

### *Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты.*

Испытание производится в два этапа – сначала производится пофазное испытание основной изоляции выключателя, затем производится испытание выключателя «на разрыв».

Для проведения испытания основной изоляции выключатель, также как и в опыте измерения сопротивления изоляции, включается, все фазы заземляются.

Подготавливается испытательная установка, подключается к испытательному объекту. Снимается установленное ранее заземление. Производится плавное поднятие напряжения до необходимого уровня (напряжение поднимается скачком до 1/3 необходимой величины, затем увеличение производится плавно со скоростью 1-2кВ в секунду вплоть до необходимого уровня испытательного напряжения), напряжение выдерживается в течение 1 минуты, и, затем, плавно

понижается до нуля. На испытанную фазу выключателя устанавливается заземление, испытательная установка отсоединяется и подключается к следующей фазе.

На рисунке 5 показана схема проведения для проведения испытания напряжением промышленной частоты основной изоляции элегазового выключателя на выкатном элементе.

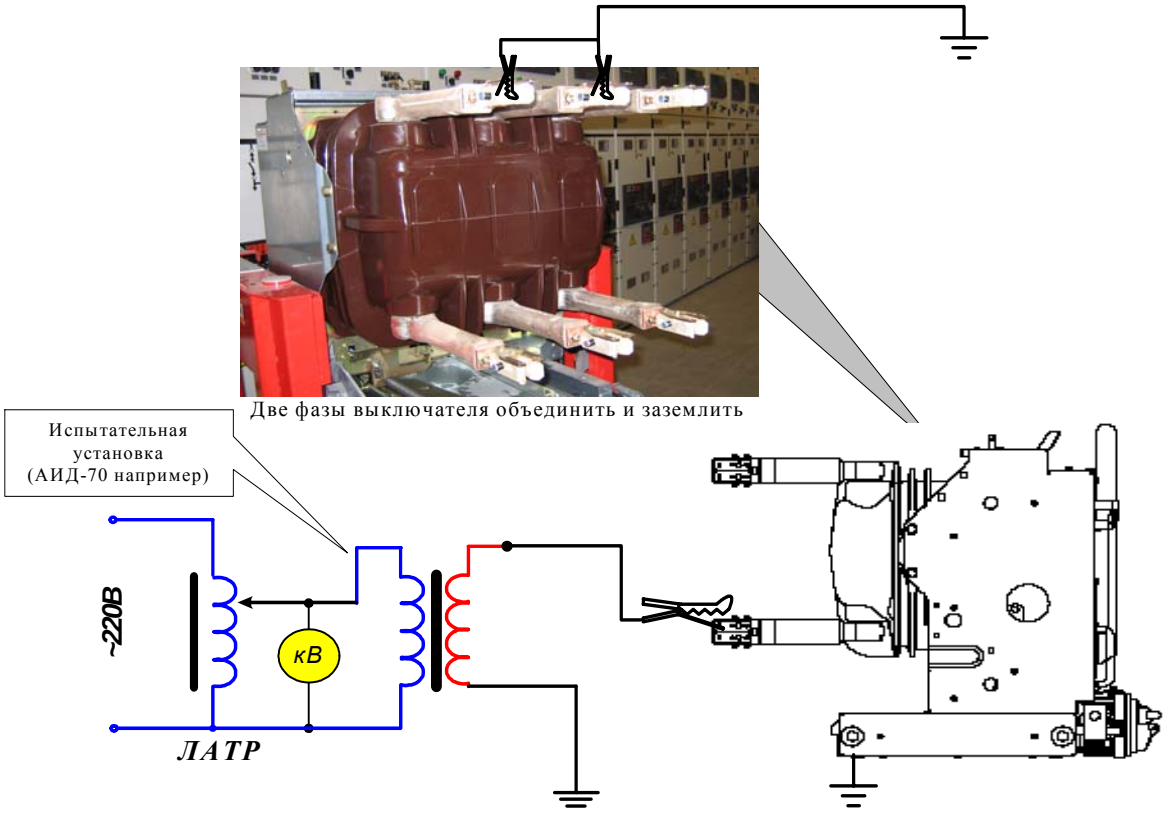



Рис. 5. Испытание изоляции силовых частей выключателя на выкатном элементе

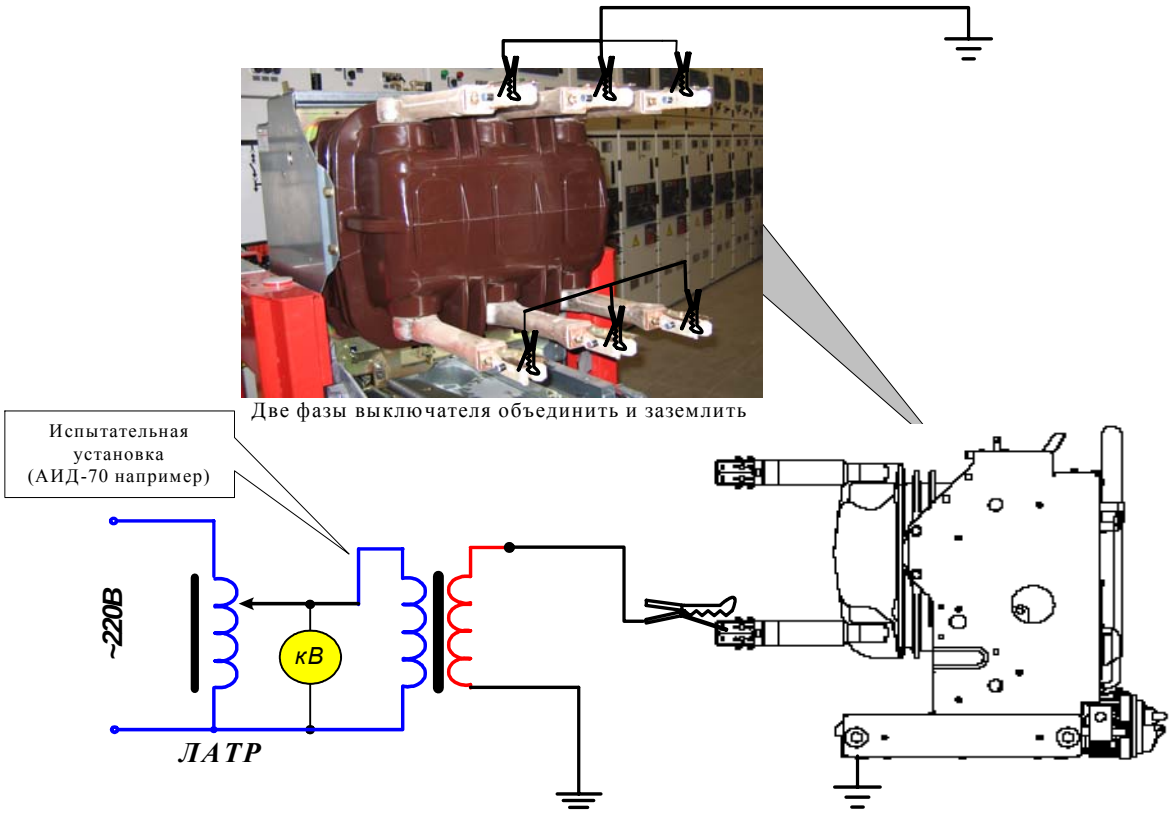



Рисунок 5. Испытание выключателя на «разрыв».

Для проведения испытания выключателя «на разрыв» собирается аналогичная схема, только в этом случае выключатель отключён, фаза объединены с двух сторон, с одной стороны установлено заземление, а на другую сторону выключателя подаётся испытательное напряжение (рисунок 6).

Смысл испытания выключателя «на разрыв» - проверка состояния изолирующих свойств элегаза в камере выключателя. Если с камерой всё нормально – испытание пройдёт успешно.

Продолжительность испытания и в том и в другом случае – 1 минута.

### *Проверка минимального напряжения срабатывания электромагнитов управления*

Проверка проводится на элегазовых выключателях оснащённых электромагнитным и пружинным приводом.

Принцип проверки основан на проверке возможности включения и отключения выключателя при пониженном напряжении. Проверка производится в следующем порядке:

1. производится оценка потребляемой мощности электромагнита по параметрам измеренного сопротивления катушки;
2. в соответствии с потребляемой мощностью подбирается автотрансформатор (ЛАТР) для регулирования напряжения и выпрямительное устройство;
3. вторичные цепи выключателя отделяются от вторичных цепей ячейки (схемы вторичных соединений для выключателей на ОРУ);
4. собирается схема в соответствии с рисунком 7 и производится пробное включение (отключение) выключателя.

Включение в цепь электромагнитов управления активного сопротивления неприемлемо, так как в первоначальный момент за счёт индуктивности катушки на неё будет приложено полное напряжение оперативного тока.

С помощью ЛАТРа напряжение снижается до уровня $0{,}75U_{ном}$ для электромагнитов выключателей, работающих на постоянном токе, и $0{,}65U_{ном}$ для электромагнитов выключателей, работающих на переменном токе. При включении выключателя напряжение на зажимах ЭМУ снизится до требуемой величины за счёт падения напряжения в схеме испытательной установки.

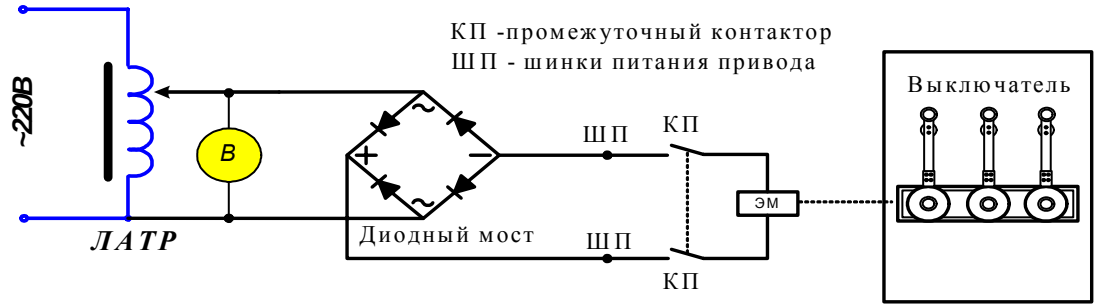



Рис. 7. Проверка минимального напряжения срабатывания ЭМУ при условии, что выключатель оснащен электромагнитным приводом.

Испытательная установка подключается к зажимам питания ШП (шинок питания электромагнитов управления, если таковые выполнены отдельно), или непосредственно на контакты промежуточного реле управления электромагнитом включения выключателя. При этом необходимо проверить, что штатное питание с этих зажимов отключено.

Для электромагнита отключения необходимо выделить цепь из общей схемы РЗА для включения испытательной установки.

При наличии в схеме оперативного тока аккумуляторной батареи данное испытание можно произвести без применения ЛАТРа и выпрямительного блока. Для этого питание испытательной схемы подают от соответствующего количества аккумуляторов батареи.

Кроме того, при проведении испытаний в электроустановках оснащённых выключателями с электромагнитными приводами можно использовать метод добавочного сопротивления.

В этом случае также производится оценка тока потребления электромагнита включения и на основании величины этого тока производится расчёт добавочного сопротивления в цепи электромагнита, таким образом, чтобы при включении добиться падения напряжения требуемого уровня. Добавочное сопротивление включается последовательно в цепь электромагнита и подаётся управляющий импульс на включение выключателя. Испытание считается успешно выполненным, если выключатель нормально включается.

Для выключателей с пружинным приводом необходимо сначала взвести пружину привода, а затем подать управляющий импульс на катушку включения, при этом питание данной катушки необходимо обеспечить от испытательной схемы, приведённой на рисунке 7.

### *Проверка состояния контактов выключателя.*

Проверка сводится к измерению сопротивления основных контактов выключателя с помощью микроомметров или мостов постоянного тока. Места замеров на выключателях показаны на рисунке 8. Измерение производится непосредственно на камере – измеряется сопротивление контактов самого выключателя.

Измеренное сопротивление сравнивается с нормируемыми значениями и на результатах сравнения оценивается состояние контактной системы выключателя.

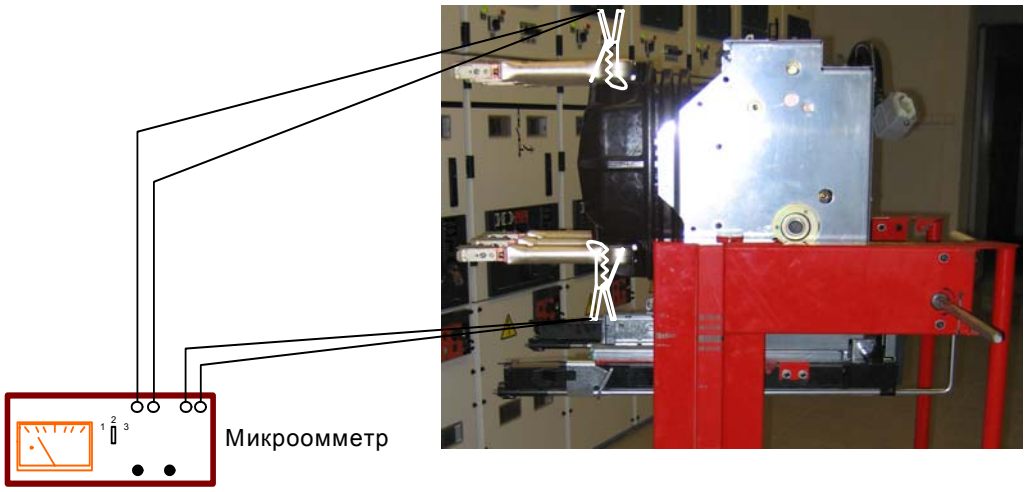



Рис. 8. Измерение сопротивления основных контактов выключателей.

Измерение можно произвести с помощью моста постоянного тока. Измерение производится аналогичным образом, главное – необходимо обеспечить надёжный контакт с измеряемой цепью.

Для оценки состояния контактов выкатного элемента производится измерение полного полюса. Измерение производится аналогичным образом, как и при измерении полюса выключателя, но в данном случае необходимо измерить сопротивление как можно ближе к розеточным группам выкатного элемента. Значение сопротивления полного полюса выкатного элемента не должно превышать значение сопротивления полюса выключателя более чем на 50 мкОм.

### *Проверка временных характеристик выключателей.*

Данная проверка производится при номинальном напряжении оперативного тока.

Используя секундомер, который подключают на силовые контакты выключателя, засекают время включения выключателя после подачи сигнала от ключа. При этом ключ должен од-

новременно подать сигнал на пуск секундомера и на включения выключателя. Аналогичное испытание производится на отключение выключателя.

### *Проверка соосности контактов выкатного элемента и ячейки и характеристик этих контактов (сопротивления).*

Эта проверка производится только в том случае, если есть возможность открыть доступ к контактам при вкаченной ячейке. Такая возможность есть на ячейках К-104, К-304.

На ячейках типа MCset возможность проведения такого испытаний теоретически существует, но для этого необходимо разобрать половину ячейки (рисунок 9). Дело осложняется тем, что крышка шинного отсека крепится болтами изнутри самого отсека. Соответственно, чтобы её снять необходимо вскрыть через верх шинный отсек и открыть кучу болтиков. В то время как в ячейках К-104 (и более поздние модификации) все крышки можно спокойно снять снаружи.

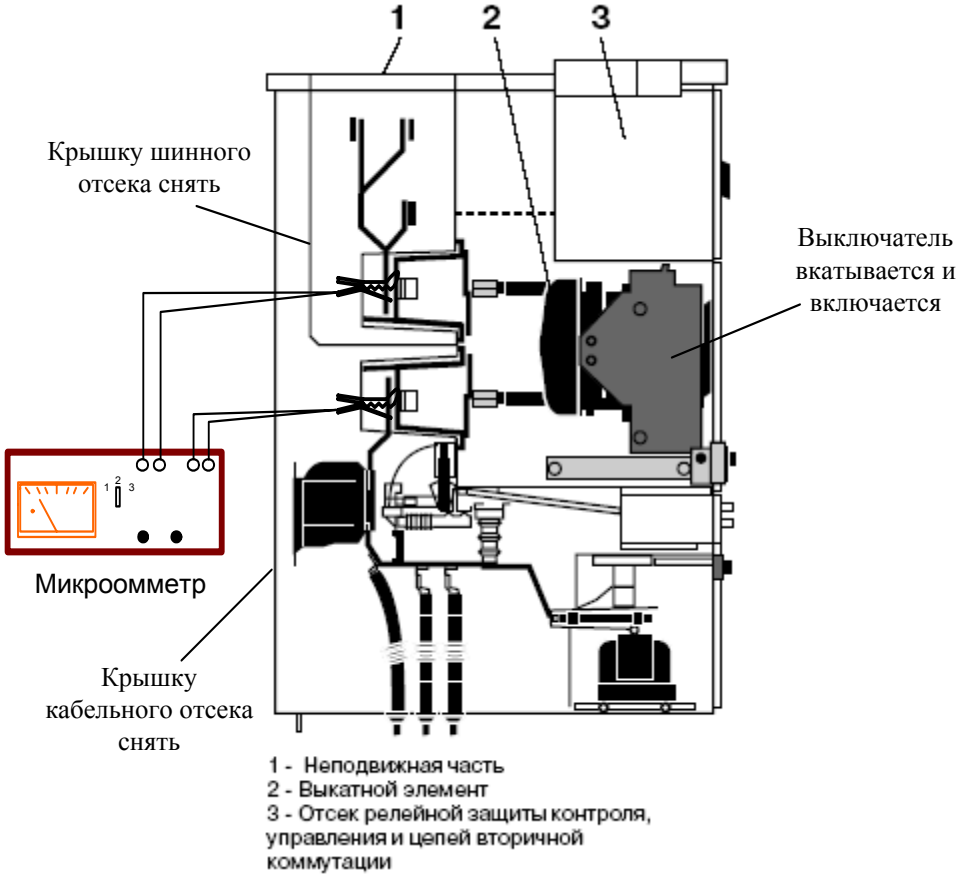



Рис. 9. Измерение сопротивления контактов выкатного элемента и контактов ячейки

### ***Обработка данных, полученных при испытаниях.***

Первичные записи рабочей тетради должны содержать следующие данные:

- дату измерений;
- температуру, влажность и давление;
- температуру выключателей;
- наименование, тип, заводской номер выключателя (и выкатного элемента, если есть);

- номинальные данные объекта испытаний;
- результаты испытаний;
- результаты внешнего осмотра;
- используемую схему.

Данные полученные при измерении сопротивлении полюсов выключателей постоянному току следует сравнивать с заводскими данными на данный выключатель.

Все данные испытаний сравниваются с требованиями НТД и на основании сравнения выдаётся заключение о пригодности электродвигателя к эксплуатации.

## ***Меры безопасности при проведении испытаний и охрана окружающей среды.***

Перед началом работ необходимо:

- Получить наряд (разрешение) на производство работ
- Подготовить рабочее место в соответствии с характером работы: убедиться в достаточности принятых мер безопасности со стороны допускающего (при работах по наряду) либо принять все меры безопасности самостоятельно (при работах по распоряжению).
- Подготовить необходимый инструмент и приборы.
- При выполнении работ действовать в соответствии с программами (методиками)по испытанию электрооборудования типовыми или на конкретное присоединение. При проведении высоковольтных испытаний на стационарной установке действовать в соответствии с инструкцией.

При окончании работ следует:

- При окончании работ на электрооборудовании убрать рабочее место восстановив нарушенные в процессе работы коммутационные соединения (если таковое имело место).
- Сдать наряд (сообщить об окончании работ руководителю или оперативному персоналу).
- Сделать запись в кабельный журнал о проведённых испытаниях (при испытании кабеля), либо сделать запись в черновик для последующей работы с полученными данными.
- Оформить протокол на проведённые работы

Проводить измерения с помощью мегаомметра разрешается выполнять обученным работникам из числа электротехнической лаборатории. В электроустановках напряжением выше 1000В измерения проводятся по наряду, в электроустановках напряжением до 1000В – по распоряжению.

В тех случаях, когда измерения мегаомметром входят в содержание работ, оговаривать эти измерения в наряде или распоряжении не требуется.

Измерять сопротивление изоляции мегаомметром может работник, имеющий группу III.

Измерение сопротивления изоляции мегаомметром должно осуществляться на отключенных токоведущих частях, с которых снят заряд путём предварительного их заземления. Заземление с токоведущих частей следует снимать только после подключения мегаомметра.

При измерении мегаомметром сопротивления изоляции токоведущих частей соединительные провода следует присоединять к ним с помощью изолирующих держателей (штанг). В электроустановках напряжением выше 1000В, кроме того, следует пользоваться диэлектрическими перчатками.

При работе с мегаомметром прикасаться к токоведущим частям, к которым он присоединён, не разрешается. После окончания работы следует снять с токоведущих частей остаточный заряд путём их кратковременного заземления.

## Проведение работ с подачей повышенного напряжения от постороннего источника при испытании.

К проведению испытаний электрооборудования допускается персонал, прошедший специальную подготовку и проверку знаний и требований, содержащихся в разделе 5.1 Правил Безопасности, комиссией, в состав которой включаются специалисты по испытаниям электрооборудования с соответствующей группой.

Испытания электрооборудования, в том числе и вне электроустановок, проводимые с использованием передвижной испытательной установки, должны выполняться по наряду.

Проведение испытаний в процессе работ по монтажу или ремонту оборудования должно оговариваться в строке «Поручается» наряда.

Испытания электрооборудования проводит бригада, в составе которой производитель работ должен иметь группу 1V, член бригады – группу III, а член бригады, которому поручается охрана, - группу II.

Массовые испытания материалов и изделий (средства защиты, различные изоляционные детали, масло и т.п.) с использованием стационарных испытательных установок, у которых токоведущие части закрыты сплошным или сетчатым ограждениями, а двери снабжены блокировкой, допускается выполнять работнику, имеющему группу III, единолично в порядке текущей эксплуатации с использованием типовых методик испытаний.

Рабочее место оператора испытательной установки должно быть отделено от той части установки, которая имеет напряжение выше 1000В. Дверь, ведущая в часть установки, имеющую напряжение выше 1000В, должна быть снабжена блокировкой, обеспечивающей снятие напряжения с испытательной схемы в случае открытия двери и невозможность подачи напряжения при открытых дверях. На рабочем месте оператора должна быть предусмотрена раздельная световая, извещающая о включении напряжения до и выше 1000В, и звуковая сигнализация, извещающая о подаче испытательного напряжения. При подаче испытательного напряжения оператор должен стоять на изолирующем ковре.

Передвижные испытательные установки должны быть оснащены наружной световой и звуковой сигнализацией, автоматически включающейся при наличии напряжения на выводе испытательной установки.

Допуск по нарядам, выданным на проведение испытаний и подготовительных работ к ним, должен быть выполнен только после удаления с рабочих мест других бригад, работающих на подлежащем испытанию оборудовании, и сдачи ими нарядов допускающему. В электроустановках, не имеющих местного дежурного персонала, производителю работ разрешается после удаления бригады оставить наряд у себя, оформив перерыв в работе.

При необходимости следует выставлять охрану, состоящую из членов бригады, имеющих группу Ш, для предотвращения приближения посторонних людей к испытательной установке, соединительным проводам и испытательному оборудованию. Члены бригады, несущие охрану, должны находиться вне ограждения и считать испытываемое оборудование находящимся под напряжением. Покинуть пост эти работники могут только с разрешения производителя работ.

При размещении испытательной установки и испытуемого оборудования в различных помещениях или на разных участках РУ разрешается нахождение членов бригады, имеющих группу III, ведущих наблюдение за состоянием изоляции, отдельно от производителя работ. Эти члены бригады должны находится вне ограждений и получить перед началом испытаний необходимый инструктаж от производителя работ.

Снимать заземление, установленное при подготовке рабочего места и препятствующие проведению испытаний, а затем устанавливать их вновь разрешается только по указанию производителя работ, руководящего испытаниями, после заземления вывода высокого напряжения испытательной установки.

Разрешение на временное снятие заземлений должно быть указано в стоке «Отдельные указания» наряда.

При сборке испытательной схемы прежде всего должно быть выполнено защитное и рабочее заземление испытательной установки. Корпус передвижной испытательной установки должен быть заземлён отдельным заземляющим проводником из гибкого медного провода сечением не менее 10 мм$^2$. Перед испытанием следует проверить надёжность заземления корпуса.

Перед присоединением испытательной установки к сети напряжением 380/220В вывод высокого напряжения её должен быть заземлён.

Сечение медного провода, применяемого в испытательных схемах заземления, должно быть не менее 4 мм$^2$.

Присоединение испытательной установки к сети напряжением 380/220В должно выполняться через коммутационный аппарат с видимым разрывом или через штепсельную вилку, расположенную на месте управления установкой.

Коммутационный аппарат должен быть оборудован устройством, препятствующим самопроизвольному включению, или между подвижным и неподвижным контактами аппарата должна быть установлена изолирующая накладка.

Провод или кабель, используемый для питания испытательной установки от сети напряжением 380/220В, должен быть защищен установленными в этой сети предохранителями или автоматическими выключателями. Подключать к сети передвижную испытательную установку должны представители организации, эксплуатирующие эти сети.

Соединительный провод между испытательной установкой и испытуемым оборудованием сначала должен быть присоединён к её заземлённому выводу высокого напряжения.

Этот провод следует закреплять так, чтобы избежать приближения (подхлёстывания) к находящимся под напряжением токоведущим частям на расстояние менее указанного в таблице 1.

Присоединять соединительный провод к фазе, полюсу испытуемого оборудования или к жиле кабеля и отсоединять его разрешается по указанию руководителя испытаний и только после их заземления, которое должно быть выполнено включением заземляющих ножей или установкой переносных заземлений.

Перед каждой подачей испытательного напряжения производитель работ должен:

- проверить правильность сборки схемы и надёжность рабочих и защитных заземлений;
- проверить, все ли члены бригады и работники, назначенные для охраны, находятся на указанных им местах, удалены ли посторонние люди и можно ли подавать испытательное напряжение на оборудование;
- предупредить бригаду о подаче напряжения словами «Подаю напряжение» и, убедившись, что предупреждение услышано всеми членами бригады, снять заземление с вывода испытательной установки и подать на нее напряжение 380/220В.

С момента снятия заземления с вывода установки вся испытательная установка, включая испытываемое оборудование и соединительные провода, должна считаться находящейся под напряжением и проводить какие – либо пересоединения в испытательной схеме и на испытываемом оборудовании не допускается.

Не допускается с момента подачи напряжения на вывод установки находиться на испытываемом оборудовании, а также прикасаться к корпусу испытательной установки, стоя на земле, входить и выходить из передвижной лаборатории, прикасаться к кузову передвижной лаборатории.

После окончания испытаний производитель работ должен снизить напряжение испытательной установки до нуля, отключить её от сети напряжением 380/220В, заземлить вывод установки и сообщить об этом бригаде словами «Напряжение снято». Только после этого допускается пересоединять провода или в случае полного окончания испытания отсоединять их от испытательной установки и снимать ограждения.

## Область применения

Рекомендации настоящей методики распространяются на проведение испытаний вакуумных выключателей всех напряжений, с различными видами приводов как отдельно, так и совместно с другими элементами электроустановок (с изоляторами выкатных элементов КРУ, проходными изоляторами ячеек и пунктов секционирования).

Вакуумные выключатели предназначены для частых коммутационных операций в цепях переменного тока различного напряжения. На практике широкое распространение получили вакуумные выключатели на номинальное напряжение 6 – 10кВ (номинальные токи 630, 1000, 1250 и 1600А, при номинальном токе отключения до 20кА), а также вакуумные контакторы на напряжение до 1кВ, которые в настоящее время применяются в цепях управления электродвигателями.

В вакуумных коммутационных аппаратах гашение дуги осуществляется в вакуумной дугогасительной камере (ВДК), которая состоит из изоляционной цилиндрической оболочки (рисунок справа), снабжённой по концам металлическими фланцами, внутри которой помещаются подвижный и неподвижный контакты и электростатические экраны. Неподвижный контакт жёстко крепится к одному фланцу, а подвижный соединяется с другим фланцем сильфоном из нержавеющей стали, обеспечивающим возможность перемещения контакта без нарушения герметичности ВДК.

Рисунок 1. Полюс выключателя BB\TEL

Экраны предназначены для защиты оболочки от брызг и паров металла, образующихся при горении дуги, а также для выравнивания распределения напряжения по камере. Оболочка ВДК изготовляется из специальной газоплотной керамики (в некоторых конструкциях – из стекла). Внутри оболочки создаётся вакуум. В ВДК применяются контакты торцевого типа сложной конфигурации, выполненные из специального сплава. Вакуумные выключатели на напряжение до 10кВ включительно выполнены обычно в виде единого устройства из трёх полюсов с ВДК и общим приводом, при напряжении свыше 35кВ выключатели могут выполняться в виде отдельных полюсов (ВДК), соединённых последовательно, соответственно привод на эти полюса может быть либо общим, либо их может быть несколько – на каждый из полюсов отдельно.

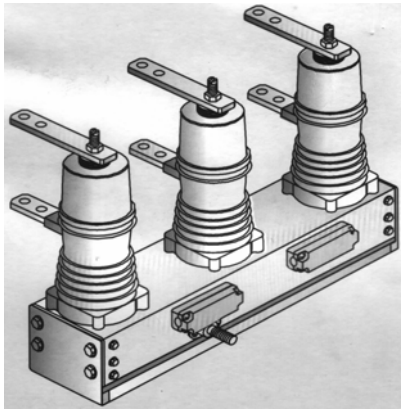


Рисунок 2. Вакуумный выключатель BB/TEL

На рисунке справа представлен полюс выключателя производства предприятия «Таврида Электрик». У выключателей данного типа каждый полюс с вакуумной камерой комплектуется отдельным приводом с новой технологией «магнитной защёлки».

Основными достоинствами вакуумных выключателей, определяющими их широкое распространение следует считать:

1. Высокую износостойкость при коммутации номинальных токов и номинальных токов отключения. Число отключений номинальных токов вакуумных выключателей без замены ВДК составляет 10-20 тысяч (в некоторых типах современных выключателей завод-изготовитель гарантирует число циклов работы в пределах 50 тысяч включений-отключений с номинальным током), число отключений номинального

тока отключения – до 200 раз, что в 10 – 20 раз превышает соответствующие параметры маломасляных выключателей.

2. Резкое снижение эксплуатационных затрат по сравнению с маломасляными выключателями. Обслуживание вакуумных выключателей сводится к смазке механизма и привода, проверке износа контактов по меткам или путём замеров 1 раз в 5 лет или через 5 – 10 тысяч циклов.
3. Полную взрыво- и пожаробезопасность и возможность работы в агрессивных средах.
4. Широкий диапазон температур окружающей среды, в которой возможна работа ВДК.
5. Повышенную устойчивость к ударным и вибрационным нагрузкам вследствие малой массы и компактной конструкции аппарата.
6. Произвольное рабочее положение и малые габариты, что позволяет создавать различные компоновки распределительных устройств, в том числе и шкафы с несколькими выключателями или двух- трёхъярусном их расположении.
7. Бесшумность, чистота, удобство обслуживания, обусловленные малым выделением энергии в дуге и отсутствием выброса масла, газов при отключении токов КЗ.
8. Отсутствие загрязнения окружающей среды.
9. Высокую надёжность и безопасность эксплуатации, сокращение времени на монтаж.

Рисунок 3. Вакуумный выключатель ВВ/TEL на выкатном элементе КРУ

К недостаткам вакуумных выключателей следует отнести повышенный уровень коммутационных перенапряжения, что в ряде случаев вызывает необходимость принятия мер по защите оборудования, в частности такие меры применяются для защиты электродвигателей и силовых трансформаторов с облегчённой изоляцией. В последнее время КРУ с вакуумными выключателями комплектуются устройствами защиты от перенапряжения практически для всех присоединений (исключение обычно составляют отходящие ВЛ).

Наличие высоких уровней коммутационных перенапряжений именно для вакуумных выключателей является спорным утверждением. По данным фирмы «Таврида Электрик» значения перенапряжений (кратность номиналу) в зависимости от нагрузки и типа коммутационного аппараты могут быть следующими:

- Электродвигатель 175кВт при пуске – МВ – кабель 70мм$^2$ – 9,8$U_{ном}$
- Электродвигатель 210кВт при пуске – МВ – кабель 70мм$^2$ – 8,3$U_{ном}$
- Электродвигатель 520кВт при пуске – МВ – кабель 70мм$^2$ – 6,7$U_{ном}$
- Электродвигатель 210кВт при пуске – ВозВ – кабель 340мм$^2$ – 7,2$U_{ном}$
- Электродвигатель 110кВт при пуске – ВВ – кабель 100мм$^2$ – 5,1$U_{ном}$
- Трансформатор 2500кВА холостой ход – ВВ – кабель 240мм$^2$ – 6,1$U_{ном}$
- Трансформатор 250кВА холостой ход – ВВ – кабель 70мм$^2$ – 6,0$U_{ном}$

Рисунок 4. Вакуумный выключатель Саратовского завода «Контактор»

Основной особенностью дуги в вакууме является её нестабильность при малых токах. Прекращение разряда в вакууме приводит к срезу тока до его естественного перехода через нуль. Характеристики современных выключателей позволяют им отключать высокочастотные токи с большими скоростями изменения тока вблизи нулевого значения. Последнее обстоятельство приводит к многократным повторным зажиганиям и отключениям высокочастотного тока в процессе одной коммутации включения – отключения индуктивной на-

грузки, которые могут влиять на уровень коммутационных перенапряжений. Повышенный уровень коммутационных перенапряжений при коммутации малой нагрузки наглядно виден на примере выше.

В настоящее время существует множество различных вариантов защиты оборудования от коммутационных и грозовых перенапряжения, из которых самым распространённым способом является установка ограничителей перенапряжения (ОПН).

## *Объект испытания.*

Объектом испытания в вакуумных выключателях является, прежде всего, фазная изоляция выключателей, состояние вакуума в камере, состояние контактов выключателей, временные характеристики выключателей, и, при испытании выключателей на выкатном элементе (тележке), соосность входа выключателей на тележке с приёмными элементами ячейки КРУ, глубина входа и равномерность входа по фазам, а также состояние контактов ячейки и выключателя. Последние испытания обычно проводятся именно для выкатного элемента ячейки, а не для вакуумного выключателя.

Объём испытаний вакуумных выключателей:

1. измерение сопротивления изоляции вторичных цепей и электромагнитов управления (К)
2. измерение сопротивления изоляции силовых частей выключателей (К)
3. испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты (К)
4. испытание изоляции вторичных цепей и электромагнитов управления (К)
5. проверка минимального напряжения срабатывания электромагнитов управления (К)
6. испытание выключателей многократным включением и отключением (К)
7. проверка состояния контактов выключателя (К, М)
8. проверка временных (при необходимости и скоростных) характеристик выключателей (К)
9. тепловизионный контроль (М)

Объём испытаний выключателей совместно с выкатным элементом КРУ:

1. измерение сопротивления изоляции вторичных цепей и электромагнитов управления (К)
2. измерение сопротивления изоляции силовых частей выключателей и опорной изоляции выкатного элемента (К)
3. испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты (К)
4. испытание изоляции вторичных цепей и электромагнитов управления (К)
5. проверка минимального напряжения срабатывания электромагнитов управления (К)
6. испытание выключателей многократным включением и отключением (К)
7. проверка состояния контактов выключателя (К, М)
8. проверка временных (при необходимости и скоростных) характеристик выключателей (К)
9. проверка соосности контактов выключателя и контактов ячейки (К)
10. проверка характеристик контактов выкатного элемента и ячейки при вкатывании (К)

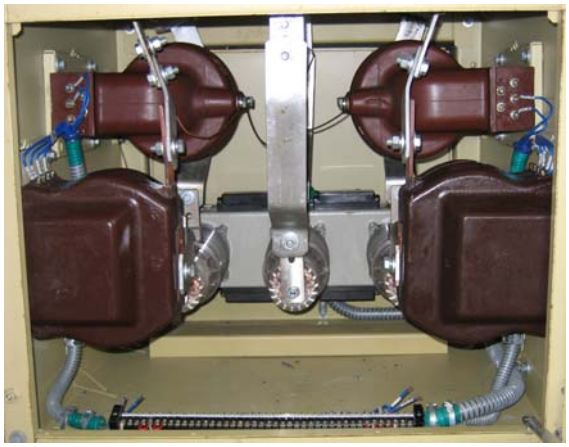


Рисунок 5. Вакуумный выключатель, установленный в ячейку К-112.

Примечание: К – капитальный ремонт, испытание при приёмке в эксплуатацию; М – межремонтные испытания

Внешний вид вакуумного выключателя BB/TEL представлен на рисунке 2. Выключатель устанавливается на штатное место эксплуатации и комплектуется блоком управления, а также,

в случае необходимости, блоком питания и(или) защиты.

Вакуумные выключатели могут устанавливаться на выкатные элементы ячеек КРУ (рисунок 3 и 4 – выкатной элемент с вакуумным выключателем), ими могут заменяться масляные выключатели, комплектоваться пункты секционирования ВЛ и т.п. На рисунке 5 показан выключатель ВВ/TEL, установленный в ячейку К-112. В данном случае испытание следует производить по нормам измерительных трансформаторов.

## *Определяемые характеристики.*

### *Сопротивление изоляции.*

В процессе эксплуатации измерения проводятся:

- **на вакуумных выключателях 6-10кВ** – при ремонтных работах в ячейках (присоединениях), где они установлены, проверка изоляции вторичных цепей и электромагнитов управления может проводится совместно с проверкой устройств релейной защиты.

Измеренные значения сопротивления изоляции должны быть не менее значений, приведённых в таблице 1.

*Таблица 1. Значения сопротивления изоляции вакуумных выключателей*

| **Класс напряжения (кВ)** | **Допустимые сопротивления изоляции (МОм) не менее** | |
|---|---|---|
| | **Основная изоляция** | **Вторичные цепи и электромагниты управления** |
| 3-10 | 300 | 1(1) |
| 15-150 | 1000 | 1(1) |
| 220 | 3000 | 1(1) |

**Сопротивление изоляции вторичных обмоток приведены: без скобок – при отключённых вторичных цепях, в скобках – с подключёнными вторичными цепями.*

### *Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты.*

Испытание изоляции повышенным напряжением проводится после первых двух лет эксплуатации выключателей и в дальнейшем через пять лет эксплуатации. Испытание вторичных цепей и электромагнитов управления может проводится совместно с силовыми цепями выключателей, или при проверке цепей релейной защиты присоединения в объёме, соответствующем виду проверки.

*Таблица 2. Значения испытательного напряжения промышленной частоты.*

| **Класс напряжения (кВ)** | **Испытательное напряжение (кВ) для вакуумных выключателей** | | |
|---|---|---|---|
| | **На заводе – изготовителе** | **Перед вводом в эксплуатацию и в эксплуатации** | |
| | | **Фарфоровая изоляция** | **Другие виды изоляции** |
| До 0,69 | 2,0 | 1 | 1 |
| 3 | 24,0 | 24,0 | 21,6 |
| 6 | 32,0 | 32,0 | 28,8 |
| 10 | 42,0 | 42,0 | 37,8 |
| 15 | 55,0 | 55,0 | 49,5 |
| 20 | 65,0 | 65,0 | 58,5 |
| 35 | 95,0 | 95,0 | 85,5 |

Значение испытательного напряжения для вторичных цепей и электромагнитов управления должно составлять 1кВ, при условии, что данные устройства рассчитаны на напряжение не ниже 60В. Таким образом, электромагниты управления вакуумных выключателей ВВ/TEL, которые работают от блока управления типа БУ/TEL, испытанию не подвергаются.

При испытании выключателя «на разрыв» испытательное напряжение равно напряжению для испытания основной изоляции.

### *Проверка минимального напряжения срабатывания электромагнитов управления.*

Электромагниты управления должны срабатывать при напряжении:

- включения - $0{,}85U_{ном}$.
- отключения - $0{,}7U_{ном}$.

Выключатели BB/TEL, которые работают от блока управления типа БУ/TEL, данному испытанию не подвергаются, так как для включения выключателя используется энергия, накопленная специально предназначенными для этого конденсаторами большой ёмкости, установленными непосредственно в блоке управления.

*Проверка выключателей многократным включением и отключением.*

Данное испытание проводится при номинальном напряжение на выводах электромагнитов управления. Число циклов включения-отключения для вакуумных выключателей равно 3-5.

*Проверка состояния контактов выключателей.*

Состояние контактов определяют путём измерения сопротивления постоянному току полюсов выключателей, внешнему осмотру контакты не подвергаются – вакуумную камеру разбирать запрещается. Сопротивление постоянному току каждого полюса выключателя должно быть не более нормируемого в технической документации на соответствующее оборудование.

Ориентировочные данные сопротивлений полюсов выключателей в зависимости от номинального тока выключателей указаны в таблице 3. Для некоторых типов выключателей заводом-изготовителем может нормироваться другое значение сопротивления, поэтому необходимо ориентироваться на данные паспорта именно данного выключателя.

При испытании вакуумных выключателей производства фирмы «Таврида Электрик» можно ориентироваться значениями сопротивления в зависимости от номинального тока выключателя (рисунок 5). Значениями этих же кривых можно руководствоваться при переводе выключателя в разряд с меньшим номинальным током в случае ухудшения состояния контактов.

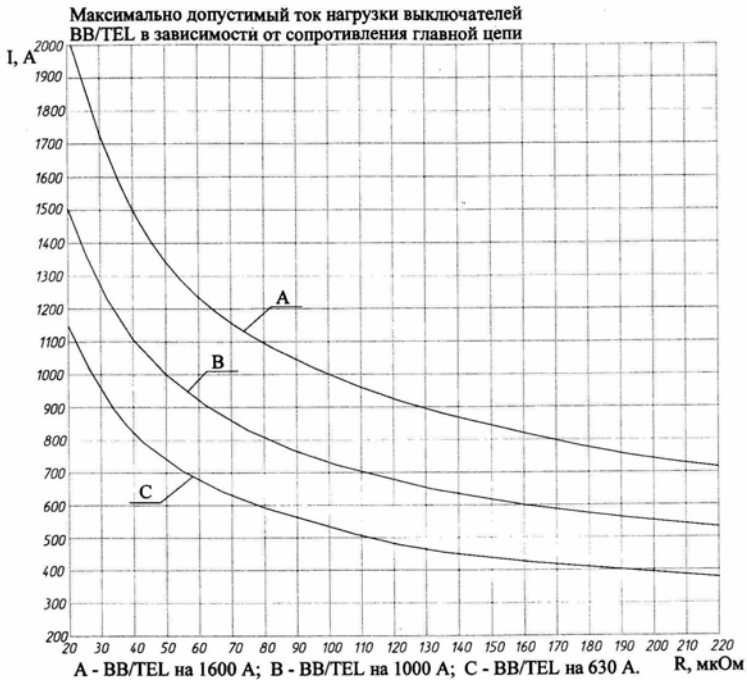



Рисунок 5. Значения сопротивления главных контактов выключателей BB/TEL.

Измерение производится как можно ближе к контактам самого выключателя. Данное условие позволяет оценить состояние именно контактов выключателя, исключая при измерении контактные соединения например, розеточных групп выкатного элемента, или контактные соединения измерительных трансформаторов тока и ошиновки распределительных устройств (при установке выключателей непосредственно в рассечку шин).

Если производится испытание вакуумного выключателя, установленного на выкатном элементе, можно произвести измерение сопротивления всего полюса выключателя и контактов розеточных групп. В этом случае измерение производится сначала самого выключателя, а затем полное сопротивление всего полюса одной фазы выкатного элемента. Значение полного сопротивления полюса выкатного элемента нормируется в технической документации непосредственно на конкретный вид оборудования.

*Таблица 3. Сопротивление полюса выключателя в зависимости от номинального тока.*

| **Номинальный ток выключателя (А)** | **Сопротивление полюса (мкОм)** |
|---|---|

| | |
|---|---|
| 630А | 50 |
| 1000А | 40 |

*Проверка временных характеристик выключателей.*

Проверка временных характеристик вакуумных выключателей производится при номинальном напряжении оперативного тока. Временные параметры включения и отключения выключателей должны соответствовать паспортным данным на конкретный тип выключателей.

Ориентировочно время включения вакуумного выключателя колеблется в пределах 0,05 – 0,08 секунд, время отключения – в пределах 0,05 – 0,07 секунд.

Скоростные характеристики определяются с помощью вибрографов на выключателях старой конструкции с траверсами от привода к подвижному контакту дугогасительной камеры.

*Проверка соосности контактов выключателя и контактов ячейки.*

Соосность определяется после вкатывания тележки выкатного элемента на штатное место в ячейку. Проверка производится с помощью специальных инструментов и приспособлений, одновременно определяется глубина входа подвижных контактов на неподвижные и равномерность этой этого входа по отношению к соседним фазам выключателя.

*Проверка характеристик контактов выкатного элемента и ячейки.*

Данный вид проверки производится для определения состояния контактных соединений в ячейке КРУ. Этот вид проверки позволяет удостоверится в надёжности и качестве контактного соединения между выкатным элементом и неподвижными контактами ячейки КРУ. Применение данного вида замеров целесообразно наряду с определением соосности контактов и глубины их соприкосновения.

Значение сопротивлений контактов постоянному току элементов КРУ приведены в таблице 4.

Таблица 4. Допустимые значения сопротивлений постоянному току элементов КРУ.

| **Измеряемый элемент** | **Номинальный ток контактов (А)** | **Сопротивление (мкОм)** |
|---|---|---|
| Втычные контакты первичной цепи | 400 | 75 |
| | 630 | 60 |
| | 1000 | 50 |
| | 1600 | 40 |
| | 2000 и более | 33 |

Эти измерения проводятся только в том случае, если позволяет конструкция распределительного устройства (можно добраться до контактов ячейки при вкаченном положении выключателя.

## *Условия испытаний и измерений*

Испытание производят при температуре окружающей среды не ниже $+10^0$С.

Влажность окружающего воздуха имеет значение при проведении высоковольтных испытаний обмоток, т.к. конденсат на изоляторах  может привести к пробою изоляции и, соответственно, к выходу из строя оборудования (как испытательного, так и испытуемого).

Атмосферное давление особого влияние на качество проводимых испытаний не оказывает, но фиксируется для занесения данных в протокол.

## Средства измерений.

Измерение сопротивления изоляции производят мегаомметрами на напряжение 2500В.

Измерение сопротивления постоянному току полюсов выключателей производится мостами постоянного тока (например Р 333), которые позволяют произвести замеры с точностью до 0,001 Ом, микроомметрами типа Ф4104-М1. При отсутствии данных приборов возможно использовать метод амперметра – вольтметра с источником постоянного тока, который может обеспечить достаточный ток для проведения данных испытаний. Аналогичные приборы используются для проверки характеристик контактов выкатного элемента и ячейки.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты производят с помощью различных установок, которые состоят из следующих элементов: испытательного трансформатора, регулирующего устройства, контрольно-измерительной и защитной аппаратуры. К таким аппаратам можно отнести установку АИИ – 70, АИД – 70, а также различные высоковольтные испытательные трансформаторы, которые обладают достаточным уровнем защиты и надлежащим уровнем подготовлены для проведения испытаний.

Для проверки соосности входа контактов используют специальные приспособления, поставляемые в комплекте с КРУ. Эти приспособления имеют вид металлического прута с разметкой. По делениям можно ориентировочно определить глубину входа подвижных контактов в неподвижные.

*Все приборы должны быть поверены, а испытательные установки аттестованы в соответствующих государственных органах (ЦСМ).*

## Порядок проведения испытаний и измерений.

### *Измерение сопротивления изоляции.*

Измерение сопротивления силовых частей выключателей производится по схеме, представленной на рисунке 6.

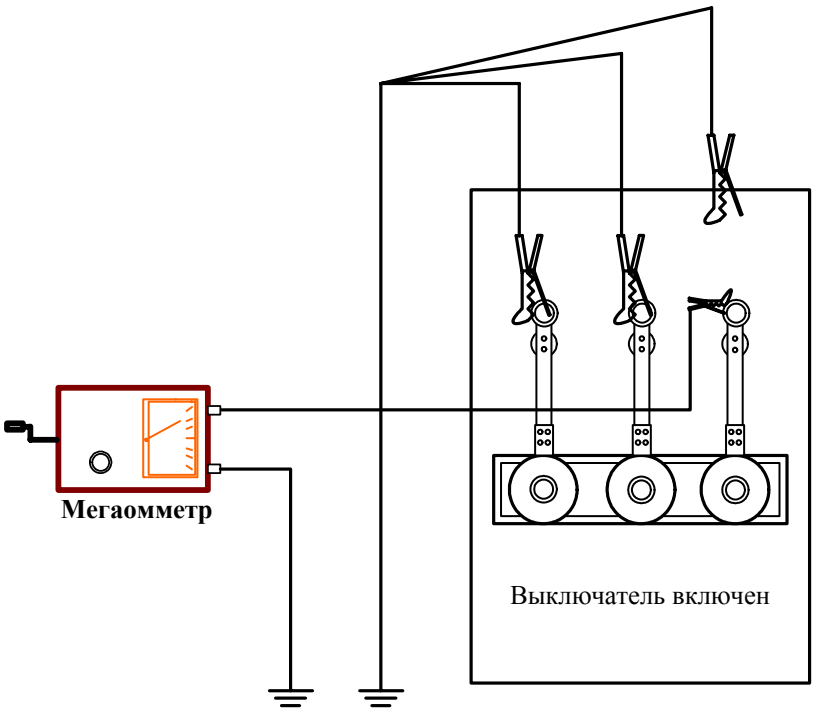



Рисунок 6. Измерение сопротивления изоляции силовых частей выключателя на выкатном элементе.

Как видно из рисунка измерение производится относительно земли и двух других заземленных фазах.

Выключатель включается, все фазы заземляются, к одной фазе выключателя подключается мегаомметр. Заземление с этой фазы выключателя снимается, производится измерение сопротивления изоляции. Затем заземление восстанавливается, мегаомметр переключается на другую фазу выключателя. Производятся аналогичные операции для всех фаз последовательно. Всё время проведения измерений выключатель остаётся включенным.

Сопротивление изоляции электромагнитов управления производят в зависимости от внутренней схемы привода выключателя. Измерение производится относительно земли на одном из полюсов электромагнитов (электромагнита), при этом целостность катушки проверяется отдельно путём измерения сопротивления омметром (или другим способом).

### *Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты.*

Испытание производится в два этапа – сначала производится пофазное испытание основной изоляции выключателя, затем производится испытание выключателя «на разрыв».

Для проведения испытания основной изоляции выключатель, также как и в опыте измерения сопротивления изоляции, включается, все фазы заземляются.

Подготавливается испытательная установка, подключается к испытательному объекту. Снимается установленное ранее заземление. Производится плавное поднятие напряжения до необходимого уровня (напряжение поднимается скачком до 1/3 необходимой величины, затем увеличение производится плавно со скоростью 1-2кВ в секунду вплоть до необходимого уровня испытательного напряжения), напряжение выдерживается в течение 1 минуты, и, затем, плавно понижается до нуля. На испытанную фазу выключателя устанавливается заземление, испытательная установка отсоединяется и подключается к следующей фазе.

На рисунке 7 показана схема проведения для проведения испытания основной изоляции вакуумного выключателя на выкатном элементе напряжением промышленной частоты.

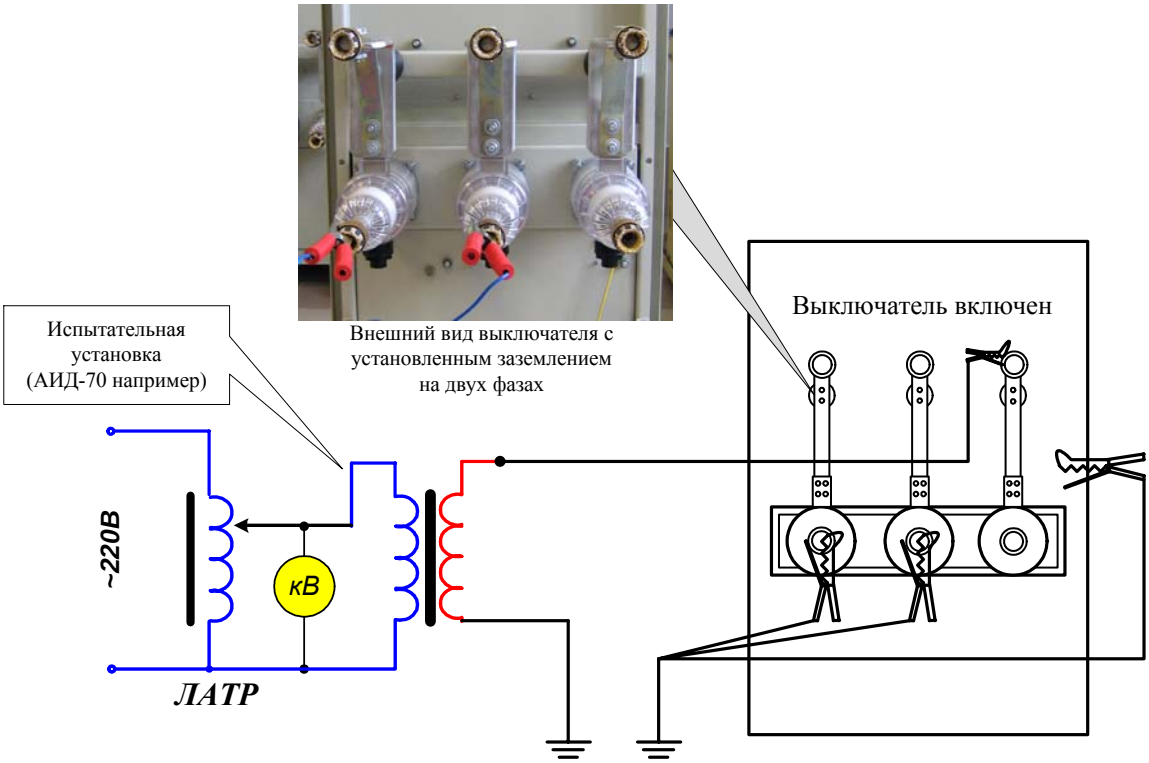



Рисунок 7. Испытание изоляции силовых частей выключателя на выкатном элементе повышенным напряжением промышленной частоты.

Для проведения испытания выключателя «на разрыв» собирается аналогичная схема, только в этом случае выключатель отключён, фаза объединены, с одной стороны установлено заземление, а на другую сторону выключателя подаётся испытательное напряжение (рисунок 8).

Смысл испытания выключателя «на разрыв» - проверка состояния вакуума в вакуумной камере выключателя. Если с камерой всё нормаль – испытание пройдёт успешно. Во время проведения испытания возможны искровые пробои в вакуумной камере, в этом случае необходимо плавно снизить испытательное напряжение до момента прекращения пробоев, выждать 3-4 минуты, а, затем, снова продолжить испытание с требуемой величиной напряжения.

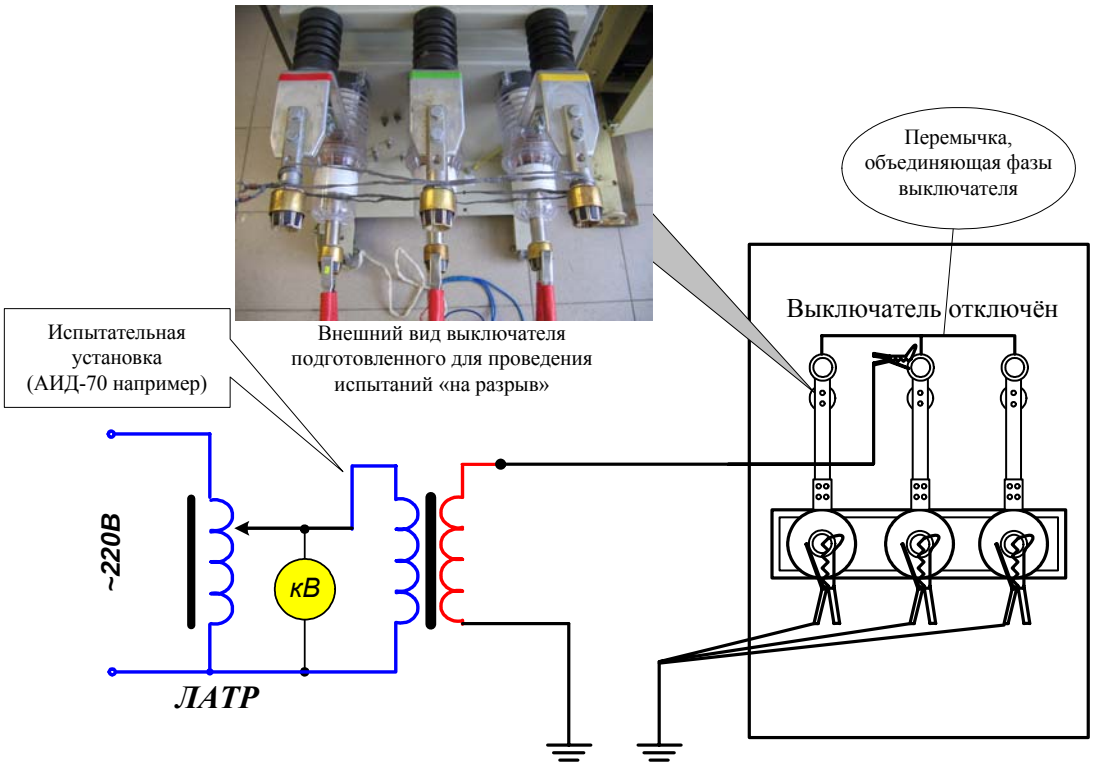



Рисунок 8. Испытание изоляции выключателя на выкатном элементе повышенным напряжением промышленной частоты «на разрыв».

Продолжительность испытания – 1 минута.

Экспериментально установлено, что при проведении испытания вакуумного выключателя «на разрыв» на расстоянии 3 метра от испытуемого выключателя (длина проводов установки АИД-70) не происходит повышения уровня радиации выше фонового значения в 30микрорентген. Поэтому опасаться высокого уровня радиации не стоит.

### *Проверка минимального напряжения срабатывания электромагнитов управления*

Проверка проводится на вакуумных выключателях оснащённых электромагнитным приводом. Данная проверка не производится с выключателями оснащёнными приводами на основе магнитной защёлки.

Принцип проверки основан на проверке возможности включения и отключения выключателя при пониженном напряжении. Проверка производится в следующем порядке:

1. Производится оценка потребляемой мощности электромагнита по параметрам измеренного сопротивления катушки;
2. В соответствии с потребляемой мощностью подбирается автотрансформатор (ЛАТР) для регулирования напряжения и выпрямительное устройство;
3. Собирается схема в соответствии с рисунком 9 и производится пробное включение (отключение) выключателя.

Включение в цепь электромагнитов управления активного сопротивления неприемлемо, так как в первоначальный момент за счёт индуктивности катушки на неё будет приложено полное напряжение оперативного тока.

С помощью ЛАТРа напряжение снижается до уровня $0{,}9U_{ном}$ для электромагнитов включения и $0{,}7U_{ном}$ для электромагнитов отключения. При включении выключателя напряжение на зажимах ЭМУ снизится до требуемой величины за счёт падения напряжения в схеме испытательной установки. Электромагнит отключения гораздо меньше электромагнита включения, поэтому при отключении выключателя напряжение установки сразу устанавливают на нормируемом уровне.

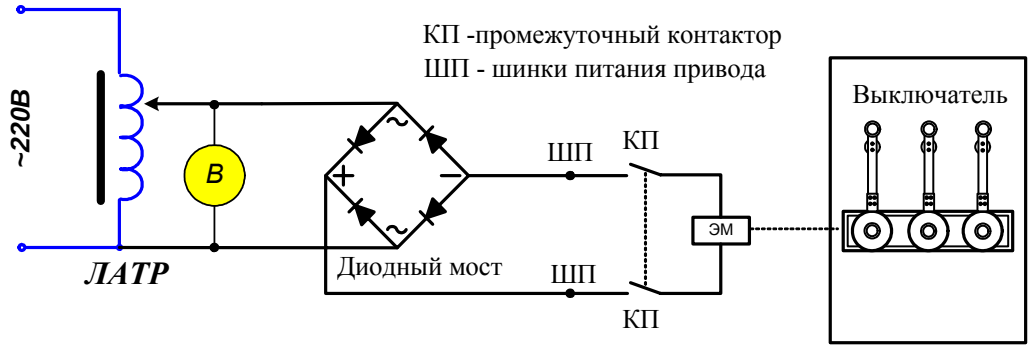



Рисунок 9. Проверка минимального напряжения срабатывания ЭМУ.

Испытательная установка подключается к зажимам питания ШП (шинок питания электромагнитов управления, если таковые выполнены отдельно), или непосредственно на контакты промежуточного реле управления электромагнитом включения выключателя. При этом необходимо проверить, что штатное питание с этих зажимов отключено.

Для электромагнита отключения необходимо выделить цепь из общей схемы РЗА для включения испытательной схемы.

При наличии в схеме оперативного тока аккумуляторной батареи данное испытание можно произвести без применения ЛАТРа и выпрямительного блока. Для этого питание испытательной схемы подают от соответствующего количества аккумуляторов батареи.

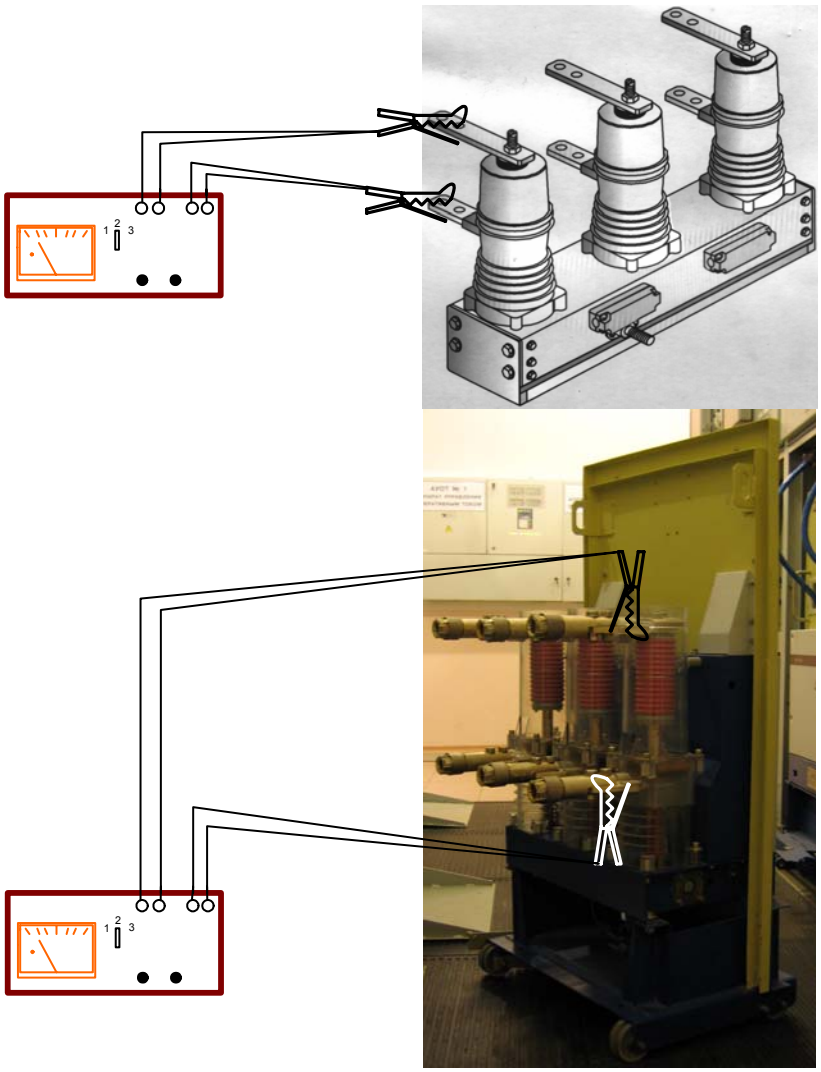


Рисунок 10. Измерение сопротивления основных контактов выключателей.

### *Проверка состояния контактов выключателя.*

Проверка сводится к измерению сопротивления основных контактов выключателя с помощью микроомметров или мостов постоянного тока. Места замеров на выключателях показаны на рисунке 10. Измерение производится непосредственно на вакуумной камере – измеряется сопротивление контактов самого выключателя.

Измеренное сопротивление сравнивается с нормируемыми значениями и на результатах сравнения оценивается состояние контактной системы выключателя.

Измерение можно произвести с помощью моста постоянного тока. Измерение производится аналогичным образом, главное – необходимо обеспечить надёжный контакт с измеряемой цепью.

Для оценки состояния контактов выкатного элемента производится измерение полного полюса. Измерение производится аналогичным образом, как и при измерении полюса выключателя, но в данном случае необходимо измерить сопротивление как можно ближе к розеточным группам выкатного элемента. Значение сопротивления полного полюса выкатного элемента не должно превышать значение сопротивления полюса выключателя более чем на 50 мкОм.

### *Проверка временных характеристик выключателей.*

Данная проверка производится при номинальном напряжении оперативного тока.

Используя секундомер, который подключают на силовые контакты выключателя, засекают время включения выключателя после подачи сигнала от ключа. При этом ключ должен одновременно подать сигнал на пуск секундомера и на включения выключателя.

### *Проверка соосности контактов выкатного элемента и ячейки и характеристик этих контактов (сопротивления).*

Эта проверка производится только в том случае, если есть возможность открыть доступ к контактам при вкаченной ячейке. Такая возможность есть на ячейках К-104, К-304.

## ***Обработка данных, полученных при испытаниях.***

Первичные записи рабочей тетради должны содержать следующие данные:

- дату измерений.
- температуру, влажность и давление
- температуру изоляции измерительных трансформаторов
- наименование, тип, заводской номер трансформатора
- номинальные данные объекта испытаний
- результаты испытаний
- результаты внешнего осмотра
- используемую схему

Все данные испытаний сравниваются с требованиями НТД и на основании сравнения выдаётся заключение о пригодности электродвигателя к эксплуатации.

## ***Меры безопасности при проведении испытаний и охрана окружающей среды.***

Перед началом работ необходимо:

- Получить наряд (разрешение) на производство работ
- Подготовить рабочее место в соответствии с характером работы: убедиться в достаточности принятых мер безопасности со стороны допускающего (при работах по наряду) либо принять все меры безопасности самостоятельно (при работах по распоряжению).
- Подготовить необходимый инструмент и приборы.
- При выполнении работ действовать в соответствии с программами (методиками)по испытанию электрооборудования типовыми или на конкретное присоединение. При проведении высоковольтных испытаний на стационарной установке действовать в соответствии с инструкцией.

При окончании работ следует:

- При окончании работ на электрооборудовании убрать рабочее место восстановив нарушенные в процессе работы коммутационные соединения (если таковое имело место).
- Сдать наряд (сообщить об окончании работ руководителю или оперативному персоналу).
- Сделать запись в кабельный журнал о проведённых испытаниях (при испытании кабеля), либо сделать запись в черновик для последующей работы с полученными данными.
- Оформить протокол на проведённые работы

Проводить измерения с помощью мегаомметра разрешается выполнять обученным работникам из числа электротехнической лаборатории. В электроустановках напряжением выше 1000В измерения проводятся по наряду, в электроустановках напряжением до 1000В – по распоряжению.

В тех случаях, когда измерения мегаомметром входят в содержание работ, оговаривать эти измерения в наряде или распоряжении не требуется.

Измерять сопротивление изоляции мегаомметром может работник, имеющий группу III.

Измерение сопротивления изоляции мегаомметром должно осуществляться на отключенных токоведущих частях, с которых снят заряд путём предварительного их заземления. Заземление с токоведущих частей следует снимать только после подключения мегаомметра.

При измерении мегаомметром сопротивления изоляции токоведущих частей соединительные провода следует присоединять к ним с помощью изолирующих держателей (штанг). В электроустановках напряжением выше 1000В, кроме того, следует пользоваться диэлектрическими перчатками.

При работе с мегаомметром прикасаться к токоведущим частям, к которым он присоединён, не разрешается. После окончания работы следует снять с токоведущих частей остаточный заряд путём их кратковременного заземления.

## Проведение работ с подачей повышенного напряжения от постороннего источника при испытании.

К проведению испытаний электрооборудования допускается персонал, прошедший специальную подготовку и проверку знаний и требований, содержащихся в разделе 5.1 Правил Безопасности, комиссией, в состав которой включаются специалисты по испытаниям электрооборудования с соответствующей группой.

Испытания электрооборудования, в том числе и вне электроустановок, проводимые с использованием передвижной испытательной установки, должны выполняться по наряду.

Проведение испытаний в процессе работ по монтажу или ремонту оборудования должно оговариваться в строке «Поручается» наряда.

Испытания электрооборудования проводит бригада, в составе которой производитель работ должен иметь группу 1V, член бригады – группу III, а член бригады, которому поручается охрана, - группу II.

Массовые испытания материалов и изделий (средства защиты, различные изоляционные детали, масло и т.п.) с использованием стационарных испытательных установок, у которых токоведущие части закрыты сплошным или сетчатым ограждениями, а двери снабжены блокировкой, допускается выполнять работнику, имеющему группу III, единолично в порядке текущей эксплуатации с использованием типовых методик испытаний.

Рабочее место оператора испытательной установки должно быть отделено от той части установки, которая имеет напряжение выше 1000В. Дверь, ведущая в часть установки, имеющую напряжение выше 1000В, должна быть снабжена блокировкой, обеспечивающей снятие напряжения с испытательной схемы в случае открытия двери и невозможность подачи напряжения при открытых дверях. На рабочем месте оператора должна быть предусмотрена раздельная световая, извещающая о включении напряжения до и выше 1000В, и звуковая сигнализация, извещающая о подаче испытательного напряжения. При подаче испытательного напряжения оператор должен стоять на изолирующем ковре.

Передвижные испытательные установки должны быть оснащены наружной световой и звуковой сигнализацией, автоматически включающейся при наличии напряжения на выводе испытательной установки.

Допуск по нарядам, выданным на проведение испытаний и подготовительных работ к ним, должен быть выполнен только после удаления с рабочих мест других бригад, работающих на подлежащем испытанию оборудовании, и сдачи ими нарядов допускающему. В электроустановках, не имеющих местного дежурного персонала, производителю работ разрешается после удаления бригады оставить наряд у себя, оформив перерыв в работе.

При необходимости следует выставлять охрану, состоящую из членов бригады, имеющих группу Ш, для предотвращения приближения посторонних людей к испытательной установке, соединительным проводам и испытательному оборудованию. Члены бригады, несущие охрану, должны находиться вне ограждения и считать испытываемое оборудование находящимся под напряжением. Покинуть пост эти работники могут только с разрешения производителя работ.

При размещении испытательной установки и испытуемого оборудования в различных помещениях или на разных участках РУ разрешается нахождение членов бригады, имеющих группу III, ведущих наблюдение за состоянием изоляции, отдельно от производителя работ. Эти члены бригады должны находится вне ограждений и получить перед началом испытаний необходимый инструктаж от производителя работ.

Снимать заземление, установленное при подготовке рабочего места и препятствующие проведению испытаний, а затем устанавливать их вновь разрешается только по указанию производителя работ, руководящего испытаниями, после заземления вывода высокого напряжения испытательной установки.

Разрешение на временное снятие заземлений должно быть указано в стоке «Отдельные указания» наряда.

При сборке испытательной схемы прежде всего должно быть выполнено защитное и рабочее заземление испытательной установки. Корпус передвижной испытательной установки должен быть заземлён отдельным заземляющим проводником из гибкого медного провода сечением не менее 10 мм$^2$. Перед испытанием следует проверить надёжность заземления корпуса.

Перед присоединением испытательной установки к сети напряжением 380/220В вывод высокого напряжения её должен быть заземлён.

Сечение медного провода, применяемого в испытательных схемах заземления, должно быть не менее 4 мм$^2$.

Присоединение испытательной установки к сети напряжением 380/220В должно выполняться через коммутационный аппарат с видимым разрывом или через штепсельную вилку, расположенную на месте управления установкой.

Коммутационный аппарат должен быть оборудован устройством, препятствующим самопроизвольному включению, или между подвижным и неподвижным контактами аппарата должна быть установлена изолирующая накладка.

Провод или кабель, используемый для питания испытательной установки от сети напряжением 380/220В, должен быть защищен установленными в этой сети предохранителями или автоматическими выключателями. Подключать к сети передвижную испытательную установку должны представители организации, эксплуатирующие эти сети.

Соединительный провод между испытательной установкой и испытуемым оборудованием сначала должен быть присоединён к её заземлённому выводу высокого напряжения.

Этот провод следует закреплять так, чтобы избежать приближения (подхлёстывания) к находящимся под напряжением токоведущим частям на расстояние менее указанного в таблице 1.

Присоединять соединительный провод к фазе, полюсу испытуемого оборудования или к жиле кабеля и отсоединять его разрешается по указанию руководителя испытаний и только после их заземления, которое должно быть выполнено включением заземляющих ножей или установкой переносных заземлений.

Перед каждой подачей испытательного напряжения производитель работ должен:

- Проверить правильность сборки схемы и надёжность рабочих и защитных заземлений;
- Проверить, все ли члены бригады и работники, назначенные для охраны, находятся на указанных им местах, удалены ли посторонние люди и можно ли подавать испытательное напряжение на оборудование;
- Предупредить бригаду о подаче напряжения словами «Подаю напряжение» и, убедившись, что предупреждение услышано всеми членами бригады, снять заземление с вывода испытательной установки и подать на нее напряжение 380/220В.

С момента снятия заземления с вывода установки вся испытательная установка, включая испытываемое оборудование и соединительные провода, должна считаться находящейся под напряжением и проводить какие – либо пересоединения в испытательной схеме и на испытываемом оборудовании не допускается.

Не допускается с момента подачи напряжения на вывод установки находиться на испытываемом оборудовании, а также прикасаться к корпусу испытательной установки, стоя на земле, входить и выходить из передвижной лаборатории, прикасаться к кузову передвижной лаборатории.

После окончания испытаний производитель работ должен снизить напряжение испытательной установки до нуля, отключить её от сети напряжением 380/220В, заземлить вывод установки и сообщить об этом бригаде словами «Напряжение снято». Только после этого допускается пересоединять провода или в случае полного окончания испытания отсоединять их от испытательной установки и снимать ограждения.